МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»



МАТЕРІАЛИ

XVII Міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2025”

22-24 квітня 2025 року

Київ 2025

Матеріали XVII міжнародної науково-технічної конференції
«АВІА-2025». –К.: КАІ, 2025.

За науковий зміст викладеного матеріалу відповідають автори.

Секції

1. Аеродинаміка, конструкція, міцність та зносостійкість авіаційної техніки
2. Безпека авіації у сучасних умовах
3. Автоматизація та енергозбереження на транспорті
4. Сучасні технології підтримання льотної придатності повітряних суден
5. Рідинно-газові системи літальних апаратів
6. Авіаційні двигуни та енергетичні установки
7. Електротехнічні та світлотехнічні системи і комплекси
8. Аеронавігація і Безпілотні Авіаційні Системи
9. Сучасний стан та перспективи розвитку авіоніки та систем керування рухомими об'єктами
10. Автоматизовані системи управління технологічними процесами та рухомими об'єктами
11. Електронні технології в системах штучного інтелекту та робототехніки
12. Електронні комунікації та радіотехніка
13. Інтелектуальні кібернетичні системи
14. Кібербезпека та захист інформації в авіації
15. Комп'ютерна інженерія
16. Комп'ютерні науки в проектуванні та управлінні
17. Інженерія програмного забезпечення
18. Моделювання, чисельні методи та інформаційні технології в прикладній математиці
19. Перспективи авіаційних досліджень у Європі
20. Сучасна цивільна інженерія
21. Мультимедійні технології та системи
22. Дизайн архітектурного середовища
23. Транспортне будівництво
24. Технічна естетика і дизайн
25. Аерокосмічна геодезія та землеустрій
26. Інноваційні технології маркетингу та менеджменту в глобальному просторі
27. Економіка та публічне управління в авіації
28. Сучасне управління та адміністрування: цифрові трансформації та моделі інноваційного розвитку
29. Транспортні технології та логістика
30. Сучасні аеропортові технології та експлуатація авіаційної наземної техніки
31. Право та міжнародні відносини в умовах глобальних викликів сучасності
32. Мовна підготовка фахівців авіаційної галузі
33. Психологія безпечної експлуатації авіаційного транспорту
34. Сучасні трансформації соціальних комунікацій
35. Збройні Сили України в умовах сьогодення

ЗМІСТ

1. Аеродинаміка, конструкція, міцність та зносостійкість авіаційної техніки

B. Blocken
The javelin: How a sports object is the most difficult test case for surface-to-air and surface-to-surface missiles 1.1

P.C. Melo, O.A. Shynkarenko
Study on the Aerodynamic Performance of a 105 mm Artillery Projectile: A Numerical Analysis 1.8

Павло Лук'янов
Вихрові течії в авіації: синергетичний аналіз існуючих моделей та напрями подальших досліджень 1.13

Д. Ю. Жиряков
Визначення оптимального радіуса заокруглення в зоні з'єднання силової нервюри з панеллю крила 1.16

Volodymyr O. Povhorodnii
Optimization of the shape of the middle surface of the wing at supersonic speeds for additional decoupling of geometrical inverse problems 1.19

О.А. Мікосянчик, О.О. Скворцов, О.М. Сенько
Оцінка зносостійкості електроіскрових покриттів на конструкційних сталях 1.23

V.I. Pasko, S.S. Yutskevych
Enabling early-stage wing design decisions through the development and analyses of generative knowledge-based engineering models 1.26

С.Р. Ігнатович, В.С. Краснопольський, І.І. Джавадова
Прогнозування залишкового ресурсу авіаційних панельних конструкцій з втомними тріщинами 1.31

О.В. Брешев, О.В. Башта, І.В. Семак, М.О. Радько, О.В. Форноляк
Розроблення розрахункової схеми одноопорної системи приводу з аеростатичними підшипниками 1.36

Я.Я. Сірак, Г.Г. Веселівська, Х.Р. Задорожна, В.С. Труш
Підвищення зносостійкості плазмо-електролітних шарів на алюмінієвих сплавах 1.41

О.Є. Якобчук, Т.П. Маслак, І.О. Якобчук
Особливості 3D друку безпілотних моделей літакового типу 1.46

Г.Г. Веселівська, В.С. Труш, Х.Р. Задорожна, Я.Я. Сірак
Вплив зміцнення поверхні лопаток з титанового сплаву ВТ-6 ГТД іонними та іонно-плазмовими технологіями на її структуру та властивості 1.50

Ю.В. Власенко, Т.П. Маслак, М.В. Карускевич
Індикатори двовісної втоми металів 1.55

М.М. Свирид, О.Ю. Сидоренко, Ю.М. Квач, В.М. Бородій
Механізм формування трибоструктур на поверхні феромагнетика в моторній оливі при намагнічуванні 1.59

О.В. Брешев, П.Л. Носко, О.В. Башта, І.В.Семак, М.О. Радько
Параметри і характеристики одноопорної системи приводу з конічними аеростатичними підшипниками 1.64

M. Karuskevych, O. Korchuk, O. Karuskevych, V. Korchuk
Aluminum Alloys Fatigue in the Surfactants Surrounding 1.70

І.В. Малярчук
Вплив трансмісійних олив на зносостійкість бронзових пар тертя в умовах кочення з проковзуванням 1.75

О.А. Шевченко, А.А. Вінс, Р.І. Ковальський, К.В. Кривенко
Залежність характеристик міцності і жорсткості склопластиків та базальтопластиків від технології їх виготовлення 1.79

M.V.Kindrachuk, V.V. Kharchenko, I.A. Humeniuk, M.A. Hlovyn, I.V. Kostetskyi
Effect of frictional heating on tribotechnical properties of hardened carbon steel 1.84

2. Безпека авіації у сучасних умовах

Т.О. Семитківська, Н.І. Кушнєрова, К.О. Мірошник
Дослідження принципів розвитку авіаційних транспортних систем 2.1

І.Б. Зарубінська, М.В. Сафаров
Використання штучного інтелекту для прогнозування навантаження на авіаційні системи та оптимізації ресурсів 2.4

Т.П. Савченко, О.С. Бондік
Безпека систем управління авіаційними транспортними комплексами: сучасний стан і перспективи 2.7

Я.В. Кошман, О.С. Бондік
Інтелектуальні системи управління авіаційними транспортними потоками: новітні тенденції та перспективи розвитку 2.10

К.О. Мірошник, І.Б. Зарубінська
Розвиток систем управління повітряними суднами в умовах зміни клімату та глобальних екологічних викликів 2.15

К.В. Чернишов
Моделювання та оптимізація маршрутів авіаційного транспорту за допомогою сучасних алгоритмів управління. 2.19

Р.А. Хмеловський
Сучасні підходи до інтеграції аеропортів у єдину транспортну систему: проблеми та рішення 2.23

Д.В. Лагодний
Перспективи розвитку автономних авіаційних транспортних систем та їх інтеграція у сучасні аеропорти 2.26

3. Автоматизація та енергозбереження на транспорті

Н.А. Тимошенко, І.В. Прохоренко, Т.А. Мазур, Н.П. Соколова
Удосконалення алгоритмів системи автоматичного керування для підвищення точності стабілізації висіння вертольота над точковими об'єктами 3.1

O.Y. Churina
An aggregative-decompositional approach to modeling management of complex ergatic energy systems under conditions of uncertainty 3.6

4. Сучасні технології підтримання льотної придатності повітряних суден

В. Керней, А. Хімко
Аналіз напруженого-деформованого стану елементів крила літака Boeing 737NG та шляхи підвищення їх довговічності 4.1

В.М. Учанін, О.Г. Алещенко, В.Я. Дереча
Вихрострумовий метод вимірювання товщини шару вуглецевого композиту на металевих конструкціях 4.6

M.O. Shapiro, Y.I. Smirnov
Trends in the use of engine condition monitoring systems on aircraft 4.9

Р.Г. Мнацаканов, О.А. Мікосянчик, С.С. Камак
Застосування шерографії для оцінки якості полімерних композиційних матеріалів 4.12

Є.Ю. Кузьменко
Машинне навчання та його застосування в авіаційних системах 4.17

В.В. Токарук
Удосконалення технологічного процесу складання елементів крила 4.20

O.V. Rugain
Drones in aircraft maintenance technologies 4.24

О.П. Шемейко, О.В. Попов, С.О. Дмитрієв, Д.В. Попов
Зниження впливу людського чиннику на якість технічного обслуговування повітряних суден 4.27

М.О. Демчук, О.В. Попов, С.О. Дмитрієв, Д.В. Попов
Загальні засади з підтримання льотної придатності повітряних суден нескладної конструкції авіації загального призначення 4.32

5. Рідинно-газові системи літальних апаратів

Т.В. Тарасенко
Кавітаційна ерозія в авіаційному гідравлічному приводі 5.1

Ю.А. Кравецький
Особливості модельних досліджень динамічних характеристик електрогідравлічного дистанційного приводу 5.4

О.Р. Фещук, Т.В. Тарасенко
Системи керування закрилками. 5.9

Р.О. Єременко
Алгоритм розробки динамічних моделей рідинно-газових систем на базі фундаментальних блоків 5.12

6. Авіаційні двигуни та енергетичні установки

К.І. Капітанчук, М.П. Андріїшин, С.А. Якимчук
CFD-аналіз чисельного моделювання аеродинамічних процесів відцентрового вентилятора 6.1

Д.О. Куц, О.В. Завгородній, А.М. Іванів, Р.Ю. Білий
Підвищення експлуатаційних показників камери згоряння газотурбінного двигуна шляхом впровадження адитивного способу виробництва 6.6

Ф.І. Кірчу, Л.Г. Волянська, І.Г. Бабічев, П.І. Кірчу
Робота тандемного вентилятора з об'єднуючою тороїдально - спіральною закінцівкою лопатей в обмеженому просторі 6.9

I.F. Kinaschuk, M.I Kinaschuk
Numerical modeling of the operation of the screen-exhaust devices during the flight of a helicopter with vertical and horizontal blades of the ejection system 6.13

І.О. Сироїжка, М.В. Войтенко
Аналіз використання новітніх матеріалів у виробництві поршнів двигуна внутрішнього згорання 6.16

В.С. Труш, Г.Г. Веселівська, Х.Р. Задорожна, Я.Я. Сірак
Вплив температурно-часових параметрів дифузійного насичення елементами втілення (O, N, C) на характеристики зміцненого поверхневого шару титану 6.19

О.М. Панкул
Аналіз і прогнозування несправностей авіаційних двигунів із використанням дерева відмов та ШІ у системах технічного обслуговування 6.22

С.В. Єнчев, Є.О. Пасічниченко
Принципи побудови алгоритмів контролю авіаційних газотурбінних двигунів 6.25

O. Andriiets
Researches of the current state and development trends of aircraft engines 6.29

М.П. Андрійшин, К.І. Капітанчук, Д.О. Шклярук
CFD-аналіз чисельного моделювання процесу стиснення газо-водневої суміші в відцентрових компресорах при транспортуванні 6.33

7. Електротехнічні та світлотехнічні системи і комплекси

С.В. Єгоров, Т.Ю. Шкварницька
Метод еквівалентної заміни потужності з використання приладів урівноваження з еталонною мірою величини, що регулюється 7.1

Є.П. Швалюк
Класифікація іонізаційних камер та особливості їх конструкції 7.4

Ю.Г. Ведміцький, М.В. Климишен, А.В. Комар, І.О. Іващенко, О.О. Маліновський
Побудова хвильового рівняння двопровідної довгої лінії в канонічній формі 7.8

С.С. Дев'яткіна
Аеродромні світлосигнальні засоби забезпечення зльоту повітряних суден в умовах низької видимості 7.11

Т.Ю. Шкварницька, Т.І. Яреміч, А.А. Афанасьєв
Особливості розсіювання імпульсного сигналу лінійним відбивачем 7.14

С.В. Єгоров, Т.Ю. Шкварницька, В.А. Копитов
Захист систем електропостачання аеропорту напругою 10 кВ за допомогою високовольтних запобіжників 7.18

С.М. Шевкун, В.П. Квасніков, М.В. Добролюбова, М.С. Шевкун
Автоматизована система для прецизійного вимірювання кутів на основі розрахункового конденсатора змінної ємності 7.23

8. Аеронавігація і Безпілотні Авіаційні Системи

P. Dischler
Comparative Analysis of Drone Countermeasures for Humanitarian Missions 8.1

P. Dischler
Navigating Drone Threats in Humanitarian Field Missions: A Decision-Making Framework and Toolkit 8.6

Peter Dischler, T. Shmelova
Humanitarian applications of UAV's: benefits and integration of routes planning with decision-making tools 8.10

D.O. Klokta
Intelligent runway condition monitoring systems to optimize airfield operations 8.14

А.В. Рябко
Порівняльний аналіз методів BRISK та ORB для виявлення локальних ознак на знімках з безпілотних літальних апаратів 8.18

Є.В. Тачинін, С.В. Єнчев
Передумови розробки методики оцінки впливу сучасних інформаційних технологій контролю на готовність літака до польотів 8.21

T. Shmelova, Yu. Sikirda, K. Surkova, S. Shaptala, O. Dobryansky
Integration of stochastic and non-stochastic models of decision-making by UAV operator 8.26

V.V. Konin, L.U. Golub
Model for studying the orbital parameters of GNSS satellites 8.31

С.А. Сімченко, Т.Ф. Шмельова
Прийняття рішень оператором БПЛА в аварійній ситуації «втрата GPS» з використанням семантично-когнітивного моделювання 8.36

О.Р. Іващук
Аналіз відхилення літаків в повітряному просторі Туреччини 8.42

O.M. Ishchenko
Method for investigating the impact of ionospheric, tropospheric, and time correction on the Global Navigation Satellite System 8.45

О.В. Шостак, Ю.А. Авер'янова, Є.А. Знаковська
Дослідження використання графу знань для вдосконаленої інформаційної підтримки польотів повітряних суден 8.50

М.М. Селіванова, А.А. Михайлюк, Г.Ф. Аргунов
Перспективи використання електричного повітряного судна 8.55

Н.С. Кукса, В.П. Харченко, Л.В. Благая
М'які паливні баки, їх переваги та застосування в БПЛА 8.60

М.С. Любарець
Автоматизація прийняття рішення щодо складу комісії з розслідування авіаційної події: пріоритизація залучень експертів 8.64

Б.В. Блажей, В.Ю. Ларін
Метод корекції недостовірних показань GNSS-приймача за допомогою алгоритма 8.69

Т.Ф. Шмельова, І.С. Мар'єнков
Експертна оцінка ефективності методів виявлення сторонніх предметів на злітно-посадковій смузі 8.73

Д.О. Маршалок, О.Є. Луппо
Кількісний аналіз помилок прогнозування траєкторії у PMS та їх вплив на виявлення конфліктів 8.76

О.П. Сушич, І.А. Приходько
Оцінка ефективності роботи багатосистемних приймачів супутникової навігації в складній сигнально-завадовій обстановці 8.80

А.І. Іванів, О.Є. Луппо
Застосування алгоритмів Gradient Boosting для автоматизованої оцінки навичок авіадиспетчерів у тренажерах 8.84

V.P. Kharchenko, A.O. Mavrenkova
Analysis of the impact of air target characteristic fluctuations on surveillance radar parameters using mathematical modeling 8.87

М.К. Турчина, Л.В. Благая
Порівняльна оцінка та вибір оптимального датчику тиску для БПЛА 8.92

Т.Ф. Шмельова, В.О. Кучменко
Застосування регресійної моделі для аналізу і управління авіаційним трафіком 8.96

Y.A. Znakovska, V.O. Kharchenko
Analysis of the effectiveness of modern 3D scanners for monitoring the technical condition of aircraft in various operational conditions 8.101

В.Ю. Ларін, К.Д. Іванов
Застосування штучних нейронних мереж для виявлення безпілотників-камікадзе у режимі реального часу 8.104

9. Сучасний стан та перспективи розвитку авіоніки та систем керування рухомими об'єктами

Ю.В. Грищенко, О.О. Чужа, Т.С. Соломаха, Д.Ю. Іващенко
Питання безпеки польоту під час заходу на посадку повітряного судна 9.1

O.Ye. Volkov, V.M. Zemlianskyi, M.O. Gusiev
Multi-wave LDA for diagnostics of aerodynamic flows in a wide dynamic range of speeds 9.6

А.С. Довгалюк, Д.В. Смолич, Т.С. Соломаха
Імітаційне моделювання електродистанційної системи керування механізацією крила магістрального літака 9.11

Н.В. Білак, О.О. Абрамович
Параметричний синтез оптимального регулятора для об'єкту із запізненням методом Хука-Дживса 9.16

М.П. Дивнич
Особливості формування сигналу в лазерному допплерівському вимірювачі швидкості, промені якого ортогонально поляризовані. 9.21

10. Автоматизовані системи управління технологічними процесами тарухомими об'єктами

М. К. Філяшкін **Дозаправлення у повітрі безпілотних літальних апаратів**	10.1
В.М. Синєглазов, Д.В. Таранов **Гібридний підхід до динамічної перебудови формацій рою БПЛА на основі глобального планування та локального потенційного керування**	10.6
В.М. Синєглазов, Р.С. Конюшенко **Застосування точного планування покриття у задачах моніторингу полів за допомогою безпілотників**	10.11
О.А. Сущенко **Застосування робастного структурного синтезу для систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв**	10.16
S.O. Dolhorukov, O.I. Pikova **Automation of dynamic object stabilisers adjusting with deep reinforcement learning**	10.20
В.М. Синєглазов, Ю.А. Кот **Підхід для оцінки ризиків в надзвичайних ситуаціях за допомогою байєсівської мережі**	10.26
М.І. Бондаренко **Використання вертикальних гібридних роторів для ефективної вітроенергетики в міській забудові**	10.30

11. Електронні технології в системах штучного інтелекту та робототехніки

О.С. Мірошниченко, С.І. Мірошниченко, Ю.В. Хобта **Порівняння контрасту зображень хребта при рентгенівському томосинтезі та рентгенографії**	11.1
А.О. Плуговий **Інтелектуальна система управління підтримкою льотної придатності повітряних суден на основі технологій Інтернету речей**	11.6
С.В. Федорченко, В.П. Квасніков **Зір роботів**	11.9
А.В. Авагян, Р.Л. Пантєєв, Ф.Й. Яновський **Класифікація та системи керування актуаторами в біонічних протезах**	11.12
Р.М. Салімов, І.В. Морозова **Проблеми та можливості прогностичного технічного обслуговування АТ на основі використання технологій інтернету речей**	11.15

О.М. Ключко
Електронна експертна інформаційна система ідентифікації хімічних речовин для моніторингу довкілля 11.19

12. Електронні комунікації та радіотехніка

М.В. Головань, В.О. Гнатюк
Методи шифрування на основі ШІ для стільникових мереж 5G 12.1

І.О. Горбачов, В.О. Гнатюк
Моделі підвищення QoS в системах VoIP 12.4

Р.Ю. Сайко
Аналіз особливостей даних для оцінки ефективності систем виявлення вторгнень на основі машинного навчання у телекомунікаційних мережах 12.7

А.Ю. Чермянін
Аналіз методів підвищення енергоефективності в мережах 5G за допомогою технологій машинного навчання 12.10

Г.Ф. Конахович, О.О. Матвійчук-Юдін
Захист інформаційних ресурсів на платформі Cisco з використанням штучного інтелекту 12.15

О.В. Зуєв, М.Ю. Заліський, О.В. Соломенцев
Моделі формування рішень при оцінці стану радіотехнічних засобів 12.19

С.Ю. Бєлов, М.Ю. Заліський
Аналіз сучасних викликів у сфері забезпечення авіаційної безпеки 12.23

С.С. Дорошенко, Г.Ф. Конахович
Аналіз аудіокодеків в перспективі впровадження ATN/IPS в Україні 12.27

O.M. Grudanov, V.M. Shutko
Minimizing leakage current in 64K SRAM using High-Threshold Voltage transistors 12.31

Б.П. Котик, Д.І. Бахтіяров
Нейромережевий підхід до розпізнавання цифрової модуляції 5G в умовах апріорної невизначеності параметрів 12.36

О.В. Бондаренко, О.М. Тачиніна, В.Г. Вовк
Використання блокчейн-технології для безпечної комунікації в роях дронів 12.41

І.Г. Прокопенко, О.І. Ільїн, В.І. Таран
Кореляційна обробка широкосмугових сигналів з шумоподібною модуляцією в радіодалекомірних системах 12.45

С.М. Смалюга, І.Г. Прокопенко
Застосування алгоритму Хафа для виявлення швидких цілей 12.49

М.В. Шишолік, А.Д. Пінчук, О.О. Полігенько, Р.С. Одарченко, І.О. Козлюк
Перспективи впровадження SIEM-систем для кібербезпеки мереж 5G 12.54

К.Ю. Зандер, В.О. Гнатюк
Підвищення швидкості реакції, інтерактивної Інтернет-системи 12.57

13. Інтелектуальні кібернетичні системи

В.І. Урсова
Система обліку та керування обладнанням на підприємстві 13.1

Ю.К. Шестопал
Керування груповим рухом БПЛА з урахуванням фізичних перешкод в умовах невідомого навколишнього середовища 13.4

O.S. Viaznikova
Intelligent software for UAV control with obstacle recognition and obstacle circumvention functionality 13.7

Y.S. Bodanov, O.M. Glazok
Using Smart Contracts to Enhance the Security of Cyber-Physical Systems 13.11

M.V. Khomchak
The Model of Selection of Cloud Provider 13.16

О.М. Глазок, А.Д. Юрченко
Мобільний застосунок на платформі Android для підтримки ментального здоров'я користувача 13.20

14. Кібербезпека та захист інформації в авіації

P.M. Pavlenko, E. I. Samborsky
Logical-dynamic model of information and security event management based on digital twin technology of computer systems 14.1

А.В. Ільєнко, Н.К. Гулак, О.В. Дубчак
Застосування криптографічних методів для захисту баз даних від несанкціонованого доступу 14.6

А.В. Ільєнко, С.С. Ільєнко, Л.П. Галата
Модуль захисту авіаційних інформаційно-комунікаційні систем на основі комбінованих моделей ML 14.9

А.В. Ільєнко, В.В. Ахрамович
Методика дослідження захищеності кіберпростору соціальних платформ від кількості співтовариств 14.12

І.О. Кукулевський, Є.О. Сокирка, А.В. Толбатов
Проактивне виявлення кіберзагроз для IoT-пристроїв з використанням методів машинного навчання 14.15

В.А. Швець, В.П. Харченко, О.В. Куценко
Забезпечення доступності інформації сузір'я GPS методами просторової фільтрації 14.20

A.A.Tarakhtii, T.R. Yarotska
Airport security in the conditions of modern threats: aviation and cyberspace 14.25

О.В. Мельничук
Вплив контенту генерованого штучним інтелектом на виявлення Sybil-акаунтів у соціальних мережах 14.29

Д.В. Пастущак
Виклики кібербезпеки при інтеграції систем Інтернету речей (IoT) у критичну інфраструктуру 14.34

M.M. Protsenko
Security and privacy risks in next-generation networks 14.38

15. Комп'ютерна інженерія

В.В. Лукашенко, О.І. Шкляр
Аналіз методів балансування навантаження в хмарних інфраструктурах 15.1

М.О. Калашник
Розпізнавання поведінкових патернів у мережах IoT за допомогою гібридних моделей виявлення аномалій 15.5

M.K. Pechurin, M.A. Sirenko
A method for forming dynamic parameters of a neurocomputer with energy constraints 15.8

А.Л. Столяр, В.В. Алькема, М.М. Гузій
Аналіз методів інтелектуального виявлення аномалій мережевого трафіку з використанням тензорного подання даних структурних взаємозв'язків 15.11

С.Р. Білокур
Автономне управління групою БПЛА 15.14

16. Комп'ютерні науки в проектуванні та управлінні

О.М. Зудов, В.В. Горіна, Н.О. Рибасова
Криптографічні та біометричні механізми захисту електронного голосування 16.1

A. Chizhov, A. Fesenko
Cloud Migration Failures: Root Causes and Practical Remediation Framework 16.6

А.М. Воронін, А.С. Савченко
Оптимізація архітектури нейромережевих класифікаторів 16.10

О.В. Толстікова, С.В. Водоп'янов, В.І. Дрововозов, М.В. Рюмшина
Оптимізація математичної моделі таблиці маршрутизації в комп'ютерній мережі 16.13

A.N. Voronin, A.S. Savchenko
A nonlinear compromise scheme in multicriteria problems of decision-making 16.16

Ю.І. Сінько
Економічні моделі впровадження автоматизованих інформаційних технологій 16.22

Р.В. Литвиненко
Методи реконфігурації розподілених інформаційних систем 16.25

О.С. Кусаков
Вирішення проблеми сумісності пристроїв у системі управління розумним будинком 16.29

I.E. Raichev, N.H. Denysenko
Defining requirements for critical program systems based on ontological analysis 16.33

О.О. Дроздюк
Model Context Protocol (MCP): Стандартизація контексту для покращення LLM 16.38

P. Pavlenko, M. Malin, M. Kryshchuk, T. Zhuravlova, V. Petrov
Optimization of additive manufacturing of metal parts and structures based on digital twin and reinforcement learning 16.41

Е.А. Дрига
Методика автономної навігації FPV-квадрокоптера з мінімальним набором сенсорів на основі аналізу оптичного потоку 16.48

Т.В. Холявкіна, П.І. Мельниченко, М.О. Кравченко
Vibe coding – новий тренд управлінням створення програмних продуктів 16.52

В.М. Сидоренко, Б.Ю. Кобільник
Аналіз існуючих підходів до забезпечення стійкості критичних інформаційних систем 16.55

17. Інженерія програмного забезпечення

A.Tomashuk
At an early stage, optimization of the performance of software that describes the work of the artificial central nervous system model 17.1

Є.С. Мисько
Інженерія програмного забезпечення у розробці відеоігор: від ідеї до реалізації 17.7

О.І. Суховий
Метод Net2Net для прискорення навчання нейронних мереж 17.10

Д.О. Гололобов
Помічники для кодування на основі генеративного штучного інтелекту 17.13

А.О. Бех
Аналіз сучасних технологій розподілених інформаційних систем у сфері транспортного обслуговування 17.16

I.V. Skostariev
Intrusion Detection Systems for Kubernetes: Classifications, Implementation Strategies, and Deployment Considerations 17.19

18. Моделювання, чисельні методи та інформаційні технології в прикладній математиці

Petro V. Lukianov
The problem of minimizing propeller blade noise 18.1

О.Г. Піскунов, Н.П. Тупко, В.Г. Хребет
Алгебраїчне тестування функцій дійсної змінної з урахуванням метричних вимог 18.6

N. Zosimovych
IoT Drone Controllers Simulation Platform 18.9

Д.П. Кучеров, В.Г. Ткаченко, Н.Ф. Халімон
Моделювання виконавчих механізмів бі-коптера в системі управління з ПІД-регулятором 18.16

Victor Repeta, Lesia Pavliukh
Multidimensional mathematical model of biological wastewater treatment 18.21

Ю.Г. Ведміцький
Про тривіальну інваріантність передатної функції до функції вхідної дії 18.25

А.С. Чуйков
Аналіз стійкості систем автоматичного управління на основі фінітизованого годографа Михайлова 18.28

І.М. Яворський, Р.М. Юзефович, О.В. Личак, Є.В. Сбродов, Ю.І. Торба
Дослідження моделі вібраційного сигналу газотурбінного двигуна 18.31

N. Zosimovych
Monte Carlo Simulation of the Ukrainian and Russian War Results 18.35

Р.В. Ткаченко
Деякі нелінійні властивості при русі циліндра, частково заповненого рідиною, що знаходиться на рухомій платформі, під дією гармонічної сили 18.42

О.Д. Глухов
Мультикаркаси і зв'язність графів 18.45

Г.В. Тугай
Про нові точки дискретного спектра при сингулярних збуреннях 18.48

I.S. Klius, I.V. Shevchenko
Problem with integral conditions for partial differential equations 18.51

L.I. Hladka, O.A. Serdyuk
Numerical Methods as a Tool for Developing Applied Competencies in IT and Business Analytics 18.54

Н.О. Бабкова
Порівняльний аналіз коливань кільцевих перетворювачів енергії при нестаціонарних збуреннях із різних п'єзокерамічних матеріалів 18.57

В.О. Темніков, А.В. Темніков
Моделі оцінювання функціонального стану персоналу на основі перцептивних обчислень і нечіткої логіки 18.60

Вікторія Шевель, Андрій Темніков
Концептуальна модель системи кар'єрного консультування для студентів 18.64

Liashenko Yana, Bondarenko Liudmyla
Construction of a mathematical model of nonlinear deformation of a composite polymer material of a heterogeneous structure 18.68

19. Перспективи авіаційних досліджень у Європі

Н.М. Кічата, Я.Ю. Шило
Комплексний підхід до управління ризиками та забезпечення безпеки авіаційної інфраструктури як об'єкта критичної інфраструктури 19.1

K.I. Kazhan, V.M. Makarenko, V.I. Tokarev, O.I. Zaporozhets
Single-event scenario noise modelling for novel environmentally friendly aircraft types 19.5

M.M. Radomska
The contribution of aviation to global climate changes: current view and perspective research 19.10

A.D. Kustovska, O.L.Matvieieva, V.V. Yefymenko, I.L.Trofimov
Innovative approaches to the validation of chemical processes in pharmaceutical production 19.14

В.П. Циганенко, І.Л. Трофімов, І.М. Закієв
Вплив естерів рослинних олій на протизносні властивості дизельних палив 19.18

Ю.В. Ілляшенко
Зміни показників якості рослинних моторних олив у процесі експлуатації 19.22

В.Л. Чумак, М.Р. Максимюк, А.А. Копаниця
Визначення параметрів рівняння Михаеліса-Ментен при створені ліків з використанням ферментів 19.25

Р.С. Акчурін
Оптимізація процесів регенерації відпрацьованих мастильних матеріалів 19.30

Y.Y. Kurhanska
Occupational health and safety solutions: Poland's experience 19.34

Н.В. Гаюк, Г.В. Сокольський, О.О. Борщ
Дослідження взаємодії титан(IV) оксиду з HF у присутності/відсутності NH4+ 19.38

О.М. Тихенко, Л.М. Черняк
Перспективи відновлення участі України у програмі CORSIA 19.43

K.V. Synylo, A.I. Krupko
Modelling emission indexes throughout mission profile for supersonic aircraft 19.46

С.І. Проценко, О.В. Кофанова, О.Є. Кофанов
Використання біорозкладних добавок до дизельного палива як перспективний напрям поліпшення його характеристик та забезпечення принципів декарбонізації і зеленої економіки 19.52

Л.М. Черняк, О.М. Тихенко, Т.І. Дмитруха, Томаш Манєцкі
Аналіз ролі техногенно трансформованих ґрунтів в зоні впливу аеропортів у кліматичних змінах 19.56

20. Сучасна цивільна інженерія

А.В. Махінько, Д.Є. Рулов
Конструктивні рішення захисту для ємностей зберігання нафти від ударів БПЛА 20.1

О.В. Родченко
Практичні основи використання штучної нейронної мережі багатошаровий перцептрон при визначенні класифікаційного параметра нежорсткого аеродромного покриття 20.4

О.В. Степанчук, О.С. Чернишова
Методи оптимізації форм і розмірів аеровокзальних просторів з урахуванням особливостей руху людських потоків 20.7

Н.О. Махінько
Архітектурна аеродинаміка: CFD-моделювання вітрових впливів на висотні будівлі 20.11

С.М. Скребнєва, К.В. Омельченко, І.Л. Машков
Аналіз ефективності впровадження енергозберігаючих технологій в аеропортобудуванні 20.14

С.О. Скляренко
Проблеми формування фонду захисних споруд України 20.18

О.Г. Горб
Оцінка міцності сталезалізобетонних конструкцій 20.22

О.В. Шевченко, М.А. Мельник
Особливості реконструкції будівель з урахуванням принципів сталого розвитку 20.25

П.І. Гришко
Аналіз ефективності параметрів модифікації бетону нанотрубками 20.28

А.В. Тимощенко
Оцінка стійкості висотної каркасно-монолітної будівлі до прогресуючого руйнування за допомогою чисельного моделювання 20.31

О.В. Шевченко, А.В. Рак
Впровадження мамадів в українське будівництво: адаптація закордонного досвіду до вітчизняних будівельних норм 20.35

І.І. Годзинський
Проблеми практичного використання двотаврових балок змінної жорсткості з перфорованою стінкою в будівництві 20.38

M.A. Kostiuchenko, A.V. Makhinko
Modular Transit Infrastructure: An Assessment of Inclusive Design Potential 20.41

21. Мультимедійні технології та системи

О.В. Матвійчук-Юдіна, О.А. Бобарчук, А.А. Язвінська
Міжнародні вимоги до адаптивного дизайну друкованих та електронних навчальних видань 21.1

О.В. Матвійчук-Юдіна, А.В. Пухтій
Роль штучного інтелекту в синтезі сучасного рекламного відеоконтенту 21.6

А.С. Гордєєв, П.М. Чернікова
Створення посібників як мобільних додатків 21.12

П.Ю. Родіонов, О.В. Родіонова
Штучний інтелект і комп'ютерна графіка: тенденції, проблеми, перспективи 21.16

С.М. Гальченко, С.О. Гніденко
Генеративний звук у відкритих віртуальних світах: сучасні методи створення нескінченного аудіо-фону 21.19

О.В. Матвійчук-Юдіна, А.В. Воловик
Синтезований дизайн візуальної реклами 21.24

О.А. Бобарчук, А.О. Швидченко
Використання бібліотеки ThreeJS для розширення мультимедійних можливостей веб-сайтів 21.28

Т.І. Веретільник, Ю.П. Мамонов, М.О. Довгодько
Нові погляди на віртуальну та доповнену реальності як складову електронного видання 21.32

22. Дизайн архітектурного середовища

Н.Ю. Авдєєва, Д.В. Гончаренко
Сучасні підходи до проєктування зимових садів в архітектурному середовищі аеропорту 22.1

П.П. Кур'ят
Порівняльний аналіз підходів до визначення площ у будівлях: українські та міжнародні нормативи 22.4

В.О. Нещадим, П.М. Годованець
Озеленені дахи як альтернатива озеленення міст 22.7

О.А. Соколовський, П.П. Кур'ят
Роль хмар точок у верифікації та підтримці життєвого циклу міських інфраструктурних об'єктів 22.10

Д.С. Новік, Н.В. Бжезовська
Адаптивність готелів до потреб клієнтів в аеропортах 22.15

А.О. Воробей, Н.В. Бжезовська
Озеленення аеропортів 22.18

M.A. Kostiuchenko, O.I. Zhovkva
Tectonics and the Articulation of Architectural Façades in the Context of Street-Level Perception 22.21

В.М. Ігнатьєва, Н.В. Бжезовська
Сучасні екологічні проблеми аеропортів та шляхи їх вирішення 22.24

23. Транспортне будівництво

О.С. Чернишова, О.В. Степанчук
Аналіз особливостей формування людських потоків у сучасних транспортних будівлях 23.1

О.М. Дубик, І.М. Осовський
Математичний апарат зміни експлуатаційно-технічного стану жорстких аеродромних покриттів 23.4

24. Технічна естетика і дизайн

Ю.М. Ковальов, Т.Ф. Шмельова, Ю.В. Сікирда, М.М. Яцко
Інтуїтивна система відображення інформації та управління літальними апаратами 24.1

О.О. Філончук
Важливість теорії кольорів у вебдизайні 24.6

Є.О. Ваховська
Особливості шрифтового оформлення журнальних авіаційних видань 24.10

Ю.Р. Холковський
Дискретно-інтерполяційний метод визначення стану локальної області середовищ 24.13

О.Г. Церковна
Параметричний метод нормування при формуванні дизайну інтер'єрів транспортних засобів 24.17

Т.В. Жидкова, Н.А. Пилипенко
Урахування вимог ергономіки під час проєктування інклюзивних санвузлів 24.22

25. Аерокосмічна геодезія та землеустрій

Л.Р. Скрипник, В.М. Михайленко
Сучасні підходи до вдосконалення територіального планування земель аеропортів України в умовах відбудови та просторової трансформації 25.1

Н.Ф. Іщенко
Європейські авіаційні тренди та перспективи відновлення польотів в Україні 25.5

С.І. Альперт
Новітні методи відбору спектральних діапазонів при обробці супутникових зображень 25.9

O.Ye. Nikolaienko, O.O. Klymenko
Optimization of logistics routes using geoinformation technologies 25.14

Yu.I. Velikodsky, A.O. Tereshchenko, V.Yu. Belenok
Vegetation and shadow index for very high resolution urban RGB satellite imagery 25.17

Т.Д. Козлова, Ю.І. Великодський
Використання сіамської нейронної мережі для виявлення пошкодженої забудови на супутникових знімках 25.22

А.О. Терещенко, Ю.І. Великодський, В.Ю. Беленок
Використання текстурних метрик для виявлення пошкодженої забудови за супутниковими знімками 25.27

Р.А. Третяк
Аналіз проблем землеоціночних робіт під час воєнного стану в Україні 25.31

26. Інноваційні технології маркетингу та менеджменту в глобальному просторі

А.О. Шевчук, І.С. Гращенко
Аналіз даних з мобільних пристроїв для організації маркетингу у соціальних мережах підприємства 26.1

G.M. Agieieva
The Use of Graphic Images of Airport Objects in Marketing Technologies 26.4

Т.Д. Гірченко, А.Р. Чернявська
Інструменти антикризового маркетингу в банку 26.8

Н.О. Коваленко
Smart-рішення в управлінні проєктами цивільної авіації: концепція, реалізація, ефективність 26.12

І.С. Граждан, О.М. Кириленко
Розвиток професійних компетенцій працівників через програму навчання та розвитку в організації 26.15

І.С. Граждан, Г.С. Гуріна
Адаптація працівників до корпоративної культури: роль HR-відділу 26.18

Viktor Sibruk, Kateryna Sereda
Evolution of strategic marketing concepts in the context of modern competition 26.21

І.В. Созинова, К.В. Печінка
Контент-маркетинг: ключові цілі, завдання та інструменти 26.24

Н.А. Ревaненко, О.О. Казанська
Шляхи подолання кризових ситуацій в умовах цифровізації на підприємстві ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА» 26.27

Т.Г. Разінкіна, О.О. Казанська
Роль інфлюенсерів у розвитку продажів логістичних послуг на B2B-ринку 26.32

В.В. Хороших, І.О. Аракелова
Управління якістю швейних товарів на підприємствах легкої промисловості України 26.36

B.V. Polous
The rationality of applying Kairos management principles in modern HR- branding 26.39

С.Ю. Лукін
Маркетинг державної безпеки в умовах кризи: стратегії комунікації для забезпечення національної стійкості 26.42

O.V. Polous
The phenomenon of the "glass ceiling" in the modern business environment as a factor necessitating the improvement of personnel marketing 26.46

Олексій Кашпур, Володимир Кочетков
Інтеграція штучного інтелекту в систему управління: виклики, можливості та моделі цифрової трансформації в публічному секторі 26.49

Олексій Кашпур, Анастасія Сімахова
Вплив цифрових технологій на трансформацію маркетингових стратегій у глобальному бізнес-середовищі 26.52

Р.В. Мельник, О.Я. Ярмолюк
Вплив маркетингового інформаційного забезпечення на бізнес-процеси сучасного підприємства 26.55

І.Г. Михальченко
Новітні технології контролю безпеки в аеропортах: можливості та виклики просування на ринку 26.58

T.S. Kaidashova, Olha Polous
Brand promotion strategies of an innovative companies in the context of digital transformation 26.62

О.О. Казанська, Р.Д. Падалко
Аналіз використання інструментів цифрового маркетингу в діяльності міжнародної авіакомпанії 26.65

Т.М. Хайдарова, І.М. Сабірова
Інновації маркетингу, які допоможуть посилити стратегію просування 26.69

27. Економіка та публічне управління в авіації

К.М. Стремінська, Н.В. Васюткіна
Управління операційними ризиками в діяльності підприємств: виклики та підходи до мінімізації 27.1

К.А. Руденко, І.С. Гращенко
Інформаційні системи і технології управління в інноваційній економіці 27.8

Р.Т. Баран
Проблеми колективних трудових спорів (конфліктів) в галузі авіатранспорту, правові моменти та пропозиції щодо їх мінімізації (на прикладі здійснення реструктуризації державного авіапідприємства «львівські авіалінії») 27.11

Tetiana Hohol
State regulation of the use of unmanned aerial vehicles 27.16

І.В. Бовсунівська, Г.П. Нестеренко
Авіаційний сектор і державна політика: сучасні тенденції управління 27.21

О.М. Горбачова, В.В. Німченко
Вплив цифровізації на процес врегулювання страхових випадків 27.25

Т.О. Сімкова, А.Р. Пікуза
Особливості формування собівартості послуг з перевезення вантажу автотранспортними підприємствами 27.29

К.В. Антоненко, Є.А. Сідак
Антикризове управління авіаційним підприємством 27.32

28. Сучасне управління та адміністрування: цифрові трансформації та моделі інноваційного розвитку

Alexander Holubchykov, Yuliia Vladyka
Mechanisms and organization of financial restructuring of banking institutions 28.1

О.В. Пономарьов, В.О. Савченко
Оцінка ризиків у проєктах розробки кіберспортивних платформ з використанням авіаційних симуляторів 28.4

О.В. Поліщук, О.В. Пономарьов
Трансфертне ціноутворення у міжнародних проєктних структурах: сучасні виклики, тенденції та підходи до регулювання 28.7

Г.Б. Мирошниченко, Б.А. Кацаненко
Особливості стартапу як інноваційного проекту 28.10

Ю.В. Керпатенко
Матеріально-технічне і фінансове забезпечення державної авіації у системі зміцнення обороноспроможності України 28.13

Я.В. Якубов
Особливості оподаткування операцій авіаційного лізингу та оцінки їх ризиків 28.18

Tetiana Koliada, Yuriy Prozorov
Modernization of institutional support for innovative development of Ukrainian industry 28.23

С.О. Криниця
Проблеми та перспективи цифровізації податкової та митної систем України 28.31

З.М. Побережна, Д.В. Мальнов
Розвиток автомобільної та залізничної транспортної інфраструктури в контексті економічного розвитку та безпеки 28.35

І.Б. Жиляєв
Стратегічне планування відновлення України: європейський та національний концепти 28.38

О.В. Ярошевська, В.І. Чобітько
Лізинг літаків у системі інвестування авіаційної галузі 28.42

О.Ю. Шевченко
Теоретико-методичні засади розробки довгострокових стратегій конкурентоспроможності брендів 28.47

О.С. Яцко, І.С. Гращенко
Оптимізація обробки даних в інтелектуальних інформаційних системах за допомогою технологій штучного інтелекту 28.51

А.Д. Семенюк, Г.В. Тельнова
Особливості функціонування процентного каналу трансмісійного механізму монетарної політики 28.54

Т.О. Гаврилко, В.О. Свобода
Перспективи розвитку ринку "зелених" облігацій 28.57

І.В. Шевченко, І.Є. Максютенко
Маркетингова модель створення авіа-ХАБу «Ужгород» 28.60

Ю.М. Коваленко
Специфіка венчурного фінансування інвестиційних проектів в авіаційній галузі 28.64

Ю.В. Середа
Інформаційно-комунікаційний механізм як чинник цифрової трансформації державного управління у сфері дорожнього будівництва 28.67

О.В. Олійник
Сталий розвиток і податкове регулювання: виклики та можливості для бізнесу 28.71

Ю.І. Дияк
Зелена цифровізація як стратегія управління інноваційним розвитком організацій 28.74

О.П. Назаренко
Проблеми економіки під час військового стану 28.78

O.Yu. Chernyshov
The impact of artificial intelligence on the transformation of business processes in Ukrainian enterprises 28.81

І.І. Афанас'єва
Обліково-аналітичне забезпечення управління виробничими процесами 28.84

В.Є. Командровська
Інтеграція штучного інтелекту в моделі управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній 28.87

29. Транспортні технології та логістика

V.O. Pankina, I.S. Hrashchenko
Development and prospects of transport logistics worldwide 29.1

Д.О. Бугайко
Підходи ІСАО щодо протидії ризикам безпеки польотів цивільної авіації в зонах збройних конфліктів 29.4

Л.М. Докієнко
Якість обслуговування пасажирів авіакомпанією: параметри та показники оцінювання 29.7

М.М. Семерягіна, К.М. Молчанова
Особливості цифрової трансформації в авіаційному бізнесі 29.12

С.І. Гриценко, О.М. Кожемякіна
Логістичні аспекти автотранспортних підприємств 29.15

Л.М. Докієнко, В.В. Марчук
Технологічна інтеграція у сфері мультимодальних перевезень 29.18

А.А. Лебеденко, О.М. Трюхан
Використання безпілотних авіаційних систем для забезпечення логістики в умовах війни 29.22

М.О. Кордяк, С.І. Гриценко
Цифрові трансформації в транспортних системах і логістиці 29.25

О.В. Кучмай
Методи забезпечення авіаційної безпеки в аеропорту 29.28

А.С. Помаз, С.І. Гриценко
Оптимізація транспортної логістики на основі супутникового моніторингу 29.32

А.О. Борох, С.І. Гриценко
Інфраструктура супутникових технологій 29.35

А.В. Мельник, Н.В. Мельник
Мультимодальні транспортні технології в контексті авіаційної транспортної стратегії України: досвід Польщі 29.40

Т.Г. Разінкіна, О.О. Самойлюк, А.В. Швець
Адаптація принципів стратегічного менеджменту корпорації TOYOTA у практику українських компаній задля забезпечення сталого розвитку 29.44

H.H. Volkovska, M. Varlamova, Y. Maiko
Challenges of organizing multimodal transportation under wartime conditions in Ukraine 29.48

V.H. Hrabchak, A.O. Antonova
Statistical analysis of the recovery of passenger transportation by Wizz Air airline for 2022–2024 29.52

M.O. Moroziuk, O.K. Katerna
Prospects for the development of multimodal transportation in Ukraine 29.56

S. Pron, I. Herasymenko, K. Payanok
Recovery of Air Traffic in Europe and the Impact of Flight Delays on Air Transport Efficiency 29.59

O.K. Katerna, Y.O. Ped
Integration of TMS and WMS information systems to improve the efficiency of multimodal transportation coordination 29.63

30. Сучасні аеропортові технології та експлуатація авіаційної наземної техніки

A.H. Dovhal
Electrospark coating for power plants elements of aircraft ground support equipment 30.1

O.A. Tamargazin
Modern problems of informatization of airport functioning 30.5

О.М. Білякович
Сучасні проблеми деайсингу та інноваційні шляхи їх вирішення 30.10

L.B. Pryimak
Thermal protection coatings for heat-stressed components of aviation ground equipment and internal combustion engines 30.15

В.І. Личик
Реалізація «концепції чистого літака» при наземному обслуговуванні в аеропортах 30.19

Л.В. Курбет
Перспективи модернізації авіаційної наземної техніки в Україні 30.23

О.В. Харчено, С.Д. Харченко
Інтегровані цифрові рішення для оптимізації функціонування аеропортів: смарт-менеджмент паливозабезпечення, вантажних терміналів та наземної інфраструктури 30.27

O.V. Kharchenko, S.D. Kharchenko
Heat- and wear-resistant coatings for protection and restoration of aviation components 30.30

A.O. Shyshka
Modern digital technologies of airports 30.33

31. Право та міжнародні відносини в умовах глобальних викликів сучасності

О.В. Колотуха
Геополітичні реалії в логістиці міжнародного туризму 31.1

І.П. Дерев'янко
Інструменти асиметрії міжнародних відносин 31.6

І.І. Набок, А.А. Мислік
Механізми міжнародного фінансування екологічних проектів в Україні 31.10

С.М. Мархонос, Н.П. Турло
Правові механізми взаємодії в туризмі 31.15

К.С. Степанчук, Р.О. Максимович
Захист жертв домашнього насильства в контексті євроінтеграційних зобов'язань України 31.18

Л.М. Побоченко, А.С. Дігтяр
Проблеми декарбонізації авіаційної галузі Європи 31.22

Л.М. Побоченко, В.В. Грігор'єва
Особливості застосування штучного інтелекту в авіації 31.26

А.А. Прокоп'єва, А.В. Єршов
Енергетична дипломатія в умовах геополітичних та екологічних змін 31.29

R.Yu. Ivanova
The Impact of International Financial Organizations on the Reform of Civil Aviation Infrastructure in Ukraine 31.35

Nataliia Vasylyshyna, Olexandr Nikishchenko
Crucial issues of international law in modern global world 31.38

І.С. Керекеша
Тероризм і міжнародна безпека в контексті глобалізації сьогодення 31.43

Л.М. Побоченко, Д.О. Мішина
Роль авіаційних перевезень в глобальному розвитку туризму 31.49

О.С. Довгаль
Імплементація стандартів IATA у процесі сертифікації для відновлення аеропортової інфраструктури України: сучасний підхід 31.52

O.M. Verkhovtsova, O.V. Kutsenko
Words of the Law: The Challenge of Translating International Legal Terms 31.55

М.Б. Офіцинська, О.Г. Бондаренко
Проблематика фіксації та документування DDos-атак в Україні 31.60

І.В. Осадчий
Оплата праці присяжних. Міжнародний досвід 31.63

А.П. Сапсай
Коаліція «Об'єднані експедиційні сили» як автономна структура колективної оборони в Європі 31.67

В.В. Рябченко
Допуск захисника до державної таємниці як умова ефективного захисту в кримінальному процесі 31.72

М.В. Луцький
Застосування міжнародного гуманітарного права в умовах збройного конфлікту: український вимір 31.75

K.Yu. Vodolaskova, S.G. Holovko
Regulatory Challenges and Practices of UAS Operations in the Vicinity of Major Airports: A Comparative Case Study of Boryspil and Barcelona-El Prat 31.79

О.І. Леуськ, С.Я. Лихова
Штучний інтелект і кримінальне право: нові виклики сьогодення 31.82

З.В. Пічкурова, А.А. Сасин
Трансформація зовнішньоекономічних відносин в умовах війни в Україні 31.85

З.В. Пічкурова, А.О. Левченко
Роль криптовалют у розвитку міжнародних економічних відносин 31.88

І.В. Поліщук
Міжнародно-правове забезпечення кібербезпеки у сфері цивільної авіації 31.92

А.А. Прокоп'єва, М.І. Алістратова
Криптовалюти як чинник трансформації сучасної фінансової системи: роль у розвитку смарт-авіації 31.97

Р.А. Калюжний
Право постмодерну в освітньому просторі: проблемні аспекти в контексті глобальних трансформацій 31.101

Є.П. Король, А.А. Кулеша
Договірний порядок авіаційного страхування в країнах ЄС: аналіз страхування відповідальності перевізника 31.106

Л.М. Побоченко, О.М. Власовець
Інтелектуальні транспортні системи та їх вплив на авіаційну інфраструктуру в контексті міжнародної економічної інтеграції 31.109

Є.М. Хомуська, *С.Я. Лихова*
Кримінально – правові аспекти захисту авіаційної безпеки у контексті новітніх загроз: від тероризму до кіберзлочинів 31.113

О.В. Герасименко, Н.О. Гольдберг
Застосування електронних доказів в кримінальному провадженні 31.117

О.Л. Малиш
Характеристика окремих видів адміністративних процедур органів місцевого самоврядування в Україні 31.120

Х.В. Кметик
Система національного законодавства України з питань ґендерної рівності у сфері сімейних правовідносин 31.124

Н.Ю. Волков, Т.О. Постнікова
Адаптація європейського досвіду партисипативної демократії на місцевому рівні: правові механізми та міжнародний контекст 31.128

С.В. Келип
Новації нормативно-правового забезпечення розбудови прикордонної інфраструктури україни як гарантії дотримання європейських стандартів охорони державних кордонів 31.131

32. Мовна підготовка фахівців авіаційної галузі

Н.І. Хайдарі, А.О. Давиденко, Ю.І. Ярошенко
Інноваційні технології у формуванні іншомовної компетентності майбутніх фахівців авіаційної галузі в умовах цифрової трансформації освіти 32.1

В.І. Базова
Особливості іншомовної підготовки персоналу з технічного обслуговування повітряних суден 32.5

O.P. Yashchuk, N.G. Denysenko
Language Training of Aviation Specialists in the Context of the ICAO NGAP (NEXT GENERATION OF AVIATION PROFESSIONALS) Concept 32.8

L.H. Tereminko
Analysing the research on future aviation industry specialists' foreign language training 32.12

Ю.Ю. Пришупа, Л.М. Конопляник, Н.І. Березнікова
Оптимізація іншомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців засобами цифрової комунікації в закладах вищої освіти 32.16

В.І. Шульгіна
Інформативність поліпредикативних конструкцій 32.20

O.V. Kovtun, A.A. Kovtun
Forming Professional Speech Competence in Future Pilots: The Role of the Context-Based Approach 32.25

В.А. Вишняк
Комунікативна компетентність технічних фахівців авіаційної галузі в зарубіжних країнах 32.28

Л.Г. Буданова
Стан підготовки фахівців зі спеціальності «Філологія» 32.32

Л.А. Халіновська, А.В. Сібрук
Вторинна семантизація авіаційних номенів (на матеріалі назв літальних апаратів) 32.35

O.M. Skipalska
Making English grammar painless for ESP students 32.38

O.M. Akmaldinova, L.V.Budko
Intercultural competence and multilingual communication in aviation training 32.41

O.O. Hurska
Modernising Aviation English education: approaches and technological innovations 32.45

33. Психологія безпечної експлуатації авіаційного транспорту

Л.В. Помиткіна
Психологічні фактори безпечної експлуатації авіаційного транспорту 33.1

О.М. Лич
Техніки здоров'язбереження внутрішньої стійкості фахівців військової авіації: короткий огляд 33.4

А.П. Ковальова
Стресостійкість як професійна компетентність фахівців цивільної авіації в умовах стресових ситуацій 33.8

Т.М. Савич
Особливості психологічної допомоги підліткам- військовим ліцеїстам з травматичним досвідом 33.13

Л.С. Яковицька
Психологічні ресурси розв'язання льотним екіпажем нестандартних ситуацій під час польоту 33.16

Д.А. Карпілянський
Психологічний феномен hardiness у контексті досліджень життєстійкості 33.20

Марина Дідух
Значення внутрішньоособистісного конфлікту в трудовому колективі 33.24

R.B. Adamanov
Psychological support of high-responsibility professionals in extreme conditions: the case of air traffic controllers 33.27

О.М. Горський
Психологічні особливості забезпечення професійної надійності оператора авіаційно-космічної ергатичної системи 33.31

O. Mezhenko
Time regulation development in professional training of future pilots: psychological and operational dimensions 33.35

34. Сучасні трансформації соціальних комунікацій

Ю.Г. Стежко
Тема штучного інтелекту в сучасному публіцистичному дискурсі 34.1

А.К. Стельмашов
Використання маніпулятивних технологій центральноєвропейськими медіа 34.6

Матвій Нечай
Використання каналів комунікації військовими під час російсько-української війни: специфіка та виклики 34.11

О.С. Мельникова-Курганова
Публічні та соціальні комунікації під час бойових дій та окупації в Україні 34.15

І.В. Прожога, К.В. Вовк
Арттерапевтична допомога внутрішньо переміщеним особам у контексті психосоціального відновлення 34.18

О.Є. Васьківська, А.О. Дейнега
Сучасний стан та перспективи розвитку крос-медійної журналістики 34.22

H.O. Maksymovych, T.V. Shulha
Transforming Aviation with AI: Safety, Sustainability, and Smart Operations 34.25

Є. Г. Кравченко
Виміри сучасного візуального контенту в українських медіа 34.30

С.С. Камалова, Є.Г. Кравченко
Телеграм-канал як журналістський інструмент популяризації культури харчування 34.35

35. Збройні Сили України в умовах сьогодення

М.О. Ярмольчик, К.С. Сидоренко
Утеплення огороджувальних конструкцій та енергоефективність будівель 35.1

С.В. Петренко, А.М. Веремеєнко, О.Ю. Волик
Удосконалення проведення практичних занять з первинними засобами пожежогасіння в Збройних Силах України 35.4

С.В. Петренко, М.О. Андрущенко
Альтернативні методи подачі вогнегасних речовин в небезпеченому середовищі 35.8

С.В. Петренко, М.О. Андрущенко
Тактика ПРП під час лісової пожежі в зоні бойових дій при обмежених ресурсах та загрозі обстрілу 35.11

Н.Р. Басалига, В.А. Кабаненко, Є.Г. Чугуй
Застосування снайперів 35.14

М.О. Ярмольчик, К.І. Кльок, В.В. Басанський
Створення мобільних запасів вогнегасних засобів для підвищення ефективності пожежогасіння в умовах воєнного часу 35.17

С.В. Петренко, М.А. Басараб
Взаємодії між ПРП та силами оборони: запорука безпеки в прифронтових регіонах 35.20

С.В. Петренко, М.А. Басараб
Взаємодія з ДСНС, громадами та силами оборони — запорука безпеки в бою 35.23

С.В. Петренко, А.В. Бєланова
Використання балістичного захисту пожежниками: необхідність та наслідки для здоров'я військовослужбовців 35.26

С.В. Петренко, А.В. Бєланова
Додаткові організаційні заходи щодо раціонального розподілення сил і засобів на пожежі 35.29

С.В. Петренко, А.Ю. Білоус
Маскування ПРП та спецодягу в умовах бойових дій 35.32

О.А. Стрепетова, А.Ю. Білоус
Взаємодія штатних ПРП з іншими екстреними службами під час надзвичайних ситуацій 35.35

М.О. Ярмольчик, Я.М. Гайдук
Модернізація системи опалення в багатоквартирному будинку 35.38

М.О. Ярмольчик, Н.В. Гурська
Модернізація пожежно-рятувальних підрозділів України в умовах війни: потреби, виклики та міжнародний досвід 35.41

М.О. Ярмольчик, Н.В. Гурська
Локальне бронювання як засіб підвищення безпеки пожежно-рятувальних підрозділів у зоні бойових дій 35.45

С.В. Петренко, Д.О. Онищенко, Я.О. Діденко
Роль збройних сил у забезпеченні національної безпеки та міжнародної стабільності у XXI столітті 35.48

D.V. Osadchuk, T.V. Dudar
Improving radiation safety in the combat zone 35.51

С.В Петренко, С.С. Єлева
Трансформація Збройних Сил України у контексті євроатлантичної інтеграції 35.56

І.П. Ковалевич, Б.К. Єлізаров, В.В. Сарнавський
Удосконалення підготовки пожежно-рятувального підрозділів та гасіння пожеж на спеціальних фортифікаційних спорудах та пунктів управління 35.60

Б.О. Плужніков, В. Ємельянов
Сучасні тенденції розвитку логістичного забезпечення військ 35.63

С.В. Петренко, О.А. Желдак, А.В. Борис
Проблеми впровадження техніки країн-партнерів у діяльності пожежно-рятувальни підрозділів 35.66

В.В. Стрінада, Д.А. Іщенко, В.С. Тучемський
Аналіз особливостей застосування ударних безпілотних літальних апаратів та їх вплив на характер бойових дій під час широкомасштабної агресії рф проти України 35.69

О.М. Сєченєв, В.А Кабаненко
Інновації в системах ПММ для армії: модернізація логістики та постачання на передовій 35.72

О.М. Сєченєв, В.А. Кабаненко
ПММ як основа для сталості оборони: чи вистачить ресурсів для довгострокових операцій? 35.75

Ю.Б. Добровольський, П.М. Кишка, В.В. Сисак
Аналіз ефективності високомобільних спецтехніки для реагування на НС в України 35.78

О.М. Сєченєв, Б.В. Корчевська
Енергетична залежність війська: роль пального (бензин/дизель) у бойовій ефективності ЗСУ та ризики забезпечення 35.81

Д.В. Лісафін, М.О. Слабінога, К.М. Лутченко
Методика визначення показників якості автомобільних бензинів за даними хроматографічного аналізу із застосуванням моделей машинного навчання 35.84

С.В. Петренко, А.В. Куйбіда
Дії ПРП під час повітряної тривоги при обмеженому доступі до водопостачання 35.91

О.А. Стрепетова, А.В Куйбіда
Ліквідація надзвичайної ситуації під час повторних ударів та нестачі ресурсів 35.95

Ю.Б. Добровольський, К.В. Кучмій, Д.С. Заріцький
Впровадження оператора БПЛА у склад пожежного розрахунок 35.98

О.Г. Водчиць, К.Є. Лазебник
Особливості експлуатації військових автомобільних доріг взимку 35.101

О.Г. Водчиць, С.А. Лободенко, Д.О. Доценко
Використання рукавів та стволів високого тиску в пожежогасінні 35.105

М.О. Ярмольчик, О.В. Любарська
Вибір матеріалів для м'якої покрівлі: переваги та недоліки 35.108

О.С. Поліщук, І.А. Степанюк, Є.В. Матус
Спілкування молодого офіцера з підлеглим особовим складом 40+ 35.111

О.С. Поліщук, А.О. Міняйло
Використання військово-транспортної авіації для забезпечення логістики тилу в умовах бойових дій 35.114

О.В. Сєченєв, М.С. Муромець, Д.О. Міщенко
Вибір зварювального обладнання для ремонту технічних засобів служби пального в польових умовах 35.117

М.В. Гудков, А.І. Невеський
Підвищення якості процесу підготовки передових авіаційних навідників 35.121

О.А. Стрепетова, І.І. Чуп
Технологія гасіння магнієвих сплавів 35.129

О.А. Стрепетова, І.І. Чуп
Європейський досвід контролю пожежної безпеки 35.132

С.В. Петренко, К.В. Омельченко
Роль сучасних збройних сил у забезпеченні глобальної та національної безпеки 35.135

С.В. Петренко, М.М. Панюта
Особливості гасіння пожеж і захисту особового складу в умовах артилерійських та балістичних обстрілів 35.139

С.В. Петренко, М.М. Панюта
Особливості гасіння пожеж і захисту особового складу в умовах артобстрілів 35.142

С.В. Петренко, О.І. Романцова
Моніторинг повітряного простору та інформування ПРП про повітряну загрозу 36.146

С.В. Петренко, О.І. Романцова
Технічні й організаційні рішення щодо захисту особового складу та автоцистерн під час виконання бойових завдань 35.149

М.Є. Пилипенко
Удосконалення маскування пожежно-рятувальної техніки 35.152

М.Є. Пилипенко
Удосконалення комплектування пожежних автомобілів переносними лафетними стволами 35.155

Д.А. Осташко, С.О. Петриченко
Мультикоптери проти танків: як дрони змінюють концепцію бронетехніки 35.158

О.М. Сеченєв, Є.В. Пилипенко
Застосування сучасних резервуарів на складах пального 35.162

В.Б. Ільчишин, С.О. Редько
Становлення Збройних Сил України в умовах незалежності, економічних та політичних викликів 35.165

В.Б. Ільчишин, С.О. Редько
Застосування кріогенних технологій для охолодження сховищ боєприпасів з метою підвищення пожежної безпеки 35.168

С.В. Петренко, Д.В. Саміленко, Д.В. Попова
Особливості гасіння пожеж на літальних апаратах іноземного виробництва в Збройних силах України 35.171

Ю.Б. Добровольський, К.О. Сарапин
Організація авіаційних військових перевезень в умовах воєнного стану: виклики та шляхи їх покращення 35.174

С.В. Петренко, М.В. Сітніченко
Винаходи українських військових у війні проти росії: інновації на фронті 35.178

О.Г. Водчиць, А.Ю. Сотніченко, А.О. Родак
Розосередження особового складу під час гасіння пожежі в умовах обстрілів 35.181

А.І. Станецький, Р.Є. Романів, В.В. Ніщук
Заходи розосередження запасів пально-мастильних матеріалів, технічних засобів та майна служби пального 35.184

О.М. Сєченєв, К.А. Супрун
Збройні сили у сучасному світі: ПММ на війні та як забезпечується мобільність ЗСУ 35.188

О.А. Стрепетова, Д.В. Тищук
Розробка заходів з підвищення пожежної безпеки в умовах російської агресії у військовій частині 35.191

О.А. Стрепетова, Д.В. Тищук
Впровадження переобладнаного Mercedes-Benz Sprinter у війська для підвищення ефективності пожежогасіння та обґрунтування його доцільності 35.194

М.О. Ярмольчик, С.І. Юрченко
Модернізація системи навчання та підвищення кваліфікації особового складу пожежно-рятувальних підрозділів 35.197

М.О. Ярмольчик, С.І. Юрченко
Розробка та удосконалення засобів навчання і підготовки особового складу пожежної безпеки (пожежно-рятувальних підрозділів) 35.201

І.В. Мороз, Б.В. Швець
Формування лідерських якостей майбутніх офіцерів 35.204

О.О. Кулибаба, І.В. Мороз
Поняття феномену військового лідерства 35.208

І.В. Мороз, В.К. Тястов
Мотиви військового лідера до навчання військовослужбовців 35.212

О.К. Луценко, О.М. Коротенко
Роль захисних укриттів у збереженні боєздатності авіаційних частин: досвід та перспективи 35.216

О.К. Луценко, В.Ф. Нестеренко
Концепція лабораторії ACN PCN на аеродромах Збройних Сил України 35.219

О.М. Дубик, Б.В. Макуха
Сучасні матеріали з підвищеною стійкістю до ударних навантажень для будівництва захисних споруд аеродромів 35.222

Б.В. Макуха
Інноваційні технології швидкого відновлення злітно-посадкових смуг в умовах активних бойових дій 35.225

А.В. Шульга
Проблематика виявлення та знищення цілей ПС ЗСУ 35.229

Г.Є. Чугуй, А.А. Гроссу
Основи слідопитства 35.235

Д.В. Чміль
Розвідувальний дрон DJI MAVIC 3T для виявлення пожеж в військових частинах 35.238

Ю.Б. Добровольський, К.В. Конєв, Р.Є. Доній
Організація гасіння ландшафтних пожеж поблизу населених пунктів у бойовій зоні: виклики та дії командування 35.241

В.А. Кульбашевський, О.О. Максимчук
Військова логістика Збройних Сил України під час війни: ефективність, проблеми та вплив міжнародної підтримки 35.244

А.Ф. Волков
Трансформація збройного протиборства в повітрі 35.247

В.В. Мельник, П.В. Опенько
Формування методики прогнозування довговічності радіоелектронного обладнання повітряних суден за результатами експлуатаційних спостережень 35.250

В.В. Мельник, П.В. Опенько
Метод лінійної регресії як метод прогнозування процесу змін технічного стану радіоелектронного обладнання повітряних суден 35.255

В.В. Мельник, П.В. Опенько
Математичні моделі процесу зміни технічного стану радіоелектронного обладнання повітряних суден за результатами експлуатаційних спостережень 35.260

UDC 799.324.4:553.6.013.12(045)

B. Blocken
(Heriot-Watt University, United Kingdom & KU Leuven, Belgium)

The javelin: How a sports object is the most difficult test case for surface-to-air and surface-to-surface missiles

Javelin throwing was already part of warfare in Ancient Egypt. Later it entered the Ancient Olympics in Greece. Throughout the past centuries, the javelin has remained one of the most difficult aerodynamic objects to assess in either wind tunnels or by numerical simulation with computational fluid dynamics (CFD). Nevertheless, it has inspired ground-launched missiles including the FGM-148 Javelin or Advanced Anti-Tank Weapon system-Medium. This short paper sheds some light on the challenges of accurately assessing javelin drag and lift coefficients by wind-tunnel testing and CFD simulations.

Introduction

The javelin has been described as an offensive weapon that was already used by the Ancient Egyptian Military [1]. Later, like other elements of warfare, it entered the Olympics in Ancient Greece [2]. Today, in sports, different types of javelin exist. Two common types are the pointed-nosed and blunt-nosed javelin (Fig. 1). The javelin can be considered as a generic model for elongated aerodynamic projectiles launched from surface to air of from surface to surface, in a similar way as the circular cylinder is considered as a generic model for non-aerodynamic, i.e. bluff body, obstacles in cross-flow. In spite of the extensive body of openly published scientific research on experimental and CFD assessment of the flow around the circular cylinder, the openly published scientific research on the javelin, while very valuable, is exceptionally limited and not entirely conclusive [3,4]. The aerodynamic behaviour and the flight of javelins can be studied by four different methods: (i) real throw events; (ii) canon events; (iii) wind tunnel tests; and (iv) numerical simulation with computational fluid dynamics (CFD).

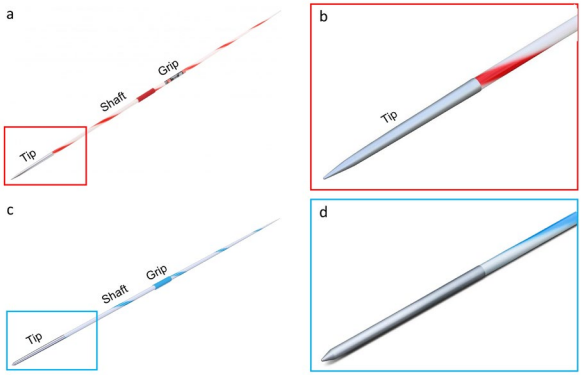


Fig. 1. Two types of javelin: (a,b) Point-nosed versus (c,d) Blunt-noised javelin.

Real throw events involve an athlete performing a run-up up to or close to the launch line and then releasing the javelin at a given angle of attack and release speed. Typically the athlete also generates some spin on the javelin. The main limitation of real throw events is that they are not very well reproducible: every throw will be slightly different, as can be very well seen from actual competitions in which the athletes perform several throw attempts. Canon events imply launching a javelin from a canon, thereby strongly improving the repeatability of launch events in a certain time span. Canon events however do not exert spin on the javelin and therefore deviate from real javelin throwing, while leaning closer to the javelin launched as a missile, rather than a sports object. Wind tunnel testing of javelins is very challenging, as the clamp to fix the javelin in the wind tunnel will easily have a drag coefficient that is larger than that of the javelin itself. A creative and very noteworthy solution for this has been provided by Seo et al. [4], however, their CFD results seem very much out of line compared to those of the present paper. Finally, CFD simulations are challenging as well, given the slender shape of the javelin, the complexity of separation at the nose and boundary layer transition along the shaft and grip.

To study javelin aerodynamics in further detail, we performed wind tunnel testing and CFD simulations for two different javelins, which are identical except for the point: javelin A is pointed-nosed and javelin B is blunt-nosed. To the best of our knowledge, this is the first open published detailed CFD – wind tunnel study on javelin aerodynamics providing all the details – either in this paper or on request.

Methods

Wind-tunnel tests were performed in which the javelins were mounted on a horizontal elevated sharp-edged smooth plate to limit boundary layer development over the plate. Measurements of the drag and lift coefficients were made with wind speeds up to about 25 m/s with turbulence intensity of about 0.3% for the angles of attack that occur during flight, i.e. from 0° to about 30°. A critical element towards the accuracy of the wind-tunnel measurements was the mounting of the clamp inside the shaft of the javelin, rather than on the outside. With the clamp at the outside, the air resistance by the clamp itself was larger than that of the javelin without clamp.

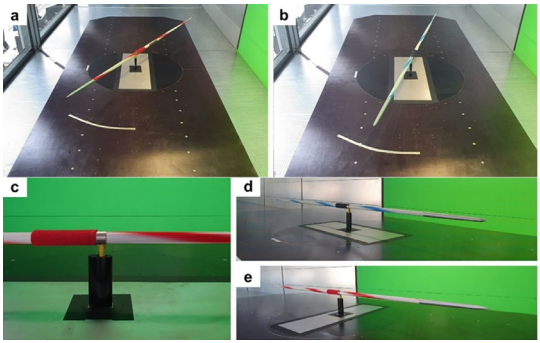


Fig. 2. Point-nosed javelin in the wind tunnel, with clamp inside the javelin shaft.

Next, CFD simulations were made on computational domains with high-resolution computational grids with y+ values equal to about 1 (Fig. 3-5). The Reynolds-averaged Navier-Stokes equations closed by a wide variety of turbulence models were solved. This included the standard, realisable and RNG k-ε models, the standard k-ω model, the SST k-ω model, the Transition SST k-ω model, the k-kl-ω Transition model and the Baseline k-ω model. The pseudo-transient formulation was adhered to, with a time step of 0.01 s, while discretisation schemes were second order throughout.

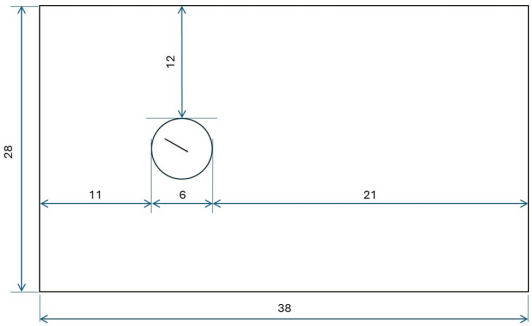


Fig. 3. Computational domain of javelin at angle of attack of 30°. Dimensions in m. Flow inlet on the left side, flow outlet on the right side.

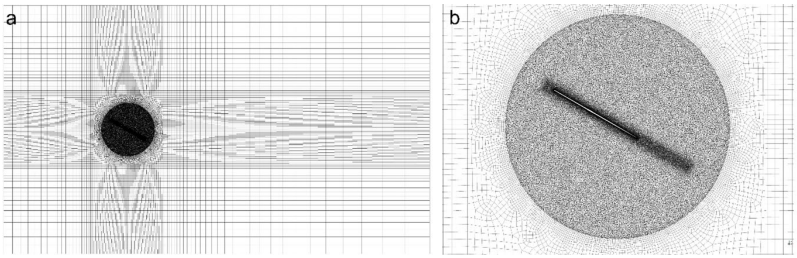


Fig. 4. Computational grid in the vertical centreplane of the domain, for the javelin at angle of attack of 30°.

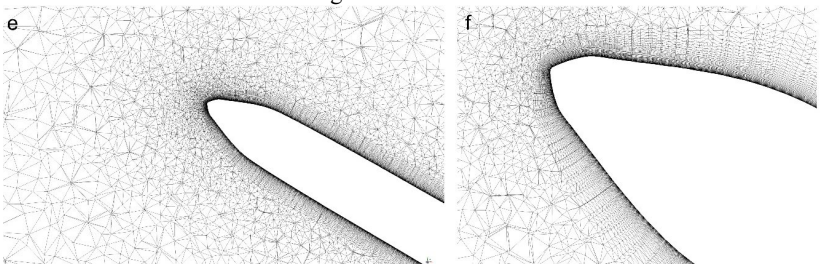


Fig. 5. Detail of computational grid in the vertical centreplane of the domain, for the javelin at angle of attack of 30°.

Results

Evaluating the results by the CFD simulations and the wind tunnel tests in terms of drag and lift coefficients provided very large numerical-experimental deviations in both coefficients in the order of 10 to 40% deviation. Apparently, the only turbulence model tested that provided accurate results was the Baseline k-ω model, which actually provided CFD results very close to those by the wind tunnel. The search for the specific reasons is currently ongoing. Figure 6 compares CFD (baseline k-ω) and wind tunnel results of the drag and lift area of both javelins, indeed showing a remarkably good agreement.

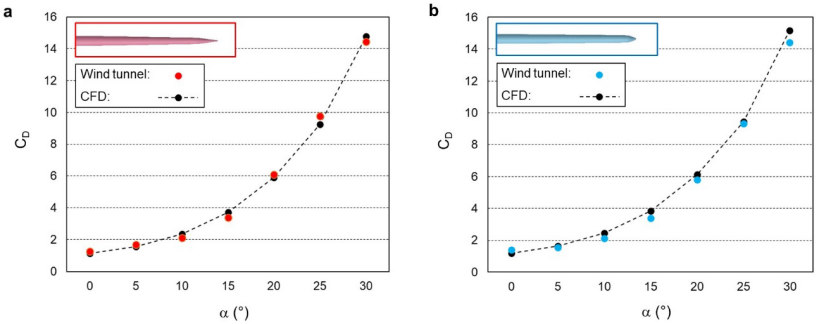


Fig. 6. Comparison of drag coefficient as obtained from wind tunnel measurements and CFD simulations.

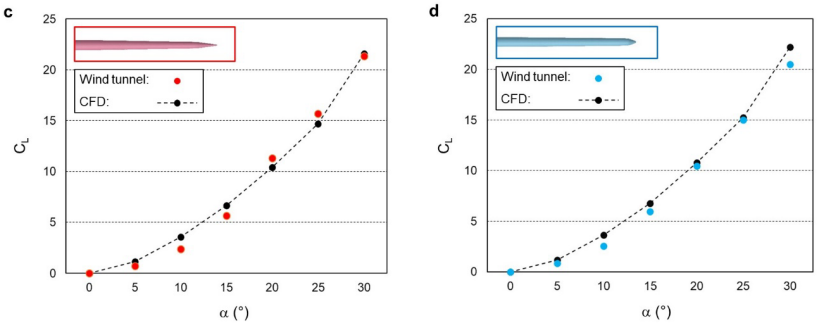


Fig. 7. Comparison of drag coefficient as obtained from wind tunnel measurements and CFD simulations.

Figure 8 shows how the drag coefficient and Figure 9 how the lift coefficient is composed of the individual contributions by javelin tip, grip and shaft, which are data that can only be obtained by CFD simulation, not by the wind tunnel measurements. It

is clear that the largest drag and lift contributions result from the shaft, which constitutes the largest part of the javelin. Figure 10 shows the contributions to the moment coefficient, which is important because it decides how the javelin is turned downwards towards the Earth's surface during its flight. Figure 10 clearly shows that the javelin with the blunt nose has a larger moment coefficient C_M that resists the downward yawing moment. Nevertheless, Figure 8 does show that the blunt nosed javelin has a slightly higher drag coefficient. So which javelin flies the farthest, will really depend on the launch and meteorological conditions. But not as *bluntly* as stated by Dick Held, the inventor of the blunt nosed javelin, who argued it would be the best javelin in tailwind conditions, later admitting he just made up this story in order to boost his sales, as stated by Hatton [5].

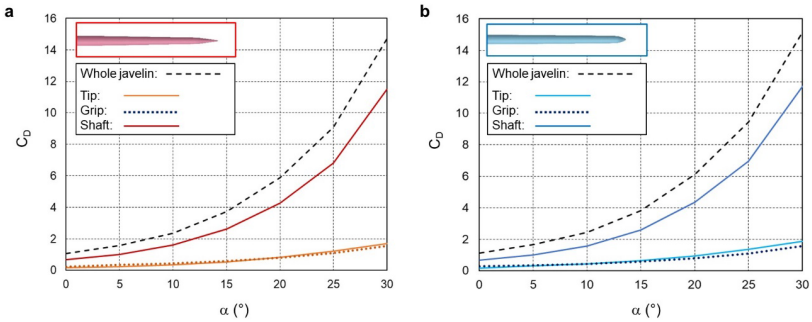


Fig. 8. Contributions to the drag coefficient as obtained from CFD simulations.

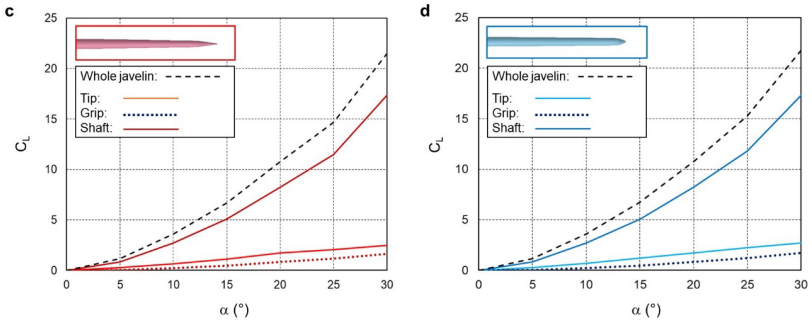


Fig. 9. Contributions to the lift coefficient as obtained from CFD simulations.

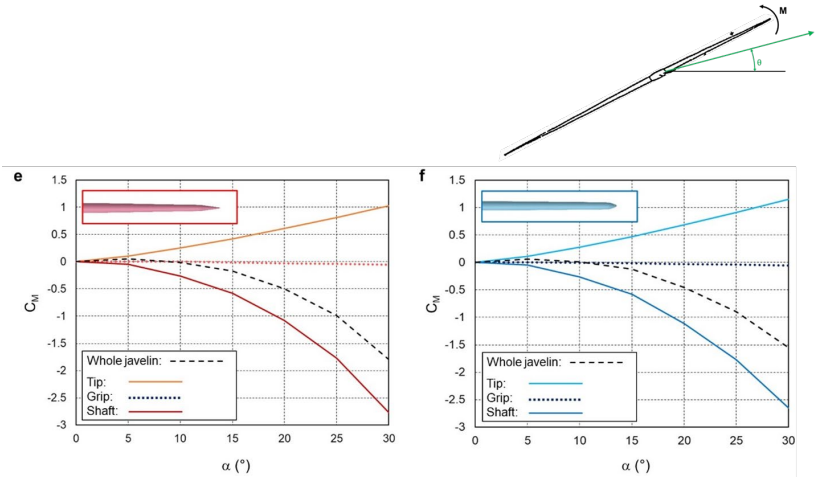


Fig. 10. Contributions to the moment coefficient as obtained from CFD simulations.

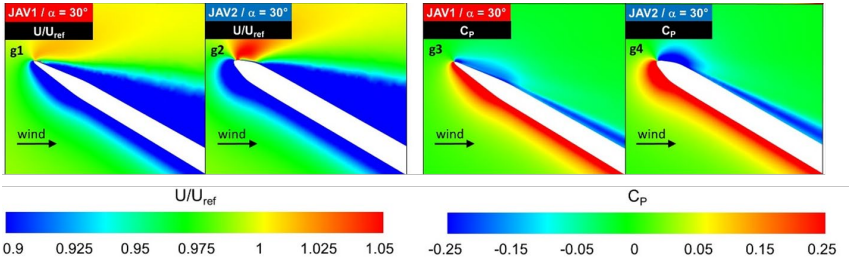


Fig. 11. Contributions to the moment coefficient as obtained from CFD simulations.

Figure 11 demonstrates why the blunt nosed javelin has a larger upward yawing moment. It is directly related to the separation at the top of the point of the javelin, creating a large separation bubble there with larger suction, hence lifting this tip up and thereby reducing the downward yawing moment.

Discussion and conclusions

To the best of our knowledge, this is the first openly published paper on accurate wind tunnel measurements and CFD simulations that systematically agree with each other with very close agreement. The javelin is a very aerodynamic and slender object, and, like the circular cylinder, it encompasses a wide range of salient flow features that are also present in many flows around similar objects such as surface-to-air and surface-to-surface missiles. Wind tunnel testing is challenging because of the very low aerodynamic resistance of the javelin itself compared to its clamp, while CFD

simulations are challenging because of their required very high grid resolution capturing flow separation and boundary layer transition. These challenges might overarch the challenges confronted with similar objects with higher diameter-to-length ratio, and their possible use as surface-to-air or surface-to-surface missiles.

References

1. Rawlinson G. 1882. History of Ancient Egypt. Cassino S.E., pp. 474–475.
2. Remijsen S, Clarysse W. Ancient Olympics. http://ancientolympics.arts.kuleuven.be/ – KU Leuven, Retrieved on 2 April 2025.
3. Chowdhury H, Alam F, Muscara A, Mustary I. 2013. An experimental study of new rule javelins. 6th Asia-Pacific Congress on Sports Technology (APCST). Procedia Engineering 60: 485-490.
4. Seo K, Okuizumi H, Konishi Y, Kobayashi T, Hasegawa H, Obayashi S. 2023. Measurement of aerodynamic force and moment acting on a javelin using a magnetic suspension and balance systemScientific Reports 13: 391.
5. Hatton L. 2005. Optimising the javelin throw in the presence of prevailing winds. Note of the Faculty of Computing, Information Systems and Mathematics, University of Kingston.

UDC 623.5.629.7.533.6

P.C. Melo, O.A. Shynkarenko, PhD
(Federal University "University of Brasilia", Brazil)

Study on the Aerodynamic Performance of a 105 mm Artillery Projectile: A Numerical Analysis

The research is devoted to a novel approach to estimating the aerodynamic performance of artillery projectiles based on CFD methods applicable to modeling solid-fluid interaction in sub-, trans, and supersonic regimes. Two-dimensional analysis of equilibrium and non-equilibrium rotating flows around aerodynamic objects showed variation of the drag coefficient with projectile deceleration during its flight. The obtained methodology is extended to a projectile with base bleed technology for range extension.

Introduction

Predicting the precise trajectory of artillery projectiles is essential in defence mission planning. High-fidelity 6 DoF trajectory solvers require accurate data on aerodynamic coefficients obtained experimentally or with numerical analysis.

Accurate prediction of artillery projectile trajectories relies heavily on precise aerodynamic coefficients, particularly the drag coefficient (C_D), across the full range of flight Mach numbers [1]. CFD has become indispensable for obtaining these coefficients, complementing or sometimes replacing costly experimental methods [2]. For projectiles, especially those operating in transonic and supersonic regimes, capturing the complex flow physics, including shock wave formation, boundary layer interaction, and potentially base flow phenomena (like Base Bleed), is critical [2, 3].

Studies on blunt bodies, which share some aerodynamic features with projectiles like dominant pressure drag, highlight the necessity of viscous flow modeling with Navier-Stokes equations and appropriate turbulence closure, as inviscid models can significantly underestimate drag [4, 5]. The k-ω SST model is frequently employed due to its robustness in handling adverse pressure gradients and boundary layer separation common in these flows [5, 6]. Research on blunt bodies has utilized both 2D axisymmetric swirl models and full 3D simulations, demonstrating that while 3D captures more detailed flow physics (like lateral forces), 2D approaches can provide reasonably accurate drag predictions with significantly reduced computational cost, making them suitable for initial design and parametric studies [4].

The obtained aerodynamic data, often presented as $C_D = f(M)$, serves as crucial input for trajectory simulation models, typically based on integrating Newton's equations of motion [1, 7]. While trajectory recovery and analysis are common goals [4, 7], the foundational step remains the accurate aerodynamic characterization of the specific projectile geometry across its operational envelope, which is the primary focus of the present work on the projectile.

This investigation into the aerodynamic performance of a 105 mm Base Bleed (BB) artillery projectile contributes directly to the collaborative research project “Aerothermodynamic modeling, development of propellants, avionics, and experimental tools for testing extended-range projectiles and rockets." A primary

motivation of this overarching project is to develop a validated numerical capability for understanding the interplay between external aerodynamics and BB propellant combustion effects on projectile range. The present work serves as a crucial foundational step, focusing on establishing an accurate baseline aerodynamic simulation for the 105 mm projectile geometry. Key objectives include optimizing the computational setup (domain, mesh, solver settings) to minimize runtime while ensuring high-quality drag coefficient and flow parameter predictions. This optimization is essential preparation for planned future studies coupling this aerodynamic model with BB combustion simulations and extending the analysis to three dimensions, non-axisymmetric flight conditions, and trajectory calculations, ultimately enhancing the predictive power for these advanced munition systems.

Methodology

Fluid flow simulations of a 105 mm projectile were conducted using the Ansys Fluent solver to calculate the drag coefficient at various flow velocities, ranging from Mach 0.1 to 2.0. Additionally, other flow parameters such as velocity, density, pressure, and vorticity at the base of the projectile were analyzed to compare their values and behaviors with future simulation results for the projectile equipped with BB fuel.

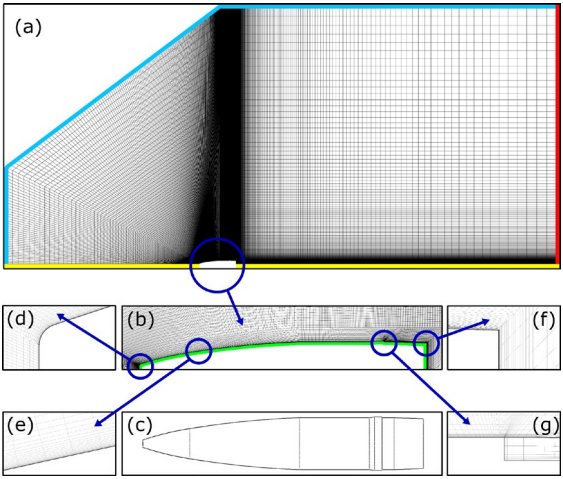


Fig. 1. Computational domain and mesh: a - overall view (blue - velocity far field, red - pressure outlet, yellow - axis), b - projectile mesh (green - wall), c - projectile shape, d - nose, e - ogive, f - base, g - driving band.

The simulation case was modeled as a two-dimensional axisymmetric flow field, utilizing the energy equation and the k-ω SST turbulence model with second-order solvers to accurately simulate the turbulent and compressible flow around the 105mm projectile. The solver is pressure-based for Mach numbers less than 0.9 and density-based for Mach numbers approaching or exceeding 0.9. The boundary

conditions, illustrated in Figures 1a and 1b, include a velocity inlet (shown in blue), an axis of symmetry (in yellow), a pressure outlet (in red), and the wall of the 105mm projectile (in green). The model choice and detailed convergence analysis were studied in [4].

The calculation domain consists of two geometries with similar shapes. The first geometry is for subsonic and transonic regimes, covering Mach numbers from 0.1 to 1.4. Its dimensions, measured in calibers, are 47.7 at the back of the projectile, 28.6 at the front, and 38.2 in the radial direction, as shown in Fig. 1a.The second geometry has a volume that is 63.8 times smaller and is designed for the supersonic regime, specifically for Mach numbers ranging from 1.5 to 2.0. It focuses on analyzing the flow within the supersonic shock wave. Both geometries include an inner section that extends 0.3 calibers beyond the perimeter of the projectile (see Fig. 1b). This area features a higher mesh resolution to ensure that the non-dimensional wall distance $y^+ < 0.5$ across all flow regimes, allowing for accurate computation of boundary layer phenomena. A structured mesh approach was utilized, and a mesh convergence analysis was conducted, resulting in final meshes containing 95,000 nodes for the larger and 51,000 for the smaller geometry.

The initial simulation conditions were established with a constant free-stream velocity in the computational domain. To analyze convergence, we monitored the stability of the drag coefficient. Typically, in the transonic regimes, C_D fluctuated around its average value, which was subsequently used as the result of the simulations.

Results

The modern projectile geometry (see Fig. 1c) was simulated using meshes similar to those in Fig. 1a.

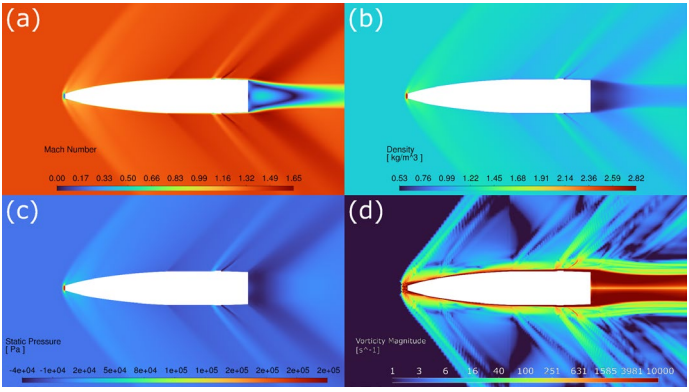


Fig. 2. Flow fields for M_∞=1.4: a - Mach number, b - density, c - static pressure, d - vorticity magnitude.

We varied the free stream Mach numbers from 0.1 to 2.0 and adjusted the size of the computational domain, as previously described, to achieve a stable solution. Figure 2 illustrates the flow fields around the projectile at a free stream Mach number

of 1.4. The shockwaves produced by the projectile's surface and the expansion regions account for most of the drag force, contributing approximately 80-85%. In contrast, only 15-20% of the small percentage comes from shear stress forces, contributing to skin friction drag. However, the impact of the turbulence model cannot be overlooked, as it is essential for the further development of the BB reaction mechanism, which will be added in the future. Evaluating vorticity magnitude in supersonic CFD simulations is crucial for understanding the complex aerodynamic behavior of artillery projectiles, as it quantifies the local fluid rotation induced by shock-wave interactions, boundary layer separations, and wake turbulence. Regions of high vorticity directly correlate with increased drag, heat transfer, and aerodynamic instabilities, significantly affecting projectile trajectory and stability. Accurate analysis of vorticity magnitude allows optimization of aerodynamic designs and assessment of technologies such as base bleed, ultimately ensuring more precise predictions of projectile performance across various Mach regimes. Fig. 3 presents the simulation results of a modern projectile alongside experimental results for a comparable "classical" projectile [9]. As illustrated, both types of projectiles exhibit similar behavior in terms of C_D.

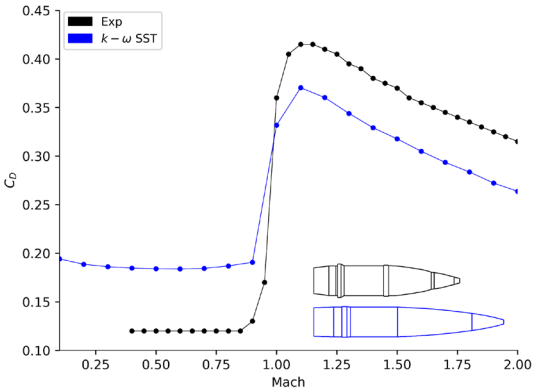


Fig. 3. Simulation results of a modern projectile (blue) compared with a classical geometry (black).

Specifically, it remains low at subsonic velocities, experiences a sharp increase in the transonic region, and decreases in the supersonic range as the Mach number increases. The shape advantage of modern projectiles is particularly evident at supersonic speeds, where they experience a significant reduction in drag of nearly 15%, thereby extending their flight distance. Additionally, these projectiles are designed with increased length to accommodate the integration of a base bleed engine.

Conclusions

The numerical methodology effectively captured the aerodynamic behavior of a 105 mm artillery projectile across all flight regimes, accurately modeling shock waves, boundary layer separations, and wake turbulence. The simulations highlighted

a significant aerodynamic advantage for modern projectile geometries, particularly in supersonic conditions, achieving nearly a 15% drag reduction compared to classical designs. This CFD approach provides a reliable, cost-effective basis for further optimization and more complex aerodynamic analyses.

Acknowledgments

The authors would like to acknowledge the CAPES Program PRO-DEFESA V, grant number 88887.958846/2024-00, and the National Council of the Research and Development of Brazil (CNPq), grant number 405499/2022-1, for their financial support of the research project.

References

1. M. Akçay, (2004). Development of Universal Flight Trajectory Calculation Method for Unguided Projectiles. Turkish J. Eng. Env. Sci., Tubitak.

2. J. D. Anderson, (2017). Fundamentals of Aerodynamics, 6th ed., ser. Aeronautical and Aerospace Engineering. McGraw-Hill Education.

3. A. I. Ruban, (2017). Fluid Dynamics: Part 3 Boundary Layers. Oxford University Press. ISBN: 9780199681754.

4. G. S. Borges, O. Shynkarenko, P. C. de Melo, W. S. da Macena, and G. C. A. Silva, (2023). "Numerical and Experimental Analysis of Rotating Blunt Bodies Trajectory at Sea-Level Conditions," Proceedings of the 27th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2023), Florianópolis, SC, Brazil, Dec. 04-08, Paper COB-2023-1906.

5. J. E. Bardina, P. G. Huang, and T. J. Coakley, (1997). Turbulence Modeling Validation, Testing, and Development. Technical Report, NASA, National Aeronautics and Space Administration, Moffett Field, California.

6. P. Rollet-Miet, J. Ferziger, and D. Laurence, (1999). "LES and RANS of turbulent flow in tube bundles," International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 20, no. 3, pp. 241–254. doi: 10.1016/S0142-727X(99)00006-5.

7. Z. L. Deng, Q. Shen, J. S. Cheng, and H. Y. Wang, (2020). "Trajectory estimation method of spinning projectile without velocity input," Measurement, vol. 164, p. 107831. doi: 10.1016/j.measurement.2020.107831.

8. Y. Xu and F. Dong, (2022). "Ballistic and Aerodynamic Characteristics Simulation for Trajectory Correction Projectile," Mechanika, vol. 28, no. 5, pp. 314-321. doi: 10.5755/j02.mech.31431.

9. R. L. McCoy, "Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles", Schiffer Books, Atglen, PA, 1998.

УДК 532.5.;551:465

Павло Лук'янов, к.ф.-м.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вихрові течії в авіації: синергетичний аналіз існуючих моделей та напрями подальших досліджень

Здійснено аналіз сучасних досягнень в області аналітичного моделювання вихрових течій та вказано на невирішені ще проблеми. Сформульовані шляхи подальших досліджень.

1. Узгодження моделей вихрових течій із фундаментальними законами природи.

Наукові дослідження ніколи не закінчуються. Але їх особливістю є закон "спростування спростування". Простими словами, дослідник, впевнений в якихось результатах, може вже завтра спростувати їх. Бо кожна нова задача (проблема) і її розв'язання приносить нове знання.

Автору цих рядків відмовляли у публікації критичних статей в провідних світових наукових журналах. Наприклад, в журналі Physics of Fluids. То у чому ж річ? А в тім, що нажаль більшість дослідників свято вірить у абсолютну правоту відомих вчених. Але, сподіваюсь, що Читач має мужність і бажання відійти від помилкових ідей.

В роботі [1] було чітко доведено, що вихори не можуть мати нескінчені розміри, бо це суперечить закону збереження енергії. Час утворення вихору в авіації – долі секунди. Протягом такого малого часу літак не здатний передати повітрю кількість руху, яка б відповідала нескінченій кінетичній енергії. Інакше закон збереження енергії можна спростувати. Чого ще ніхто не зробив. І ніколи не зробить.

Другий, вкрай важливий аспект вихрових течій – це те, що вони всі, за виключенням квазітвердотільного обертання, є в'язкими. В роботі [1] також показано, що вихрова течія, що відповідає моделі точкового вихра та периферії вихра Ренкіна є в'язкою. Дуже довго автору цих рядків прийшлося переконувати тих, хто свято вірив в обернене. Але обґрунтуванням можливості існування вихрової течії скінчених розмірів стало відкриття в монографії Бетчелора [2] пояснення механізму само балансу єдиної сили – сили в'язкості. Саме специфіка розподілу обертальної складової швидкості в вихрі дозволяє цій течії бути компактною. Таким чином, поважний Читач отримав пояснення того, на підставі яких фізичних механізмів відбувається концентрація завихрення.

Є ще одна цікава фізична деталь: при прямолінійному русі усі точки літака мають лише одну, прямолінійну, складову швидкості. То скажіть, будь ласка, як, не порушуючи фундаментальний закон про збереження кількості руху, може генеруватися інша складова швидкості, завихрення тощо? Відповідь є дуже простою [3]: сумарне завихрення має бути рівним нулеві. Отже, якщо ми, у будь який момент часу порахуємо повне завихрення течії, то маємо отримати нуль.

Зрозуміло, що наведена вище інформація є не лише філософією, а має використовуватися при чисельному і аналітичному моделюванні вихрових течій, що генеруються рухом літака чи іншого тіла.

2. Синтез нових ідей як результат розв'язання нових задач.

Механіка рідини та газу, безперечно, є однією з найскладніших галузей фізики і науки в цілому. Більшість задач в цій науці розв'язується лише чисельно. Але навіть не в цьому складність цієї науки. Вихрові течії виникають під час взаємодії двох фаз – рідкої (повітря) та твердої (поверхня літака). Саме в'язкість у примежовому шарі є одним із фізичних механізмів передачі кількості руху від літака до повітря. І ось, уявіть собі, шановний Читач, що саме в цій області знань панує повний безлад. При розв'язанні задачі про область розвитку течії [4] стало зрозумілим, що умова повного і миттєвого прилипання частинок рідини їде у супереч із законами фізики. Так, вважається, що частинки повітря миттєво прилипають до поверхні літака і, у такий спосіб, гарантують дуже зручну для математики умову повного прилипання рідини до поверхні тіла. Отже, протягом нульового часу і нульовій відстані частинки повітря набувають швидкостей у сотні, а то і тисячі, метрів за секунду. Та де взяти нескінчену силу? Звісно, її немає.

3. Синергетика як спосіб отримання нових знань.

То що ж нового, задасть питання шановний Читач, пропонується в цій короткій роботі. Оглядаючись назад, переосмислюючи накопичені знання, слід відмітити, що умова часткового прилипання в області розвитку течії має всі шанси бути покладеною за основу при розробці подальших моделей зародження та утворення вихрових течій, які генеруються під час польоту літака (і русі тіла в рідині). У якості шляхів подальших досліджень слід відзначити:

- розробку фізично обґрунтованої теорії часткового ковзання, яка дозволить визначати довжину області розвитку течії;
- використання цієї теорії при аналітичному описі зародження і розвитку вихрових течій: не нехтування тертям і не виконанням умови повного прилипання, а саме беручи до уваги фізичний механізм часткового ковзання.

На завершення, слід зазначити, що в механіці рідини та газу дуже багато ще так званих білих плям. Прикладом може бути нещодавно захищена дисертація [5], де чітко вказано на ряд помилкових тлумачень стосовно моделей ламінарного примежового шару нестисливої течії рідини.

Список літератури

1. Lukianov P.V., Song L. Compact analogs of the models of vortex flows generated by aircraft flight. // Aviatsiyno-kosmichna tekhnika i tekhnolohiya. 2023 -- №5(191). P. 4-20. doi: 10.32620/aktt.2023.5.01

2. Batchelor, G.K. An introduction to Fluid Dynamics. -- Cambridge: University Press, 1967. -- 615 p.

3. Beckers, M., Verzicco, R., Clerx, H.J.H., and van Heijst, G.J.F. Dynamics of pancake-like vortices in a stratified fluid: experiments, model and numerical simulations. //*J. Fluid Mech.* 2001.-- Vol. 433. P. 1-27.

doi:10.1017/S0022112001003482

4. Lukianov P.V., Song L. Flow development region in the boundary layer: two-component molecular viscosity and paertial slip. // Aviatsiyno-kosmichna tekhnika i tekhnolohiya. 2023. -- Vol. 6(192). P. 38--47. doi: 10.32620/aktt.2023.6.05

5. Сун Лінь. Моделювання та розрахунок процесів обтікання просторових тіл зі складною геометрією поверхні.: дисертація доктора філософії 134 / Державне некомерційне підприємство “Державний університет “Київський авіаційний інститут”. Київ. 2025. 155 с.

УДК 629.7.025.5:620.17 (043.2)

Д. Ю. Жиряков, д-р. філософії (PhD)
(Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський Авіаційний Інститут », Центр цифрової інженерії, Україна)

Визначення оптимального радіуса заокруглення в зоні з'єднання силової нервюри з панеллю крила

Проведено аналіз локального НДС полоси із заокругленням в зоні місцевого одностороннього потовщення. За допомогою чисельних методів показано характер розподілу нормальних напружень в полосі з заокругленням в зоні локального одностороннього потовщення. Визначено оптимальний радіус заокруглення з точки зору мінімальної маси і мінімальних напружень.

Однією з головних задач сучасної авіаційної науки є досягнення розрахункового рівня руйнівних навантажень і заданого ресурсу служби конструкції при мінімальній масі агрегату. Ця науково-технічна проблема вирішується шляхом вивчення НДС (напружено-деформованого стану) елементів конструкції аналітичним, експериментальним або чисельним методом.

Застосування аналітичних методів ускладнено з точки зору важкості і великих обсягів обчислень, що практично неможливо застосувати до деталей складної форми. Застосування експериментальних методів ускладнено з точки зору дороговизни цих експериментів. Тому для аналізу локального НДС широко використовуються чисельні методи. Основним чисельним методом, який широко використовується в інженерних завданнях, є метод скінчених елементів (МСЕ), реалізований в системах CAD/CAE Ansys Workbench.

В роботі було виконано аналіз НДС з'єднання силових нервюр та панелей крила. Місця з'єднання силових нервюр та панелей крила мають посилення - локальне потовщення. Цей конструктивний елемент дозволяє знизити локальні напруги в панелі через ослаблення цих місць отворами під кріплення, що в свою чергу збільшує втомну довговічність з'єднання.

При цьому локальне потовщення є концентратором напружень (місцем, де змінюється товщина). Для зниження напружень в зоні зміни товщини панелі використовується заокруглення. Величина цього заокруглення (рис. 1) впливає як на рівень напруги, так і на масу панелі.

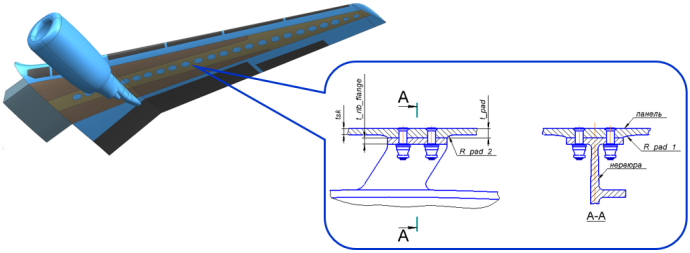


Рис. 1. З'єднання силової нервюри з панеллю крила

Для дослідження впливу радіуса заокруглення було розглянуто вплив радіуса заокруглення полоси з одностороннім потовщенням в зоні кривизни радіуса на характеристики локальних НДС, а також визначено оптимальний радіус заокруглення з урахуванням мінімальної напруги в критичному місці та мінімальної маси полоси (рис. 2, 3).

Дослідження проводилося з використанням МСЕ, реалізованої в системі інженерного аналізу Ansys Workbench.

Для визначення оптимального радіуса заокруглення з урахуванням мінімальної маси та мінімального рівня нормальних напружень в критичній зоні заокруглення, дослідження проводилися з наступними параметрами:

- радіус заокруглення: 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм;
- рівень розтягуючих напруг: 100, 150, 200 МПа.

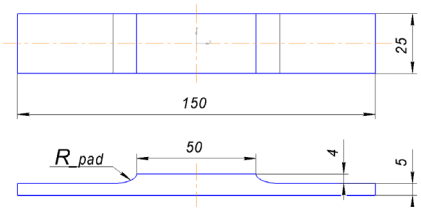


Рис. 2. Геометричні розміри полоси

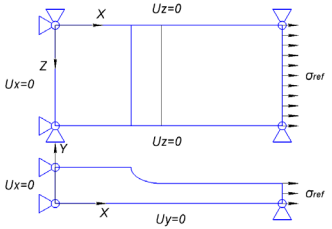


Рис. 3. Розрахункова модель полоси

Для визначення оптимального радіуса заокруглення була задана цільова функція, яка залежить від маси тривимірної моделі полоси і максимальних нормальних напружень в критичній зоні заокруглення:

$$f(R_{\_pad}) = \min(m * \sigma_X), \quad (1)$$

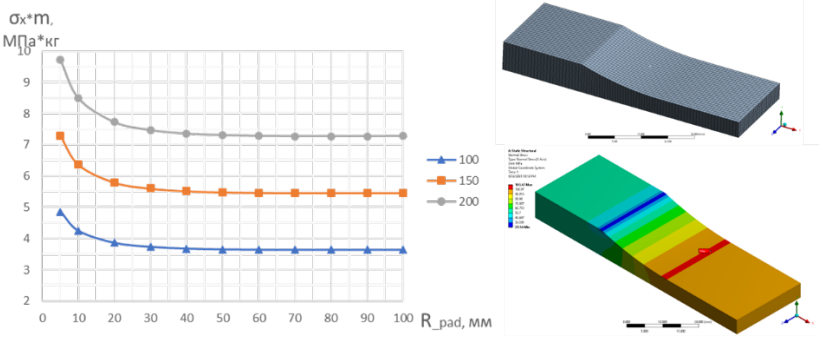


Рис. 4. Вплив радіуса заокруглення на цільову функцію мінімальної маси і мінімальних нормальних напружень

Згідно отриманих результатів, оптимальний радіус кривизни дорівнює $R_{\_pad} = 80$ мм мм (мінімальне значення $m * \sigma_X$). Така закономірність

спостерігається на різних рівнях навантаження. Варто відзначити, що починаючи з радіуса в 50 мм, цільова функція змінюється незначно.

Висновок

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

- використання радіуса заокруглення більше 50 мм значно знижує нормальні напруги в критичній точці заокруглення.

- максимальні напруги в зоні заокруглення трохи вище дотичної лінії заокруглення і плоскої поверхні полоси.

- оптимальний радіус заокруглення з урахуванням мінімальної ваги твердотільної моделі полоси і мінімальних нормальних напружень становить 80 мм.

- коефіцієнт концентрації не залежить від рівня навантаження в полосі, а залежить тільки від значення радіуса заокруглення і зменшується зі збільшенням радіуса.

- базуючись на отриманих результатах, можна припустити, що для досягнення мінімального діаметра фрези (технологічний фактор), мінімальної ваги панелі (економічний фактор) і мінімального рівня напружень (експлуатаційний фактор) необхідна фреза з подвійною кривизною, яка буде мати більший радіус в зоні горизонтального сполучення заокруглення, в той же час невеликий радіус в зоні вертикального сполучення заокруглення.

Також слід зазначити, що в процесі механічного фрезерування панелі при обробці в місці потовщення, на поверхні заокруглення залишаються сліди інструменту у вигляді рисок, які підвищують ступінь концентрації напружень в радіусній зоні. Глибина рисок може досягати декількох десятих міліметра. Концентрація напружень зумовлена геометричними параметрами переходу, в поєднанні зі слідами механічної обробки, може збільшити коефіцієнт концентрації. Це явище слід враховувати при проектуванні даного місця або технологічними методами домогтися чистоти поверхні після механічної обробки.

Список літератури

1. Метод інтегрованого проектування та конструювання з'єднань силових нервюр з монолітними панелями крила літака транспортної категорії : дис. ... д-ра філософії : 134 - авіац. та ракет.-косм. техніка : 13 - мех. інженерія / Д. Ю. Жиряков ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т" ; наук. керівник Гребеніков О. Г. - Харків, 2024. - 153 с.

2. Інтегроване проєктування носової частини фюзеляжу літака транспортної категорії : [монографія] / О. Г. Гребеніков, А. М. Гуменний, О. З. Двейрін, А. С. Чумак [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т". - Харків. - Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "Харків. авіац. ін-т", 2024. - 204 с. - 978-966-662-923-7 . - 170,60

UDC 631.7.04-197:631:7.019.18

Volodymyr O. Povhorodnii
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Optimization of the shape of the middle surface of the wing at supersonic speeds for additional decoupling of geometrical inverse problems

Approach for solving inverse problem, is proposed. Use function of mechanical characteristic of airplane wing. The basis of model is parametrization of inverse problem using boundary elements method (BEM) and variational formulation, which provides for minimization of reflecting the deviation of parameters airplane wing's. Solving inverse problem, BEM is used.

Introduction and Problem Statement

An important and actively developing area of modern mathematics and mechanics is mathematical modeling of physical processes of aerodynamics and thermodynamics. Recently, significant progress has been achieved in the development of computational and theoretical methods based on the transition from initial boundary value problems to integral equations, for example, Woodward F.A., Morino L., Maskew V. and others - in aerodynamics.

In solving the obtained integral equations, the boundary element method developed in the works of Brebbia K., Walker S., Gromadka II T., Benerdzhi P., Butterfield R. is successfully applied. The boundary element method (BEM) has a number of important advantages. It is, in principle, suitable for bodies of arbitrary shape and allows one to reduce the problem in an infinite region to a statement on a limited manifold, moreover, of a dimension one unit smaller. The integral representation of the solution allows the conditions at infinity to be automatically satisfied. It is also essential that after the integral equation has been solved, the values of the variables describing the solution can be calculated at any point in the domain, and the solution is completely continuous everywhere in the domain. These features are inherent in MGE and distinguish it from possible alternatives. As a basis for aerodynamic calculations in the dissertation, one of the varieties of the boundary element method is used - the panel method. It was developed in the works of Hess D.L., Smith A.M.O. and others. The comparative simplicity of programming, full consideration of the shape of modern aircraft and the possibility of creating unified programs for calculating flow at both supersonic and subsonic speeds have determined its effective use at the stage of preliminary design of aerodynamic configurations. As one of the solution methods, a method for solving inverse problems is given (from the effects, we restore the cause).

The works of O.M. Alifanov, Y.M. Matsevitogo, and N.O. Huk are devoted to inverse problems (design, thermal conductivity, thermoelasticity).

By using a modified boundary condition that has the same order of asymptotic accuracy as the commonly used Leontovich condition, for the first time in the impedance reconstruction problem a linear integro-operator equation has been

obtained that is solved by MGE, including discretization, regularization, and transition to systems of linear equations.

The advantages of the approach include: linearity of the equation, absence of the problem of choosing the initial approximation, obtaining a solution in a finite number of steps.

The methods for solving inverse problems make it possible to carry out research in the conditions that are as close as possible to full-scale, or directly during the exploitation of objects, which allows them to be more reasonably designed [1-3].

Research methodology

Optimization of the shape of the median surface of the wing in the supersonic speed range was carried out by Bulygina E.V., Glushkov N.N., Timonin A.S., Bos G.D. and others. Basically, these works were based on the presentation of a potential, the scope of applicability of which is limited to wings with a flat base surface. In a number of works, the problem of minimizing the inductive-wave resistance with limitations on the scale of deformations was reduced to a nonlinear programming problem solved by cumbersome computational methods. The paper proposes a solution method applicable to wings with a transverse V, and the problem is reduced to a system of linear algebraic equations coming from the coefficient of support, the coefficient of optimal strength and constant moment. When decoupling the wrapped task, the Tikhonov functional was used [4, 5].

Results

In the buttstock, to optimize the wing with a supersonic leading edge, a wing of a folding shape was selected in the plan, which has a leading edge that is both subsonic and supersonic. Parameters of the development, the moment of recovery is carried out at the end of the toe of the MAC-middle aerodynamic chord (M=2, initial angle of attack=2,75 degrees, lift coefficient=0,093, initial longitudinal moment=0,051 Nm). It is possible to create a warp that greatly deforms the front part of the wing, which has subsonic edges, and the cantilever part has a slight bend and a lot of twisting. The gain here is small, but it represents the complexity of a clear analysis that results from the unraveling of the wrapped geometric problem and the maintenance of optimal deformation. The winnings at the support add up to about 15%. (fig.1, fig.2)

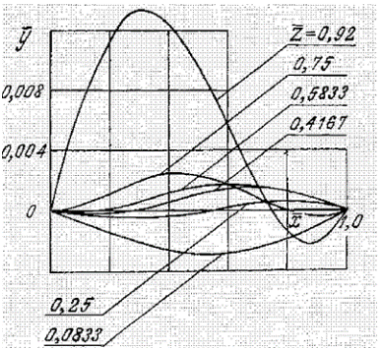


Fig. 1. Characteristics of the wing.

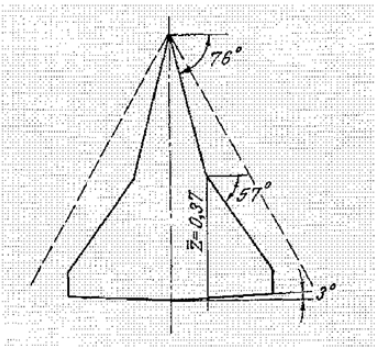


Fig.2. Form of the wing.

Conclusions

On the basis of algorithmic language FORTRAN a program for numerical calculations is developed. The first and easiest option is based on splitting the contour of the border by a broken line. Sections of this line are associated with BE. Within BE the approximation of compensating loads seems to be piecewise linear. With these provisions, the testing of programs with simple areas for which there are known solutions was performed. In addition, at this stage, mechanical BC could be realized hinged stop and pinching. This error in the value of the contour bending moment is a consequence of replacing the contour line with a broken line. That is, it is important to take into account the curvature of the contour and, if in the quality BE are presented not straight, but corresponding arcs, the numerical solution practically coincides with the analytic. The next important point is the rate of convergence of the solution, depending on the quantity BE. The accuracy of the solution at internal points is increasing rapidly with increasing the number of such BE. But when approaching the contour point, the rate of convergence of the solution slows down. This indicates that it is necessary to improve the quality of the approximation of compensating loads. With an increase in the number BE the quality situation in satisfaction should improve BC because the number of points of collocations is increased. But the increase in the number of points of collocation leads to an increase in the order of the system of linear equations and, accordingly, increases the rounding errors in its solution.

Tasks confirm that starting from a certain point, the solution in the internal points gets worse, further increase in quantity BE becomes meaningless. Partial improving the solution can be due to uneven distribution BE on the contour (boundaries). But similar studies are done to optimize both quantity and length BE are possible only for tasks with known solutions and they are quite laborious. Thus, the main issue when conducting numerical calculations is to develop certain criteria for the quality of the results. It is noted that the more accurately completed BC are, the more precise the solution is. At the points of collocation BC are performed exactly.

References

[1] Matsevity, Yu. M. Inverse problems of heat conductivity: In 2 voumes[Text]/Yu.M.Matsevity// K.: Nauk. dumka, 2002-2003. Vol. 1: Methodology. – 408 p .; Vol. 2: Applications. - 392 p..

[2] Matsevity, Yu. M., Safonov, N.A., Ganchin, V.V. To the solution of nonlinear inverse boundary-value problems of heat conduction[Text]/Yu.M.Matsevit // Problems of Mechanical Engineering. – 2016, No. 1 – P. 28-36.

[3] Tikhonov, A.N, Arsenin, V. Ya. Methods for solving non-correct roblems[Text]/A.N.Tikhonov//. - Moscow: Nauka, 1979.– P. 288.

[4] Fletcher, K. Numerical methods based on the Galerkin method[Text]/K.Fletcher// Moscow: Mir, 1988. – P. 352.

[5] Forsyth, J. Machine methods of mathematical computations [Text]/J.Forsyth //Moscow: Mir, 2000. – P. 280.

УДК 621.9.048.4

О.А. Мікосянчик, д.т.н., О.О. Скворцов, О.М. Сенько
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оцінка зносостійкості електроіскрових покриттів на конструкційних сталях

Представлено результати абразивного зношування електроіскрових покриттів. Встановлено підвищення зносостійкості конструкційних сталей при електроіскровому легуванні покриттями з сталей У10 та Р18. Досліджено мікроструктуру покриттів та визначено механізми зношування залежно від карбідоутворюючих елементів.

Використання ресурсозберігаючих технологій для зміцнення залізовуглецевих сплавів з метою підвищення їх зносостійкості в умовах впливу абразиву є актуальним напрямком, направленим на збільшення терміну служби деталей машин, схильних до абразивного зношування в процесі експлуатації.

В роботі [1] зазначено, що єдиним способом вирішення або значного зниження гостроти проблеми абразивного зношування є застосування оптимальних матеріалів, що поєднують досить високу зносостійкість із прийнятною вартістю. Досягнення цієї мети забезпечується двома підходами: на основі трибологічного підходу визначаються механізми процесу абразивного зношування, що сприяють побудові його чисельної чи аналітичної моделі; на основі матеріалознавчого підходу визначають залежності зносостійкості матеріалів від їхньої мікроструктури та властивостей. Залежності зносостійкості матеріалів від їх складу, структури та властивостей якісно зберігаються в будь-яких умовах абразивного зношування, що дає можливість рекомендувати до застосування той чи інший матеріал.

Актуальність методів електроіскрового легування для підвищення зносостійкості деталей залишається високою у багатьох галузях, що стосуються розробки високопродуктивної техніки і новітніх технологій.

Електроіскрове легування (ЕІЛ) застосовується для зміцнення поверхні деталі або для відновлення пошкоджених або зношених деталей, що дозволяє значно зекономити час і гроші та продовжити термін служби машин та механізмів. Метод ЕІЛ дозволяє наносити на поверхню деталей матеріали з покращеними властивостями, такими як висока твердість, міцність, антикорозійність та інші [2]. Це особливо важливо в умовах, де деталі піддаються інтенсивному зносу, наприклад, в авіаційній та автомобільній промисловості.

Зменшення витрат матеріалу та енергії в процесі електроіскрового легування сприяє зменшенню викидів та відходів, що відповідає сучасним екологічним стандартам. Розвиток нових матеріалів та високоефективних технологій робить електроіскрове легування ще більш актуальним для покращення зносостійкості деталей та отримання нових можливостей для їхнього вдосконалення.

Мета роботи полягала в оцінці зносостійкості електроіскрових

покриттів (ЕІП) на конструкційних сталях в абразивному середовищі. Для досліджень обрано конструкційну леговану сталь 30ХГСА та конструкційні вуглецеві якісні сталі 30 та 45 в якості поставки в нормалізованому стані. Нанесення ЕІП здійснювали на установці «Елітрон-22» при постійному струмі короткого замикання 1А. В якості електродів використовували високовуглецеву сталь У10 та швидкоріжучу сталь Р18. В вихідному стані всі досліджувані сталі мають ферито-перлітну структуру, сформовані ЕІП характеризуються дискретною структурою.

Дослідження на абразивне зношування проводили за ГОСТ 23.208-79 (абразив – кварцевий пісок (SiO_2) зернистістю 500 мкм; швидкість обертання гумового ролика 0,158 м/с; навантаження 44,1 Н; тривалість випробування – 20 хв).

Після тертя покриття носить острівковий характер з різною товщиною локальних шарів (від ~ 40 мкм до 3-6 мкм) (рис. 1).

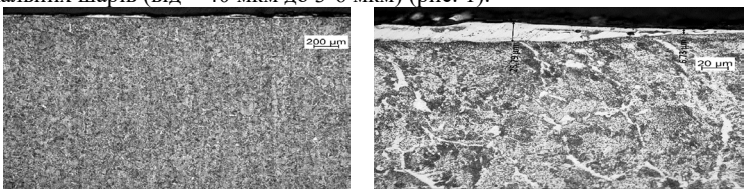


Рис. 1. Фрагменти мікроструктури сталі 45 (поперечний переріз) з нанесеним ЕІП сталі Р18.

Ваговий знос досліджуваних матеріалів представлено на рис. 2. Встановлено, що для конструкційних сталей без покриття ваговий знос в абразивному середовищі зменшується по мірі зростання твердості матеріалу. Для сталей 30, 45 та 30ХГСА відповідно з твердістю НВ 150, 165 та 200 ваговий знос становив 0,052, 0,041 та 0,033 г (рис. 2).

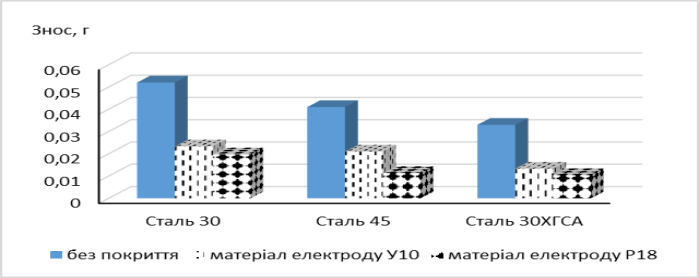


Рис. 2. Ваговий знос конструкційних сталей та ЕІП в абразивному середовищі.

Таким чином, збільшення вуглецю в сталі 45, в порівнянні з сталлю 30, призводить до підвищення міцності, твердості та стійкості до абразивного зношування за рахунок збільшення частки карбідів заліза в структурі сталі.

Найвища зносостійкість в умовах впливу абразиву середньолегованої сталі 30ХГСА обумовлена вмістом в сталі легуючих елементів марганцю та хрому, які проявляють більшу хімічну спорідненість до вуглецю та являються

карбідоутворюючими елементами. Легуючі карбідоутворюючі елементи Mn та Cr, які містяться в сталі до 1,1%, розчиняються в цементиті, заміщуючи частину атомів заліза, та утворюючи легований цементит типу (Fe, Mn)3C, (Fe, Cr)3C. Зазначимо, що марганець також характеризується здатністю підвищувати міцність сталі без значного зниження пластичності, а кремній, який міститься до 1,2% в сталі 30ХГСА, сприяє отриманню дрібнозернистої структури та підвищенню міцності.

В роботі [1] зазначається, що згідно моделі Тейлора, максимальний опір пластичної деформації (τ_{max}) визначається напруженням, яке потрібно подолати, щоб забезпечити зустрічне проходження паралельних крайових дислокацій через позиції їх максимальної взаємодії. Враховуючи, що для визначення допустимих дотичних напружень найчастіше користуються теоріями міцності, виражаючи ці напруження через допустимі напруження на розтягання, приймемо $\tau_{max} \approx 0{,}6[\sigma]$. Тоді для сталей 30, 45 та 30ХГСА τ_{max} відповідно становить 170, 220 та 420 МПа. Таким чином, збільшення опору пластичної деформації для сталі 30ХГСА, в порівнянні з досліджуваними сталями, сприяє підвищенню її зносостійкості при впровадженні/царапанні часток абразиву.

Нанесення ЕІП забезпечує підвищення зносостійкості досліджуваних сталей в умовах впливу абразиву (рис. 2). Зокрема, ЕІП сталі У10 в 2.2, 1.95 та в 2.48 разів зменшує ваговий знос сталей 30, 45 та 30ХГСА відповідно. ЕІП сталі Р18 забезпечує ще більш ефективний опір поверхневих зміцнених шарів за умов впливу абразивних часток – ваговий знос сталей 30, 45 та 30ХГСА зменшується в 2.63, 3.62 та 3.17 разів.

Підвищення зносостійкості досліджуваних марок сталей при нанесенні ЕІП обумовлено зміцненням поверхневих шарів металу за рахунок формування покриттів, що характеризуються більшою часткою карбідів Fe (ЕІП з сталі У10 та Р18), W, Cr, V (ЕІП з сталі Р18).

Висновок

Встановлено підвищення зносостійкості конструкційних сталей в умовах впливу абразивних часток за рахунок формування електроіскрових покриттів з підвищеним вмістом карбідів. Показана можливість управління структурними ефектами та фазовим складом поверхневих модифікованих шарів конструкційних сталей нанесенням ЕІП з необхідним рівнем триботехнічних властивостей.

Список літератури

1. Бриков М.М., Єфременко В.Г., Єфременко О.В. Зносостійкість сталей та чавунів при абразивному зношуванні: Наукове видання. - Херсон: Гринь Д.С., 2014. - 364 с.

2. Manakova O. S., Kudryashov A. E., Levashov E. A. On the application of dispersion hardened SHS electrode materials based on (Ti, Zr) carbide using electrospark deposition. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2015. №51. P. 413–421.

UDC 629.7.023.2 : 004.89

V.I. Pasko, S.S. Yutskevych, PhD
(State University "Kyiv Aviation Institute, Ukraine)

Enabling early-stage wing design decisions through the development and analyses of generative knowledge-based engineering models

This study presents an approach to developing generative knowledge-based engineering (KBE) models, which automate wing console design by integrating domain knowledge with rule-based logic for constructing structural elements, along with numerical analysis methods, to enable rapid design space exploration and informed engineering decision-making at early stages.

The increasing complexity of aerospace systems necessitates efficient decision-making in the early stages of the design process, where the cost of change is low, but the impact on final performance is significant. Usually, the number of possible design options is too high to perform an iterative design-simulation-analysis process, especially when design time frames are constrained. As a result, there is a growing need for design engineers to leverage automation beyond the capabilities of conventional CAD/CAE tools.

This paper presents a generative knowledge-based engineering approach [1] to automate and support wing console design and engineering analyses during the conceptual phase. By integrating domain knowledge with mathematical modeling, programmable CAD tools, and rule-based logic, the proposed method enables engineers to rapidly and consistently explore multiple design variants rapidly and consistently. The generative wing model is developed with the use of open tools: SplineCloud, Python, CadQuery, and SciPy. This model not only encapsulates expert reasoning and design intent but also enables knowledge traceability, reuse, and evolution.

A case study of a simplified rectangular wing console geometry is used to demonstrate the capabilities of the proposed method, highlighting benefits in terms of design space exploration and iteration speed. The principle of knowledge-based engineering was used in the development of the wing console generative model, that adapts the final geometric parameters following the encoded engineering rules and methods, and input parameters: requirements, constraints, objective function (Fig.1). The model uses external open knowledge base SplineCloud, to efficiently manage and reuse airfoil geometrical and performance properties. This allows to automatically rebuild wing geometry in accordance to the selected (by user, or optimization algorithm) airfoil type.

A wing model consists of three constructive elements: an internal rigid box, airfoil airfoil-shaped body, and an outer shell (Fig. 2). The rigid box withstands all loads that act on the wing and can be made of aluminum alloys or composite materials. The shaper body can be made out of lightweight materials: polystyrene foam or honeycomb. The outer shell can be made of fiberglass or another material that would protect the shaper body from external factors.

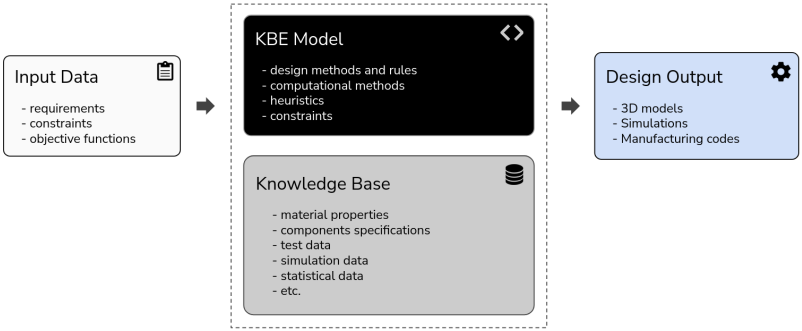


Fig. 1. Wing console structure

Since the proposed method is a FEM-free method, the next simplifications and assumptions are taken to simplify the engineering analysis process, which is implemented in the KBE model based on custom numerical methods:

- The internal box withholds all loads; other elements do not participate in the loading;
- No torque is analyzed (for simplicity, however, this analysis will be included in the future models);
- isotropic material properties are considered (for simplicity);
- no aeroelasticity effects are considered (wing load scheme is taken for the undeformed wing);
- A simplified (uniform) wing load scheme was considered.

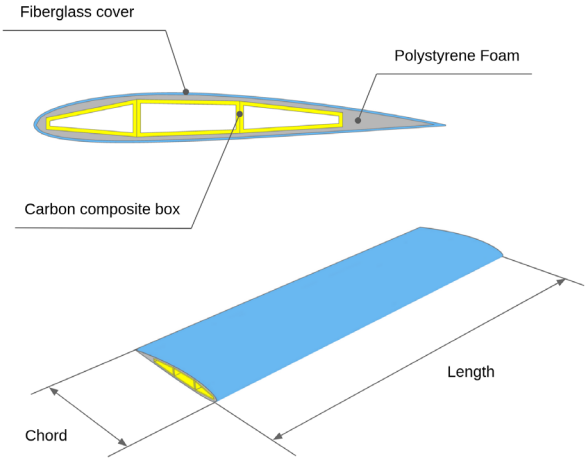


Fig. 2. Wing console structure

The wing geometry generation algorithm is based on the open-source Python library CadQuery, which uses the OpenCASCADE kernel and allows to construction of 3D models programmatically. The usage of CadQuery allows encoding design and engineering rules to:

- rebuild geometry by the selected airfoil;
- evaluate volumes of elements of the wing structure (and masses, given the densities of materials);
- evaluate areas and moments of inertia of the wing console sections to support the calculation of the bending moment and wing tip displacement.

The bending moment and tip deflection are calculated numerically, integrating the next equations:

$$h = \int_{y=b/2}^{y=w/2} \theta(y)dy \tag{1.1}$$

$$\theta(y) = \frac{M_b(y)}{EI_{xx}(y)} \tag{1.2}$$

$$M_b(y) = \int_{y=b/2}^{y} \big(q_a(y) - q_g(y)\big)ydy \tag{1.3}$$

where h – the absolute wing tip displacement in the vertical direction, θ – the local bending angle, y – the coordinate from the aircraft longitudinal axis to the wing tip, w – the fuselage width, E - is the tensile modulus of the reinforcement ox material, I_{xx} – the reinforcement box section moment of inertia (evaluated using CadQuery), b – the wing span (doubled wing console length), M_b – is the bending moment, that is calculated by numerically integrating the difference between the distributed aerodynamic load q_a, and the distributed gravity load q_g:

$$q_a(\alpha, y) = (\mathrm{C}_L(\alpha, y)\, cos\, \alpha + \mathrm{C}_D(\alpha, y)\, sin\, \alpha)\frac{\rho v^2}{2} c_0 \tag{1.4}$$

$$q_g(y) = \frac{dm_c(y)}{dy} g \tag{1.5}$$

Where c_0 is the – wing root chord, ρ is – air density, and v is – airspeed.

The design automation algorithm is constructed to enable finding wing geometry parameters (chord and length) that satisfy the constrained tip deflection (set to 10% of the console length) and desired lift force (user input). The design solver (Fig. 3) is built using the SciPy library and its optimization module. Basically, the solver consists of two nested functions – the internal function fits the wing console length to the desired tip deflection, while the external function iteratively selects the values of the root chord until the excess wing console lift force satisfies the required value. At each step, the wing model is rebuilt using the same design rules, and new masses and bending moments are recalculated. The application of the custom numerical algorithm eliminates the need for a FEM analysis, the integration of which would significantly complicate the methodology an produce instabilities of the solver.

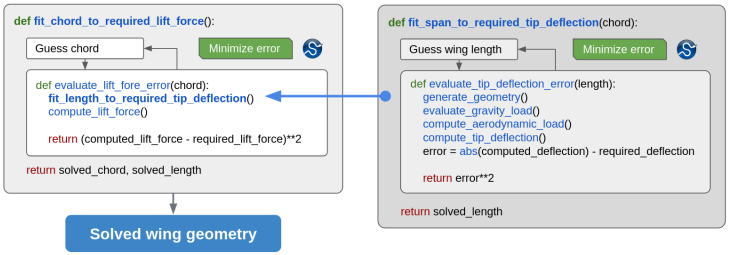


Fig. 3. Wing console design parameters solver scheme

The test run of the wing console automatic generation was conducted for three airfoils: NACA-2408, NACA-2410 and NACA-2412 and relations of wing console length, chord, and drag force against the payload mass (required lift force) were constructed on SplineCloud [6] (Fig. 4). The results show that thin airfoil (NACA-2408) performs better for a relative wing tip deflection of 10% and has higher lift to weight ratio (considering given assumptions and model limitations). The development of a more accurate model, capable of generating and analyzing tapered and swept wings, will be conducted in future work. The generation and automatic analysis of the wing console model for a range of payload masses from 10 to 50 kg with step by 5 took 30-35 minutes on average. Similar analyses using classical semi-automated methods would take days of work.

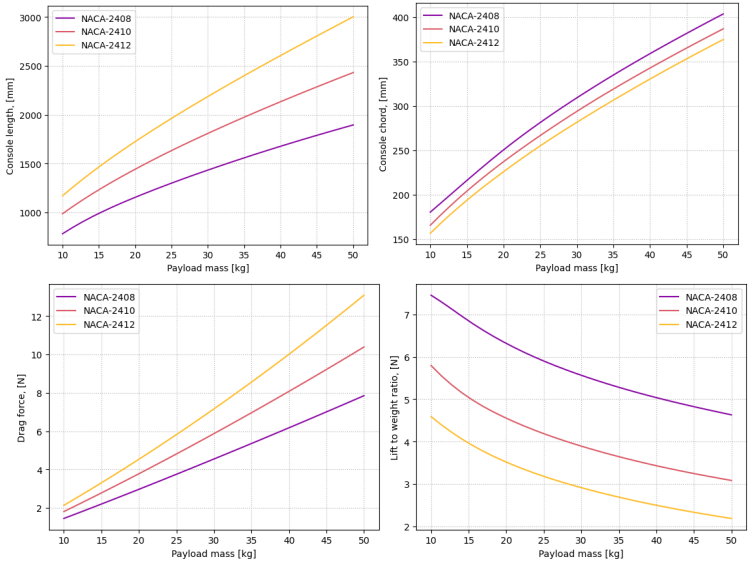


Fig. 4. Comparison of generated wing models.

Conclusion

The proposed KBE approach offers significant benefits in early-stage aerospace design by automating the conceptual development of the wing. It facilitates the rapid generation and evaluation of numerous design options using open-source tools such as Python, CadQuery, and SciPy, significantly reducing design time from days to under an hour. By integrating domain knowledge, rule-based logic, and simplified numerical methods instead of complex FEM, it provides fast yet efficient analysis of the structure's performance under load. The system automatically adjusts wing parameters to meet lift and deflection constraints, enabling informed decisions to be made early in the process. The case study confirmed its effectiveness and reliability, showcasing its potential to accelerate design space exploration and support the future integration of more advanced geometries.

References

1. La Rocca, G., & van Tooren, M. J. L. (2007). Knowledge-based engineering for aerospace design. Journal of Aerospace Engineering, 220(4), 419–427.
2. La Rocca, G. (2012). Knowledge-based engineering: Between AI and CAD – Review of developments and future trends. Computer-Aided Design, 44(1), 166–176.
3. Munjulury, R. C. (2017). Knowledge-Based Integrated Aircraft Design : An Applied Approach from Design to Concept Demonstration (PhD dissertation, Linköping University Electronic Press). https://doi.org/10.3384/diss.diva-137646
4. Sobieszczanski-Sobieski, J., & Haftka, R. T. (1997). Multidisciplinary aerospace design optimization: Survey of recent developments. Structural Optimization, 14, 1–23.
5. Skarka, Wojciech & Alegaze, Mikir. (2021). The Use of Generative Modelling to Automate the Design of Aerial Structural Assemblies. 10.3233/ATDE210123.
6. The SplineCloud repository with results: https://splinecloud.com/repository/nomad-vagabond/Rectangular_Wing/
7. The generative model GitHub repository: https://github.com/nomad-vagabond/cq-uav

УДК 629.7.023:539.421(045)

С.Р. Ігнатович, д.т.н., проф., В.С. Краснопольський, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
І.І. Джавадова
(АТ «АНТОНОВ», Україна)

Прогнозування залишкового ресурсу авіаційних панельних конструкцій з втомними тріщинами

Для прогнозування циклічного напрацювання панельних конструкцій літака при випадковій швидкості зростання втомної тріщини використовувалася модель на базі степеневого закону Періса з рівномірним розподілом випадкової величини параметра m. Отримано значення напрацювання до граничного стану для різних рівнів розмаху напруження та значень довжини початкової тріщини.

Вступ

Концепція допустимості пошкоджень (damage tolerance) є найбільш ефективною при проектуванні сучасної авіаційної техніки та максимально спрямована на досягнення експлуатаційної безпеки конструкцій [1]. Ця концепція базується на своєчасному виявленні та моніторингу пошкоджень, для чого необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтування максимального за розміром пошкодження, наприклад напівдовжину втомної тріщини a_f, яку може витримати конструкція за нормативних умов безпечного навантаження;

- визначення числа циклів напрацювання N_f, що відповідає розвитку пошкодження від розміру a_d, нижче якого існує незначна ймовірність його виявлення, до допустимого розміру a_f.

Якщо напрацювання до появи втомної тріщини напівдовжиною a_d відповідає безпечному ресурсу (safe life), напрацювання N_f визначає залишковий ресурс конструкції з тріщиною за умови допустимості пошкоджень. Це напрацювання є базовою ресурсною характеристикою, за якою визначаються інтервали між оглядами конструкції в експлуатації [2].

Таким чином прогнозування можливих значень N_f є актуальною задачею для втілення концепції допустимості пошкоджень в практику проектування, у тому числі для панельних конструкцій фюзеляжу літаків.

Модель росту втомних тріщин з випадковою швидкістю

Прогнозування залишкового ресурсу базується на положенні щодо випадкового росту втомної тріщини. Найбільш розповсюдженою моделлю, що описує зростання втомних тріщин є степеневий закон Періса:

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m , \qquad (1)$$

де a – половина довжини тріщини; N – число циклів навантажування; ΔK – розмах коефіцієнта інтенсивності напруження (КІН) в циклі; C і m – коефіцієнти регресії для матеріалу.

В роботі [3] показано, що коефіцієнти C і m рівняння (1) для конструкційних алюмінієвих сплавів є взаємозалежними, що дає змогу замість

двох коефіцієнтів використовувати один, а саме показник степеню m. Тоді вираз (1) набуває вигляд:

$$\frac{da}{dN} = 3{,}58 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\Delta K}{14{,}3} \right)^m , \qquad (2)$$

де швидкість зростання da/dN вимірюється в м/цикл, а КІН – в МПа·м$^{1/2}$.

Нехай розмах КІН в моделі (2) для панелі обшивки фюзеляжу з центральною тріщиною напівдовжиною a визначається формулою:

$$\Delta K = Y \Delta\sigma \sqrt{\pi a} , \qquad (3)$$

де Y – поправочний коефіцієнт, який залежить від геометричних параметрів тріщини і пластини та умов навантаження (зазвичай $Y = 1 \ldots 1{,}5$). Надалі приймаємо $Y = 1$; $\Delta\sigma$ – розмах окружного напруження від перепаду тиску Δp в герметичній кабіні,

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta p \cdot r}{t} , \qquad (4)$$

де r – радіус фюзеляжу; t – товщина панелі.

У якості базового рівня навантаження можна використовувати наступні значення [4]: $r = 3{,}25$ м; $t = 0{,}00248$ м; $\Delta p = 0{,}06$ МПа. Тоді, згідно з (4), маємо $\Delta\sigma = 78{,}63$ МПа.

Для врахування інших можливих умов навантаження, пов'язаних зі зміною значення Δp або з корекцією величини ΔK, розрахунки здійснювалися для різних рівнів $\Delta\sigma$ відносно базового значення $\Delta\sigma = 78{,}63$ МПа.

Рівняння (3) і (4) не включають геометричний поправочний коефіцієнт для скінченного розміру панелі, в них не враховується двовісний напружений стан, а також змінна жорсткість конструкції через наявність підсилюючих елементів [5]. Тому ці вирази є приблизними. Однак їхнє використання для визначення залишкової довговічності панельних конструкцій фюзеляжу літака у першому наближенні є прийнятним [4].

Залишкова довговічність конструкції визначається граничним станом – критичною довжиною втомної тріщини a_f. Можна прийняти, що критичний стан пластини зі зростаючою втомною тріщиною буде відповідати її швидкості при переході ділянки II діаграми втомного руйнування (ділянка Періса) до ділянки III прискореного руйнування за умови $\frac{da}{dN} \to \infty$ при $K_{\max} \to K_{IC}$, де K_{IC} – в'язкість руйнування при плоскій деформації [6]. Тоді критичний розмір тріщини буде визначатися критичним значенням КІН, що дорівнює в'язкості руйнування, і, не враховуючи скінченність розмірів панелі, при асиметрії циклу $R = 0$ можна записати [4]:

$$a_f = \left(\frac{K_{IC}}{\Delta\sigma \sqrt{\pi}} \right)^2 . \qquad (5)$$

Згідно з довідниками середнє значення K_{IC} для алюмінієвих сплавів дорівнює 35 МПа·м$^{1/2}$ з мінімальним та максимальним значеннями 15 і 49 МПа·м$^{1/2}$ відповідно [6]. Приймаємо $K_{IC} = 30$ МПа·м$^{1/2}$ [4]. Таким чином, відповідно до (5), для $\Delta\sigma = 78{,}63$ МПа отримаємо $a_f = 0{,}0463$ м.

Результати моделювання та їх обговорення

Залишковий ресурс листової панелі обшивки фюзеляжу з тріщиною визначимо із рівняння (2) із врахуванням співвідношення (3) (при $m \neq 2$):

$$N_f = \frac{5{,}6 \cdot 10^6}{2-m}\left(\frac{14{,}3}{\Delta\sigma\sqrt{\pi}}\right)^m\left(a_f^{1-\frac{m}{2}} - a_d^{1-\frac{m}{2}}\right). \qquad (6)$$

Рівняння (6) дає змогу визначати розподіл залишкового ресурсу N_f в залежності від розподілу випадкової величини m. В роботі [3] показано, що при логарифмічно нормальному розподілі m розподіл N_f відповідає степеневому типу і близький до закону Парето. Для значень m, що були отримані у багатьох експериментальних дослідженнях росту втомних тріщин, розподіл N_f описується логарифмічно нормальним законом [7]. Такий характер розподілу обумовлює доцільність використання у якості одного з прогнозних параметрів залишкового ресурсу мінімальне значення із статистики N_f, тобто значення залишкового ресурсу до початку руйнування ($N_{f0} = N_{f\min}$) при заданій статистиці параметру m.

Було прийнято, що параметр m має рівномірний розподіл в інтервалі значень $m \in [2;4]$. Числовий експеримент полягав в розрахунку N_f за формулою (6) при різних m, які генерувалися відповідно до заданого розподілу (100 значень m на кожному етапі моделювання). При цьому визначалися мінімальне N_{f0} та середнє N_{fm} значення залишкового ресурсу. Розрахунки здійснювалися при різних значеннях розмаху напруження $\Delta\sigma$ і початкового розміру тріщини a_d. Результати числового експерименту представлені на рис. 1 і рис. 2.

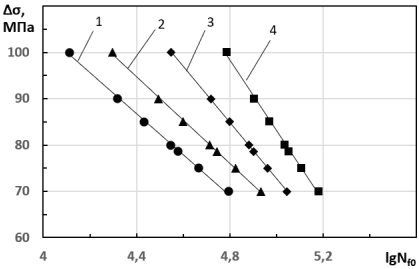


Рис. 1. Залежність мінімальних значень залишкової довговічності N_{f0} від розмаху напруження в циклі $\Delta\sigma$ при різних значеннях розміру початкової тріщини a_d:
1 – a_d = 0,007 м; 2 – a_d = 0,005 м;
3 – a_d = 0,003 м; 4 – a_d = 0,001 м.
Точки – результати числового експерименту

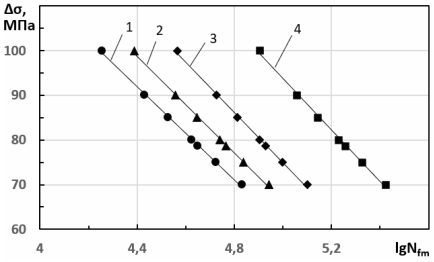


Рис. 2. Залежність середніх значень залишкової довговічності N_{fm} від розмаху напруження в циклі $\Delta\sigma$ при різних значеннях розміру початкової тріщини a_d: 1 – a_d = 0,007 м;
2 – a_d = 0,005 м; 3 – a_d = 0,003 м;
4 – a_d = 0,001 м.
Точки – результати числового експерименту

Точки на рис. 1 і 2 апроксимуються лінійною функцією

$$\Delta\sigma = a - b \cdot \lg N_f , \qquad (7)$$

з коефіцієнтом кореляції R^2, близьким до 1. Значення коефіцієнтів рівняння (7) наведені у таблиці 1.

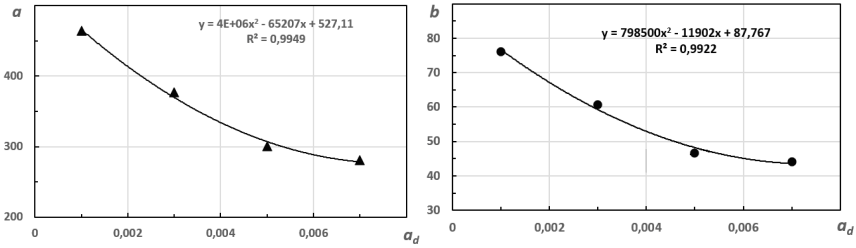
Таблиця 1

Значення коефіцієнтів рівняння (7)

Залишкова довговічність	Розмір початкової тріщини a_d, м	a	b	R^2
N_{f0}	0,001	463,85	76,158	0,9974
	0,003	376,54	60,764	0,9999
	0,005	300,19	46,702	0,9992
	0,007	280,72	44,084	0,9981
N_{fm}	0,001	382,41	57,737	0,9966
	0,003	356,46	56,314	0,9973
	0,005	337,83	54,332	0,9978
	0,007	321,24	52,118	0,9984

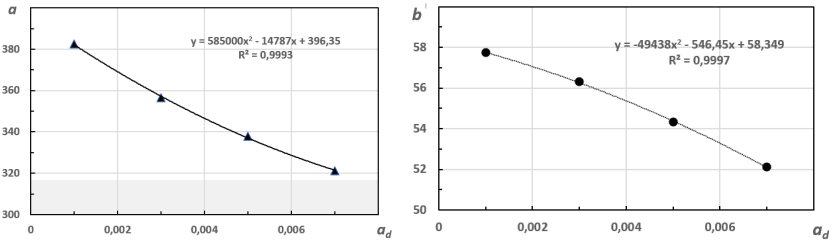
Із отриманих результатів (табл. 1) слідує, що значення коефіцієнтів рівняння (7) залежить від розміру початкової тріщини. Ці залежності з достатньо високою кореляцією описуються квадратичною параболою (рис. 3 і рис. 4).

Таким чином, рівняння (7) з врахуванням залежності коефіцієнтів a і b від розміру початкової тріщини a_d може використовуватися для прогнозних оцінок залишкового ресурсу панельних конструкцій фюзеляжу літаків за критерієм напрацювання до можливої появи тріщини критичної довжини, або за критерієм середнього значення напрацювання до появи критичної тріщини.



а *б*

Рис. 3. Залежності коефіцієнтів a (*а*) і b (*б*) рівняння (7) від розміру початкової тріщини a_d при прогнозуванні мінімальних значень залишкової довговічності N_{f0}



а *б*

Рис. 4. Залежності коефіцієнтів *a* (*а*) і *b* (*б*) рівняння (7) від розміру початкової тріщини a_d при прогнозуванні середніх значень залишкової довговічності N_{fm}

Висновки

На базі моделі росту втомних тріщин в алюмінієвих сплавах, у якій враховано залежність між коефіцієнтами закону Періса, отримано рівняння для розрахунку залишкового ресурсу панельних конструкцій фюзеляжу літаків в залежності від діючого напруження та розміру початкової втомної тріщини. Прогнозними параметрами є напрацювання до можливої появи тріщини критичної довжини, а також середнє значення напрацювання до появи критичної тріщини.

Список літератури

1. Goranson U.G. Damage tolerance. Facts and fiction. Keynote Presentation in Int. Conf. on Damage Tolerance of Aircraft Structure. ─ 2007. ─ 58p.

2. Castro P.M.S.T., Tavares S.M.O., Richter-Trummer V. et al. Damage tolerance of aircraft panels. Mecвnica Experimental. ─ 2010, ─ vol. 18. ─ pp. 35-46.

3. Ігнатович С.Р., Карускевич М.В., Юцкевич С.С., Каран Є.В., Джавадова І.І. Прогнозування залишкової довговічності конструкцій з алюмінієвих сплавів при випадковій швидкості зростання втомних тріщин. Пробл. міцності. ─ 2025. ─ № 1. ─ С. 52-64.

4. Coppe A., Haftka R.T., Kim N.H., Yuan F.-G. Uncertainty reduction of damage growth properties using structural health monitoring. J Aircraft. ─ 2010. ─ vol. 47, iss. 6. ─ pp. 2030-2038.

5. Джавадова І.І., Ігнатович С.Р. Методи визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень у авіаційних конструкціях. Авіаційно-космічна техніка і технологія, ─ 2024. ─ № 4 (196). ─ С. 24-33.

6. Carpinteri A., Paggi M. Are the Paris' law parameters dependent on each other. Frattura ed Integrità Strutturale. ─ 2007. ─ vol. 2. iss. 2. ─ pp. 10-16.

7. Ігнатович С.Р., Каран Є.В., Джавадова І.І. Залишковий ресурс авіаційних панельних конструкцій з алюмінієвих сплавів при випадковому зростанні втомних тріщин. Proc. Eleventh World Congress "Aviation in the XXI-st century" Safety in Aviation and Space Technologies. NAU, Kyiv. – 2024. – P. 1.3.8-1.3.12.

УДК621.891 (043.3)

О.В. Брешев, к.т.н., О.В. Башта, к.т.н., І.В. Семак,
М.О. Радько, О.В. Форноляк
(Державний університет, «Київський авіаційний інститут», Україна)

Розроблення розрахункової схеми одноопорної системи приводу з аеростатичними підшипниками

На прикладі шпиндельного вузла верстата напівавтоматичного різання монокристалів розглянуто розрахункову схему одноопорної системи приводу з аеростатичними підшипниками. Проведено аналіз існуючих методик розрахунку, виявлено їхні обмеження та запропоновано удосконалений підхід. Визначено основні параметри та умови роботи підшипника, що дозволяють підвищити його ефективність та несучу здатність.

Розрахункова схема передбачає виявлення та врахування тих особливостей приводу, які визначальним чином впливають на його властивості, їх не перетворення, якісну та кількісну оцінку і, водночас, абстрагування від несуттєвих особливостей [1].

Аеростатичний підшипник розглянутої одноопорної системи шпиндельного вузла верста та напівавтоматичного різання монокристалів (рис.1) [2] має такі особливості:

- порівняно великий діаметр підшипника відносно довжини, що призводить до малого значення параметра $\lambda = L/2R$ (відносної довжини підшипника), цей параметр впливає на результат розрахунку інтегральних характеристик аеростатичної опори;

- опорні поверхні підшипника мають форму усіченого конуса, тобто нахилені до осі під кутом α.

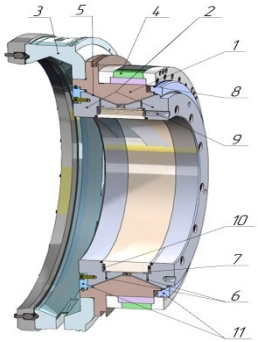


Рис. 1. Модель одноопорного безконтактного шпиндельного вузла верстата напівавтоматичного різання монокристалів:

1 – рухома опорна частина аеростатичного підшипника;

2 - не рухома опорна частина;

3 - пристрій для кріплення інструменту;

4 - магнітна система (вторинний елемент синхронної електричної машини);

5 - зазор із газовим (повітряним) мастилом;

6 - обмежувачі витрати мастила (технологічного повітря) живильники;

7 - кільцева камера підведення повітряного мастила;

8 – лабіринтовий вихід для повітряного мастила;

9 - впускний канал;

10 – проміжна кільцева камера;

11 – кільця лабіринтових ущільнень.

Існуючі методики розрахунку газових опор [2, 3, 4, 5] не розглядають аеростатичні опори з малим λ (менше 0,5) і конічними опорними поверхнями з кутом α більше 20^0. Методика, викладена в [6], не передбачає радіального ексцентриситету, тоді як у нашому випадку розраховуються саме радіальні зміщення. У [2] розглядаються опори з λ не меньше 0,5, що фактично вдвічі перевищує розрахунковий випадок, і якщо не вживати додаткових технічних заходів, то в короткого підшипника збільшується падіння тиску в середній частині (і по всій довжині), а відповідно, і падає несуча здатність. Розрахунок без урахування такої особливості покажез авищену несучу здатність.

Методи розрахунку за [3, 5] призначені для гібридних підшипників, де несуча здатність безпосередньо залежить від частоти обертання, а не тільки від тиску повітря, що нагнітається, в той час як безконтактний привід, що розглядається, може працювати в режимі підвісу. Ба більше, його вихід на робочий режим обертання передбачає, на початковому етапі створенняа еростатичного підвісу ротора, а потім повідомлення йому обертання із заданною кутовою швидкістю. У методиці [4] не розраховуються опори з кутом α більше 22^0.

З перерахованих методик розрахунку аеростатичних підшипників найбільш близькою до досліджуваної одноопорної системи безконтактного приводу є методика, викладена в [7]. Однак, у ній розглядаються аеростатичні опори, які не мають конусності, тому для її використання приймемо припущення та розрахункову модель, у якій усі параметри радіально-упорного підшипника співвідносяться з параметрами радіального підшипника (рис.2.) для отримання реакції змащувального шару поверхнею такої самої площі, з аналогічними умовами подавання газового мащення.

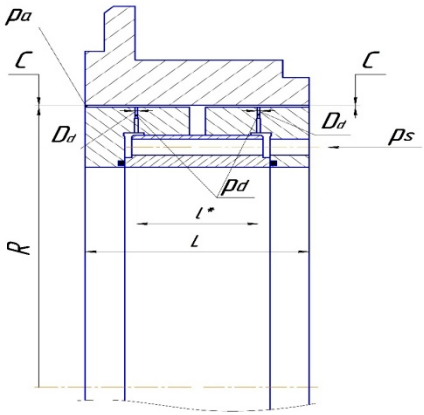


Рис. 2. Розрахункова схема аеростатичного підшипника

Розрахункова схема містить у собі такі зміни:

Опорні поверхні підшипника, кут нахилу яких відносно осі обертання становив α, розгорнуті в горизонтальнее положення, при якому $\alpha = 0$. Поворот виконано навколо точки, що знаходиться на середньому радіусі $R = (R_{\min} - R_{\max})/2$, що дало змогу дійти ідентичності з методикою [7], залишивши при цьому базову конструкцію без істотних змін.

Загальна довжина аеростатичного підшипника L складається з двох довжин конусних частин і проміжку між ними, який є камерою та перебуває під тиском (не дренажується), що дає змогу їх з'єднати в єдину опорну поверхню.

Для повнішої відповідності з методикою розрахунку [8] прибрано кільця лабіринтових ущільнень.

Початкове значення розсування ліній наддуву $b = l^*/L \approx 0{,}5$ під час розрахунку варіюється для отримання максимальної підйомної сили W_r.

Задамо основні параметри та необхідні діапазони для їх варіювання:

Нехай мастилом для підшипника є повітря, яке на сталому робочому режимі має температуру t=40^{0}C, що відповідає в'язкості повітря

$\mu = 1{,}9 \cdot 10^{-5} \frac{кг}{м \cdot с}$ і швидкості звуку a = 355,6 м/с.

Підшипник відповідно до розрахункової моделі має радіус R= 175 мм, довжину L= 97 мм і варійований середній зазор $\boldsymbol{C}$=10…40 мкм.

Через впускний отвір подається технологічне повітря від зовнішнього джерела тиском p_s= 0.3…0.63 МПа. Його надходження в зазор між рухомою і нерухомою опорними поверхнями здійснюється через два ряди обмежувачів витрати з діаметром D_d= 0.5 мм, кількістю N= 22 в одному ряду наддуву, відстань між рядами (лініями) l^*= 40 мм. При цьому повітряне мастило, що проходить через зазор аеростатичного підшипника, двічі дроселюється - у самому обмежувачі витрати (живильнику) і в робочому зазорі.

Припустимо, що радіальний аеростатичний підшипник слабко навантажений, тобто радіальне і кутове зміщення рухомої опорної частини від співвісного положення малі порівняно з максимально можливими зсувами, що залежать від величини радіального зазору. У цьому разі розрахунок аеродинамічних сил, спричинених зсувами рухомої опорної частини, зводиться до визначення виродженої матриці жорсткості, яка, за відсутності обертання, складається всього лише з двох елементів: $\overline{\boldsymbol{K}}_r^{\varepsilon}$ та $\overline{\boldsymbol{K}}_{\gamma}$ - питомих коефіцієнтів радіальної та кутової жорстокості відповідно.

Ці коефіцієнти повністю характеризують несучу здатність і жорсткість радіального підвісу. Вихідними даними для розрахунку питомих коефіцієнтів жорсткості є $\overline{\boldsymbol{K}}_r^{\varepsilon}$, $\overline{\boldsymbol{K}}_{\gamma}$ розглянутого аеростатичного підшипника є фізичні параметри, які описані в [9]:

- тиск подачі газового мастила $\boldsymbol{p}_s$;

- зовнішній тиск $\boldsymbol{p}_a$;

- константа $\boldsymbol{i}$, що залежить від типу обмежувача витрат;

- безрозмірні геометричні параметри - подовження $\boldsymbol{\lambda}$ і відносне розсування ліній наддуву $\boldsymbol{b}$;

- безрозмірний параметр режиму $\overline{\boldsymbol{m}}$ (комплексна величина, що характеризує конструкцію та умови роботи опори.

Висновок

В роботі розроблено розрахункову схему одноопорної системи приводу з аеростатичними опорами, що дозволяє більш точно оцінити її характеристики. Виявлено обмеження існуючих методик розрахунку та запропоновано удосконалений підхід, що враховує особливості геометрії та режиму роботи підшипника. Результати розрахунків свідчать про важливість урахування малих значень параметра $\boldsymbol{\alpha}$ та конічності опорних поверхонь для підвищення точності моделювання несучої здатності системи. Запропонована схема дозволяє покращити ефективність роботи шпиндельного вузла верстата та забезпечити стабільність його функціонування.

Список літератури

1. Feodosev, V. I. Soprotivleniematerialov [Tekst] / V. I. Feodosev. – 4-e izd. – M. :Nauka, 1967. – 552 s.

2. Snopov, A. I. Modelirovanie gazostaticheskih opor s neravnomernym diskretnym podduvom [Elektronnyj resurs] : Nauchnyj zhurnal. Rossijskaya Akademiya Estestvoznaniya / A. I. Snopov, N. A. Larikova, E. V. Mironova // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2009. – № 6 – S. 34–36.– Rezhim dostupa k zhurn. : http://www.science-education.ru/34

3. Oporyskolzheniya s gazovojsmazkoj [Tekst] / S. A. Shejnberg [i dr.]; pod red. S. A. Shejnberga. – 2-e izd. – M. :Mashinostroenie, 1979. – 335 s.

4. Drozdovich, V. N. Gazodinamicheskiepodshipniki [Tekst] / V. N. Drozdovich. – L. :Mashinostroenie, 1976. – 208 s.
5. Федотов, В. О. Газові підвіси шпиндельних вузлів [Текст]: монографія / В. О. Федотов, І. В. Федотова. – Вінниця: Вид-во ВНТУ, 2010. – 244 с.
6. Chernavskij, S. A. Podshipnikiskolzheniya [Tekst] / S. A. Chernavskij. – M. :MAShGIZ, 1963. – 244 s.
7. Konstantinesku, V. N. Gazovayasmazka [Tekst] / V. N. Konstantinesku; per. s rum. G. P. Maho; pod red. M. V. Korovchinskogo. – M. :Mashinostroenie, 1968. – 709 s.
8. Pinegin, S. V. Precizionnyeoporykacheniyaiopory s gazovojsmazkoj [Tekst]: spravochnik / S. V. Pinegin, A. V. Orlov, Yu. B. Tabachnikov. – M. :Mashinostroenie, 1984. – 216 s. – (Osnovyproektirovaniyamashin).
9. Брешев О.В., Башта О.В., Радько М.О. Створення регульованих конічних аеростатичних опор для безконтактних прямих приводів машин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР, 1.- 2024. -С.10-18.DOI: 10.20998/2079-0775.2024.1.02.

УДК 621.82.09

Я.Я. Сірак, к.т.н., Г.Г. Веселівська, к.т.н., ст. досл.,
Х.Р. Задорожна, к.т.н., В.С. Труш, д.т.н., ст. досл.
(Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ, Україна)

Підвищення зносостійкості плазмо-електролітних шарів на алюмінієвих сплавах

Запропоновано додавання легуючих елементів у порошок алюмінію, з якого виготовляються спресовані зразки, з подальшим плазмо-електролітним оксидуванням для підвищення характеристик алюмінієвих сплавів у деталях літальних апаратів та дронів. Представлені результати такого експерименту.

Міцність та зносостійкість авіаційної техніки є критично важливими характеристиками, оскільки вони безпосередньо впливають на безпеку, надійність та довговічність авіаційної техніки та літальних апаратів, таких як, наприклад, дрони.

Алюмінієві сплави є одним з основних матеріалів, що використовуються в авіаційній промисловості завдяки своїм унікальним властивостям. Алюмінієві сплави пропонують добру співвідношення міцності до ваги, що є ключовим фактором в авіаційній інженерії [1-5]. Алюмінієві сплави застосовуються у виготовленні: літаків (фюзеляжі, крила, хвости), вертольотів, компонентів двигунів, інтер'єрів літаків. Алюмінієві сплави також є важливими компонентами у виробництві дронів завдяки своїм унікальним властивостям. Вони дозволяють зменшувати масу дронів без втрати міцності, що є критично важливим для поліпшення ефективності польотів, тривалості роботи та загальної продуктивності пристроїв. Основні компоненти дронів, де зазвичай застосовуються алюмінієві сплави: рама та основна структура, регулятори двигунів, пропелери, системи підвіски, аксесуари та елементи управління, корпуси електроніки, системи охолодження, компоненти систем живлення. Завдяки своїм характеристикам, алюмінієві сплави залишаються популярними в авіаційній техніці, надаючи баланс між міцністю, легкістю та зносостійкістю.

Для покращення міцності та зносостійкості деталей з алюмінієвих сплавів, використовуються різноманітні методи [6-10]. Найбільш ефективні: термічна обробка, використання легованих сплавів, порошкова металургія і 3D-друк, плазмо-електролітне оксидування (ПЕО), обробка поверхні, змазування та системи охолодження, топологічна оптимізація, нанотехнології.

Комбінування цих методів може суттєво поліпшити міцність та зносостійкість авіаційної техніки, виготовленої з алюмінієвих сплавів. Підбір оптимальних технологій залежить від конкретних умов експлуатації та вимог до матеріалів у літальних апаратах.

Плазмо-електролітне оксидування (ПЕО) є інноваційним методом поверхневої обробки, що дозволяє створювати товсті, щільні оксидні покриття на легких металах, таких як алюміній і магній. Цей процес значно покращує зносостійкість і корозійну стійкість матеріалів, що робить його особливо

актуальним для застосування в авіаційній промисловості. Додавання частинок міді або нікелю може додатково покращити ці властивості.

Переваги ПЕО для алюмінієвих сплавів

• ПЕО покриття забезпечують високу зносостійкість завдяки своїй твердості та щільності, що зменшує проникнення корозійних агентів і знижує коефіцієнт тертя [2, 4, 6].

• ПЕО створює товсті, захисні покриття, які значно підвищують корозійну стійкість алюмінієвих сплавів, що особливо важливо для авіації [1, 3, 9].

Вплив додавання міді та нікелю

• Додавання міді та нікелю в оксидно-керамічні шари, створені методом ПЕО, підвищує модуль пружності, твердість і зносостійкість покриттів [7].

• Частинки міді сприяють утворенню гліцератних плівок, що знижують коефіцієнт тертя навіть при високих навантаженнях [7].

Метою даної роботи стало отримання оптимального складу легувальних елементів у деталях літальних апаратів для покращення властивостей алюмінієвих сплавів без заміни на нові деталі.

Методика експерименту. Для досліджень використовували зразки двох типів. 1 – алюмінієві сплави (як еталон); 2 - спресовані зразки із порошку алюмінію з додатками порошків сплавів, що містять мідь та нікель були виготовлені як модельні зразки. Пресовані зразки були отримані пресуванням сумішей порошків алюмінію, Ni, Cu та сплавів, Ni15Cr3B та Cu10Al90.

Методика формування ПЕО шарів. Покриття формували в катодно-анодному режимі імпульсним струмом густиною 20 А/дм2 за співвідношення Ic/Ia=1 та у лужному електроліті [11, 12]. Тривалість проведення ПЕО 2 год. Склад електроліту – водний розчин 3 г/л KOH + 2 г/л рідкого скла (натрію силікатного) [13, 14].

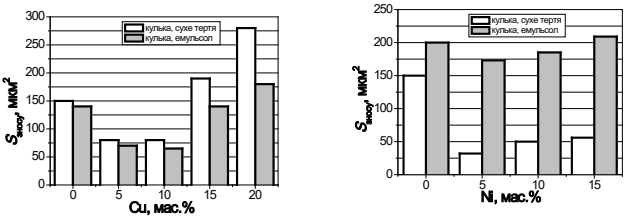
Трибологічні властивості зразків, окремо з міддю та нікелем, в контакті з отриманими шарами ПЕО були оцінені на випробувальній машині СМЦ-2. Використовувалася схема тертя «диск-блок» при контакті поверхонь дископодібних зразків з легких сплавів з циліндричними поверхнями сталевих зразків у вигляді сегментів диска. Їх діаметри в зоні контакту відповідали один одному (42 ± 0,02 мм). Співвідношення площ поверхонь тертя обох елементів становило 0,125. Під час трибологічних випробувань нерухомий елемент пари тертя у вигляді диска-сегмента (а саме блоку) був закріплений з допомогою саморегулюючого пристрою, який гарантував стабільність притиску поверхонь в зоні їх контакту і стабільне взаємне положення контактних поверхонь під час довготривалих випробувань на зносостійкість. Це дозволило правильно оцінити зміни трибологічних характеристик досліджуваних матеріалів.

Фазовий аналіз ПЕО шарів проводився на дифрактометрі ДРОН-3М з використанням випромінювання Cu-Kα.

Зносостійкість зразків оцінювали з використанням даних про їх втрату маси гравіметричним методом з використанням аналітичних ваг Radwag WAA 160 з похибкою вимірювання $\pm 10^{-4}$ g.

Результат експерименту. ***Оптимізація вмісту міді та нікелю у ПЕО***

покриттях на алюмінієвих сплавах. Твердість ПЕО шару, синтезованого на модельному зразку, є максимальною за вмісту міді в ПЕО шарі 5…10 мас. % (рис. 1*а*). При цьому зносостійкість цих ПЕО шарів корелює з їх твердістю.

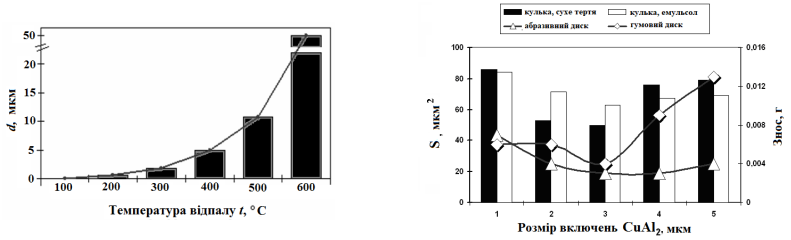


а *б*

Рис.1. Вплив вмісту міді (*а*) та нікелю (*б*) на знос ПЕО шару за трибоконтакту із сталевою кулькою за сухого тертя (білі стовпчики) та тертя в середовищі мастила (сірі) (емульсолу) за її зворотно-поступального переміщення. S – визначали як площу нормально орієнтованого перерізу канавки, яку залишала по собі кулька після 20000 циклів.

Оптимальний вміст міді у ПЕО покриттях становив 5…10 мас. %. Збільшення вмісту міді в ПЕО шарах (понад 10 мас. %) спричиняло зниження твердості, збільшення поруватості і, як наслідок, зменшення зносостійкості.

Різні розміри інтерметалідних включень у модельному зразку з ПЕО шаром забезпечили відпалом за різних температур. Після обробки покриття його структура – це пересичений твердий розчин міді в алюмінії. Під час відпалу відбулося старіння та утворювалися інтерметаліди (в першу чергу $CuAl_2$), розмір яких зростав із збільшенням температури відпалу до 400^0C. Після відпалу при 600^0C утворювалася евтектика та відбувалося оплавлення покриття. В цьому випадку максимальний розмір інтерметаліду $CuAl_2$ досягав 50 мкм (рис. 2*а*). Мінімальний знос зафіксували для ПЕО шару, синтезованого на модельному зразку, з розміром включень $CuAl_2$ в межах 0,5…10 мкм (рис. 2*б*).



а б

Рис. 2. Розмір включень інтерметаліду Cu Al_2 в залежності від температури відпалу ЕДП із Д16 (*а*) та вплив розмірів таких включень на знос ПЕО шару за абразивного зношування та зворотно-поступального тертя сталевою кулькою (*б*).

Максимальну твердість виявили в ПЕО шарі за вмісту нікелю 5 мас. %. Зі збільшенням вмісту нікелю до 10 мас. %, твердість зменшується, проте залишається вищою, ніж без нікелю. За збільшення вмісту нікелю понад 10 мас. % твердість ПЕО шару зменшується нижче твердості вихідного нелегованого ПЕО шару (рис. 1*б*) та суттєво нижче, ніж твердість алюмінієвого сплаву. Зносостійкість ПЕО шару з вмістом нікелю 5…10% дещо зростає за зворотно-поступального тертя сталевою кулькою.

Висновок:
Оптимальний вміст міді та нікелю в покриттях становить 5…10 %. Зміна вмісту міді або нікелю в ПЕО покритті (менше 5 мас.% та понад 10 мас.%) знижує твердість, збільшує поруватість і, як наслідок, зменшує зносостійкість.

Список літератури

1. Gamba, M., Cristoforetti, A., Fedel, M., Ceriani, F., Ormellese, M., & Brenna, A. (2025). Plasma Electrolytic Oxidation (PEO) coatings on aluminum alloy 2024: A review of mechanisms, processes, and corrosion resistance enhancement. *Applied Surface Science Advances*. https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2025.100707.
2. Xi, K., Wu, H., Zhou, C., Qi, Z., Yang, K., Fu, R., Xiao, S., Wu, G., Ding, K., Chen, G., & Chu, P. (2022). Improved corrosion and wear resistance of micro-arc oxidation coatings on the 2024 aluminum alloy by incorporation of quasi-two-dimensional sericite microplates. *Applied Surface Science*. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.152693.
3. Babaei, K., Fattah-alhosseini, A., & Molaei, M. (2020). The effects of carbon-based additives on corrosion and wear properties of Plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings applied on Aluminum and its alloys: A review. *Surfaces and Interfaces*, 21, 100677. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2020.100677.
4. Xie, H., Cheng, Y., Li, S., Cao, J., & Cao, L. (2017). Wear and corrosion resistant coatings on surface of cast A356 aluminum alloy by plasma electrolytic oxidation in moderately concentrated aluminate electrolytes. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27, 336-351. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(17)60038-4.
5. Wang, L., Wang, G., Dong, H., Ye, M., Li, X., Liu, L., Pan, J., & Ye, Z. (2022). Plasma electrolytic oxidation coatings on additively manufactured aluminum–silicon alloys with superior tribological performance. *Surface and Coatings Technology*. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.128246.
6. Shin, Y., Bae, K., Lee, S., Kim, H., Shin, D., Kim, D., Choi, E., Moon, H., & Lee, J. (2023). Healable Anti-Corrosive and Wear-Resistant Silicone-Oil-Impregnated Porous Oxide Layer of Aluminum Alloy by Plasma Electrolytic Oxidation. *Nanomaterials*, 13. https://doi.org/10.3390/nano13182582.
7. Hutsaylyuk, V., Student, M., Posuvailo, V., Student, O., Sirak, Y., Hvozdets'kyi, V., Maruschak, P., & Veselivska, H. (2020). The properties of oxide-ceramic layers with Cu and Ni inclusions synthesizing by PEO method on top of the gas-spraying coatings on aluminium alloys. *Vacuum*, 179, 109514. https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109514.

8. Careri, F., Sergi, A., Shashkov, P., Khan, R., & Attallah, M. (2024). Plasma electrolytic oxidation (PEO) as surface treatment for high strength Al alloys produced by L-PBF: Microstructure, performance, and effect of substrate surface roughness. *Surface and Coatings Technology*. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.131122.

9. Altaş, E., Bati, S., Rajendrachari, S., Erkan, Ö., Dag, I., & Avar, B. (2024). Comprehensive analysis of mechanical properties, wear, and corrosion behavior of AA7075-T6 alloy subjected to cryogenic treatment for aviation and defense applications. *Surface and Coatings Technology*. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2024.131101.

10. Yang, C., Zhu, J., Cui, S., Chen, P., Wu, Z., , Z., Fu, R., Tian, X., Chu, P., & Wu, Z. (2021). Wear and corrosion resistant coatings prepared on LY12 aluminum alloy by plasma electrolytic oxidation. *Surface & Coatings Technology*, 409, 126885. https://doi.org/10.1016/J.SURFCOAT.2021.126885.

11. Tribological properties of combined metal-oxide-ceramic layers on light alloys. / Student M.M., Dovhunyk V.E., Klapkiv E.D., Shmyrko V.V., Kytsya E.E // Materials Science, – 2012. – Vol. 48, No. 2. – P. 180-190. https://doi.org/10.1007/s11003-012-9489-7

12. P. Cerchier, L. Pezzato, E. Moschin, L.B. Coelho, M.G.M. Olivier, I. Moro, M. Magrini. Antifouling properties of different plasma electrolytic oxidation coatings on 7075 aluminium alloy, Int. Biodeterior. Biodegrad. 133 (2018) 70–78, https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2018.06.005.

13. M.V. Kindrachuk, Yu Ya Dushek, M.V. Luchka, A.N. Gladchenko. Evolution of the structure and properties of eutectic coatings during friction, Powder Metall. Met Ceram. 34 (1995) 321–326, https://doi.org/10.1007/BF00560139.

14. Y. Zhang, Y. Wu, D. Chen, R. Wang, D. Li, C. Guo, G. Jiang, D. Shen, S. Yu, P. Nash. Micro-structures and growth mechanisms of plasma electrolytic oxidation coatings on aluminium at different current densities, Surf. Coating. Technol. 321 (2017) 236–246, https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.04.064.

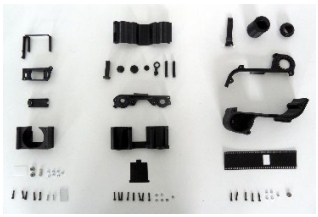
УДК 004.9:623.746: 624.07

О.Є. Якобчук, к.т.н., Т.П. Маслак, к.т.н., І.О. Якобчук
(Київський авіаційний інститут, Україна)

Особливості 3D друку безпілотних моделей літакового типу

Проведено аналіз застосування технологій та матеріалів 3D друку для виробництва П. Визначено принципові матеріали для виробництва та фактори, що впливають на надійсь конструкції при використанні технологій побудови моделей шляхом плавлення пластику. Запропоновано шляхи дослідження факторів, що впливають на міцність конструкцій та технологічність їх виробництва.

Сьогодні важко уявити проектування моделей конструкцій без використання 3D принтерів. 3D друк широко використовується в різних сферах діяльності. 3D-друк дозволяє швидко та економічно-ефективно створювати прототипи та виготовляти компоненти для широкого спектру застосувань на компактному обладнанні у невеликому приміщенні або на виробничому підприємстві. В цілому, на сьогодні, 3D-друк дозволяє набагато більше, якщо ви виберете правильну технологію і матеріал. Ця технологія дозволяє створювати високоякісні, довговічні деталі для широкого діапазону використання. Застосування технології 3D-друку дозволяє виготовляти вироби від простих брелків, іграшок, і на сьогодні можна друкувати деталі високонавантажених механізмів, матеріали для пластичної хірургії (рис. 1).


а)


б)


в)

Рис. 1. Вироби виготовлені із застосуванням (а) FDM-, (б) SLA-технологій та (в) 3D-друк металу

Однак вибір відповідного процесу 3D-друку – це лише частина завдання. Для 3D-друку в сучасних умовах використовують широкий спектр матеріалів, до яких відносять пластики різних типів і метали, шоколад.

Найбільш розповсюдженими технологіями 3D-друку є:

- Fused deposition modeling (FDM) моделювання шляхом плавлення пластику, вона також відома як виготовлення плавленням нитки (філаменту) діаметром 1,75 і 3 мм (fused filament fabrication – FFF), технологія є найпоширенішою формою 3D-друку на споживчому рівні.

- Stereolithography (SLA) стереолітографія, деталі мають найвищу роздільну здатність і точність, найчіткіші деталі та найгладшу поверхню серед усіх технологій пластикового 3D-друку. Деталі SLA після друку також можуть поліруватися, фарбуватися, на них можна наносити покриття тощо, в результаті отримаємо готові деталі з високоякісною обробкою.

- Selective laser sintering (SLS) селективне лазерне спікання використовують інженери та виробники в різних галузях для 3D-друку міцних та функціональних компонентів. Низька вартість деталей, висока продуктивність і перевірені матеріали роблять цю технологію ідеальною для широкого спектру застосувань – від швидкого створення прототипів до дрібносерійного, мостового або індивідуального виробництва.

- Металевий 3D-друк використовує такі самі принципи, що і для друку пластику, але ми отримаємо деталі, які можуть витримувати значні навантаження і температури. Для 3D-друку використовують титан, алюміній, леговану сталь, сплави нікелю.

В Україні широкого розвитку набули технології FDM для друку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) (рис. 2). Їх виготовляють в малих і великих кількостях і масштабах. Технологія FDM дозволяє використовувати різні типи пластиків, що будуть визначати міцністні і вагові характеристики БПЛА, а це в свою чергу і ефективність його використання.



а)



б)

Рис. 2. Безпілотні літальні апарати (а) літакового та (б) катерного типів

Найпоширенішими матеріалами, що використовуються у технології FDM 3D-друку, є ABS, PLA та їхні різноманітні суміші. Більш досконалі FDM-принтери здатні обробляти спеціалізовані матеріали, які забезпечують покращені властивості, такі як підвищена термостійкість, ударна в'язкість, хімічна стійкість і жорсткість. Тому для виробництва таких літальних апаратів потрібно використовувати спеціальні типи пластиків, які будуть забезпечувати міцність конструкції.

LW-PLA – це легкий полегшений PLA, який часто використовують у моделях літаків, деталях дронів та інших компонентах, де важлива мінімальна маса. Він дозволяє 3D-майстрам проектувати та виготовляти легкі та міцні деталі. Цей матеріал доступний у варіантах активного та пасивного спінювання, тому потребує спеціальних налаштувань принтера та особливих правил поводження з ним (рис. 3).



Рис. 3. Елементи корпусу моделі виготовлений з LW-PLA пластику

Особливістю LW-PLA є його активне спінювання, це означає, що в стані напівфабрикату даний пластик виглядає як звичайний PLA пластик, а під час нагрівання він починає спінюватися та розширюватися. На піку розширення даний матеріал збільшується в понад 2 рази в об’ємі, це надає йому надзвичайно низьку щільність, що і впливає на його об’ємну вагу.

PETG поліетилентерефталатгліколь – це термопласт, відомий своєю високою міцністю та гнучкістю. Літера "G" у назві PETG означає додавання гліколю до базового полімеру, що підвищує його гнучкість та ударостійкість – якості, які роблять його винятково придатним для 3D-друку (рис.4) .



Рис. 4. Корпус моделі виготовлений з PETG пластику

До ключових переваг PETG належать:

- відмінна міжшарова адгезія, що забезпечує високу структурну міцність готових виробів;

- стійкість до вологи та різноманітних хімічних речовин, що забезпечує довговічність у складних умовах;

- простота використання, що робить його придатним навіть для початківців;

- широкий діапазон температур друку, сумісний з багатьма типами 3D-принтерів.

На сьогодні немає достатньої інформації щодо дослідження міцністних характеристик матеріалів для виготовлення різних типів БПЛА. Окрім ваги систем контролю та керування, корисного вантажу, в польоті на елементи літального апарату впливають і аеродинамічні сили, тому конструкція БПЛА повинна задовольняти всі вимоги щодо міцності та безпеки польоту. В більшості випадків, міцність конструкції визначають кількістю матеріалу і його товщиною, підбирають їх експериментальним шляхом. Опис технічних характеристик матеріалів вказує, що зміна параметрів друку (такі як: температура плавлення, швидкість переміщення, охолоджувальний обдув) може суттєво вплинути на геометричні та міцністні характеристики. На рис. 3 і 4 можна побачити характерні ознаки утворення шарів, в деяких місцях спостерігаються зони розшарування. Все це свідчить про неправильно підібрані технологічні умови друку. Слід зазначити, що температура та відносна вологість навколишнього середовища впливають на процеси плавлення та адгезію між шарами надрукованого матеріалу. Неправильно вибрані умови та режими визначають міцність конструкцій, їх вагу та тривалість виготовлення таких літальних апаратів.

Висновок

Таким чином при виробництві БПЛА з використанням FDM технології необхідно дотримуватися суворої технології. Для визначення оптимальних режим і умов друку необхідно провести дослідження, що будуть вказувати на взаємозв'язок між режимами та характеристиками міцності надрукованих конструкції.

Для визначення оптимальних режимів друку та їх вплив на надійність конструкції планується проведення дослідження адгезійних зав'язків між шарами та міцністні випробування тестових зразків.

Список літератури

1. Основні матеріали, що використовуються для 3D-друку – 3Dprinter. 3Dprinter – Сайт з продажу 3д принтерів, послуг 3д друку тощо. URL: https://www.3dprinter.ua/osnovni-materiali-shho-vikoristovuyutsya-dlya-3d-druku/.

2. Самусенко Д. Інновації в технології 3d-друку та їх застосування для створення бпла з мінімізацією дефектів при використанні легких пластиків. *SCIENTIFIC PRACTICE: MODERN AND CLASSICAL RESEARCH METHODS* / chair М. Сич. 2025. URL: https://doi.org/10.36074/logos-14.02.2025.035 .

3. Guide to 3D printing materials: types, applications, and properties. Formlabs. URL: https://formlabs.com/asia/blog/3d-printing-materials/?srsltid=AfmBOor8Mfw0_XnBjevUKKa0oqVQDWyFigcHdBnRQty3lL7-xWeHXcr2.

УДК 621.793

Г.Г. Веселівська, к.т.н., ст. дослідник
В.С. Труш, д.т.н., ст. дослідник
Х.Р. Задорожна, к.т.н.
Я.Я. Сірак, к.т.н.
(Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка
НАН України, Україна)

Вплив зміцнення поверхні лопаток з титанового сплаву ВТ-6 ГТД іонними та іонно-плазмовими технологіями на її структуру та властивості

Досліджено вплив імплантації азоту дозою $2 \cdot 10^{17}$ іон/см^2 на характеристики поверхневих шарів, в тому числі з покриттям TiN, на сплаві ВТ-6. Встановлено, що таке модифікування поверхні деталей з титанового сплаву забезпечує підвищення границі їх фретинг утоми втричі, а з додатково осадженим покриттям TiN – в 5 разів.

Конструктивні, технологічні та міцнісні характеристики робочих лопаток принципово впливають на газодинамічні характеристики двигуна, надійність та стабільність його роботи, оскільки їх руйнування може спричинити пошкодження двигуна та катастрофу. Робочі лопатки турбін працюють при високих температурах, відчувають значні статичні, вібраційні та температурні напруження. Враховуючи важкі умови роботи лопаток та їх роль у двигуні до них пред'являють особливо жорсткі вимоги, зокрема до їх матеріалів та технології виготовлення [1].

Розвиток авіаційної техніки, її використання в умовах морського середовища і експлуатації на грунтових аеродромах, окреслило необхідність корозійного та ерозійного захисту титанових лопаток компресора газотурбінних двигунів (ГТД). Експлуатаційні проблеми незміцнених титанових лопаток також пов’язані з явищами фретингу, через їх схильність до мікроприварювання з іншими металами в вузлах тертя. Саме тому, для збільшення ресурсу лопаток актуальним є підвищення властивостей титанової основи зміцнюючими ерозійностійкими покриттями, які б були також стійкими до фретинг утоми, яка виникає в місцях кріплення лопатки, та роботоздатними за умов впливу морського середовища [2].

Перспективними напрямками підвищення експлуатаційного ресурсу вищезазначених деталей, які виготовляють з високоміцних і корозійнотривких титанових сплавів, є вакуумні технології, зокрема імплантація іонів азоту (N^+) та осадження покриттів TiN [3].

Мета роботи – з’ясувати вплив модифікування поверхні лопаток ГТД з титанового сплаву ВТ-6 імплантацією іонів азоту та іонно-плазмовим покриттям на їх працездатність у вузлах контактної взаємодії (фретинг утома) з урахуванням наявності корозивного середовища.

Матеріали та методики. Поверхню двохфазного (α+β) титанового сплаву ВТ-6 (Ti-6Al-4V) модифікували іонами N^+ дозою опромінення $2 \cdot 10^{17}$ іон/см^2 за енергії іонів 30 кеВ з наступним двохгодинним вакуумним відпалом

при температури 530°С. Покриття з нітриду титану на попередньо імплантовані поверхні осаджували в два етапи: очищали та активували поверхню підкладки бомбардуванням іонами Ti (етап I); одержували покриття, шляхом розпиленням високочистих титанових катодів при тиску 0,7 Па в середовищі чистого азоту (етап II). Після осадження покриття TiN зразки протягом 25 хв охолоджували до 150 °С у вакуумі.

Структуру покриттів досліджували на електронних мікроскопах “LEO-840” з можливістю мікроелементного аналізу і ZEISS EVO-40XVP із можливістю рентгенівського мікроаналізу INCA Energy.

Фазовий склад модифікованої поверхні досліджували на дифрактометрі ДРОН-3.0 у CuK_α-випромінюванні фокусуючи трубку за схемою Брегга-Брентано та розшифровували за допомогою пакету програмного забезпечення CSD).

Мікротвердість визначали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,05...0,1 Н.

За умов корозійного фретинг утомного руйнування довговічність сплаву визначали за часом до повного руйнування плоских зразків при їх циклічному навантаженні консольним згином за наступних умов випробувань: база – $1 \cdot 10^7$ циклів; амплітуда напружень 80–200 МПа; частота навантаження 10 Гц; контактний тиск у зоні фретингу 25–70 МПа (залежить від напружень). Фретинг утомні випробування проводили на зразках, що утворювали пару при контакті двох плоских поверхонь впродовж усього випробування (рис. 1).

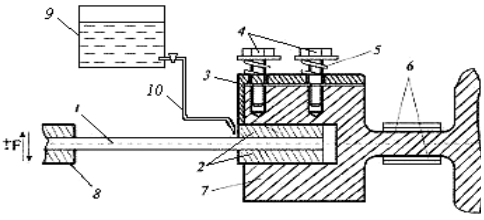


Рис. 1. Схема установки для фретинг утомних випробувань.

Результати та їх обговорення. В процесі імплантації зразок нагрівається лише до ~ 170 °С, що не сприяє дифузії іонів N^+ у глибину металу. Після імплантаційний відпал спричиняє утворення дрібнодисперсної зміцнюючої фази з TiN розміром 20–60 нм в шарі товщиною ~ 125 нм, а на відстань від поверхні 80–100 мкм утворюється щільна дислокаційна сітка [4]. Рентгеноструктурним аналізом імплантованого іонами N^+ сплаву ВТ-6 виявлено зменшення на ~ 0,2% (їх стиснення) параметрів ґраток двох фаз – α та β на глибині 10 мкм, що, ймовірно, є наслідком утворення вакансій в вузлах металічної гратки в процесі вибивання атомів металу в поверхневих шарах іонами високої енергії. Подрібнення структури виникає внаслідок утворення та еволюції радіаційних дефектів (рис. 2*а*). Після імплантації іонів N^+ шорсткість поверхні зразків R_a, яка до обробки становила 0,027 ± 0,003 мкм, не змінилася. зміна Структуру поверхнево модифікованого сплаву схематично показано на рис. 3.

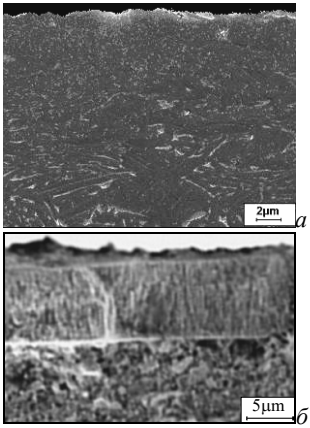


Рис. 2. Мікроструктура іонно-імплантованого азотом (*а*) та з покриттям TiN (*б*) сплаву.

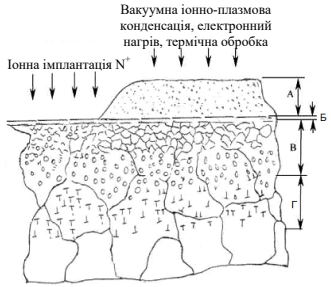


Рис. 3. Схема модифікування поверхні:
А – покриття TiN;
Б – дрібнодисперсні включення TiN;
В –модифікування іонами N^+;
Г – радіаційне зміцнення сплаву ВТ6.

Осаджене покриття TiN завтовшки ~ 10 мкм (рис. 2*б*) має чітко виражену аксіальну текстуру по [111] (рис. 4) та є практично однофазним – основна фаза має ГЦК структуру типу NaCl (a = 0,4242 нм), яка відповідає стехіометричному нітриду – TiN. Також виявлено сліди фази α-Ti та сполука 63%Ti–37%N.

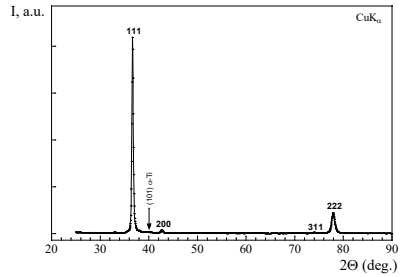


Рис. 4. Дифрактограма поверхні титанового сплаву після осадження покриття TiN.

Попередня імплантація іонів N^+, перед осадженням покриття з TiN, активує поверхню титанового сплаву, що збільшуватиме опір утомі лопатки, за рахунок зміни дислокаційної структури її поверхні та параметрів гратки поверхневого шару, а також утворення зміцнюючих нітридних фаз у поверхневих шарах сплаву, які взаємодіючи з покриттям TiN, значно збільшують його адгезію до підкладки. За суміщеної обробки зникає границя розділу ″покриття-сплав″ та виникає плавний перехід фізико-хімічного стану покриття у підкладку, що й забезпечує високу його адгезійну міцність та усуває небезпеку виникнення залишкових напружень розтягу.

Зміна мікротвердості спостерігається до глибини ~ 5 мкм, що майже на порядок перевищує максимальну глибину проникнення іонів азоту в титан. Встановлено, що іонна імплантація азоту підвищує мікротвердість тонкого

поверхневого шару сплаву ВТ-6 в 1,4 рази та становить 4,3 ГПа. Мікротвердість іонно-плазмового покриття 16,5...16,8 ГПа.

За умов фретинг утоми границя міцності плоских зразків із сплаву ВТ-6 знижується на 60–70% (94 МПа), тобто $0{,}1\sigma_в$ (рис. 5). Коефіцієнт зниження міцності сплаву (відношення границі утоми (σ_{-1}) до границі фретинг утоми ($\sigma_{-1фр}$) у парі з однотипним зразком дуже високий (3,1). Руйнування відбувається в зоні фретинг контакту завширшки до 2 мм, проковзування – до 11 мкм. Наявність корозивного середовища – 3%-го розчину NaCl (синтетична морська вода) знижує границю міцності не модифікованого титанового сплаву на ~18% (порівняно з випробуваннями на повітрі), імплантованого іонами N^+ – на 4%, а з покриттям TiN пошкодження від фретингу практично відсутні.

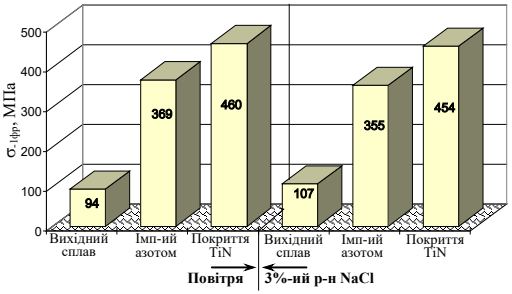


Рис. 5. Границі фретинг утоми сплаву ВТ-6 на повітрі та в корозивному середовищі після різних обробок.

Порівнюючи результати фретинг утомних випробувань, як на повітрі, так і за наявності корозивного середовища, поверхнево зміцненого сплаву ВТ-6 виявили, що найефективнішими є покриття TiN, які підвищують опір руйнуванню сплаву майже в 5 разів.

Висновки. Виявлено підвищення мікротвердості титанового сплаву ВТ-6, після імплантації іонів N^+, на глибину ~ 5 мкм. Встановлено, що внаслідок імплантації іонів N^+ поверхнева мікротвердість сплаву ВТ-6 зросла в 1,4 рази (4,3 ГПа), а після осадження покриття TiN – становила 16,5–16,8 ГПа.
Імплантація іонів N^+ також позитивно вплинула на підвищення границі фретинг утоми сплаву ВТ-6 (у 3 рази), проте додаткове осадження покриття TiN забезпечило найкращий ефект (у 5 разів).

Список літератури

1. Vinicius A. R. Henriques. Titanium production for aerospace applications // Journal of Aerospace Technology and Management. – V. 1, n. 1, Jan. - Jun. 2009. – P. 1-17.

2. Studies on Titanium Alloys for Aerospace Application / Ares GOMEZ-GALLEGOS, Paranjayee MANDAL, Diego GONZALEZ, Nicola ZUELLI, Paul BLACKWELL // Defect and Diffusion Forum. – 2018. – Vol. 385. – P. 419-423.

3. Use of nitrogen ion implantation for modification of the tribological properties of titanium alloy Ti6Al4V/ M. Kaminski, P. Budzynski, M. Wiertel, A. Drozdziel // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – 032013

4. Gawlik G. Modyfikacja warstwy wierzchniej metali i stopów metodą, implantacji jonów / G. Gawlik, J. Jagielski, A. Podgórski // Prace Instytutu Lotnictwa, nr 121–122 (Z. 2–3), 1990. – S. 74–91.

УДК 620.178.3

Ю.В. Власенко, аспірант, Т.П. Маслак, к.т.н,, М.В. Карускевич, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Індикатори двовісної втоми металів

Розглянута концепція структурно чутливого індикатору втоми при двовісному навантажуванні. Показана можливість і доцільність індикатору, в якому реалізовано локалізоване підсилення деформацій в робочій зоні за рахунок його хрестоподібної форми. В якості чутливого елементу індикатору розглядається використання монокристалу алюмінію, який реагує на циклічне навантажування зміною стану поверхні, зокрема формуванням деформаційного рельєфу. Визначено ключові обмеження та перспективи впровадження.

Контроль втомного пошкодження конструкцій літальних апаратах стає все більш актуальним у зв'язку з вимогами безпеки та ефективного використання ресурсу. Авіаційні конструкції часто зазнають не одноосьового, а складного навантаження, зокрема двовісного. Відтак, постає завдання створення доступних, надійних і простих у використанні індикаторів, які дозволяють визначати стан матеріалу без складної електроніки. Саме ця ідея покладена в основу сучасних розробок і досліджень індикаторів втоми. У документах EASA, зокрема в CS-LSA, наголошено на доцільності впровадження структурного моніторингу навіть у легкій авіації [1].

Структурно чутливі індикатори втоми виникли на основі спостереження за поверхнею пластичних металів в процесі циклічного навантажування: на поверхні металу з'являються екструзії та інтрузії, смуги ковзання. Це особливо помітно на монокристалічних зразках з чистого алюмінію та підготовлених поліруванням зразках полікристалічного алюмінію [2], [3]. Виявлено стабільну кореляцію між насиченістю та геометрією рельєфу і історією навантажування, що дозволяє використовувати рельєф як візуальний індикатор пошкодження. В останні роки проведено експерименти для двовісного навантаження, зокрема за участі комбінованого розтягу та кручення, які підтвердили інформативність таких змін [2, 4, 5].

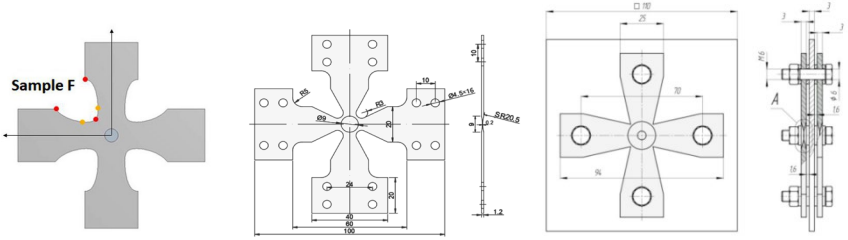
Моніторинг втоми можна проводити безпосереднім контролем елементу конструкції або встановленням на нього індикатору втоми. Індикатор втоми є необхідним у випадках, коли внаслідок особливостей мікроструктури конструкційного матеріалу безпосереднє спостереження деформаційного рельєфу унеможливлено. Слід зазначити, що окрім індикатору, що базується на спостереженні деформаційного рельєфу, існують інші технічні рішення: використання тензорезисторів чи п'єзоелементів, що реагують на руйнування або зміну структури [6].

Враховуючи доведену можливість кількісної оцінки накопиченого втомного пошкодження за параметрами деформаційного рельєфу поверхні алюмінієвих сплавів, перенесення досвіду, отриманого при випробуваннях одноосьовим розтягом на двовісне навантажування представляється доцільним.

Конструктивне рішення базується на аналізі напружено деформованого стану хрестоподібних зразків, які використовуються при дослідженнях двовісної втоми. Локальне підвищення рівня напружень і відповідного втомного пошкодження в робочій зоні двовісного індикатору досягається використанням спеціальної форми «хреста» – звуження і утонення плечей від точок кріплення індикатору до його центральної зони, в якій встановлюється чутливий елемент – монокристал алюмінію [7]. Можливість моніторингу втоми при двовісному навантажуванні була доведена експериментально [2].

Інформація з індикатора може зчитуватись за допомогою комп'ютеризованого оптичного методу. Планується також застосування подвійного рішення: пасивне візуальне спостереження і резервний електричний контроль. Такий підхід забезпечує надійність навіть у разі виходу з ладу одного з каналів [8].

У [2, 5] наведено приклади успішної реалізації методу контролю двовісної втоми на основі моніторингу насиченості деформаційного рельєфу поверхні плакованого алюмінієвого сплаву 2024-Т3. Зразки проходили випробування в лабораторних умовах комбінованим циклічним навантажуванням розтягом і крученням і демонстрували поступове накопичення рельєфу до появи тріщин. У [4] представлено метод оптимізації форми хрестоподібного зразка – індикатору втоми, що дозволило досягти концентрації напружень у визначеній області. Ці результати збігаються з висновками, отриманими в низці європейських досліджень, де також акцентується увага на оптимізації геометрії центральної зони хрестоподібного зразка. Зокрема, у [7] запропоновано змінювати товщину та форму центральної частини для досягнення локального перенапруження, а в [9] дослідники з Китаю підтвердили ефективність подібної стратегії через моделювання та експериментальні випробування. Така узгодженість підтверджує доцільність обраного підходу до формування індикатора з керованою чутливістю до двовісного навантажування (рис. 1).



а) б) в)

Рис. 1. Варіанти геометрії хрестоподібних зразків для втомних випробувань, [7,9], та індикатор двовісної втоми, [4].

Обмеження та проблеми впровадження

1. Калібрування та стандартизація. Одним із викликів є необхідність калібрувати індикатор для кожного конкретного типу конструкції та її матеріалу [8]. Індикатор повинен мати схожий механізм пошкодження і випереджаючу

чутливість до дії навантаження, стосовно деталі, що контролюється, тобто руйнуватися або формувати рельєф раніше за деталь. Це потребує знання втомних характеристик матеріалів, спектрів навантаження та умов експлуатації. Нині не існує загальноприйнятого стандарту на конструкцію зразків для двовісних втомних випробувань і індикаторів втоми – різні дослідники пропонують дещо відмінні форми [9]. Це ускладнює сертифікацію та промислове впровадження. Необхідні подальші дослідження для вироблення уніфікованих рекомендацій (наприклад, оптимальна геометрія, методи кріплення, критерії спрацювання індикатора).

2. Методи контролю та інтерпретації. При використанні оптичного методу (аналіз поверхневого рельєфу), виникає питання об'єктивності, Очевидно, що необхідні автоматизовані системи аналізу зображень, здатні кількісно оцінити параметри деформаційного рельєфу [2]. Програмне забезпечення для цього вже розроблено, на сьогодні воно реалізовано в лабораторних умовах. Крім того, в реальних умовах на поверхні індикатора можуть бути присутні забруднення, окислення тощо, що заважають аналізу. Необхідно забезпечити захист індикатора або застосувати методи очистки перед оглядом. У випадку паралельного з моніторингом рельєфу контролю змін електричного опору виникає проблема іншого характеру – можливість хибних спрацювань від завад, а також потреба в живленні/передачі даних. Це вимагає ретельної системної інтеграції таких індикаторів на літаку.

3. Вплив багатовісності. Хоча індикатори спроєктовані для двовісного навантаження, реальні режими можуть досить складними – зсувні деформації, несиметричні цикли, випадкові перевантаження. Наприклад, при непропорційному (асиметричному) навантаженні (коли фази коливань по осях зсунуті) характер накопичення втомних пошкоджень змінюється [10]. Монокристалічний чутливий елемент в індикаторі варто орієнтувати так, щоб він реагував на комбінацію напружень оптимальним чином. Це нова задача, яку поки що вирішують шляхом чисельного моделювання та експериментальної перевірки. Взагалі, багатовісна втома відома складністю інтерпретації, і індикатор поки що не може врахувати всі можливі чинники.

4. Ресурс індикатора. Важливо, щоб власний ресурс індикатора був не надто завищений – інакше він не встигне спрацювати до руйнування контрольованої зони деталі. З іншого боку, занадто «слабкий» індикатор може спрацювати задовго до кінця ресурсу конструкції, що призведе до хибних замін елементів конструкції. Тому підбір геометрії і розмірів індикатора є компромісом. Доцільно використовувати відразу декілька індикаторів різної чутливості: один – для відстеження ~50% ресурсу, другий – ~80–90%. Така концепція multi-sensor дозволить більш точно оцінити залишковий ресурс.

5. Кріплення індикатора. Якщо він наклеюється на поверхню, клейовий шар має бути здатним передавати експлуатаційні деформації в широкому діапазоні температур та не впливати на результати. При встановленні індикатору необхідно попередити утворення додаткових ризиків для цілісності конструкції, тобто місце встановлення не повинно бути додатковим концентратором напружень.

Висновки

Розглянуто можливість моніторингу втоми при двовісному навантажуванні шляхом використання структурно чутливих індикаторів пошкодження. Запропонований індикатор втоми має вигляд мініатюрного хрестоподібного зразка, виготовленого з алюмінієвого плакованого сплаву, що кріпиться до контролюючого вузла і сприймає експлуатаційний спектр навантажень. Оптимізована геометрія (звужені плечі, тонкий центр) забезпечує локалізоване втомне пошкодження, яке можна відслідковувати оптичними або електричними методами. В центрі індикатора інтегрується монокристалічний чутливий елемент для підвищення чутливості. Чутливий елемент індикатору реагує на циклічне навантажування формуванням і розвитком деформаційного рельєфу поверхні, параметри якого корелюють з накопиченим втомним пошкодженням.

Список літератури

1. EASA. Easy Access Rules for Light Sport Aeroplanes (CS-LSA), Amendment 1. – Cologne: EASA, 2018. – 32 p.
2. Pejkowski Ł., Karuskevich M., Maslak T. Extrusion/intrusion structure as a fatigue indicator for uniaxial and multiaxial loading // Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. – 2019. – Vol. 42, No. 10. – P. 2315–2324.
3. Petrášek M., Ignatovich S., Karuskevich M., Maslak T. Surface of metal as an indicator of fatigue damage // Advances in Military Technology. – 2013. – Vol. 8, No. 2. – P. 83–91.
4. Karuskevich M., Maslak T., Vlasenko Yu., Pejkowski Ł. Biaxial fatigue indicator // Procedia Structural Integrity. – 2024. – Vol. 59. – P. 642–649.
5. Karuskevich M., Ignatovich S., Karuskevich O., Maslak T., Pejkowski Ł., Kurdel P. Fatigue and overstress indicators for ultralight and light aircraft // Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures. – 2020. – Vol. 43, No. 2. – P. 595–598.
6. Wang P., Takagi T., Takeno T., Miki H. Early fatigue damage detecting sensors – a review and prospects // Sensors and Actuators A: Physical. – 2013. – Vol. 198. – P. 46–60.
7. Mitukiewicz G., Głogowski M., Stelmach J., Leyko J., Dimitrova Z., Batory D. Analysis of the Cruciform Sample Shapes for Bi-Axial Tensile Tests // Advances in Science and Technology Research Journal. – 2021. – Vol. 15, No. 2. – P. 156–168.
8. US Patent 10,845,267 B2. Fatigue fuse mounting systems and methods. – 2020.
9. Lu Z., Zhao J.Y., Zhou C.Y., He X.H. Optimization Design of a Small-Sized Cruciform Specimen for Biaxial Fatigue Testing // Metals. – 2020. – Vol. 10, No. 9. – Art. 1148.
10. Maslak T., Karuskevich M., Pejkowski Ł. New Criterion for Aircraft Multiaxial Fatigue Analysis // MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 304. – P. 01020.

УДК 621.537.611

М.М. Свирид, к.т.н., О.Ю. Сидоренко, к.т.н., Ю.М. Квач, к.т.н., В.М. Бородій
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Механізм формування трибоструктур на поверхні феромагнетика в моторній оливі при намагнічуванні

Проведено дослідження механізму формування вторинних поверхневих структур та їх захисна протизношувальна дія на зразках із пари феромагнітного матеріала сталі ШХ15 та діамагнетика латуні ЛС59-1 під дією направленого магнітного поля індукцією 0,1, 0,3, 0,5 Тл при терті в середовищі моторної оливи М10Г2к.

Серед широкої номенклатури конструктивних і технологічних методів, спрямованих на створення поверхонь тертя з підвищеними трибологічними властивостями, новим напрямом є технології, які передбачають енергетичний вплив електромагнітного *полів* направлених безпосередньо на трибосистему в процесі її роботи в різних середовищах. Необхідною умовою змащування поверхонь тертя, для недопущення схоплення, є значення кількості оливи в западинах поверхневої шорсткості навколо зоні контакту, мінімальна кількість якої повинна складати 0,002 мм3 в кожному об'ємі, в таких нішах також концентруються продукти зносу (ПЗ). [1].

Необхідною умовою підвищення працездатності і довговічності трибоспряжень є процеси припрацювання контактуючих поверхонь. Одним з ефективних методів зміни стану поверхні в процесі припрацювання та формування сприятливих у трибологічному відношенні поверхневих шарів є використання енергетичної дії магнітного поля (МП) [2].

Одним з перспективних методів є вплив МП на поверхню деталей при механічній обробці, в процесі чого сумісна дія двох параметрів підсилює деформаційну складову на 15 - 20%, [3].

Встановлено [4], що дія МП на структуру феромагнітного матеріалу значно збільшує його деформаційні властивості. Механічна деформація поверхневого шару сумісно з тертям, є фактором, що стимулює процеси утворення захисних поверхневих структур.[5]. Такі структури, згідно концепції структурної пристосовуваності матеріалів при терті [6], мінімізують фрикційне навантаження на поверхневі шари та стримують розвиток зношування. Додатковий фактор позитивного впливу на трибосистему МП полягає в утриманні феромагнітних продуктів зношування в зоні найбільшого скупчення магнітних ліній, тобто в місцях максимальної магнітної індукції. За таких умов в структурно-енергетичному стані третього тіла, що формується в зоні трибологічного контакту, можуть проявлятися явища самоорганізації, існування якого в трибосистемах встановлено в праці [7].

Сутність самоорганізації зводиться до того, що внутрішні процеси, які відбуваються у трибоконтакті, протидіють зовнішньому енергетичному впливу, послабляючи його за рахунок своєї термодинамічної протидії. Перебудова відбувається на рівні нано- і мезоструктурних процесів з утворенням на поверхнях тертя захисних плівок вторинних структур. Основна частина таких перетворень

відбувається у зовнішніх шарах матеріалу на рівні кристалічної гратки, які зазнають найбільших деформаційних змін під впливом МП.

Прояв самоорганізації полягає в миттєвій трансформації стану ділянок фактичного контакту за рахунок формування новоутворених вторинних структур міцність яких знижується в наслідок дії магнітно пластичного ефекту [8].

Значний вплив на умови припрацювання має початкова шорсткість поверхні та характеристики матеріалу [9]. з досліджень відомо, що при збільшенні шорсткості поверхні залежність коефіцієнта тертя проходить через мінімум як для умов тертя при граничному мащенні, так і без нього.

Для підвищення ресурсу трибологічного спряження необхідно створити умови за яких ПЗ можливо було б використати як матеріал «донор» для формування покриття в зоні фрикційного контакту компенсуючи знос основного матеріалу. Проте для цього необхідно надати їм властивостей підвищеної деформаційної здатності при цьому зменшення міцності основи, що можливо створити зовнішнім МП.

При відносному переміщенні шорстких поверхонь в точках контакту відбуваються процеси утворення миттєвих з'єднань мікровиступів поверхні за механізмом точкового зварювання, які слугують містками переходу для магнітного потоку без опору проміжних середовищ по свіже створеному металевому об'єму. Концентрація магнітного потоку в зоні переходу впливає на перебудову кристалічної градки матеріалу змінюючи фізичні процеси формування поверхневого рельєфу. При цьому вплив зовнішнього МП на трибосистему, змінює структурну основу, за допомогою механізму магнітно пластичний ефект МПЕ. Трибологічна поверхня формується площею фактичного контакту який займає десяті частки процентів від загальної площини тертя. Відомо, що сила МП знижується від відстані між полюсами в другому а у деяких авторів і в третьому ступені, що значно впливає на потужність магнітного потоку в момент контактної взаємодії виступів поверхонь тертя. Через місця свіже створених контактних поверхонь концентруються магнітні потоки сумарна потужність яка може досягати до 30 Вб на площі тертя до 9 мм2, що значно підвищує точковий вплив МП на будову і структурні характеристики поверхневих трибоплівок.

Додатковим фактором позитивного впливу зовнішнього МП на підвищення зносостійкості елементів трибомеханічних систем є орієнтування полярних кінців молекул оливи під дією МП перпендикулярно до поверхні тертя. Це сприяє поліпшенню умов формування граничних мастильних шарів, зниженню коефіцієнта тертя та зменшенню інтенсивності зношування елементів трибосистеми. Такий ефект дії МП при змащенні поверхонь тертя в середовищі оливи натурального походження відмічено авторами [10].

Метою роботи є встановлення механізму формування захисних поверхневих структур в трибопарі «феромагнетик діамагетик» під впливом зовнішнього МП.

Методика дослідження. Встановлення умов формування поверхневих захисних вторинних структур дослідження проводились таким чином, щоб під дією зовнішнього МП були сформовані зносостійкі еластичні плівки з матеріалів трибовузла. Для цього використані трибологічно сумісну пару феромагнетик ШХ-15 діамагнетик ЛС59-1.

Дослідження проводились на трибологічному комплексі [11], в якому реалізовано зворотно-поступальний рух зразка по контртілу за схемою контакта «палець-площина». В якості зразка використовували циліндр діаметром 4 мм і висотою 33 мм із феромагнітного матеріалу сталі ШХ-1. Тертя здійснювали в середовищі моторної оливи М10Г2к. Через зразок, розташований перпендикулярно до контактної поверхні контр-тіла, концентровано спрямовували МП від електромагніту індукцією 0,1 Тл, 0,3 Тл і 0,5 Тл. Експеримент проводили при амплітуді зворотно-поступального руху 40 мм. Швидкість ковзання в центрі доріжки тертя складала 0,2 м/с, нормальне навантаження на кулько подібну поверхню торця зразка 25 Н, шлях тертя 60 км з частотою 1Гц. Знос зразка контролювали за зміною розміру плями контакту створеної на торці з подальшим перерахуванням в об'ємний знос віднесений до кілометру шляху тертя. Для кожного значення даної індукції зовнішнього магнітного поля на трибосистему випробовували по три зразки.

Результати дослідження та їх аналіз. Аналізуючи отримані результати трибологічних випробувань (рис.1) можна констатувати, що за вище наведених умов тертя спостерігаються неоднозначний вплив величин індукції зовнішнього магнітного поля на інтенсивність зношування зразків сталі ШХ-15. При індукції 0,3Тл інтенсивність зношування мінімальна і знаходиться в межах 1,8×10-9…2,3×10-9мм3/км. (Рис.1, поз.4,5,6).

Очевидно, що додаткова енергія МП індукцією 0,3 Тл забезпечує утримання в зоні трибологічного контакту оптимальний об'єм феромагнітних продуктів зношування та створює необхідні умови для прояву МПЕ [6,7]. Дослідження топографії поверхні зразків показали, що в даному випадку на поверхні тертя формуються найбільш щільні тонкоплівкові шари захисних вторинних структур, які займають більшу частину її площі (Рис. 2б).

Зниження індукції МП до 0,1 Тл призвело до підвищення інтенсивності зношування зразків сталі ШХ-15 більш ніж у 2 рази (Рис.1, позиція 1…3). Очевидно, що за такої величини індукції МП недостатньо сприяє утриманню в зоні трибологічного контакту продуктів зношування, а МПЕ ще не набуває відчутного прояву для стимулювання процесу утворення на поверхні тертя металу

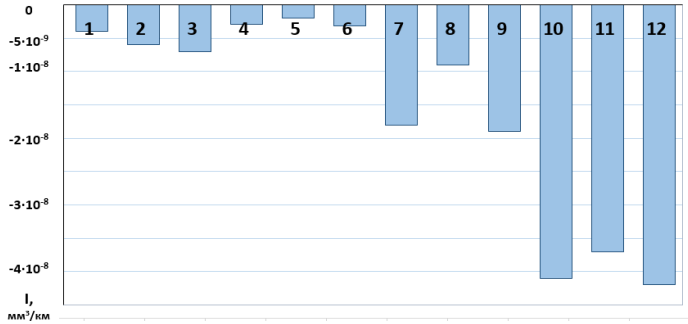
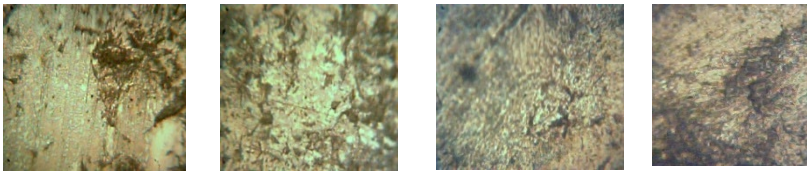


Рис. 1. Діаграма інтенсивності зношування зразків сталі ШХ-15 при терті по діамагнітному матеріалу ЛС59-1 в середовищі моторної оливи М10Г2к за різних величин індукції діючого на трибосистему зовнішнього магнітного поля: 1…3 -0,1Тл; 4…6 -0,3Тл; 7…9 -0,5Тл; 10….11- без магнітного поля

деформаційних параметрів і захисних поверхневих структур. Відповідно зменшується площа поверхні таких структур і ефективність їх захисної дії по відношенню до основного матеріалу.



а) б) в) г)

Рис. 2. Топографія поверхонь тертя зразків сталі ШХ15 після випробувань на зношування в середовищі моторної оливи М10Г2к за різних величин індукції діючого на трибосистему зовнішнього магнітного поля

Суттєве, майже у 5 разів (Рис.1 позиції 7, 8, 9), підвищення інтенсивності зношування зразків сталі ШХ-15 отримано також при збільшенні індукції магнітного поля до 0,5 Тл. Очевидно, що в цьому випадку за рахунок більшої кількості продуктів зношування, що утримуються в зоні фрикційного контакту більш сильним магнітним полем, утворюються товсті і менш міцні рихлі плівки вторинних структур. Топографія поверхні сталі ШХ-15, що сформувалась в процесі тертя при дії МП індукцією 0,5 Тл, характеризується невеликою площею, на якій спостерігаються стійкі захисні плівки вторинних структур (Рис.2в).

Вагомим чинником формування рельєфу контактних поверхонь в процесів тертя є сукупність структурно-фазових станів при зміні властивостей матеріалу в поверхневому шарі під дією зовнішнього направленого енергетичного потоку МП, як в період припрацювання, так і на стадії сталого зношування, створюються поверхні з новими параметрами шорсткості. При зростанні навантаження на поверхні збільшується кількість точок фактичного контакту змінюється їх форма, що провокує зношування, зменшенням параметра Rmax майже на 50…60% від початкових формувань окисних плівок на шорсткій поверхні [12]. В процесі тертя змінюються трибофізичні параметри матеріалу, які обумовлені зміною тиску і додатковим гартуванням з трансформацією кристалічної градки при цьому створюються інші фазові будови на поверхні металу в ході формування дрібнодисперсної структури, гальмуються первинні фази і зберігається орієнтація початкової мікроструктури. За рахунок відносного переміщення в сталях нарощується температура супроводжуючи спонтанну деформацію основи матеріалу в точках фактичного контакту при виході з контакту відбувається охолодження з великою швидкістю провокуючи міжкристалічну пластичну деформацію яка формує основу контакту трибологічної пари дрейфом дислокацій в приповерхневі шари і подальшим їх закриттям на поверхневій топографії кожного з матеріалів по різному. Вплив МП в процесі тертя підвищує деформаційну здатність феромагнетиків на 15% [13], що змінює структурну складову поверхневого шару, і формує трибологічні плівки з урахуванням додаткової енергетичної складової, яка впливає на її особливі властивості.

Отже стабілізацію трибоматеріалу можливо відобразити як зміна пластичних коливань поверхневої структури в умовах змащування.

Висновки

Експериментально встановлено, що при терті в середовищі моторної оливи в результаті впливу на трибосистему направленого зовнішнього магнітного поля на поверхні тертя феромагнітного матеріалу формуються захисні тонкоплівкові структури. За прийнятих у проведених дослідженнях умов тертя при дії на трибосистему МП індукцією 0,3Тл інтенсивність зношування зразків сталі ШХ15 у порівнянні з базовим варіантом (без дії МП) зменшилась більш ніж на порядок.

Визначено вплив зовнішнього магнітного поля на формування захисних поверхневих трибоструктур з феромагнітного матеріалу і феромагнітних частинок продуктів зношування який грунтується на підвищенні пластичності за механізмом магнітного пластичного ефекту.

Додатковим фактором підвищення зносостійкості впливом магнітного поля, є поліпшення умов формування граничних мастильних шарів шляхом орієнтації молекул оливи у напрямку магнітних ліній, спрямованих перпендикулярно до поверхні тертя.

Список літератури

1. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В.: Монографія / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик та ін.; за ред. В.В.Ауліна. – Кіровоград: видавництво Лисенко В.Ф. 2016. – 303 с.

2. М.М. Свирид, І.В. Смірнов, О.Ю. Сидоренко, С.В. Хижняк Дослідження магнітного-трибологічного впливу на параметри шорсткості поверхні Проблеми тертя та зношування, 2(91).2021 с. 80-86. doi: 10.18372/0370-2197.2(91).15532.

3. Кузнецов Н. Н. Влияние электро- и магнитноимпульсного воздействия на заготовку Обработка материалов давлением № 3 (24), 2010, С. 126-129.

4. Васильев М.А. Особенности деформации металов и сплавов в магнитном поле. Обзор/М.А. Васильев// Успехи физики металов-2007.- Т.8. – С.65-105.

5. Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М. Спосіб відновлення поверхні тертя постійним рівномірним та нерівномірним магнітним полем // Пат. № 70878 Україна, G01N 3/56 F16S33/14; Заявка u201115162, 21.12.2011; Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12. – 5 с.

УДК 621.891 (043.3)

О.В. Брешев, к.т.н., П.Л. Носко, д.т.н., О.В. Башта, к.т.н.,
І.В.Семак, ст. викл.,М.О. Радько
(Державний університет, «Київський авіаційний інститут», Україна)

Параметри і характеристики одноопорної системи приводу з конічними аеростатичними підшипниками

Досліджено параметри одноопорної системи приводу з конічними *аеростатичними підшипниками. Розроблено розрахункову модель з урахуванням перепадів тиску, конструктивних особливостей та властивостей газу. Запропоновано методику визначення несучої здатності та оптимізації експлуатаційних характеристик системи.*

Одним із важливих моментів проектного розрахунку одноопорної системи приводу з аеростатичними підшипниками (рис. 1) є вибір типу обмежувачів витрати повітря, які створюють перепад тиску між кільцевою камерою наддуву і мастильним шаром. Цей перепад (***p*****s**– ***p*****d**) заздалегідь не відомий. Систему приводу з аеростатичними підшипниками за обмежувачем (***p*****d**) може бути визначено, та з його допомогою уставлено розподіл тиску (***p***) по всьому мастильному шару. Будемо використовувати як обмежувач кільцеву діафрагму, для якої має виконуватися така емпірична умова $D_d > 4C$.

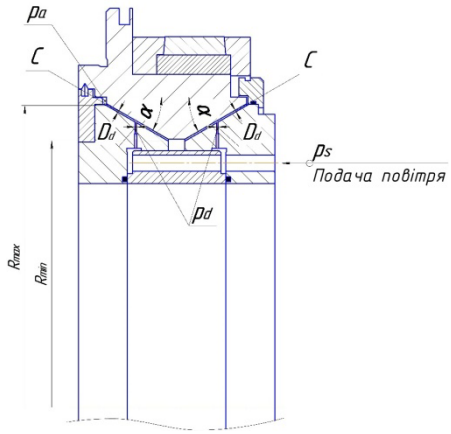


Рис. 1. Одноопорна система на аеростатичному підшипнику.

Безрозмірний параметр режиму $\overline{m}$ характеризує відношення перепадів тиску вздовж мастильного шару (***p*****d** –***p*****a**) і на обмежувачі витрати (***p*****s**–***p*****d**), залежить від конструктивних особливостей опори і властивостей газу, що подається:

$$\overline{m} = \frac{B n_d N D_d}{C^2 p_s} \quad (1)$$

де C – середній зазор при нульовому ексцентриситеті;

N кількість отворів в одному ряду живильників;

n_d– кількість рядів живильників ;

B– коефіцієнт, що залежить тільки від властивостей і температури газу, який визначається за формулою:

$$B = 12\mu a\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}},$$

де μ- в'язкість повітря;

a - швидкість звуку;

k – показник адіабати (для двоатомних газів і повітря дорівнює 1,4.).

Вираз $\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$ в роботах [1, 2] позначається адіабатичною функцією ***F(k)***.

З урахуванням перерахованих вище положень отримуємо остаточну формулу для розрахунку параметра режиму аеростатичної опори:

$$\overline{m} = \frac{12\mu a\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} N n_d D_d}{C^2 p_s}.$$

Відповідно до рекомендацій [58] отримане значення $\overline{m}$ слід помножити на поправочний коефіцієнт витрати – α_p, який для кільцевих діафрагм становить 0,8. Необхідними даними для подальшого розрахунку є відносний тиск $\overline{p}_a$ і відносний протитиск $\overline{p}_d$.

Перше виражає відношення зовнішнього (атмосферного) тиск p_a до тиску подачі повітря p_s на живильники. Відносний протитиск являє собою відношення тиску на виході з живильника p_d у мастильний шар до тиску подачі p_s технологічного повітря і визначається через функцію ζ за допомогою *апроксимації Прандтля* [3]:

$$\overline{p}_d = \sqrt{\left(\overline{p}_a^2 + \overline{m}\zeta\sqrt{1+\left(\overline{m}\zeta\right)^2} - \overline{p}_a^4\right) \div \left(1+\left(\overline{m}\zeta\right)^2\right)} \quad (2)$$

де ζ – функція, що залежить від геометричних параметрів опори (відносної довжини підшипника – λ і відносного розсування ліній наддуву – $b = l^*/L$):

$$\zeta = \frac{\lambda(1-b)}{2}.$$

Швидкість витікання повітря через живильники визначається тисками p_d та p_s або однією безрозмірною величиною $\overline{p}_d$:

$$\overline{p}_d = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}.$$

Зі зростанням перепаду тиску швидкість витікання повітря зростає і за певного (критичного) значення досягає швидкості звуку. Якщо $\overline{p}_d \le 0.528$, то

швидкість потоку перевершує швидкість звуку, при цьому можуть виникати стрибки ущільнення, для яких характерні поглинання енергії та локальні падіння тиску. З цієї причини режими течії газу через живильники мають бути докритичними. За звичай в аеростатичних повітряних опорах$0{,}528 < \bar{p}_a < 0{,}9$.

Розрахунок протитиску за формулою (2) для розглянутої опори за умови, що p_a = 1атм, вимагає зменшення тиску наддуву до значень, що забезпечують $0{,}528 < \bar{p}_a < 0{,}9$, оскільки виникнення критичного надзвукового режиму не гарантує стійкої роботи опори.

Для розрахунку коефіцієнтів жорсткості опори використовуємо уніфіковані формули:

$$\overline{K}_r^{\varepsilon} = \frac{C}{4\lambda R^2 p_s} K_r^{\varepsilon} = \frac{0{,}75\pi i\nu}{ch\lambda + 0.5\bar{m}U_r \cdot chb\lambda \cdot sh\bar{b}\lambda} \times \left(\frac{shb\lambda \cdot sh\bar{b}\lambda}{\lambda \bar{p}_d} + I_0 \frac{chb\lambda}{\sqrt{\nu\lambda}} \right); \quad (3)$$

$$\overline{K}^{\gamma} = \frac{C}{4\lambda^2 R^4 p_s} K^{\gamma} = \frac{0{,}75\pi}{\lambda} \times$$

$$\times \left(\frac{2}{3} \left[(2+b)\bar{p}_d - 3\bar{p}_a + \frac{2\bar{b}\bar{p}_a^2}{\bar{p}_d + \bar{p}_a} \right] + \frac{\nu\eta}{\lambda} \left(b \cdot chb\lambda - \frac{shb\lambda}{\lambda} \right) - \sqrt{\nu\lambda} \left[I_1 - \left(th\frac{\bar{b}\lambda}{2} + \eta \frac{shb\lambda}{sh\bar{b}\lambda} \right) I_2 \right] \right), \quad (4)$$

де $\bar{b} = 1 - b$; i – константа, яка дорівнює 2/3;

$$\nu = \frac{\bar{p}_d - \bar{p}_a}{\lambda \bar{b}};$$

U_r –апроксимована за Прандтлем функція витікання, що має в розглянутому випадку вигляд: $U_r = \frac{1}{2\bar{p}_d}$;

$$\eta = \frac{ib\lambda\ sh\bar{b}\lambda + ch\bar{b}\lambda - 1}{sh\lambda + 0.5\bar{m}U_r\ shb\lambda\ sh\bar{b}\lambda}$$ – комплексний коефіцієнт;

I_0,I_1, I_2– серія однотипних інтегралів, розв'язок яких має вигляд:

$$I_0 = \int_b^1 \frac{sh\lambda(1-x)}{\sqrt{\beta - x}}\, dx;$$

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \int_b^1 \frac{x}{\sqrt{\beta - x}} \begin{bmatrix} ch\lambda\,(1-x) \\ sh\lambda\,(1-x) \end{bmatrix} dx.$$

Для розрахунку підйомної сили одноопорної системи в рамках лінійної постановки задачі використовуємо співвідношення:

$$W_r = \lambda A_\Sigma \cdot p_s \cdot \overline{W}_r = \lambda A_\Sigma p_s \overline{K}_r^{\varepsilon} \varepsilon_r \quad (5)$$

де $A_\Sigma = 4R^2$ – глобальний масштаб площі;

$\varepsilon_r = \dfrac{e}{C}$ – глобальний масштаб площовідносний ексцентриситет, максимальне значення якого відповідає граничній вантажопідйомності опори і може досягати значення 0,8 - 0,9, так, щоб залишковий зазор був би не меншим, ніж 2...3 мкм ..;

Граничне моментне навантаження на опору $\mathbf{M}_\gamma$ визначається, по суті, відновлювальним аеродинамічним моментом, що є лінійною функцією кута повороту осі рухомої частини опори:

$$M_\gamma = \overline{K}^\gamma \cdot \bar{\gamma} \cdot 4\lambda \cdot R^3 p_s \quad (6)$$

де $\bar{\gamma} = \dfrac{\lambda R}{C}\gamma$ – коефіцієнт кутового перекосу підшипника;

γ – кут перекосу осі аеростатичного підшипника.

У $R = (R_{\min} - R_{\max})/2$ розглянутій одноопорній системі використовують радіально-упорний підшипник із конусними опорними поверхнями, розташованими під кутом α до осіо бертання, тому результуюча дія газового мастила спрямована під таким самим кутом до радіального напрямку (перпендикулярно до поверхні). Несуча здатність підшипника W_{rky} визначається радіальною складовою (уздовжосі $0Y$) від реакцій газового змащення:

$$W_{rky} = W_r \cdot \cos\alpha \cdot \quad (7)$$

Несуча здатність в осьовому напрямку W_{rkz} так само залежить від W_r та α, але, враховуючи, що конусні поверхні спрямовані назустріч, осьове навантаження будь-якого з напрямків сприймається тільки тією половиною підшипника, яка розташована з боку дії навантаження.

Тому несуча здатність радіально-упорного підшипника W_{rkz} визначається половиною від суми осьових складових (уздовж осі $0Z$) реакцій газового мастила:

$$W_{rkz} = \frac{1}{2} W_r \cdot \sin\alpha \cdot \quad (8)$$

Граничний (при $\overline{p}_a \to 0$) об'ємна витрата Q [м^3/ч] газового змащення через опору, приведений до нормальних умов газової смазки через опору, приведений до нормальних умов:

$$Q = \frac{\pi C^3 p^2_s}{12\mu p_a} \cdot \overline{m} \cdot 3600 \cdot \quad (9)$$

Результати виконаних розрахунків основних параметрів одноопорної аеростатичної системи відповідно до (1) - (9), за варіювання величини C середнього зазору з повітряним змащуванням і виконання умов докритичного та ламінарного режиму течії повітряногозмащування наведено в табл. 1.

Отримані результати засвідчили значний вплив на радіальну W_{rky}, осьову W_{rkz} несучі здатності та граничне моментне навантаження M_γ величин середнього зазору C і тиск p_s подачі технологічного повітря на живильники.

Якщо регулювання тиску p_s подачі технологічного повітря не є технічною проблемою і часто використовується на практиці, то регулювання опори за величиною зазору в процесі експлуатації можливе тільки для конічних аеростатичних опор і технічно реалізується набагато складніше. При одночасному регулюванні аеростатичних опор за цими двома параметрами в максимально широкому діапазоні стає теоретично можливим збільшувати W_{rky} та W_{rkz} приблизно в 23…24 рази (на аналогічному рівні змінюються і відповідні жорсткості), а M_γ більше, ніж у 40 разів.

Якщо ж розглядати регульованість аеростатичного підшипника в межах забезпечення гарантованої функціональності шпиндельного вузла, то діапазон звужується приблизно в 3 рази. Рядки табл. 1 з максимальними і мінімальними значеннями характеристик, за яких шпиндельний вузол зберігатиме працездатність, а їхнє збільшення становить до 8 разів.

Таблиця1.

Зміна параметрів одноопорної системи при варіюванні середнього зазору і тиску наддуву

Середній зазор ізповітряним змащенням С, м	Тиск подачі на живильники p_s, МПа	Несуча здатність одноопорної системи		Граничне моментне навантаження M_γ, Н·м	Витрата повітря Q, м^3/ч
		в радіальному напрямку W_{rky}, Н	в осьовому напрямку W_{rkz}, Н		
10×10^{-6}	0.69	8192	2364	26716	2.4
15×10^{-6}	0.38	2524	728	6470	2.0
20×10^{-6}	0.29	1131	327	2468	2.1
25×10^{-6}	0.25	600	173	1177	2.2
30×10^{-6}	0.22	335	97	611	2.3

Висновок

Установлено, що зміна тиску подачі повітря та середнього зазору істотно впливає на несучу здатність і жорсткість опори. Оптимізація цих параметрів дозволяє підвищити ефективність роботи аеростатичних підшипників у шпиндельних вузлах з повітряним змащенням.

Список літератури

1. Oporyskolzheniya s gazovojsmazkoj [Tekst] / S. A. Shejnberg [i dr.]; pod red. S. A. Shejnberga. – 2-eizd. – M. :Mashinostroenie, 1979. – 335 s.
2. Breshev, V. E. Issledovanie vliyaniya na ustojchivost dvizheniya rabochih organov mashin sposobov prilozheniya vneshnej nagruzki [Tekst] / V. E. Breshev, A. E. Tretyak // Praci Luganskogo viddilennya Mizhnarodnoyi Akademiyi informatizaciyi. – 2007. – № 2 (15) Ch.II. – S. 10 – 12.
3. Pinegin, S. V. Staticheskie i dinamicheskie harakteristiki gazostaticheskih opor [Tekst] / S. V. Pinegin, Yu. B. Tabachnikov, I. E. Sipenkov. – M. : Nauka, 1982. –265 s.

UDC 620.197.6(045)

M. Karuskevych, Dr. Sc., O. Korchuk, PhD, O. Karuskevych, PhD, V. Korchuk
(State University "Kyiv's Aviation Institute", Ukraine)

Aluminum Alloys Fatigue in the Surfactants Surrounding

Surfactants used for different purposes are considered as substances influencing metals fatigue behavior. The impact of oleic acid, Corrosion Preventive Compounds and greases, which are supposed to have surfactants in their composition have been studied. Fatigue tests have been conducted by bending at the stress level correspondent to High Cycle Fatigue. Fatigue lives were accepted as criteria of the surfactants influence on metals physical state.

Introduction. The study has been driven by the wide and multifunctional application of surface active agents (surfactants) in contemporary machines, mechanisms, constructions. The paper is focused on the effect of the oleic acid, contemporary Corrosion Preventive Compounds (CPCs) and greases which have been selected as substances of scientific and practical interest.

CPCs may include: an oil, grease or resin based film former, a volatile, low surface tension carrier solvent, a non volatile hydrophobic additive and various corrosion inhibitors or surface active agents [1]**.** The main components of Ardrox AV8, for example, are: 1,1,1,2-Tetraflouroethane; Hydrotreated heavy naptha; 1-Methoxy-2-propanol, aliphatic mineral spirits [2]. CPCs were invented and have been used recently to ensure long and safe service life of the aircraft by the reduction of harm effects of environment. Effects of CPCs application are studied by different methods.

Standard [3] specifies the procedure of the test by neutral salt spray, acetic salt spray and copper-accelerated acetic salt spray. Standard [4] specifies a method for assessing the corrosion resistance of metals by an alternate immersion test in salt solution, with or without stress. In the work [5] the metallic parts covered by CPCs were tested by: saltwater spray, high humidity exposure, drying, an ambient dwell, and elevated temperature heated drying. In the paper [6] the corrosion suppression is referred to as protection factor (PF), calculated by comparing the averaged weight loss for samples that had no CPC treatment to the weight loss for a specific CPC.

One of the CPCs attractive features is a possibility to penetrate into the gaps between the components, for example between the stringers and skin of the aircraft, and to push out the moisture [7]. Unfortunately, there are some researches which revealed unexpected and undesirable results of the CPCs penetration into the gaps of airplane structure.

Early observed side effects of Corrosion Preventive Compounds application. In the work [8] specimens of the lap riveted joints of aluminium alloy sheets where tested in different environment. The use of an oil-based penetrant reduced the fatigue endurance to 33% at high stress and to 50% at low stress. In the work [9] two different CPCs, one oil-based, and one a soft-waxy CPC, were investigated. The influence of CPCs has led to reduction of the fatigue life. It was concluded that application of CPCs probably reduced the friction at the faying

surface of joints. Fatigue behavior of the riveted joints of aviation application was studied also in the works [10 -12].

Taking into account the role of friction in the CPCs influence on riveted joints fatigue, original method for the assessment of friction between the elements of riveted joints has been developed [13].

Effect of the fatigue life reduction can be caused also by the influence on the process of the fatigue crack propagation [14]. Moreover, possible detrimental effect of CPCs on fatigue life can be comparable with its beneficial effect in protection against corrosion.

The impact of surfactants with emphasize on CPCs on the initial stage of the metal fatigue recently has not been studied yet. One of the first experimental attempts in the field is considered below.

Materials and methods. As it is known metal fatigue process includes two main periods: a) initiation of the crack, and b) fatigue crack propagation. The total number of cycles to failure can be considered as preliminary general characteristic of the process.

The clad aluminum alloy D16AT (analogue of the 2024T3) was selected for the tests as material widely used for aircraft skin manufacturing. Specimens for loading by bending were made of the sheets with thickness 1.0 mm and had stress concentrator as a hole of 1.0 mm diameter.

The following variants of the environment were considered:
a) Loading in laboratory air; b) loading after the treatment by CPC ARDROX AV8; c) loading after the treatment by commonly accepted surfactant in the form of 0.2% oleic acid dissolved in the glycerol; d) loading after the treatment by penetrant LPS-2; e) loading in the petrolatum.

ARDROX AV8 is a penetrating, water displacing, corrosion inhibiting compound.

Oleic acid (cis-9-octadecenoic acid $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$ is monounsaturated fatty acids. Oleic acid is a traditional surfactant in the study of the Rehbinder effect. Glycerol is used as a solvent of oleic acid.

LPS-2 is multi-purpose lubricant and penetrant with corrosion protection. It Petrolatum is a mixture of mineral oil and solid paraffin hydrocarbons. It does not saponify alkalis, does not oxidize, does not rancid in the air and does not change under the action of concentrated acids.

Fatigue tests of compact specimens of 2024T3 alloy have been conducted by the cyclical bending at the maximum stress 180,0 MPa, stress ratio $K = 0$; frequency 25 *Hz*.

Preliminary results of the surfactants and CPCs effects study. All fatigue lives of specimens treated by oleic acid, corrosion preventive compounds, petrolatum, as well as without treatment, belong to the range of cycles $10^5 – 2 \times 10^5$. In each group 5 specimens have been tested. The fatigue cracks initiated and propagated from the 1,0 mm hole as a stress concentrator. The computer aided analysis of the specimens surface revealed the formation and monotonic evolution of the surface relief. Results of the fatigue tests are shown in table 1.

Table 1.

Reduction of the fatigue life due to the environment

Ambient conditions	Dry Air	ARDROX AV8	LPS-2	Oleic acid solution	Petrolatum
Number of cycles to failure, min	102000	141000	126000	120000	154500
Number of cycles to failure, max	126000	177000	141000	169500	216000
Number of cycles to failure, average	114 750	159 500	133000	145 800	180 500
Reduction of the average life (compared with petrolatum surrounding)	36,4%	11,6%	26,3%	19,2%	-

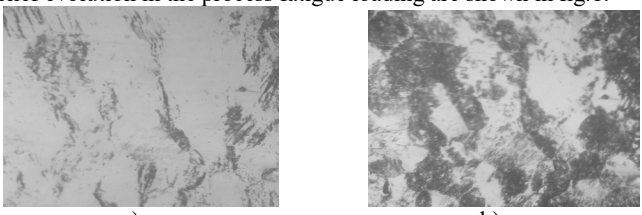
Results obtained by the described experiments reveal detrimental effect of the metal contact with air: these tests provide the minimum fatigue life of the specimens.

At the same time covering of the specimens by the compounds containing oily component creates the protective layer against the air oxygen impact on fatigue process. The strongest protective effect has petrolatum.

Protective effect of the oily substance becomes slightly less for the substances containing surfactants; these are solution of oleic oil, ARDROX AV-8, LPS-2.

Computer aided analysis of the surface deformation relief was aimed to reveal surfactants influence on the initial stage of the fatigue.

Results of the surface deformation relief study carried out at National Aviation University are described in many papers, for example [15]. Photos of the surface relief evolution in the process fatigue loading are shown in fig.1.



a) b)

Figure 1. Relief evolution, σ_{max}=147,0 MPa, R=0: a) N= 3x 10^4 cycles; b) N= 2 x 10^5 cycles; 250^x

Results of the deformation relief monitoring are shown in table 2.

Table 2.

Average Surface Relief Saturation, % after 60000 cycles

Ambient conditions	Dry Air	ARDROX AV8	LPS-2	Oleic acid solution	Petrolatum
Average Surface Relief Saturation, %	46,285	46,018	44,658	43,882	45,336

Despite the expected accelerated growth of the deformation relief due to the Rehbinder's effect it was not found. The difference in the intensity of the deformation relief after 60000 cycles is negligible. Thus, the only factor of the surfactants influence is their impact on the fatigue crack propagation stage.

Future research program: Methods for the study of the fatigue stages in the surfactants environment. As CPC have the surfactants in their composition, the possible influence of the surfactants on the physical-chemical processes in metals under the deformation must be considered to avoid the problems of side effects while protecting against corrosion. The problems of this kind are under the study by Physico-Chemical Mechanics of Materials (PCMM) [16].

To the moment CPC were not investigated in the frame of PCMM or another close scientific branch, thus the question of possible side effects of CPC application still opened and needs comprehensive study. It concerns both the initial stage of fatigue and fatigue cracks.

Conclusion

Observed effects give some preliminary suggestions regarding the mechanism of surfactant influence on fatigue damage of alclad alloys.

1. The lowest fatigue lives have the specimens tested in the dry air of the laboratory. The dry air shouldn't be consider as a reference point for the fatigue lives compare because air composition itself comprises complex of substances with different influence on metal behavior under mechanical loading.

2. The biggest fatigue lives have the specimens covered by the layer of petrolatum. This substance plays the role of barrier for the environment.

3. Measurements of the deformation relief intensity has not revealed the influence on the initial stage of the fatigue, but taking into account the visible difference of the fatigue lives, the effect of surfactant on the fatigue crack propagation stage is suggested as highly probable.

Obviously, mentioned effects require more targeted detailed investigation in statistical aspect, attention should be drawn to both initial stage of the fatigue and crack propagation.

References

1. Corrosion Prevention Compounds (CPCs). URL : https://corrosion-doctors.org/Inhibitors/CPCs.htm.
2. Corrosion Inhibitor. URL : https://aerospace-acc.com/58-corrosion-inhibitor.
3. Corrosion tests in artificial atmospheres – Salt spray tests (ISO Standard No.9227:2022). *International Organization for Standartization*. 2017. URL : https://www.iso.org/standard/81744.html.
4. Corrosion of metals and alloys — Alternate immersion test in salt solution (ISO Standard No. 11130:2017). *International Organization for Standartization*. URL : https://www.iso.org/standard/71867.html.
5. Brian E. Placzankis, Chris E. Miller, Scott M. Grendahl, Tracey L. Miller, and Stephanie M. Piraino. Evaluation of Corrosion Preventive Compounds for Aviation Materials Applications. *Army Research Laboratiory*, ARL-TR-3457. April 2005.
6. Akinyemy O.O. Evaluation of corrosion prevention compounds in aircraft. *Journal of Engineering and Environmental Studies*. 2012. Vol.3, No.2. P. 5–15.
7. Kevin Cooper, Keith Furrow, Feng Gui, R. G. Kelly. Wicking and Water Displacement by Corrosion Prevention Compounds in Simulated Aircraft Aluminum Alloy Lap Joints. *CORROSION*. 2005. Vol. 61, No. 2. P.155 – 166.
8. O'Neill P.H. A short study of the effect of a penetrant oil on the fatigue life of a riveted joint. *Aeronautical research council*. 1973. Current paper No.1305.
9. Corrosion treatments and the fatigue of aerospace structural joints / A. Jaya et al. *Procedia Engineering*. 2010. P.1523–1529.
10. Starikov R. Fatigue behaviour of mechanically fastened aluminium joints tested in spectrum loading. *International Journal of Fatigue*. 2004. 26(10). P.1115 – 1127.
11. Shankar K., Baird J.P., Clark R., Williamson HM. Optical examination of load transfer in riveted lap joints using portable holographic interferometry. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. 1997. P. 158 – 163.
12. Morris G. Defining a standard formula for fastener flexibility in lap joints : PhD dissertation, Delft University of technology, 2004.
13. I. Gavrylov, M. Karuskevich, S. Ignatovich, S. Yutskevych, T. Maslak. Influence of corrosion preventive compounds on the friction force in aircraft lap joints. *Fatigue and Fract Eng Materials Struct*. 2022. No. 45. P. 938–941.
14. Purry C. ,Fien A., Shankar K. The effect of corrosion preventative compound on fatigue crack growth properties of 2024-T351 aluminium alloys. *International Journal of Fatigue*. 2003. No. 25. P. 1175–1180.
15. Pejkowski Ł, Karuskevich M, Maslak T. Extrusion/intrusion structure as a fatigue indicator for uniaxial and multiaxial loading. *Fatigue Fract Eng Mater Struct.* 2019. Volume 42. Issue 10. P.2315 –2324.
16. Карпенко Г. В. Вплив активних рідинних середовищ на витривалість сталі. Київ : Видавництво АН УРСР, 1955. 208 с.

УДК 621.891

І.В. Малярчук
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вплив трансмісійних олив на зносостійкість бронзових пар тертя в умовах кочення з проковзуванням

Досліджено вплив різних трансмісійних олив на зносостійкість контакту бронзових поверхонь при терті ковзання. Проведено експериментальні випробування, порівняно властивості олив ТАД-17і та ТСгип. Встановлено перевагу ТСгип у зменшенні вагового зносу та підвищенні зносостійкості.

Оскільки контактне тертя під час кочення з проковзуванням, яке виникає в зубчастих передачах, є однією з ключових причин скорочення ресурсу роботи коробок передач. Точне визначення сили тертя має важливе значення для оцінки зносостійкості поверхонь і запобігання зношенню як на етапі проєктування, так і в процесі експлуатації.

Сучасні наукові підходи, які пояснюють механізми тертя та зношування в трибологічних системах, грунтуються на класичних теоріях, гіпотезах і концепціях. Вони стали основою для створення відповідних методик та лабораторного обладнання, що підтверджують ці теорії практичними результатами [1,2]. Тому будь-які розбіжності між експериментальними даними та теоретичними прогнозами зазвичай розглядалися як наслідок похибок вимірювання або експериментальних умов. Процес зношування — це сукупність змін, що відбуваються на поверхнях тертя в результаті видалення або переміщення матеріалу під впливом механічних, хімічних чи інших зовнішніх факторів. Кількісною характеристикою цього процесу є знос, який вимірюється в одиницях довжини, об'єму або маси. Допустимий рівень граничного зносу визначається залежно від експлуатаційного призначення механізму, його надійності, а також вимог до рівня шуму й вібрації [3].

У зубчастих передачах механічне зношування виникає внаслідок дії контактних зусиль між поверхнями зубців, що рухаються відносно одна одної, а також через абразивний вплив сторонніх частинок або фрагментів, які в ідокремилися в процесі зносу. Відповідно до фізичної природи зношування, розрізняють кілька його типів: адгезійне, абразивне, полірувальне, втомне, зношування під навантаженням під час запуску, а також кавітаційне [4].

Для проведення експериментів у якості мастильних речовин було обрано два типи трансмісійних олив, призначених для гіпоїдних передач, від різних виробників.

Зразок №1 представлений трансмісійною оливою **ТАД-17і**, що відповідає класифікації SAE 85W-90 за показником в’язкості. Ця олива має мінеральну основу та містить спеціальні добавки, зокрема сірчано-фосфатні, депресорні й антипінні присадки. У її склад входить не лише залишкова фракція, а й дистилятна компонента, отримана шляхом фракційної перегонки мазуту. Олива ТАД-17і придатна для змащення широкого спектру передач: циліндричних, конічних, черв’ячних, спірально-конічних і гіпоїдних, що

використовуються в автомобілях і технічному обладнанні. Діапазон робочих температур становить від –30 °С до +140 °С. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники якості трансмісійної оливи ТАД-17і

Найменування показника	ТАД-17і
Відповідність класифікаціям: SAE (API)	 80W-90 (GL-5)
В'язкість кінематична за 100 °С, мм^2/с, не менше	18,0
Індекс в'язкості, не менше	100
Масова частка сірки, %, не менше	1,0
Корозійний вплив на метали	Витримує
Температура, °С: спалаху у відкритому тиглі, не нижче застигання, не вище	 200 -15
Трибологічні характеристики на ЧШМ за (20±5) °С: навантаження зварювання, Н, не менше	 3283

Зразок №2 – трансмісійна олива **«Бора Б» ТСгип** (стандарт ТУ У 19.2-38474081-017:2018; класифікації SAE 140 / API GL-5). Ця олива є сумішшю дистилятної базової оливи високого ступеня очищення з високов'язким ароматизованим продуктом і композицією ефективних присадок. До її складу входять Infineum C9425 (цинк-діалкілдитіофосфат), поліалкілметакрилатний сополімер та алкіламін. ТСгип є універсальною, багатоцільовою трансмісійною рідиною з високим вмістом протизадирних компонентів, що забезпечують ефективну роботу гіпоїдних передач у важких умовах експлуатації. Її можна застосовувати протягом усього року в вантажному транспорті й спеціалізованій техніці, що експлуатується в помірному кліматі. Повні технічні характеристики подано в таблиці 2.

Таблиця 2

Показники якості трансмісійної оливи ТСгип

Найменування показника	ТСгип
В'язкість кінематична за 100 °С, мм2/с, не менше	18,0
Вміст водорозчинних кислот і лугів	Відсутні
Масова частка сірки, %, не менше	1,5
Корозійний вплив на метали: сталі марок 40 або 50 за ДСТУ 1050 міді марки М2 за ДСТУ 859	 Витримує Дає потемніння
Температура застигання, °С, не вище	-18
Вміст води, %	Відсутня

Зразки досліджуваної поверхні (матеріал пар тертя): штифти зі бронзи. Умови тертя: навантаження 80,1 Н, швидкість 1000 об/хв., тривалість експерименту – 30 хв. На рис. 1 зображена схема трибометричної машини для проведення експерименту.

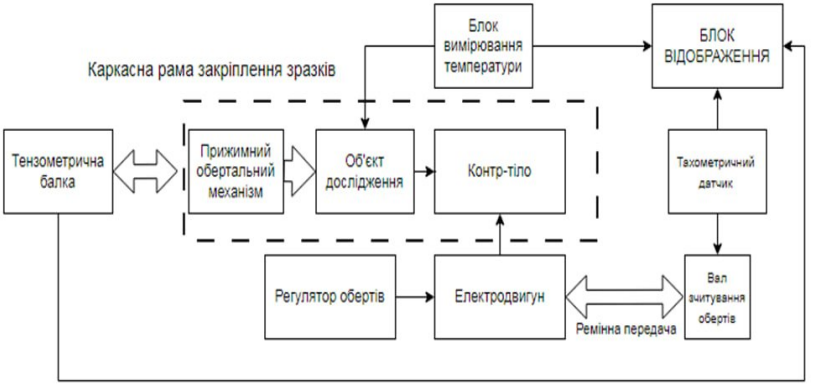


Рис 1 Схема трибометричної машини

Аналіз показників вагового зносу встановив, що змащення контактних поверхонь оливою ТСгип забезпечує більш рівномірний розподіл контактного навантаження, що підвищує зносостійкість поверхні представлено на рисунку 2.





Рис. 2. Ваговий знос бронзи при змащуванні трансмісійними оливами в умовах кочення з проковзанням.

Висновок

Визначено закономірності формування параметрів контактних поверхонь зі бронзи в умовах ковзання в період припрацювання залежно від типу трансмісійної оливи.

Визначено, що застосування оливи ТСгип забезпечує зменшення вагового зносу, що позитивно впливає на збільшення зносостійкості контактної поверхні.

Список літератури

1. R.Ye. Kostyunyk, O.U. Stelmakh, V.A. Radzievskyi, O.H. Kovalchuk, V.S. Bondar Methods and devices for experimental study of dynamic processes in boundary layers of non-contact sliding tribosystems Intercollegiate Collection "Scientific Notes". Lutsk, 2021, No. 71 DOI 10.36910/6775.24153966.2021.71.33.

2. Chichos, H. System Analysis in Tribology / H. Chichos. – Moscow: Mir, 1982. – 351 p.

3. Device for Continuous Measurement of Lubricant Film Thickness in Sliding Bearings. Author's Certificate No. 91589 for Invention. Invention Bulletin, 1950, No. 16. Authors: D.S. Kodnir, L.M. Ronin, M.D. Medvinsky, E.F. Sommer.

4. Dmitrichenko, N.F., Mnatsakanov, R.G., Belous, V.S., Grabchak, V.G. Device for Measuring Lubricant Film Thickness in Bearings. RF Patent No. RU 2972. Published on 15.05.1992.

УДК 620.22-419.8

О.А. Шевченко, к.т.н., А.А. Вінс, Р.І. Ковальський
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
К.В. Кривенко
(Компанія c2i s.r.o., Словаччина)

Залежність характеристик міцності і жорсткості склопластиків та базальтопластиків від технології їх виготовлення

Досліджено вплив технології виготовлення скло- та базальтопластиків на їх характеристики міцності і жорсткості при розтягу і згинанні. Представлено технології виготовлення пластин і результати випробувань зразків на розтяг, стиск і згинання з метою вибору матеріалу з кращими характеристиками для проектування та виробництва авіаційних конструкцій.

Широке впровадження за останні десятиліття в конструкціях різноманітних пілотованих та безпілотних літальних апаратів (ЛА) полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) дозволило суттєво знизити масу планера, підвищити корозійну стійкість та ресурс конструкції, а також покращити як теплоізоляцію так і звукопоглинання. За минуле півсторіччя створено багато конструкцій літаків повністю з ПКМ, які є на 20-40% легші, ніж аналогічні металеві. Конструкції ЛА з ПКМ мають відносно просту технологію виготовлення і значно меншу кількості деталей і кріплень, ніж металеві конструкції, тому вони стали більш конкурентними, навіть незважаючи на вищу вартість сировини для виробництва деталей з ПКМ.

У конструкціях сучасних пасажирських літаків Boeing 787 маса ПКМ досягла 50%, а в Airbus A350 досягла 53%. Більш легка та міцна композитна конструкція літака Boeing 787 Dreamliner дозволяє авіакомпаніям зменшити використання палива та викиди на 25 відсотків. Відкривши понад 410 нових безпосадочних маршрутів, сімейство 787 перевезло понад 900 мільйонів пасажирів на більш ніж 4,5 мільйонах рейсів [1].

Адекватні розрахунки конструкцій ЛА з ПКМ при їх проектуванні з використанням методом скінчених елементів, потребують знання характеристик міцності і жорсткості матеріалів з випробувань зразків з ПКМ на розтяг, стиск та згинання. Саме тому необхідно проводити дані дослідження.

У попередній роботі авторів [2] були проаналізовані різні методи випробувань на стискання композитів, було виготовлено спеціальне пристосування, за допомогою якого проведені дослідження характеристик міцності при стисканні зразків 4-х виконань з базальтопластику та склопластику. Вплив технологій виготовлення склопластиків термо-вакуумним формуванням, так і вакуумною інфузією на їх характеристики міцності при випробуваннях на розтяг і стиск був досліджений у статті [3].

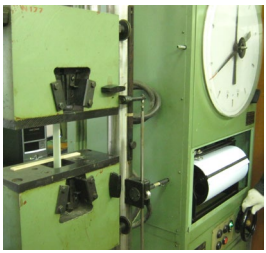
Модуль пружності, який був визначений при чотири точковому згананні багатошарових ламінатів з кутовим розташуванням волокон у роботі [4], виявився завищеним через зв'язок згинання і скручування та взаємодію між зразком і випробувальним пристосуванням. Також у даній роботі

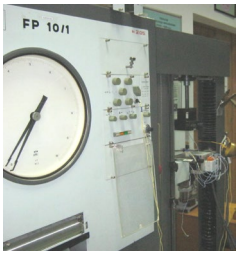
досліджено вплив тестової конфігурації на визначений модуль пружності при згинанні тонких ламінатів для шести різних укладань.

Метою даного дослідження є вибір оптимального матеріалу з кращими характеристиками міцності і жорсткості, який виготовлений за відповідною технологією, для того, щоб обраний матеріал у подальшому використати при проектуванні та виробництві конструктивних елементів ЛА. Для досліджень були обрані ПКМ 4-х виконань, виготовлених за різними технологіями двох з базальтопластику і двох зі склопластику, були виготовлені зразки і проведені випробування на розтяг, стиск та згинання. Дослідження проводились на кафедрі механіки НАУ з використанням випробувальних машин і інструментів, які мали дійсні свідоцтва про повірку. Отримані за результатами випробувань характеристики міцності і жорсткості при розтягу та згинанні для чотирьох виконань ПКМ представлені в даній роботі і проведений їх аналіз.

Були виготовлені експериментальні пластини товщиною близько 2 мм із матеріалів 4 виконань, з яких було вироблені серії зразків для випробувань на розтяг, стиск та згинання. Всі експериментальні пластини формувалися на плоских листах із сплаву 2024 Т3 розміром 750×550×5 мм. Матеріали усіх 4-х виконань були виготовлені з тканин на основі скляних або базальтових волокон та епоксидних матриць гарячого затвердіння. Матеріал ***виконання 1*** виготовлений за технологією плівкової інфузії (RFI) з базальтової тканини полотняного плетіння BAS 220.1270.P (12 шарів) виробництва компанії Basaltex, і плівкового епоксидного сполучного гарячого твердіння LFX060 (компанії 5M). Матеріал ***виконання 2*** виготовлений за технологією гарячого вакуумного формування з препрега на основі базальтової тканини BAS 220.1270.P (12 шарів) та епоксидного сполучного Sicomin Si Preg. Препрег виготовлявся методом ручного просочення шпателем, ламінувався поліетиленовою плівкою з двох сторін. Матеріал ***виконання 3*** виготовлений технологією плівкової інфузії (RFI) зі склотканини Т-10 (П)-80 та плівкового епоксидного сполучного LFX056 (компанії 5M). Матеріал ***виконання 4*** виготовлений технологією гарячого вакуумного формування з препрега на основі склотканини Т-10 (П)-80 і епоксидного сполучного Sicomin Si Preg, аналогічно матеріалу виконання 2. При формуванні всіх експериментальних матеріалів підтримувався вакуум на рівні 10 мбар абсолютного тиску, а для забезпечення заданого температурного режиму була використана термошафа з примусовою конвекцією. Для матеріалів 4-х виконань був визначений об'ємний вміст волокон (FVF - fibre volume fraction), який наданий у табл. 2. Виготовлені пластини з ПКМ були порізані на зразки за допомогою гідроабразивного різання з ЧПК, а далі просушені в термошафі.

Дослідження зразків на розтяг і стиск проводились у лабораторії на випробувальній машині Р-10 у діапазоні 0 – 50 кН (фото на рис. 1, *а*). Випробування на згинання та визначення модуля пружності при розтяганні проводились на випробувальній машині FP-10 “Heckert” у діапазоні 0 – 10 кН (фото на рис. 1, б) з побудовою діаграми навантаження – відносна деформація. Електричний сигнал по навантаженню та сигнали від тензорезисторів КФ4-200-5 з базою 5 мм оброблялися на спеціальному цифровому вимірювальному комплексі, фото якого представлено на рис. 1, *в*.







а ***б*** ***в***

Рис. 1. Випробувальні машини Р – 10 (*а*) та FP-10 “Heckert” (*б*) і цифровий вимірювальний комплекс (*в*)

Випробування на розтяг проводилися за стандартом ASTM D 3039 по 4 ÷ 5 зразків на кожне з 4-х виконань шляхом розтягання зразків до руйнування, а границя міцності при розтягу $\sigma_{tu\,i}$ *i*-го зразка визначалася за руйнівним навантаженням $P_{max\,i}$ та середньою площею перерізу A_i за формулою:

$$\sigma_{tu\,i} = P_{max\,i} / A_i \ .$$

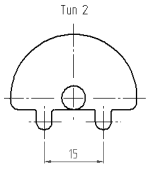
Середнє (mean) значення границі міцності при розтягу (tension) для серії зразків відповідного виконання $\sigma_{tu\,m}$ знаходилось за формулою

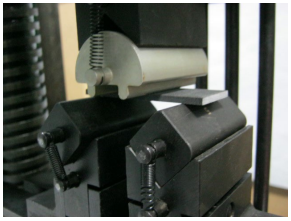
$$\sigma_{tu\,m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sigma_{tu\,i}, \qquad (1)$$

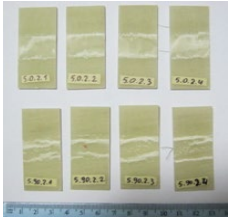
де $\sigma_{tu\,i}$ – границя міцності при розтягу, яка відповідає руйнуванню *i*-го зразка, а n –кількість зразків даного виконання, яка у дослідженнях становила 4 або 5.

Результати обробки даних випробувань на розтяг, а також на стиск за стандартом ASTM D 6641 за даними роботи [3], представлені у табл. 2.

Випробування на 4-и точкове згинання проводилися згідно зі стандартом ISO 14125 [5]. Зразки розміром 60 x 25 x 2 мм були випробувані зі спеціально виготовленим штовхачем (рис. 2, *а*) у пристосуванні випробувальної машини FP–10 (рис. 2, *б*). Зразки зі склопластику після випробувань представлені на фото (рис. 2, *в*).







а ***б*** ***в***

Рис. 2. Вигляд штовхача (*а*), пристосування для випробувань на 4-и точкове згинання (*б*) та зразків зі склопластику після випробувань (*в*)

Границя міцності при згинанні (Bending) σ_{Bu}, згідно до стандарту ISO 14125 [5], визначалась як згинальне напруження при максимальному навантаженні при випробуваннях. Згинальне напруження σ_f – є номінальним напруженням на поверхні зразка у середній його частині, яке визначається у відповідності до виразу (2) у МПа. Для чотири точкового згинання маємо:

$$\sigma_f = \frac{FL}{bh^2} \qquad (2)$$

де F – це навантаження, у ньютонах (Н); L – розмах, у міліметрах (мм); h – товщина зразка, у міліметрах (мм); b – ширина зразка, у міліметрах (мм).

Загальні напруження при руйнуванні σ_{fB} визначаються з діаграми напруження – деформація, відповідно до (2), при F у момент руйнування.

Значення середніх границь міцності при згинанні $\sigma_{Bu\,m}$ для серій зразків 4-х виконань, разом з границями міцності при розтягу та стиску, а також типами волокна та маркою епоксидної матриці, де базальтова тканина BAS 220.1270.P, а склотканина Т-10 (П)-80, представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Значення середніх границь міцності при розтягу, стиску та згинанні

№ виконання	Волокно тканини + марка епоксидної матриці	Розтяг $\sigma_{tu\,m}$, МПа	Стиск $\sigma_{cu\,m}$, МПа	Згинання $\sigma_{Bu\,m}$, МПа
1	Базальтове + Letoxit LFX060*	438,0	424,1	545,6
2	Базальтове + Sicomin Si Preg**	465,9	405,4	508,4
3	Скляне + Letoxit LFX056*	524,8	420,0	620,4
4	Скляне + Sicomin Si Preg**	523,8	437,5	626,7

* Плівкове епоксидне сполучне гарячого затвердіння Letoxit LFX060 (LFX056)

** Епоксидне сполучне Sicomin Si Preg.

Результати випробувань у вигляді гістограм представлені на рис. 3.

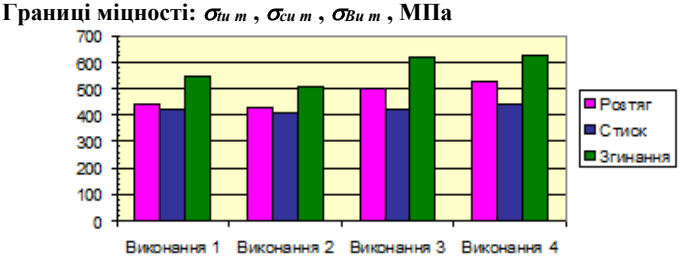


Рис. 3. Гістограми границь міцності при розтягу, стиску та згинанні

Крім характеристик міцності були визначені модулі пружності E_t для ПКМ усіх 4-х виконань з випробувань на розтяг та на згинання.

При випробуваннях на розтяг хордовий модуль пружності (E_t) був визначений за формулою:

$$E_t = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon, \qquad (3)$$

де $\Delta\sigma$ – різниця між 2 напруженнями, які відповідають відносним деформаціям 0,001 та 0,003, МПа; $\Delta\varepsilon$ – різниця між відносними деформаціями (0,002).

Модуль пружності при згинанні, або хордовий модуль E_B визначається як відношення різниці напружень ($\sigma_f'' - \sigma_f'$) поділеної на різницю відносних деформацій ($\varepsilon_f'' = 0{,}0025 - \varepsilon_f' = 0{,}0005$) і виражається у МПа.

Значення середніх модулів пружності при розтягу і згинанні серій зразків 4-х виконань, а також характеристики міцності при розтягу і згинанні , які нормалізовані для об'ємного вмісту волокон 40% представлені у табл. 3.

Таблиця 3

Значення границь міцності та модулів пружності при розтягу та згинанні

№ виконання	**Об'ємний вміст волокон FVF, %**	**Розтяг $\sigma_{tu\,m}$, МПа ***	**Розтяг $E_{t\,m}$, ГПа**	**Згинання $\sigma_{Bu\,m}$, МПа***	**Згинання $E_{B\,m}$, ГПа**
1	40	**438,0**	20,4	**545,6**	16,35
2	43,5	**428,4**	19,9	**467,5**	19,12
3	42	**499,8**	22,5	**591,0**	21,54
4	40	**523,8**	23,0	**626,7**	20,91

*- результати нормалізовані для об'ємного вмісту волокон 40%

Висновки.

Аналіз результатів випробувань дозволяє зробити висновок, що технологія виготовлення суттєво впливає на характеристики міцності і жорсткості полімерних композиційних матеріалів. Найміцнішим є матеріал виконання 4, який має середні значення границь міцності при розтягу 523,8 МПа, при стиску 437,5 МПа, і 626,7 МПа при згинанні. Матеріал даного виконання показав найвищу міцність у порівнянні з нормалізованими для об'ємного вмісту волокон 40% аналогічними характеристиками ПКМ інших виконань. Цей матеріал має також найвище значення модуля пружності при розтягу 23,0 ГПа. Границі міцності при розтягу для матеріалів 4-х виконань вище на 3 ÷ 20% ніж при стиску, але на 9 ÷ 25% нижче ніж при згинанні. Модулі пружності, які визначені з випробувань на чотири точкове згинання, виявилися нижчими на 4 ÷ 20%, ніж модулі пружності при розтягу для ПКМ аналогічних виконань.

Список літератури

1. https://www.boeing.com/commercial/787#overview.
2. Астанін В.В., Шевченко О.А., Кривенко К.В. Міцність полімерних композиційних матеріалів при стисканні // XII Міжнародній науково-технічній конференції «АВІА-2015»: матеріали 28-29 квітня 2015 р: тези доп. – К.: НАУ, 2015. – С. 18.32 - 18.35.
3. Astanin V.V., Shevchenko O.A., Balalaev A.V., Bondar N.V. Influence of production technology of fiberglass on the strength characteristics // Proceedings of The Eighth World Congress “Aviation in the XXI-st Century” “Safety in Aviation and Space Technologies”. Kyiv, Ukraine, October 10-12, 2018. – P. 1.3.9 -1.3.13.
4. Wowk D., Marsden C., The effects of test set-up on the apparent flexural modulus of thin angle-ply laminates using standard four-point bend testing. Int. J. Comp. Meth. and Exp. Meas., Vol. 6, No. 3 (2018) 551–562.
5. Standard ISO 14125:1998 “Fibre-reinforced plastic composites - Determination of flexural properties”, published March 1998, 18p.

UDC 621.822

M.V.Kindrachuk, V.V. Kharchenko, I.A. Humeniuk,
M.A. Hlovyn, I.V. Kostetskyi
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Effect of frictional heating on tribotechnical properties of hardened carbon steel

Structural changes during cooling and frictional heating of laser-hardened carbon steel and their influence on tribotechnical properties under lubricant-free sliding friction are investigated. A structural analysis of steel at the boundary of the molten zone and the quenching zone was performed. The dependence of the effect of the tempering temperature on the wear resistance and hardness of laser hardened steel was investigated. The influence of frictional heating on the wear resistance of steel was determined and it was found that with an increase in the sliding speed, the average volume temperature in the surface layer of the sample increases. The increase in temperature in the surface layer of the sample has a significant effect on the wear resistance of steel.

The thermal stability of structures during laser steel processing is of great scientific and practical importance. Machine parts and tools strengthened by laser treatment can heat up significantly during grinding and welding, as well as in operation at elevated temperatures during friction due to frictional heating. There is still no unanimous opinion on the heat resistance of steel after laser treatment; there are experimental data indicating increased resistance to embrittlement during tempering of carbon and low-alloy steels under laser exposure. At the same time, it was found that heating up to 200°C during tempering significantly reduces the wear resistance of laser beam hardened steel by eight times. The effect of tempering and frictional heating on the wear resistance of laser-hardened carbon zeutectoid steel U10 under lubricant-free sliding friction was investigated. The laser treatment was performed with a CO2 laser at an output power of 1.0 kW, a beam diameter of 3-5 mm, and a sample movement speed of 0.4-0.7 m/min. As a result of a single beam passage, a hardened zone depth of 0.7-1.0 mm was achieved. Separate hardened strips 5-6 mm wide with and without melting were observed on the surface of the samples [1–3].

Samples, some of which were subjected to laser and others to bulk hardening at 780 °C in salted water, cooled to 200-250 °C, and then transferred to oil, were tempered at 50-700 °C (for 2 h) in an oil (50-200 °C) bath, followed by air cooling.

The microstructure of the steel was studied metallographically, and the microhardness was determined using the M-400 Lecorp device with automatic loading. Tribotechnical tests were carried out on a face friction machine at a load of 1 MPa with a sliding speed of 0.1-2.0 m/s. The heat-resistant nickel alloy ZhS6K was chosen as a counterbody.

Before tribotechnical tests, the working surfaces of the samples were mechanically ground. At the same time, a layer about 0.15 mm thick containing the melted zone was removed from the laser-hardened end surfaces of the samples, and only the metal layer hardened from the solid state was further examined.

The average temperature in the surface layers of the sample was measured using a thermocouple and recorded throughout the experiment. Since the surface layers were deformed to a considerable depth during the experiment, the thermocouple junction with a diameter of 0.25-0.35 mm was fixed at a distance of 0.4 mm by spot welding.

According to the results of the evaluation of the experimental data obtained, the primary cause of the sharp increase in the wear of hardened and low- tempered steel is the processes of dynamic aging (tempering under load). Dynamic ageing in hardened steels results in the decomposition of a supersaturated solid solution (martensite) in the stress field created by an external load. Tempering at temperatures above 50 to 100 °C leads to a decrease in the carbon content of martensite, which is the main reason for the decrease in hardness and line width at tempering temperatures of 100 to 275 °C. A further decrease in these characteristics at tempering temperatures of 300-700 °C is mainly due to a change in the morphology of the carbide phase. At the same time, the pattern of changes in hardness and martensite line width during tempering of laser hardened U10 steel and bulk quenched steel from a furnace is the same.

It was discovered that intensive steel hardening occurs during wear. Moreover, the maximum increase in microhardness (by 2500-2700 MPa) is observed on the friction surfaces of unquenched steel. Tempering at temperatures of 100-275 °C leads to a decrease in the ability of martensite to strain harden with an increase in the tempering temperature to 700 °C, which decreases to the level of 950-1200 MPa. Thus, comparing the data obtained, it can be argued that the most significant decrease in the wear resistance of hardened U10 steel observed at tempering temperatures of 100-275 °C is due to a decrease in the carbon content in martensite, which causes a decrease in the ability of martensite to strain harden during wear. At the same time, a gradual decrease in wear resistance at higher tempering temperatures is associated with the decomposition of martensite into a ferritic-carbide mixture and a change in the dispersion of carbide particles, which causes a decrease in the initial hardness of the steel and has almost no effect on its ability to strain harden during wear.

The study of the effect of frictional heating on the wear resistance of U10 steel found that with an increase in sliding speed, the average volume temperature in the surface layer of the sample increases. Moreover, the increase in temperature in the surface layer of the sample has a significant effect on the wear resistance of steel. At sliding speeds of 0.5-1.0 m/s, intensive frictional oxidation of the friction surface of the samples occurs with the formation of Fe_2O_3 and Fe_3O_4 oxides. Under these friction conditions, laser-strengthened steel has no wear resistance advantages over low-annealed bulk hardened steel, since the amount of wear is largely determined by the properties of the oxides formed. At the same time, as shown earlier, at low speeds (0.1 m/s), when frictional heating of the samples is negligible, the wear rate of laser hardened steel is much lower than that of steel subjected to bulk hardening and tempering at 200 °C.

Increasing the sliding speed further to 1.5 to 2.0 m/s leads to an increase in the wear rate of low-annealed steel due to the development of thermal setting processes. In

this speed range, laser-hardened steel, like non-annealed bulk hardened steel, is characterized by high wear resistance.

Conclusion

The results obtained allow us to note the following features of the effect of tempering and frictional heating on the tribotechnical properties of U10 steel. In the case of low sliding speeds, the unquenched steel is more wear-resistant than the low-quenched steel, which is probably due to the higher hardness and ability to strain harden high-carbon martensite. The increased wear resistance of undemolded steel under conditions of significant frictional heating is probably also due to the deformation dynamic aging of martensite in the process of friction. The nature of the effect of tempering at temperatures of 50-700 °C on the tribotechnical properties of U10 steel hardened by both laser and furnace heating is almost identical. However, the sharpest drop in wear resistance is observed in the temperature range of 100-275 °C, which is associated with a decrease in the initial hardness and the ability of martensite to harden under friction.

References

1. Kindrachuk M.V. Formuvannia znosostiikykh evtektychnykh pokryttiv kontsentrovanymy dzherelamy enerhii./ M.V.Kindrachuk, O.I.Dudka, Yu.H. Sukhenko ta in. –K: IZMN, 1997. –119s.

2. Kindrachuk M.V. Trybolohiia: pidruchnyk / M.V.Kindrachuk, V.F.Labunets, M.I.Pashechko, Ye.V.Korbut. – K.:, NAU, 2009.

3. Herziger G., Stemme R., Weber H. Modulation Technique to Control Laser Material Processing. – IEEE, QE-10, 1987, υ2 P.175-176.

УДК 339.9.336.54

Т.О. Семитківська, к.т.н., Н.І. Кушнєрова, к.т.н., К.О. Мірошник
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Дослідження принципів розвитку авіаційних транспортних систем

Розвиток авіаційної транспортної системи базується на впровадженні науково-технічних проектів у цьому напрямку. Доведено необхідність проведення глибоких досліджень для оцінювання ефективності реалізації таких стратегій. Визначені принципи розвитку будь-якої системи на прикладі авіаційно-транспортної.

Усвідомлення важливості питань безпеки й ефективності авіації є головною рушійною силою її постійного розвитку. Саме в авіації в першу чергу впроваджуються найсучасніші технології, в тому числі й інформаційні, які потребують високої кваліфікації персоналу, що обслуговує авіаційну техніку та запобігає небезпеці.

Україна – одна з небагатьох країн світу, яка має повний цикл авіаційних видів діяльності – від проектування авіаційних двигунів і літаків до їх експлуатації, обслуговування та ремонту. Дуже важливими є також освітянські та наукові напрями діяльності, оскільки саме вони забезпечують підготовку кадрів, ефективність і безпеку авіаційної галузі.

Авіаційна транспортна система характеризується рядом властивостей і насамперед це – безпека авіації, як комплексна категорія. Як будь яка система вона має динамічний стан, що утворюється від взаємодії людей з їхнім фізичним, соціальним, культурним, технологічним, політичним, економічним та організаційним оточенням.

На протязі останніх декількох десятиріч багато наукових праць було присвячено дослідженню системи «людина – техніка - середовище». Складність і серйозність зазначених питань завжди була визначена та стверджена часом.

Вироблені структурами ООН підходи, які реалізуються в галузі цивільної авіації для досягнення безпечних польотів, мають забезпечуватися завдяки активному впливу на певні структури та поведінку людей таких чинників:

- інформації про ризик і варіанти керування ним, яка поширюється між громадськими, політичними, професійними, науковими й суспільними групами;
- узгодженості дій для максимізації рівнів безпеки, які є досяжними за даних умов;
- механізмів для розподілу ресурсів залежно від потреб та для врегулювання конфліктних ситуацій;
- легальних (юридичних) основ для гарантування відповідальності індивідів, організацій і урядів на всіх рівнях.

Принципи розвитку авіаційних транспортних систем вимушують дослідження ринку авіаційних перевезень та корегування оцінки його наявної місткості, прогнозування можливості у майбутньому та виходу на ринки інших країн.

Таким чином, подібні оперативні заходи формують стратегію маркетингу та дозволяють визначити оптимальні напрями розвитку авіакомпаній, мінімізувати ризики та забезпечити конкурентоспроможність на ринку перевезень.

Сьогодні, авіаційна галузь знаходячись в процесі відновлення після пандемії та трансформації у військовий час, адаптується до нових викликів та можливостей. Відомо, що у цих умовах зростання попиту на перельоти неможливо розглядати без розвитку цифрових технологій та активної державної підтримки. Водночас, обмеження та економічна нестабільність змушують ретельно вивчати світовий досвід розвитку та реалізації проектів. Слід зауважити, що незважаючи на економічні коливання, авіаційні вантажні перевезення залишаються ключовими для міжнародної логістики. У цілому, світовий ринок пасажирських перевезень у 2023 році значно зріс і досягнув рівня пасажирів, що майже дорівнює показникам 2019 року.

Основними рушійними факторами зростання є відновлення міжнародного туризму, бізнес-подорожі та розвиток лоукост-компаній. Найбільший приріст спостерігається в Азійсько-Тихоокеанському регіоні, особливо в Китаї та Індії. Також заслуговує уваги досвід застосування оцінювання ефективності реалізації проектів Іспанії, Німеччини, Південної Кореї. Метаграничний підхід оцінювання ефективності роботи аеропортів Тайваню в залежності від технологічної цінності та статусу (приватні чи державні) підприємства може бути корисним при розгляді вітчизняних проектів.

Таблиця 1.

Світовий досвід оцінювання ефективності реалізації науково-технічних проектів

Комерційні	Некомерційні
Рівень прибутковості	Стратегічне узгодження з бізнес-сегментом
Стратегічне узгодження	Виконання заявлених завдань і цілей проекту
Прогнозована вартість реалізації проекту	Якісні показники виконавців проекту
Рівень валового прибутку	Різноманіття науково-технічних проектів
Якість і надійність продукту	Чіткість визначених цілей проекту
Продажі або валовий прибуток від нових продуктів	Якість і надійність продукту
Оцінювання переваг проекту з точки зору споживача	Виконання заявлених завдань і цілей проекту
Зовнішнє колегіальне оцінювання проекту	Якісні показники виконання проекту
Рівень комерційної привабливості проектів	Оцінка технічних можливостей
Вартість впровадження у виробництво	Кількість технічних звітів

Проектна стратегія в авіаційній сфері передбачає визначення цілей, вибір оптимального стратегічного підходу та розробку шляхів досягнення

конкурентних переваг. Авіаційний ринок має високу капіталомісткість, суворе регулювання та значний рівень конкуренції, тому правильний вибір стратегії є ключовим для успішної реалізації проекту. Проектна стратегія формується на основі чітко визначених цілей розвитку компанії та принципах розвитку авіаційних транспортних систем, а саме:

- максимізація прибутковості та ефективності операцій: оптимізація витрат на експлуатацію та технічне обслуговування, використання новітніх економічних авіалайнерів (наприклад, Airbus A320neo, Boeing 737 MAX);
- розширення ринкової частки: вихід на нові географічні ринки (регіональні або міжнародні маршрути); збільшення частоти рейсів на популярних напрямках;
- поліпшення обслуговування клієнтів: використання цифрових технологій (мобільні додатки, автоматизовані системи реєстрації), запровадження програм лояльності та персоналізованих сервісів;
- відповідність екологічним стандартам: використання екологічного пального та електрифікація аеропортової інфраструктури, оптимізація маршрутів для зменшення викидів CO_2;
- забезпечення фінансової стійкості та зниження ризиків: диверсифікація джерел доходу (вантажні перевезення, партнерські програми, додаткові послуги), гнучкість у ціноутворенні для адаптації до ринкових змін.

Висновок

Авіаційно-транспортна система повинна:

- базуватися на оцінюванні ефективності у своєму ідеальному вираженні та спиратися на кількісних показниках у своєму розвитку, які можна об'єктивно зареєструвати, виміряти, зберігати і трансформувати;
- бути надзвичайно чутливою до правильності вибору і інтерпретації кількісних показників, і до повноти їхнього збору та зберігання;
- мати можливість корегувати систему оцінювання ефективності реалізації науково-технічних проектів для достатнього рівня прогнозування реалізації ще на етапі заявки чи у підготовчому періоді.

Чим довше функціонуватиме система оцінювання ефективності, тим точніше ставатимуть результати її функціонування. У науковій сфері, де науково-технічні проекти мають середню тривалість реалізації у 2 -3 роки, цей період може складати більше десяти років.

Список літератури

1. Аналіз та реалізація проектів: Ковшун Н. Е., Левун О. І., ISBN 978-966-327-521-5, [Електронний ресурс]. – Рівне: УВГП, 2022. – 350с.
2. Управління проектами. Л. Є Довгань, Г. А. Махонько, І. П. Малик. – К. : КПІ ім. Сікорського, 2021. -420с.
3. Smerichevskyi S., Gura S. Strategic mechanisms of regulating the European integration development of air transport in Ukraine. Green, Blue & Digital Economy Journal. 2021. Vol. 2 No. 1. pp. 53-59.
4. Технологічне проектування: практикум. Л. О. Гончар. ISBN 978-617-520-054-4. – Київ. Видавництво Ліра-К, 2020. – 92с.

УДК 004.8:629.7.05/.07(043.2)

І.Б. Зарубінська, д.п.н., професор, М.В. Сафаров
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання штучного інтелекту для прогнозування навантаження на авіаційні системи та оптимізації ресурсів

Використання ШІ для прогнозування навантаження на авіаційні системи та оптимізації ресурсів може бути важливим елементом у забезпеченні ефективності роботи авіаційних систем. В роботі розглянуто успішні кейси використання штучного інтелекту в сучасному авіаційному транспорті, потенційні можливості та виклики при використанні даної технології в авіації.

За останні роки повітряний транспорт стикнувся з новими викликами: зростання обсягів повітряного руху, посилення екологічних вимог, ускладнення систем та більша увага до конкурентоспроможності. Для розв'язання перерахованих питань справді потрібен був інноваційний підхід, який сприятиме покращенню ефективності використання авіаційного транспорту. Дослідження Європейської агенції авіаційної безпеки (EASA) та Європейської організації з безпеки аеронавігації (EUROCONTROL) показують, що саме штучний інтелект (ШІ) вже стає важливою частиною сучасних технологій, які частково сприяють поліпшенню прогнозування навантаження на авіаційні системи та оптимізації ресурсів, що дає змогу авіакомпаніям та аеропортам ефективніше управляти операціями та знижувати витрати [1].

Одним з успішних прикладів використання ШІ для прогнозування навантаження на авіаційні системи є сервіс «Passenger demand support service», який надає інформацію про прогнозовану кількість пасажирів, рейси та скасування. Його головна мета — допомогти користувачам, тобто аеропортам та компаніям, передбачити тенденції щодо пасажиропотоку, що сприяє більш ефективному оперативному плануванню та безперебійній роботі під час обслуговування пасажирів. Цей інструмент допомагає аеропортам ефективніше планувати свою діяльність та передбачати можливі операційні проблеми, пов’язані з пасажиропотоком, що дозволяє оптимізувати роботу персоналу та ресурси. Сервіс базується на принципах штучного інтелекту та машинного навчання (ML), аналізуючи дані мережевого менеджера та досліджуючи інформацію про комерційні рейси, зокрема пропозицію місць на ринку. Крім того, враховуються додаткові фактори, як день тижня, час доби, ідентифікатор авіакомпанії та аеропорту, що допомагає підвищити точність прогнозів попиту на пасажирів [2].

Як наслідок прогнозування навантаження, штучний інтелект може допомагати в оптимізації ресурсів, а саме в управлінні персоналом, зокрема при визначенні кількості співробітників, необхідних для обслуговування пасажирів. Наприклад, в години пікових навантажень зростає потреба в додаткових силах та система може порадити, скільки людей повинно бути на різних етапах обслуговування пасажирів чи екіпажів, щоб мінімізувати затримки та

забезпечити безпеку, ефективність та комфорт. Це також дає змогу уникнути переповнення аеропортів, полегшуючи навантаження на інфраструктуру.

Потенційною інтеграцією є роль ШІ у плануванні ефективних маршрутів для комерційних авіаперевезень. Завдяки здатності аналізувати великі обсяги даних у реальному часі, технологія може пропонувати найкращі варіанти з урахуванням всіх факторів, що можуть вплинути на ефективність рейсів, такі як погодні умови, трафік та завантаження повітряних шляхів, геополітичні події, а також історичні дані про затримки та скасування рейсів. Аналізуючи перераховану інформацію ШІ може оптимізувати маршрути, що дозволить робити перельоти швидшими, економити паливо та знизити навантаження на аеропорти.

Незважаючи на величезний потенціал штучного інтелекту, існують серйозні виклики, з якими стикаються авіаційні компанії та аеропорти при впровадженні таких систем. Одними з основних є адаптація основ довіри для охоплення методів штучного інтелекту та усунення помилок розробки в системах та їх складових, навчання ШІ, та міжнародні норми та правила, що забороняють використання такого ресурсу.

Одним з перших є виклик, який закладено в основі технології ШІ — це навчання у режимі реального часу. Саме це є параметром, який, як очікується, значно ускладнить здатність забезпечити впевненість щодо програмного забезпечення, яке постійно змінюється. Наразі, це не є сумісним з поточними процесами сертифікації та вимагатиме значних змін у чинних нормах та законодавстві. Питання є дуже складним та вимагає введення суворих обмежень для систем, особливо, що є пов’язаними з безпекою, в авіаційній сфері [3].

Відповідно від причини зазначеної вище з’являється інша проблема — це аналіз надійності штучного інтелекту. Він починається з характеристики програми ШІ та обов’язково має включати в себе оцінку безпеки. Також, згідно EASA, має бути проведена оцінка на основі етики, яка створює зв’язок із етичними рекомендаціями Європейського Союзу, прийнятими комісією (рис. 1). Характеристика моделі ШІ, безпека та етика є важливими передумовами для розробки будь-якої системи за допомогою штучного інтелекту, або з його вбудовуванням. І дослідження та аналіз цих складових є невід’ємними процесами схвалення штучного інтелекту в авіаційному транспорті.

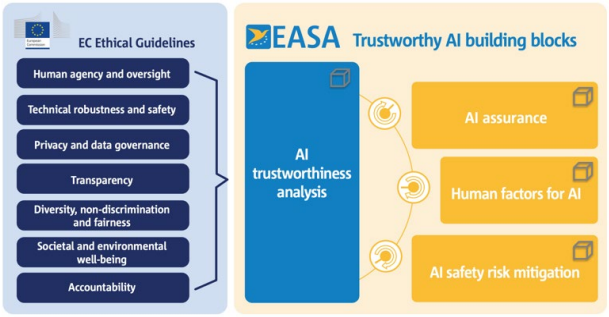


Рис. 1. Етичні рекомендації ЄС та аналіз надійності ШІ

І ще одним, критичним, є питання готовності країн та міжнародних організації змінювати законодавства та правила на міжнародному, регіональному та національному рівнях, задля інтегрування ШІ. Зрозуміло, що через величезні обсяги інформації, в тому числі персональних даних громадян, має бути впевненість та надійність систем ШІ. Тому, державні та міжнародні законодавства повинні розвиватися, щоб йти в ногу з технологічним прогресом, вирішуючи такі питання, як підзвітність ШІ та конфіденційність даних.

Висновок

Таким чином використання штучного інтелекту для прогнозування навантаження на авіаційні системи та оптимізації ресурсів є важливим кроком у розвитку авіаційної індустрії. Завдяки ШІ можна не тільки поліпшити управління потоками пасажирів та розподілу ресурсів, а й значно підвищити ефективність роботи багатьох інших сфер роботи аеропортів та авіакомпаній. Однак, для досягнення максимальних результатів важливо подолати існуючі виклики та продовжувати вдосконалювати технології, що використовуються в даній сфері.

Список літератури

1. European Union Aviation Safety Agency. Artificial Intelligence and Aviation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/artificial-intelligence-and-aviation-0

2. EUROCONTROL. Passenger Demand Support Service [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.eurocontrol.int/dashboard/passenger-demand-support-service

3. European Union Aviation Safety Agency. EASA Artificial Intelligence Roadmap 2.0 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-roadmap-20

УДК 629.7.067:351.814.2(043.2)

Т.П. Савченко, О.С. Бондік, к.т.н., доцент,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Безпека систем управління авіаційними транспортними комплексами: сучасний стан і перспективи

У дослідженні розглядається критично важливе питання забезпечення безпеки систем управління авіаційними транспортними комплексами в умовах стрімкої цифрової трансформації галузі. Особливу увагу приділено зростаючій актуальності кібербезпеки, оскільки взаємопов'язані цифрові інфраструктури стають дедалі привабливішою ціллю для кібератак.

Авіаційна галузь зазнала масштабної цифрової трансформації за останні 15-20 років, що призвело до зростання її залежності від взаємопов'язаних систем, які створюють нові поверхні для кібератак [1]. Це охоплює все: від корпоративної IT-інфраструктури до самого повітряного судна та його наземних систем підтримки. Кібербезпека має першорядне значення в авіації для забезпечення безпеки, надійності та ефективності операцій. Оскільки сучасні повітряні судна все більше використовують цифрові технології для управління ними, ризик несанкціонованого маніпулювання цими системами значно зростає, що вимагає невідкладного вирішення.

Це також пов’язане з аеродромними системами управління, які забезпечують такі щоденні операції як управління повітряним рухом на землі, розподіл ресурсів, зв'язок із зацікавленими сторонами та реагування на надзвичайні ситуації. Ці системи спрямовані на оптимізацію процесів, підвищення ефективності та покращення продуктивності роботи авіаційних транспортних систем в цілому.

Всі ці системи глибоко взаємопов'язані, і потоки даних між ними мають вирішальне значення для безперебійної роботи і в одній системі може призвести до збоїв у всій авіаційній транспортній системі.

Отже, аналізуючи сучасний стан кібербезпеки в авіації, слід зазначити, що кіберзагрози та вразливості, спрямовані на системи управління авіаційними транспортними комплексами, стають дедалі частішими та складнішими, а кібератаки зазнали значного зростання як за частотою, так і за складністю, причому випадки програм-вимагачів у ланцюжку поставок авіації різко зросли.

Атаки програм-вимагачів є значною та зростаючою загрозою, що вражає різні частини авіаційної екосистеми, включаючи авіакомпанії, профспілки пілотів та виробників повітряних суден. Цей тип атак може порушити роботу та призвести до значних фінансових втрат [2].

Спочатку кібератаки в авіації могли бути переважно спрямовані на дані пасажирів або веб-сайти авіакомпаній. Однак зростаюча цифровізація повітряних суден та аеропортової інфраструктури означає, що системи, що контролюють обробку багажу, управління повітряним рухом, авіоніку повітряних суден та постачання палива, тепер є потенційними цілями. Це зміщення в бік систем операційних технологій , які безпосередньо впливають

на фізичні процеси, вводить новий вимір ризику, де кіберінциденти можуть мати відчутні фізичні наслідки та безпосередньо впливати на безпеку.

Проведений аналіз останніх інцидентів, а саме: атаки програм-вимагачів на Міжнародний аеропорт Сіетл-Такома (вересень 2024 року), профспілку пілотів American Airlines (2023-2024 роки) та Aercap (січень 2024 року), DDoS-атаки на аеропорт Лос-Анджелесу (лютий 2024 року) та витік даних у Boeing (листопад 2023 року) [2], показує, що такі інциденти демонструють різноманітність цілей та методів атак в авіаційному секторі. Витрати на кібербезпеку в авіації зростають, оскільки галузь усвідомлює зростаючу загрозу, причому авіакомпанії та аеропорти збільшують інвестиції для захисту критичних систем та даних пасажирів. За даними щорічного звіту, який публікує Allianz Commercial [3] (визначає та аналізує найважливіші ризики, з якими, як очікується, зіткнуться компанії по всьому світу в наступному році, на основі опитування експертів з управління ризиками, клієнтів Allianz, брокерів та галузевих організацій у багатьох країнах і територіях), кіберінциденти визнані головним ризиком для авіаційної галузі у 2025 році, випередивши політичні ризики та підкреслює зростаюче занепокоєння в галузі щодо кіберзагроз.

Той факт, що цілями стають не лише великі аеропорти, а й профспілки пілотів та компанії з лізингу повітряних суден, свідчить про те, що зловмисники досліджують різні точки входу та експлуатують різні типи вразливостей. Це широке націлювання свідчить про те, що вразливості можуть існувати не лише в окремих організаціях, а й у взаємопов'язаності та спільній інфраструктурі авіаційної екосистеми, включаючи ланцюжок поставок та афілійовані організації. Це вимагає цілісної стратегії кібербезпеки, яка враховує безпеку всіх зацікавлених сторін у ланцюжку поставок авіації.

В зв’язку з цим особливої актуальності набуває розробка нових та перспективних технологій з метою підвищення кібербезпеки авіаційних транспортних перевезень.

В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та їх глибокого проникнення в усі сфери авіаційної діяльності, також особливої актуальності набуває питання кібербезпеки систем управління авіаційними транспортними комплексами. Адже будь-яка вразливість в цих системах може мати непередбачувані та катастрофічні наслідки як для безпеки польотів, так і в цілому для всієї авіаційної інфраструктури.

При цьому, для підвищення безпеки систем управління авіаційними транспортними комплексами розглядається низка нових та перспективних технологій та підходів. Потенційне використання технології блокчейн для безпечного та захищеного від підробок зберігання та управління критично важливими даними, такими як журнали технічного обслуговування повітряних суден [4], а також для перевірки походження та цілісності оновлень програмного забезпечення в ланцюжку поставок.

Передові методи шифрування, включаючи постквантову криптографію для підготовки до майбутніх загроз та наскрізне шифрування для захисту каналів зв'язку між повітряними суднами та наземними системами, а також у бортових мережах. [5].

Впровадження архітектур безпеки Zero Trust, які діють за принципом «ніколи не довіряй, завжди перевіряй», шляхом мікросегментації мереж, забезпечення суворого управління ідентифікацією та доступом та постійного моніторингу всієї діяльності [5].

Розробка та використання передових середовищ моделювання та цифрових двійників для створення реалістичних віртуальних цілей для проведення тестування на проникнення та оцінки вразливостей без впливу на діючі авіаційні системи.

Крім того, широке використання штучного інтелекту та машинного навчання в цьому контексті дозволяють аналізувати величезні обсяги даних у режимі реального часу для виявлення закономірностей та аномалій, що вказують на кіберзагрози, покращуючи рівень виявлення та скорочуючи час реагування.

Висновок

Підсумовуючи вищезазначене, стає очевидною критична важливість забезпечення кібербезпеки систем управління авіаційними транспортними комплексами в сучасних умовах. Стрімка цифровізація галузі та зростання складності кіберзагроз вимагають пильної уваги до захисту всіх компонентів авіаційної системи – від авіоніки повітряних суден та систем управління повітряним рухом до аеродромних систем. Ефективне впровадження існуючих та перспективних технологій захисту, поряд з постійним підвищенням обізнаності персоналу, є запорукою безпечного та надійного функціонування авіаційного транспорту в майбутньому.

Список літератури

1. Aviation Cybersecurity Fact Sheet - IATA, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-cyber-security/

2. Together Against Threats: Advancing Aviation Cybersecurity Through Collective Action, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://thetac.tech/together-against-threats-advancing-aviation-cybersecurity-through-collective-action/

3. Allianz Risk Barometer | Allianz Commercial, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/Allianz-Risk-Barometer-2025.pdf

4. Cybersecurity in Aerospace: Protecting the Future of Flight | by Jair Abrego Cubilla | Medium, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://medium.com/@jairabregoc/cybersecurity-in-aerospace-protecting-the-future-of-flight-48037c86238b

5. Exploring the Importance of Aviation Cybersecurity in the USA | Attract Group, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://attractgroup.com/blog/the-importance-of-aviation-cybersecurity/

УДК 351.814.32:004.89(043.2)

Я.В. Кошман, О.С. Бондік, к.т.н., доцент,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інтелектуальні системи управління авіаційними транспортними потоками: новітні тенденції та перспективи розвитку

У статті розглядаються сучасні тенденції розвитку інтелектуальних технологій у сфері управління повітряним рухом. Особливу увагу приділено застосуванню методів штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу великих даних у системах управління авіаційними транспортними потоками. Показано, що інтеграція зазначених технологій сприяє підвищенню ефективності функціонування систем, точності прогнозування та якості прийняття рішень в умовах зростання складності повітряного простору.

Зростання складності управління повітряним рухом є однією з ключових проблем сучасних авіаційних транспортних перевезень, що зумовлене постійним зростанням їх обсягів. Традиційні методи управління авіаційними транспортами перевезеннями, що значною мірою покладаються на людський фактор та застарілі технології, демонструють свої обмеження у здатності ефективно справлятися зі зростаючою інтенсивністю цих перевезень та інтеграцією нових типів повітряних суден. Це може призводити до затримок, зниження ефективності використання повітряного простору та підвищення ризиків, пов'язаних з безпекою польотів.

У цьому контексті зростає важливість застосування інтелектуальних систем управління авіаційними транспортними потоками (далі – ІСУАТП), що використовують передові технології, такі як штучний інтелект, машинне навчання, аналіз великих даних та автоматизацію, для підвищення безпеки, ефективності, пропускної здатності, передбачуваності та стійкості управління повітряним рухом. ІСУАТП передбачають не просто автоматизацію існуючих процесів, а й якісно новий рівень управління, що базується на здатності систем до самонавчання, адаптації та прийняття рішень у складних ситуаціях.

В основі розробки та впровадження інтелектуальних систем управління авіаційними транспортними потоками лежить низка ключових принципів, що визначають їх функціональність і цілі, а саме [1]:

Безпека, що передбачає гарантування безпечного розділення повітряних суден та запобігання зіткненням у повітрі та на землі;

Ефективність, що полягає в оптимізації використання повітряного простору, зменшенні затримок та покращенні пунктуальності рейсів;

Підвищення пропускної здатності, що є критично важливим для задоволення зростаючого обсягу авіаперевезень;

Передбачуваність, що передбачає надання точної та своєчасної інформації всім зацікавленим сторонам;

Гнучкість та адаптивність, які є важливими для реагування на динамічні умови, такі як погода та непередбачені події;

Людиноцентричний дизайн – системи мають розроблятися таким чином, щоб розширювати можливості людини, а не повністю замінювати її [2].

Аналіз сучасних тенденцій розвитку інтелектуальних технологій засвідчують активне впровадження передових методів штучного інтелекту (далі – ШІ), машинного навчання (далі – МН) та аналізу великих даних у сферу управління повітряним рухом. Зазначені технології все глибше інтегруються в різні аспекти функціонування систем управління авіаційними транспортними потоками, сприяючи підвищенню ефективності, точності прогнозування та оперативності прийняття рішень у складних та динамічних умовах повітряного простору [2].

Ключовими напрямками розвитку інтелектуальних технологій в системах управління авіаційними транспортними потоками є наступні:

Прогнозування – ШІ аналізує дані для прогнозування трафіку, погоди та конфліктів, допомагаючи приймати обґрунтовані рішення та запобігати заторам;

Автоматичне розв'язання конфліктів – системи на основі ШІ виявляють потенційні конфлікти та пропонують оптимальні рішення, підвищуючи безпеку;

Автоматизація рутинних завдань – автоматизація визначення послідовності, оптимізації простору зменшує навантаження на диспетчерів;

Покращення комунікації – ШІ покращує взаємодію між пілотами та диспетчерами через розпізнавання голосу та обробку природної мови;

Машинне навчання – алгоритми МН використовуються для розпізнавання патернів, прогнозування складності трафіку, оптимізації маршрутів та надання підтримки прийняття рішень, включаючи федеративне навчання;

Аналіз великих даних – обробка значних обсягів даних дозволяє виявляти неефективності, прогнозувати потреби в обслуговуванні та покращувати досвід пасажирів, попри існуючі виклики з обробкою, інтеграцією, точністю, масштабованістю та кібербезпекою.

При цьому, в інтелектуальних системах управління авіаційними транспортними потоками застосовуються різноманітні новітні технології, спрямовані на підтримку прийняття рішень, прогнозування та оптимізацію трафіку.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день важливим завданням є використання можливостей та переваг інтелектуальних технологій для розвитку низки систем, основними з них є такі [2]:

Автоматизовані системи прийняття рішень (АСПР), які надають аналіз даних у реальному часі, рекомендації та автоматично виявляють і розв'язують конфлікти, зокрема на основі ШІ для аналітичного прогнозування;

*Системи прогнозування***,** що використовують моделі машинного навчання та ШІ для прогнозування повітряного руху, потенційних конфліктів, погодних умов та затримок рейсів з метою проактивних заходів та оптимізації маршрутів;

Системи оптимізації трафіку, які на основі ШІ впорядковують потоки, зменшують затори та підвищують ефективність, прикладами чого є Intelligent Approach (оптимізація інтервалів прибуття) та Traffic Management Advisor (TMA) від NASA (планування послідовності прибуття).

Впровадження інтелектуальних систем управління повітряним рухом є світовою тенденцією, що відображає глобальне прагнення до модернізації авіаційного сектору. Різні країни та регіони світу активно розробляють та

впроваджують ІСУАТП, враховуючи свої специфічні потреби та особливості повітряного простору.

У Європі однією з ключових ініціатив є програма SESAR (Single European Sky ATM Research), яка спрямована на модернізацію європейської системи управління повітряним рухом за рахунок розробки та впровадження інноваційних технологій та операційних концепцій, включаючи ШІ та автоматизацію [2]. Успішним прикладом є впровадження системи Intelligent Approach в аеропортах Хітроу та Амстердам-Схіпхол, що демонструє переваги часового інтервального розділення повітряних суден для збільшення пропускної здатності аеропортів та зменшення викидів [3]. Європейська організація з безпеки аеронавігації (EUROCONTROL) також активно розробляє та впроваджує додатки на основі ШІ для покращення планування польотів, прогнозування трафіку та оптимізації траєкторій. Альянс COOPANS модернізує свою систему управління повітряним рухом за допомогою технології TopSky-ATC від Thales, що є кроком до більш гармонізованого та ефективного управління повітряним рухом у Європі [4].

У Північній Америці Федеральне авіаційне управління (FAA) США реалізує масштабну програму Next Generation Air Transportation System (NextGen), спрямовану на модернізацію національної системи повітряного простору за рахунок використання супутникової навігації, автоматизації та обміну даними. NASA відіграє важливу роль у дослідженнях та розробці інноваційних концепцій та інструментів управління повітряним рухом, включаючи технології на основі ШІ та автоматизації. Система Intelligent Approach також впроваджується в аеропорту Торонто-Пірсон, що свідчить про глобальне поширення цієї технології [2].

В Азіатсько-Тихоокеанському регіоні спостерігається активна модернізація систем управління повітряним рухом. Сінгапур співпрацює з провідними технологічними компаніями для оновлення своєї авіаційної інфраструктури з метою задоволення зростаючого попиту на авіаперевезення. У всьому регіоні зростає впровадження передових систем управління трафіком для підвищення ефективності та безпеки повітряного руху. Австралія впровадила систему Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) для покращення ситуаційної обізнаності пілотів та авіадиспетчерів [5].

Протягом наступних років очікується подальше зростання обсягів авіаперевезень, особливо в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні та на Близькому Сході. Це, у свою чергу, зумовить зростання вимог до підвищення безпеки та ефективності операцій управління повітряним рухом. У зв'язку з цим прогнозується подальша інтеграція штучного інтелекту, машинного навчання та аналізу великих даних у основні функціональні можливості систем управління повітряним рухом. Очікується розробка та впровадження більш складних автоматизованих систем прийняття рішень з розширеною співпрацею між людиною та ШІ.

Одним із важливих напрямків розвитку стане інтеграція безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та міської аеромобільності «Urban air mobility» (UAM) в існуючу структуру управління повітряним рухом. Зростання використання дронів та поява концепцій UAM, таких як аеротаксі, вимагатимуть

розробки нових систем та процедур управління повітряним рухом для забезпечення їхньої безпечної та ефективної інтеграції в повітряний простір.

Крім того, значна увага приділятиметься екологічній стійкості за рахунок оптимізації маршрутів та впровадження технологій зменшення викидів. Очікується розробка ІСУАТП, які сприятимуть підвищенню паливної ефективності та мінімізації вуглецевого сліду авіації.

Отже, основна ідея ІСУАТП полягає в тому, щоб розширити можливості людини-диспетчера за допомогою інтелектуальних інструментів, які можуть автоматизувати рутинні завдання, прогнозувати потенційні конфлікти та оптимізувати потоки повітряного руху, тим самим зменшуючи навантаження на диспетчерів та покращуючи якість прийнятих рішень. Впровадження таких систем є ключовим фактором для забезпечення сталого розвитку авіаційної галузі, здатної задовольнити зростаючий попит на авіаперевезення, мінімізуючи при цьому екологічний вплив та забезпечуючи високий рівень безпеки цих перевезень.

Впровадження інтелектуальних систем управління авіаційними транспортними потоками є неминучим та матиме значний вплив на різні зацікавлені сторони в авіаційній галузі.

Авіакомпанії отримають ряд переваг, включаючи зниження витрат на паливо завдяки оптимізованим маршрутам та ефективному управлінню трафіком. Покращення пунктуальності рейсів та зменшення затримок призведе до підвищення задоволеності пасажирів. Оптимізація розподілу ресурсів та зменшення навантаження на персонал авіакомпаній також є важливими перевагами. Крім того, збільшення пропускної здатності повітряного простору та аеропортів може призвести до зростання доходів авіакомпаній.

Однак існують і низка викликів для авіакомпаній, пов'язаних з впровадженням ІСУАТП. Серед них, перш за все, високі витрати на впровадження нових технологій та оновлення систем, складність інтеграції з існуючими застарілими системами, необхідність навчання та підвищення кваліфікації персоналу для роботи з новими системами, а також потенційний опір змінам з боку персоналу, звиклого до традиційних методів роботи.

Аеропорти також отримають значні переваги від впровадження ІСУАТП, включаючи збільшення пропускної здатності злітно-посадкових смуг та аеродрому, що дозволить обслуговувати більшу кількість рейсів. Покращення ефективності наземних операцій, таких як призначення виходів на посадку та обробка багажу, також є важливим результатом впровадження ІСУАТП. Зменшення затримок рейсів та покращення пунктуальності підвищить репутацію аеропорту. Крім того, оптимізація розподілу ресурсів та підвищення енергоефективності може призвести до потенційної економії коштів.

Серед викликів у цьому контексті для аеропортів слід відзначити значні інвестиції в оновлення інфраструктури та нові технології, необхідність інтеграції з існуючими системами аеропортів та операційними процедурами, а також ризики кібербезпеки, пов'язані з взаємопов'язаними системами, що керуються даними.

Для пасажирів впровадження ІСУАТП обіцяє зменшення затримок рейсів та покращення пунктуальності прибуття, потенційно більш спокійні та комфортні польоти завдяки оптимізованим маршрутам та зменшенню

турбулентності, а також підвищення безпеки за рахунок передових систем виявлення та розв'язання конфліктів.

Однак, загрозою може стати надмірна залежність від автоматизації та зменшення контролю з боку людини, а також недостатня прозорість процесів прийняття рішень на основі ШІ.

Висновок. Аналіз сучасних тенденцій розвитку інтелектуальних технологій свідчить про їхній значний потенціал у підвищенні ефективності систем управління авіаційними транспортними потоками. Інтеграція штучного інтелекту, машинного навчання та методів аналізу великих даних забезпечує нові можливості для оптимізації управлінських процесів, підвищення точності прогнозування та оперативності прийняття рішень у динамічному середовищі повітряного простору.

Доцільним є впровадження інтелектуальних систем у ключові компоненти інфраструктури управління повітряним рухом, зокрема в системи підтримки диспетчерських рішень, автоматичного розподілу повітряних потоків і прогнозування метеоумов. Практична реалізація таких рішень потребує не лише технічного забезпечення, а й адаптації нормативно-правової бази та підвищення кваліфікації персоналу.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку адаптивних, самонавчальних моделей управління повітряним рухом, інтеграцію цифрових двійників у авіаційну сферу, а також на створення гібридних систем, що поєднують традиційні методи управління з інноваційними підходами штучного інтелекту в умовах зростаючої складності та інтенсивності повітряного трафіку.

Список літератури

1. Human-AI Hybrid Paradigm for Collaborative Air Traffic Management Systems - SESAR Joint Undertaking, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/sid/2024/papers/SIDs_2024_paper_087%20final.pdf
2. Digitalisation and AI in air traffic control: balancing innovation with the human element, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.eurocontrol.int/article/digitalisation-and-ai-air-traffic-control-balancing-innovation-human-element
3. Intelligent Approach now fully incorporated in Indra ATM systems to increase capacity at high traffic volume airports, [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.indracompany.com/en/noticia/intelligent-approach-now-fully-incorporated-indra-atm-systems-increase-capacity-high-traffic
4. COOPANS, the Alliance Managing Europe's Largest Air Traffic Volume, Upgrades its Air Traffic Control (ATC) System with Thales, [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/aerospace/press_release/coopans-alliance-managing-europes-largest-air-traffic-volume
5. Automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B), [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.casa.gov.au/operations-safety-and-travel/airspace/automatic-dependent-surveillance-broadcast-ads-b

УДК 629.735.05:504(043.2)

К.О. Мірошник, І.Б. Зарубінська, д.п.н., професор,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Розвиток систем управління повітряними суднами в умовах зміни клімату та глобальних екологічних викликів

Зміни клімату та глобальні екологічні виклики значною мірою вимагають запровадження нових авіаційних технологій, зокрема сучасної трансформації систем управління повітряними суднами. У роботі розглянуто сучасні тенденції в розвитку таких систем, адаптацію до зростаючої турбулентності, підвищеної частоти метеорологічних аномалій, необхідності зниження викидів CO_2. Наведено приклади впровадження нових технологій (AI, автоматизація, нові метеорологічні модулі), що забезпечують екологічно сталу та безпечну експлуатацію повітряних суден.

У XXI столітті авіація зіткнулася з новими викликами — глобальне потепління, зміни метеорологічних умов, підвищення частоти стихійних явищ та зростання вимог до зниження шкідливих викидів. Відповіддю на ці виклики є вдосконалення технологій, зокрема систем управління повітряними суднами (СУПС), які впливають на стабільність, безпеку польоту та екологічно орієнтовану експлуатацію повітряних суден.

Системи управління повітряними суднами — це сукупність механічних, гідравлічних, електричних або електронних пристроїв та програмного забезпечення, що забезпечують контроль траєкторії польоту, положення в просторі та стабілізацію літака. Основні функції СУПС є управління поверхнями керування (елерони, закрилки, рулі напрямку тощо), автоматичне регулювання польоту (автопілот, стабілізатори, автотяга), адаптація до зовнішніх умов (вітер, турбулентність, зледеніння) та інтеграція з навігаційними та діагностичними системами повітряного судна. У сучасних повітряних суднах застосовуються цифрові системи типу fly-by-wire, які перетворюють дії пілота у електронні сигнали та забезпечують більш точне й безпечне управління.

Глобальні кліматичні зміни спричиняють значне зростання кількості несприятливих погодних явищ, таких як підвищення частоти грозових фронтів, обмерзання, турбулентності на крейсерських ешелонах. Аномально високі температури повітря впливають на підйомну силу та ефективність керування повітряним судном. Підвищені температури повітря можуть впливати на експлуатаційні характеристики літака при зльоті та посадці, оскільки тепліше повітря менш щільне, тому для зльоту потрібна більша тяга та довша злітно-посадкова смуга або зменшення корисного навантаження в найспекотніші часи дня. Зміни атмосферного тиску і вітрових потоків потребують оперативної адаптації керуючих алгоритмів. Згідно з [ICAO Doc 10013], турбулентність на висотах понад FL300 зросла на 15% за останні 30 років і продовжує зростати. Збільшення кількості турбулентностей ставить під загрозу безпеку польотів і створює ризики травматизму пасажирів, пошкодження літаків. У 2023 році літак Airbus A350 авіакомпанії Delta зазнав сильної турбулентності над Атлантикою,

внаслідок чого 11 пасажирів отримали травми, незважаючи на дотримання стандартів польоту. Виявлено слабке місце у бортовій системі прогнозування турбулентності. Зледеніння в нових кліматичних умовах потребує вдосконалення систем антиобледеніння, а пилові бурі та димові хмари, що утворюються наслідок лісових пожеж, впливають на роботу сенсорів і датчиків систем керування польотом.

З одного боку кліматичні зміни останнім часом стали значно впливати на безпеку польотів, а з іншого – експлуатація повітряних суден стала джерелом продуктів згорання пального та шуму, які є чинниками негативного екологічного впливу на навколишнє середовище. Загальне глобальне забруднення атмосфери вимагає мінімізації викидів — отже, системи управління повинні сприяти оптимізації польотних траєкторій і витрат палива. Згідно з дослідженнями Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), за поточного рівня викидів ситуація буде лише погіршуватись, якщо не впроваджувати радикальні зміни на системному рівні. Авіація відповідає за 2–3% глобальних викидів CO_2. ICAO у рамках програми CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) зобов'язала операторів впроваджувати системи оптимізації маршрутів, зниження ваги, покращення аеродинаміки повітряних суден. Тому в останні роки авіаційний сектор активізував свої зусилля з декарбонізації. Аеропорти, авіакомпанії та держави запровадили амбітні стратегії декарбонізації, а в жовтні 2021 року історична угода Генеральної асамблеї Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) поставила ціль щодо нульового чистого викиду вуглецю до 2050 року для глобального сектора цивільної авіації.

Адаптація СУПС до нових умов, що пов'язані зі зміною клімату, потребує використання сучасних підходів і технологій. Інтелектуальні адаптивні новітні СУПС включають елементи штучного інтелекту (AI), які дозволяють аналізувати метеоумови в режимі реального часу, адаптувати алгоритми керування повітряним судном до змін середовища та забезпечувати автоматичне уникнення небезпек під час польоту. А інтеграція з сучасними супутниковими метеосистемами дозволяє оперативно отримувати метеоінформацію безпосередньо в керуючі модулі літака, що допомагає точніше планувати маршрути та уникати небезпечних зон під час польоту. Такими системами вже користується Airbus Skywise та Honeywell Forge. Ці інтелектуальні системи прогнозу метеоумов потребують впровадження модулів 4D-траєкторії (час/висота/швидкість/метеодані) та реєстрації на AI-платформах, що інтегрують супутникові та авіаметеоцентри. У Lufthansa Technik тестують адаптивну систему WIMAS (Weather Impact Monitoring and Advisory System), яка в режимі реального часу обробляє супутникові дані та пропонує альтернативний маршрут.

Впровадження супутникових технологій, а саме систем GNSS (Global Navigation Satellite System), ADS-B (Automatic Dependent Surveillance–Broadcast) та PBN (Performance-Based Navigation) дозволяють значно скоротити та оптимізувати маршрути, підвищити точність навігації, зменшити споживання пального на 10–15% і зменшити кількість затримок. Концепція «зелених траєкторій» (Green Trajectories) - динамічні траєкторії, які будуються в реальному часі на основі поточних метеоумов, трафіку, повітряного простору та технічних характеристик літаків. Такі маршрути дозволяють уникати зон турбулентності,

оптимізувати споживання пального та зменшити викиди. A Green ATM Концепція екологічного управління повітряним рухом передбачає скорочення кількості зайвих маневрів, очікування у повітрі та оптимізацію профілів зльоту та посадки. Із появою електролітаків, гібридних повітряних суден, безпілотників та дронів для доставки вантажів ATM-системи повинні адаптуватись до нових типів учасників повітряного руху. Це потребує створення єдиного цифрового середовища UTM (Unmanned Traffic Management).

Удосконалення СУПС в напрямку автоматизації та безпілотних технологій веде до розвитку автономного пілотування: автоматичного зльоту та посадки, управління повітряним судном в складних погодних умовах і надточне стабілізоване керування в турбулентному середовищі.

У перспективі розвиток систем управління повітряними суднами слідуватиме за використанням нових типів енергії. Компанії, як Lufthansa та KLM, вже проводять регулярні рейси з використанням SAF (Sustainable Aviation Fuel), що знижує викиди парникових газів на 60–80%. Програми Airbus ZEROe та Boeing EcoDemonstrator використовують нові типи СУПС з підтримкою змішаного палива. Майбутні СУПС електричних та водневих літаків зможуть керувати багатоенергетичними гібридними платформами. Вони повинні будуть враховувати менший енергетичний запас електролітаків і те, що розподіл маси та центр ваги водневих літаків впливають на алгоритми їхнього управління.

СУПС проводитиме екологічне програмування польоту. Управління траєкторією буде ґрунтуватися не лише на ефективності, а й на екологічному сліді, мінімізації шуму та викидів (згідно з ICAO CORSIA, EU ETS). Зменшення екологічного сліду через цифрові СУПС можливо за рахунок автоматизації рейсів (auto-descent/eco-climb) і оптимізації маршрутів за допомогою програм Fuel Efficiency Monitoring System. Використання EFB (Electronic Flight Bag) з екомодулями у Ryanair вже дозволило зменшити витрати пального на 4,3% за 2022 рік. З'являються мережеві технології системи управління (network-centric systems), де літак не є автономною одиницею, а частиною мережі (Air Traffic Management NextGen, SESAR).

Ініціатива SESAR (Single European Sky ATM Research) — це флагманський проєкт ЄС, спрямований на трансформацію ATM-систем. Його основними цілями є скорочення викидів CO_2 на 10% на один рейс, підвищення пропускної здатності повітряного простору на 50% і підвищення безпеки та економічної ефективності. В рамках проєкту активно розробляються цифрові близнюки (Digital Twin) повітряного простору, автоматичні системи прийняття рішень, адаптивні маршрути польоту та інтеграція із супутниковими модулями. В Україні розвиток ATM-систем здійснюється Державним підприємством обслуговування повітряного руху України (Украероруx). Попри виклики, пов'язані з війною, відзначаються такі певні досягнення, як перехід до цифрової обробки польотної інформації, участь у європейських програмах модернізації повітряного простору та підготовка до впровадження супутникових систем навігації. Однак залишається потреба в глибокій інтеграції до єдиного європейського повітряного простору та адаптації нормативної бази до новітніх екологічних стандартів.

Висновок

Розвиток систем управління повітряними суднами є важливим елементом адаптації авіаційних систем до зміни клімату та глобальних екологічних викликів. Високий рівень автоматизації, інтеграція зі зовнішніми джерелами даних, трансформовані та екологічно орієнтовані технології формують безпечну і стійку до ризиків систему повітряного транспорту. Розвиток потребує постійного оновлення нормативної бази, підготовки персоналу та інвестицій в екологічні інновації.

Необхідним є поетапне оновлення авіаційних інфраструктур з орієнтацією на зміну клімату. Актуальним залишається розвиток гібридних і безпілотних систем в управлінні польотами. Освітні програми для диспетчерів та пілотів мають включати компоненти адаптації до кліматичних ризиків. Державам слід активніше імплементувати вимоги ICAO, SESAR, CORSIA до національного законодавства.

Список літератури

1. ICAO Doc 10013 — Meteorological Service for International Air Navigation
2. ICAO Doc 9750 – Global Air Navigation Plan (2023)
3. ICAO Doc 10140 — Aviation and Climate Change.
4. Williams, P. (2017). Increased Air Turbulence under Climate Change. Nature Climate Change.
5. IATA. (2022). Climate Impacts on Aviation Safety.
6. EUROCONTROL. (2021). SESAR Factsheet.
7. CORSIA Implementation Elements. ICAO, 2020.
8. European Commission — Sustainable and Smart Mobility Strategy, 2021
9. Honeywell. (2023). "Weather Insight System Overview".
10. Lufthansa Technik AG. (2022). “Adaptive Weather Routing Case Study”.

УДК 656.7.022-047.58(043.2)

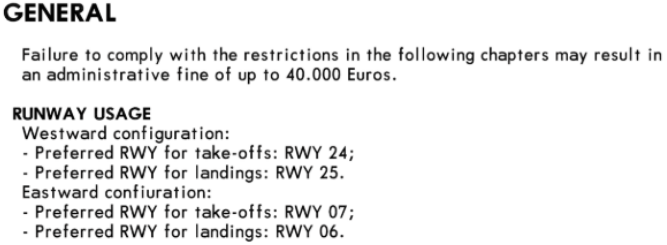
К.В. Чернишов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Моделювання та оптимізація маршрутів авіаційного транспорту за допомогою сучасних алгоритмів управління.

У статті розглянуто сучасні підходи до моделювання та оптимізації маршрутів авіаційного транспорту з використанням алгоритмів управління. Зокрема, досліджено застосування системи RNAV для ефективного планування маршрутів, що дозволяє скоротити час польоту та зменшити витрати пального. Окрема увага приділена впровадженню стандартних процедур SID і STAR, що забезпечують безпеку та ефективність повітряного руху в умовах динамічного трафіку.

Авіаційний транспорт є одним із найважливіших компонентів глобальної транспортної системи. Із зростанням обсягів перевезень зростає потреба в ефективнішому плануванні маршрутів, що забезпечує економію пального, скорочення часу перельоту та зменшення впливу на довкілля. Одним із ключових інструментів для досягнення цих цілей є використання сучасних алгоритмів моделювання та оптимізації маршрутів.

Розглянемо критерії вибору злітної смуги в аеропорту Париж Орлі (LFPO/ORY): залежно від напрямку виконання рейсу, в аеронавігаційних картах, у розділі Airport Briefing, зазначено рекомендовану злітну смугу. Якщо виліт здійснюється в східному напрямку, то бажаною для злету є смуга 07. Це дозволяє скоротити маршрутну відстань, зменшити витрати пального і, відповідно, знизити рівень викидів в атмосферу.



GENERAL

Failure to comply with the restrictions in the following chapters may result in an administrative fine of up to 40.000 Euros.

RUNWAY USAGE
Westward configuration:
- Preferred RWY for take-offs: RWY 24;
- Preferred RWY for landings: RWY 25.
Eastward confiuration:
- Preferred RWY for take-offs: RWY 07;
- Preferred RWY for landings: RWY 06.

Рис. 1. Jeppesen LFPO/ORY – Airport Briefing – page 10-4

Сучасний алгоритм побудови маршруту базується на новітніх підходах, зокрема на аналізі метеорологічної обстановки, безпеки польоту та економічної доцільності. Раніше літаки виконували рейси за маяками — VOR, NDB: літак приймав сигнали від наземних радіостанцій, завдяки яким можна було визначити його положення. Проте це створювало певні обмеження, оскільки маршрут польоту був прив’язаний до зони покриття маяків.

Наразі літаки здійснюють польоти за маршрутами (Airways) та точками (Waypoints), що мають власні назви та координати. Замість використання радіонавігаційних засобів на землі широко застосовується метод зональної навігації (RNAV), який дозволяє літаку летіти від однієї точки до іншої без прив'язки до наземних орієнтирів — так зване «спрямлення» маршруту. Це сприяє скороченню тривалості польоту, економії пального та оптимізації маршруту, роблячи його більш прямим і ефективним.

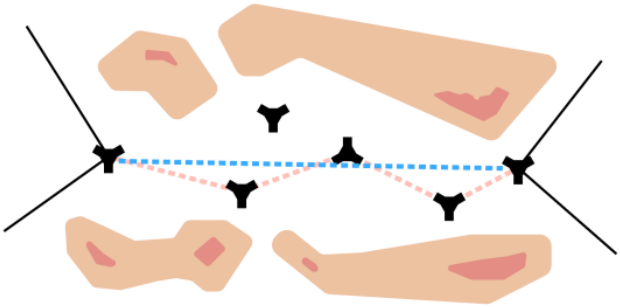


Рис. 2. Маршрут RNAV (How to Fly IFR)

Як можна бачити на малюнку 2 зображений маршрут зональної навігації RNAV, який забезпечує більш прямий маршрут, що економить час польоту і паливо. Для того, щоб виконувати політ по RNAV – літаки повинні бути оснащені більш точними системами (GPS, IRS, DME, FMC) під конкретні критерії. Це дозволило створити нову систему місцевої навігації та створення маршрутів, які не залежать від розташування радіо засобів.



Рис. 3. Маршрут на ND (A320)

Важливим етапом оптимізації маршрутів стало впровадження процедур SID та STAR, які, завдяки системі FMC, дозволяють обирати стандартні схеми вильоту та прибуття до аеропортів.

SID (Standard Instrument Departure — Стандартний інструментальний виліт) — це схема, яка дозволяє літаку вийти на початкову точку маршруту, оминаючи закриті зони навколо аеропорту. Це сприяє зниженню рівня шуму (особливо в разі розташування аеропорту в міській зоні) та забезпечує безпечний, стандартизований маршрут до точки виходу на трасу.

STAR (Standard Instrument Arrival Route — Стандартний інструментальний захід на посадку) — це схема, яка дозволяє літаку під час етапу зниження плавно перейти до підходу на посадку, оминаючи заборонені або обмежені зони. Такі схеми можуть містити певні обмеження (restrictions) за швидкістю та висотою.

Розглянемо це на прикладі аеропорту Париж — LFPG/CDG.

Взявши до приклада схему **OKASI6B** можна побачити певні обмеження по точкам: Максимальна швидкість над точкою OKASI – 280KT. Схема будується на певних точках, які в кінцевому етапі приведуть до обраної точки OKASI.

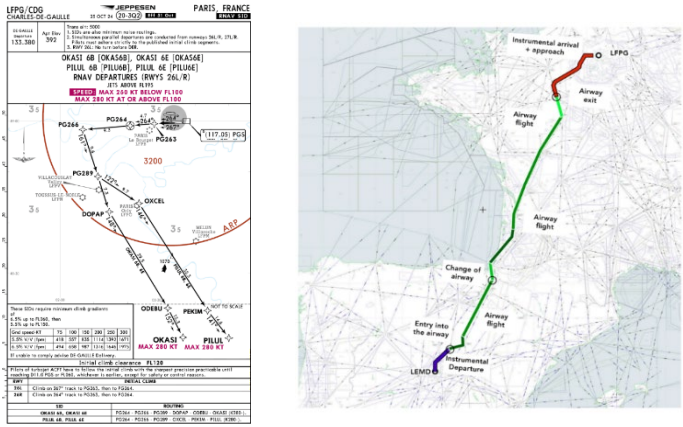


Рис. 4. Схема Jeppesen LFPG/CDG та схема маршруту Мадрид-Париж. (SimBrief)

Певний маршрут формується за принципом: SID → маршрут по повітряних трасах (Airway Flight) → STAR. Така структура забезпечує максимально безпечний, економічно доцільний і пропускноспроможний маршрут. Це особливо важливо в умовах постійного зростання кількості авіарейсів, адже модернізація маршрутів повітряних суден є ключовим чинником для безпечного та ефективного виконання польотів.

Висновок

Проведене дослідження підтверджує, що впровадження сучасних алгоритмів управління повітряним рухом, зокрема використання RNAV та

процедур SID/STAR, є ефективним засобом оптимізації маршрутів авіаційного транспорту. Завдяки цьому вдається не лише зменшити витрати пального та скоротити час польоту, а й підвищити загальний рівень безпеки та надійності виконання рейсів.

Практичні приклади, розглянуті на основі європейських аеропортів, демонструють, як стандартизовані маршрути можуть адаптуватися до локальних умов повітряного простору, враховуючи обмеження висоти, швидкості та шумовий вплив на навколишнє середовище. Водночас це дозволяє зменшити навантаження на диспетчерів та покращити керованість трафіку в умовах зростання кількості авіарейсів.

Таким чином, модернізація маршрутів на основі сучасних технологій не лише актуальна, а й необхідна для забезпечення стабільного розвитку авіаційної галузі в умовах інтенсивного трафіку та високих вимог до екологічності й безпеки.

Список літератури

1. Jeppesen LFPO/ORY Airport: Аеронавігаційна інформація. – Jeppesen, 2023. – [https://charts.navigraph.com/airport/LFPO?section=Charts&chartCategory=REF&informationSection=General&procedureSection=Departures&weatherSection=METAR&networksSection=Gates&ATISSection=Real]. – Режим доступу: через підписку Jeppesen.
2. Del Val, A. How to Fly IFR / Ілюстрації: Ales Aranburu. – Madrid: Pilot Aviation Books, 2020. – 112 с.
3. Jeppesen LFPG/CDG International Airport: Аеронавігаційна інформація. – Jeppesen, 2023. – [https://charts.navigraph.com/airport/LFPG?section=Charts&chartCategory=DEP]. – Режим доступу: через підписку Jeppesen.

УДК 656.71-044.247:656(043.2)

Р.А. Хмеловський
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сучасні підходи до інтеграції аеропортів у єдину транспортну систему: проблеми та рішення

У добу стрімкого розвитку урбанізації, мобільності та цифрових технологій транспортна інфраструктура стає ключовим елементом національної конкурентоспроможності. Аеропорти, як стратегічні вузли, мають не лише забезпечувати авіаперевезення, а й бути повноцінною складовою єдиної транспортної системи держави. Сьогодні важливо не просто будувати нові термінали, а інтегрувати їх у мультимодальні ланцюги перевезень, де пасажир або вантаж може легко переходити з одного виду транспорту на інший.

Актуальні проблеми транспортної інтеграції

Хоча сама ідея інтеграції є очевидною, на практиці її реалізація стикається з численними викликами.

1. **Інфраструктурна фрагментація**

Більшість українських аеропортів, особливо регіональних, мають обмежений доступ до залізничної мережі, швидкісного автотранспорту та громадського транспорту. Відсутність зручних пересадочних вузлів змушує пасажирів використовувати приватні авто або таксі, що знижує ефективність системи.

2. **Цифрова роз'єднаність**

Транспортні оператори рідко обмінюються інформацією в режимі реального часу. Через це неможливо оптимізувати розклад, передбачити затримки або адаптувати маршрути для пасажирів, які летять із пересадками.

3. **Фінансова недостатність**

Більшість проектів із модернізації інфраструктури вимагають великих інвестицій. Державний бюджет не завжди спроможний забезпечити стабільне фінансування, а приватні інвестори побоюються високих ризиків та тривалого періоду окупності.

4. **Координація між рівнями влади**

Транспортна система часто управляється різними структурами – від місцевих ОТГ до державних підприємств. Без єдиної координації виникають дублювання, суперечності у планах розвитку.

5. **Недостатня координація між органами влади**

Інфраструктура аеропортів підпорядковується різним структурам: аеропорт – Міністерству інфраструктури або місцевій владі; міський транспорт – муніципалітету; залізниця – державному підприємству «Укрзалізниця». Відсутність єдиного планування призводить до дублювання функцій, конфліктів щодо фінансування або затримок у проєктах інтеграції.

6. Недостатня інформаційна навігація для пасажирів

В аеропортах часто відсутні: чіткі вказівники до зупинок громадського транспорту; інтерфейси мовами (у т.ч. англійською) для іноземців; інтерактивні

навігатори, які показують, як дістатись у центр міста або на вокзал. Ускладнений пошук трансферів або неправильна навігація – одна з причин незадоволеності пасажирів.

7. Відсутність екологічного підходу до інтеграції

У багатьох випадках нові маршрути до аеропортів проектуються без оцінки впливу на довкілля. Відсутність велосипедної інфраструктури, станцій зарядки для електромобілів чи електробусів – поширене явище.

Сучасні рішення та інноваційні підходи

1. **Мультимодальні транспортні хаби**

Одним із найперспективніших підходів є створення мультимодальних транспортних центрів, де пасажири можуть зручно пересідати з поїзда на літак, з метро на автобус тощо. В таких хабах обов'язково мають бути зручні пішохідні маршрути, автоматизовані платформи, єдина система навігації.

2. **Цифровізація та ІТС**

Інтелектуальні транспортні системи дозволяють об'єднати всі етапи поїздки в єдиний цифровий маршрут. Через мобільний додаток користувач може бачити розклад, купувати квитки, бронювати трансфер. В Україні такі системи лише починають впроваджуватись, але світовий досвід (Швеція, Фінляндія) демонструє їх ефективність.

3. **Мобільність як сервіс (MaaS)**

MaaS – це цифрова платформа, яка об'єднує різні види транспорту: автобуси, метро, таксі, велосипеди, каршерінг та авіацію. Користувач отримує єдину абонплату або доступ до різних тарифних планів. Це стимулює використання громадського транспорту й зменшує затори.

4. **Публічно-приватне партнерство (PPP)**

Залучення інвесторів до розвитку інфраструктури через концесії, спільні інвестиційні фонди або гранти дозволяє реалізувати масштабні проекти без надмірного навантаження на бюджет.

Міжнародний досвід

- **Франкфуртський аеропорт (Німеччина)** – ідеальний приклад інтеграції з національною залізничною мережею. Пасажир може сісти на потяг прямо в терміналі та дістатись будь-якого великого міста без пересадок.
- **Шарль-де-Голль (Париж)** – з'єднаний з центром міста через швидкісну RER B, а також має автобусну мережу, метро та трансферні шатли.
- **Пекінський Daxing** – новий рівень технологічної інтеграції: безконтактна система доступу, автономні шатли, автоматизована логістика.

Перспективи для України

Україна має значний потенціал для інтеграції аеропортів у транспортну систему, зокрема:

- **Розширення залізничних сполучень**

Київ, Львів, Одеса, Харків – ключові міста, де можливо створити прямі залізничні гілки до аеропортів. Kyiv Boryspil Express – успішний кейс, який можна масштабувати.

- **Розвиток цифрових сервісів**

Впровадження єдиного державного мобільного додатку для транспортної навігації, купівлі квитків, трансферів та інформації про затримки.

- **Інтеграція з міською інфраструктурою**

Аеропорт не повинен бути ізольованим об'єктом. Його інтеграція в систему громадського транспорту міста – ключ до зручності пасажирів.

- **Екологічний вектор**

Електробуси, сонячні панелі, безпечне управління логістикою – важливі компоненти сталої транспортної політики.

Висновки

Інтеграція аеропортів у єдину транспортну систему – це не лише технічне або логістичне завдання, а й політичне, економічне й культурне. Вона вимагає злагодженої співпраці між урядом, бізнесом, місцевими громадами та міжнародними партнерами. Результатом стане підвищення мобільності громадян, зростання туристичної та інвестиційної привабливості України, покращення якості життя у містах.

Список літератури

1. Семенюта М.Д. Євроінтеграція транспортної інфраструктури України: проблеми, пропозиції та вигоди // Інновації в управлінні публічним сектором економіки. – 2017. – Режим доступу: https://conferencekneu.wordpress.com/2017/04/19/%D1%81%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%8E%D1%82%D0%B0-%D0%BC-%D0%B4-%D1%94%D0%B2%D1%80%D0%BE%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80/
2. Пустовойт Р. Сучасний стан та перспективи розвитку функціонально-просторової організації транспортно-пересадочних вузлів на території аеропортів м. Києва // Політ. Сучасні проблеми науки: тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Київ: Національний авіаційний університет, 2022. – С. 84–85. https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/54793
3. Національний інститут стратегічних досліджень. Інноваційні перетворення на транспорті як чинник модернізації транспортно-дорожнього комплексу України. – Режим доступу: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/innovaciyni-peretvorennya-na-transporti-yak-chinnik-modernizacii
4. Осьмак В.Є., Трюхан О.М., Чайка Н.Г., Докієнко Л.М. Аналіз досліджень, пов'язаних з досвідом створення інноваційних аеропортів, що концентруються на мультимодальних пасажирських перевезеннях // Економіка, фінанси, право. – 2023. – № 4. – DOI: https://doi.org/10.37634/efp.2023.4.7

УДК 656.7\:004.896(043.2)

Д.В. Лагодний
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Перспективи розвитку автономних авіаційних транспортних систем та їх інтеграція у сучасні аеропорти

У статті розглядаються перспективи розвитку автономних авіаційних транспортних систем (ААТС) та їх інтеграція у сучасні аеропорти. Аналізуються основні переваги таких систем, як зменшення витрат на експлуатацію та підвищення безпеки польотів. Обговорюються виклики, пов'язані з впровадженням ААТС, зокрема питання безпеки, регулювання та підготовки персоналу. Стаття також висвітлює необхідність модернізації аеропортів для інтеграції нових технологій та прогнозує значний вплив автономних систем на майбутнє авіаційної індустрії.

Вступ

Сучасний світ переживає етап інтенсивної технологічної революції, що безпосередньо впливає на всі сфери економіки, зокрема й на авіаційний транспорт. Автономні авіаційні транспортні системи (ААТС) стають дедалі популярнішими, пропонуючи нові можливості для підвищення ефективності та безпеки повітряних перевезень. У цій статті ми розглянемо ключові аспекти розвитку ААТС, їх переваги, виклики інтеграції у сучасні аеропорти та перспективи майбутнього.

Розвиток автономних авіаційних систем

Автономні авіаційні системи, які включають безпілотні літальні апарати (БПЛА) та літаки з автоматизованим управлінням, вже використовуються в різних сферах. Наприклад, БПЛА активно застосовуються в сільському господарстві для моніторингу посівів, в екології для спостереження за станом навколишнього середовища, а також у рятувальних операціях. Військові також використовують ці технології для виконання специфічних завдань, зокрема розвідки та доставки вантажів.

Останні досягнення в галузі штучного інтелекту, машинного навчання та обробки даних відкривають нові можливості для автономних систем. Зокрема, вдосконалені алгоритми дозволяють здійснювати більше автоматизованих рішень на всіх етапах польоту, від зльоту до посадки. Технології, такі як комп'ютерний зір і датчики нового покоління, забезпечують високий рівень безпеки та надійності.

Переваги автономних систем

Однією з основних переваг ААТС є зменшення витрат на експлуатацію. Автономні системи можуть знижувати витрати на паливо, технічне обслуговування та зарплату пілотів. Крім того, ААТС здатні забезпечити більшу точність у виконанні польотів, зменшуючи затримки та підвищуючи ефективність повітряного руху.

Ще одним важливим аспектом є безпека. Хоча на перший погляд може здаватися, що безпілотні системи менш безпечні, статистика свідчить про зниження кількості аварій у разі використання автоматизованих технологій. Автономні системи мають можливість швидко реагувати на непередбачені ситуації, що знижує ризики на етапах зльоту та посадки.

Інтеграція в аеропорти

Інтеграція ААТС у сучасні аеропорти є складним і багатогранним процесом. Аеропорти повинні адаптувати свою інфраструктуру під нові технології. Це може включати створення нових терміналів, які будуть обладнані для обслуговування автономних літаків, а також впровадження систем автоматизованого управління повітряним рухом.

Важливо також врахувати, що аеропорти повинні стати «розумними». Це означає впровадження технологій, які дозволяють здійснювати моніторинг і управління всіма процесами в реальному часі. Наприклад, автоматизовані системи управління потоками пасажирів можуть значно зменшити черги та підвищити комфорт. Використання великих даних та аналітики дозволить оптимізувати розклад рейсів і знизити затримки.

Виклики інтеграції

Попри численні переваги, впровадження ААТС супроводжується і певними викликами. Перш за все, це питання безпеки: необхідно гарантувати, що автономні системи не стануть мішенню для зловмисників. Для цього потрібні нові стандарти безпеки, які будуть враховувати специфіку роботи безпілотних літальних апаратів.

Ще одним важливим аспектом є регулювання. Законодавчі норми повинні бути адаптовані до нових реалій, щоб забезпечити безпечну експлуатацію ААТС. Це включає наявність чітких правил для пілотів, операторів та технічного персоналу.

Крім того, важливо забезпечити готовність персоналу до роботи з новими технологіями. Це потребує підготовки та навчання, що є додатковим викликом для аеропортів та авіакомпаній.

Майбутнє автономних авіаційних систем

Перспективи розвитку автономних авіаційних транспортних систем виглядають багатообіцяючими. Згідно з прогнозами, до 2030 року автономні літаки можуть зайняти значну частину ринку цивільних авіаперевезень. Це відкриває нові можливості для інвесторів, технологічних компаній та авіаційних операторів.

Згідно з дослідженнями, вартість перевезень може суттєво знизитися, а якість обслуговування покращитися. Автономні системи можуть забезпечити нові рішення для перевезення пасажирів, зокрема в умовах зростаючого попиту на швидкі та зручні подорожі.

Крім того, впровадження таких систем може сприяти розвитку регіональної авіації та відкриттю нових маршрутів. Це може забезпечити доступність авіаперевезень для більшої кількості людей.

Висновки

Отже, перспективи розвитку автономних авіаційних транспортних систем є багатообіцяючими. Вони можуть суттєво змінити обличчя авіаційної індустрії, підвищуючи ефективність та безпеку перевезень. Проте для успішної інтеграції ААТС у сучасні аеропорти необхідно подолати низку викликів, включаючи питання безпеки, регулювання та підготовки кадрів. Лише спільними зусиллями всіх учасників галузі можна досягти успіху в цій важливій справі.

Список літератури

1. Державна авіаційна служба України. "Впровадження безпілотних авіаційних систем в Україні". Доступно на: avia.gov.ua.
2. Науково-дослідний інститут авіації. "Автономні системи в цивільній авіації: перспективи та виклики". *Авіаційний вісник*, 2023.
3. Український інститут майбутнього. "Інновації у транспортній галузі: автономні літальні апарати". Доступно на: uifuture.org.

УДК 681.5.013 (045)

Н.А. Тимошенко, к.т.н., І.В. Прохоренко, к.т.н.,
Т.А. Мазур, к.т.н., Н.П. Соколова к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Удосконалення алгоритмів системи автоматичного керування для підвищення точності стабілізації висіння вертольота над точковими об'єктами

Дослідження присвячено створенню системи стабілізації для автоматизованого керування вертольотом, що дозволяє досягти високої точності утримання позиції над визначеними точковими об'єктами. Запропоновано підходи до моделювання та методи стабілізації висіння, а також методи вимірювання параметрів, оптимізовані з метою зменшення обсягу необхідних даних та обчислювальних ресурсів. Підкреслюється, що така оптимізація не знижує швидкодію чи точність стабілізації. Додатково аналізується потенціал застосування розширеного фільтра Калмана (EKF) з наявними бортовими датчиками для скорочення розмірності векторів стану та вимірювань.

Актуальність проблеми зумовлена розширенням спектру завдань, де вертольоти застосовуються для операцій над точковими об'єктами (доставка вантажів у вузькі отвори, монтаж антенного обладнання, рятувальні операції, десантування на обмежені майданчики). Це вимагає забезпечення високоточної стабілізації апарата під час висіння (Рис. 1), особливо за наявності несприятливих зовнішніх впливів [1-3].



Рис. 1. Ілюстрація прецизійної стабілізації вертольота

Підтримання точного висіння в ручному режимі є надзвичайно складним для пілотів через динамічність системи «вертоліт-об'єкт-середовище» та її інерційність у відповідь на збурення. Це обґрунтовує необхідність розробки спеціалізованого стабілізатора для системи автоматичного керування (САК), який би мав високу швидкодію та точність. Стандартні методи керування не забезпечують потрібних характеристик. Сучасні підходи, зокрема лінійно-

квадратичне гауссове керування (LQG), вимагають повної інформації про стан системи [4]. Отримання цієї інформації можливе або через встановлення дорогих додаткових датчиків (що збільшує вартість та масу), або шляхом удосконалення алгоритмів обробки даних зі штатних навігаційних сенсорів. Ця робота зосереджена на другому, більш раціональному підході.

Модель системи з нульовим прискоренням відносно точкового об'єкта.

Непередбачувані погодні умови та інші фактори під час висіння порушують стабільність польоту вертольота відносно заданої точки (Рис. 2, точка О).

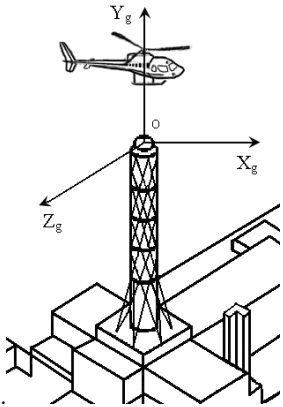


Рис. 2. Стабілізація висіння вертольота над точковим об'єктом

Тому необхідна стратегія керування, що адаптується до стохастичного характеру вимірюваних параметрів [5].

$$z(t_k) = z[x(t_k), u(t_k), g(t_k), \phi(t_k), k],$$

де: $z(t_k)$ – вектор вимірюваних реакцій; $x(t_k)$ – змінні стану; $u(t_k)$ – змінні вхідних керуючих дій; $g(t_k), \phi(t_k)$ – вимірювані та не вимірювані зовнішні і внутрішні збурення відповідно. Тобто, потрібно визначити відповідний керуючий вплив $u_n(t_k)$, який би забезпечував виконання умов відслідкування в сталому режимі реальних $X_n(t_k)$ значень параметрів висіння вертольота заданим $X_з(t_k)$ [5]:

$$\lim_{t\to\infty} X_n(t_k) = \lim_{t\to\infty} X_3(t_k). \quad (1)$$

Якість процесу керування і стабілізації вертольота у польоті визначається величиною похибки, яка обумовлюється розбіжністю $r(t_k)$ між заданим $x_з(t_k)$ і поточним $x_n(t_k)$ значеннями регульованої/стабілізованої величини:

$$r(t_{k+1}) = x_з(t_k) - x_n(t_{k+1}). \quad (2)$$

Під дією збурень параметри стабілізації висіння будуть погіршуватись, і нев'язки (2) не будуть дорівнювати нулю, тобто вертоліт буде зміщуватись від точки О (Рис. 2)

$$r(t_{k+1}) = x_з(t_k) - x_n(t_{k+1}) \neq 0. \quad (3)$$

Процес спостереження порушень вимог (1) можна формалізувати наступним чином:

$$\bar{x}(t_{k+1}) = A\hat{x}(t_k) + Bu(t_k); \quad (4)$$

$$\hat{x}(t_{k+1}) = \bar{x}(t_{k+1}) - Kr(t_{k+1}); \quad (5)$$

$$r(t_{k+1}) = z(t_{k+1}) - C\bar{x}(t_{k+1}), \quad (6)$$

де: $\bar{x}(t_{k+1})$ – прогнозована оцінка $x(t_{k+1})$ до вимірювання у момент часу t_{k+1}; $\hat{x}(t_{k+1})$ – оцінка параметрів стану системи «вертоліт-САК-точковий об'єкт», яка включає вимір у момент часу t_{k+1}; $r(t_{k+1})$;*k*– матриця коефіцієнтів фільтра Калмана.

Похибка реакції системи «вертоліт-САК-точковий об'єкт» на збурення також носить випадковий характер і визначається як різниця між станом системи у момент часу t_k та його зміною у момент t_{k+1}

$$\bar{\xi}(t_k) = x(t_k) - \bar{x}(t_k); \quad (7)$$

$$\hat{\xi}(t_k) = x(t_k) - \hat{x}(t_k). \quad (8)$$

Віднімемо від рівняння стану системи (4) рівняння, яке враховує дестабілізуючу дію зовнішніх факторів та внутрішніх процесів

$$x(t_{k+1}) = Ax(t_k) + Bu(t_k) + B\Delta u(t_k), \quad (9)$$

після чого отримаємо:

$$\bar{\xi}(t_{k+1}) = A\xi(t_k) + B\Delta u(t_k). \quad (10)$$

Об'єднуючи рівняння вимірів

$$z(t_k) = Cx(t_k) \quad (11)$$

з рівняннями (5), (6), (7) отримуємо

$$\hat{x}(t_{k+1}) = \bar{x}(t_{k+1}) + KC\bar{\xi}(t_{k+1}). \quad (12)$$

Представимо рівняння (12) у формі похибки

$$\hat{\xi}(t_{k+1}) = \xi(t_{k+1}) - KC\bar{\xi}(t_{k+1}). \quad (13)$$

Враховуючи те, що похибка виміру реакції системи «вертоліт-САК-точковий об'єкт» (13) є випадковою й має нормальний закон розподілення, її можна характеризувати математичним сподіванням квадрата похибки. Умови оптимальності такої системи можна визначити наступним чином [6]:

$$\eta\left[\hat{\xi}(t_{k+1})\right] = M[r^2(t_{k+1})] = min, \quad (14)$$

а для режиму висіння

$$\eta\left[\hat{\xi}(t_{k+1})\right] = M[r^2(t_{k+1})] = 0. \quad (15)$$

Величина $\eta\left[\hat{\xi}(t_{k+1})\right]$, як первісний момент другого порядку похибки $\hat{\xi}(t_{k+1})$ системи «вертоліт-САК-точковий об'єкт» (Рис.2), може бути виявлена через математичне сподівання та дисперсію похибки. Узагальненим критерієм (14) є критерій екстремуму заданої функції математичного сподівання і дисперсії похибки (13):

$$f\left[M(\hat{\xi}(t_{k+1})), D(\hat{\xi}(t_{k+1}))\right] = \text{extremum}. \quad (16)$$

Якщо брати у якості похибки відхилення вертольота на режимі висіння від точки О (Рис.2), то задачею системи стабілізації є забезпечення мінімуму функції (16), тобто:

$$f\left[M(\hat{\xi}(t_{k+1})), D(\hat{\xi}(t_{k+1}))\right] = 0. \quad (17)$$

Вимоги (17) являють собою зміщення регульованого параметра за математичним сподіванням

$$\varepsilon_M(t_k) = M_э(t_{k+1}) - M_n(t_{k+1}) \to 0 \quad (18)$$

та дисперсією

$$\varepsilon_D(t_k) = D_э(t_{k+1}) - D_n(t_{k+1}) \to 0, \quad (19)$$

які записані з урахуванням (13) і повинні прямувати до мінімально допустимих значень, для нашої задачі це нуль.

При наявності можливості оцінювати якість стабілізації за величиною зміщення математичного сподівання $\varepsilon_M(t_k)$ та дисперсії $\varepsilon_D(t_k)$, які забезпечують досягнення заданих показників якості процесу стабілізації, будемо мінімізувати відповідний функціонал [7]:

$$J_\varepsilon = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(\varepsilon_M^2 + \varepsilon_D) \to 0. \quad (20)$$

Критерій якості (20) дає можливість виконувати структурний синтез системи керування та стабілізації, за допомогою якої, можна реалізовувати автоматичну стабілізацію вертольота, у тому числі на режимі висіння, в умовах дії випадкових погодних умов. Задачу структурного синтезу системи автоматичного керування (САК) визначимо наступним чином: для вертольота, заданого відповідною математичною моделлю, визначити керування

$$u(t_k) = f(x(t_k), g(t_k), \phi(t_k), V, t), \quad (21)$$

як функцію вказаних аргументів, яке забезпечує виконання умови (20). В функції (21) V - похибка вимірювачів.

Керуючі дії (21) формуються за допомогою двох паралельних каналів (Рис. 3), один з яких є швидкодіючим на основі вектора прискорень $\bar{J}$, а другий – інерційним каналом на основі вектора швидкості $\bar{V}$, причому сигнал інерційного каналу віднімається від сигналу швидкодіючого каналу.

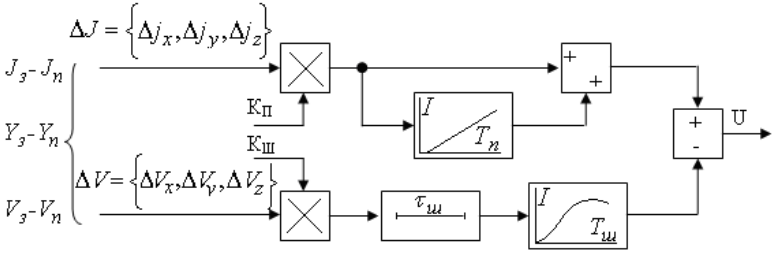


Рис. 3. Структурна схема формування керуючих дій.

Запропонований стабілізатор (зображений на Рис. 3), що інтегрується в систему автоматичного керування (САК), спрямований на вирішення ключової проблеми: одночасне поліпшення динамічних характеристик (швидкодії) та підтримання стійкості керуючої системи. Такий підхід відрізняється від традиційних схем, де існує конфлікт між цими параметрами: збільшення коефіцієнта підсилення для прискорення реакції системи неминуче призводить до зменшення її запасу стійкості.

В роботі системи керування первинна реакція на відхилення від заданих умов (20) надходить від датчиків прискорень *(j_x, j_y, j_z).* Ці сенсори фіксують високочастотні (короткоперіодичні) коливання центру мас вертольота.

Наступними реагують вимірювачі швидкості *(Ḣ, Ẋ, Ż),* які визначають зміщення центру мас апарату відносно цільової точки О (див. Рис. 2) і характеризують низькочастотні (довгоперіодичні) коливання. Отже, для забезпечення стабільного висіння вертольота поблизу визначеної точки О, розробляється модель системи, яка оперує з умовою нульових прискорень відносно цієї точки. Важливою перевагою такого моделювання є те, що розмірність вектора стану (9) та, відповідно, вектора вимірювань (11) значно зменшується (до шести компонентів). Це стає можливим завдяки тому, що прискорення є першою похідною швидкості та другою похідною переміщення. Таким чином, ефективне використання даних про прискорення, які отримуються від бортової інерціальної навігаційної системи вертольота, дозволяє суттєво спростити математичний опис системи (скоротити вектор стану), не жертвуючи при цьому точністю процесу стабілізації апарату в режимі висіння.

Висновок

Робота представляє рішення для підвищення точності стабілізації вертольота під час висіння над точковими об'єктами в умовах впливу зовнішніх факторів. Запропоновано вдосконалений алгоритм для САК, що використовує дані штатних сенсорів та базується на принципах оптимального керування (зокрема, ідеях LQG) та моделі з нульовим відносним прискоренням.

Розглянуто критерій якості, що враховує стохастичний характер збурень та похибок. Запропонований підхід дозволяє створити ефективний стабілізатор без необхідності встановлення додаткового обладнання, що позитивно впливає на вартість, масу системи, а також на безпеку та ефективність виконання спеціалізованих польотних завдань.

Список літератури

1. Beltsov V. Holdin the Sky In the Strong Hands. All-Russian aerospace journal "Herald of Aviation and Cosmonautics", No.1, 2000, pp. 8-10.
2. Raymond W. Prouty and H. C. Curtiss. "Helicopter Control Systems: A History", Journal of Guidance, Control, and Dynamics, Vol. 26, No. 1, 2003, pp. 12-18.
3. Prouty R.W. Helicopter Performance, Stability, and Control. first ed. Krieger Publishing Company, London, United Kingdom, 2002, 746 pp.
4. Paul Verges, Sammons, J.M., Balakrishman S., Speyer J.L., and Hull, D.G. “Development and Comparison of Optimal Filters” AFATL – TR-79-87, Oct. 1979. 8
5. Kazak V.N., Tunick A.A., Salimon V.I. System of Automatic and Semi-automatic Flight Control. Monograph. / Ed. by V.N Kazak K.: ed. NAU, 2002 ,201 pp.
6. Kazak V.M. Fundamentals of control and technical diagnostics. K.: NAU, 2013, 30 pp.
7. Kazak V.M. System recovery methods survivability of aircraft in special situations in flight: monograph / V.M. Kazak. – K.: NAU, 2010, 284 pp. 7

UDC 519.7:519.85 (045)

O.Y. Churina, PhD, docent
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

An aggregative-decompositional approach to modeling management of complex ergatic energy systems under conditions of uncertainty

This article deals with mathematical models of energy in relation to the established mode of operation of electrical networks. The structural synthesis of models of ergatic energy systems is proposed to be carried out on the basis of inductive modeling. Causal-effect analysis is proposed to be used in the modeling of optimal management of energetic complex energy systems based on fuzzy mathematical programming.

Mathematical modeling of the steady-state operation of the electrical system is based on Gauss, Seidel, Newton-Raphson methods. When linearizing the established mode of operation of the electrical network of the energy system, it is suggested to use the methods of Gaussian and double factorization. Seidel and Newton-Raphson methods are the procedure for approximating the steady-state operation of the electric network when modeling this mode with a system of nonlinear equations.

For the inversion of the conductance matrix *Y*, the double factorization procedure should be used. Double factorization consists in representing the inverse matrix as a product of a sequence of elementary upper and lower triangular matrixes R_k, L_k respectively. The property of these matrixes is that they have non-zero elements of only one row or column. That is, the inverse conductance matrix Y^{-1} takes the form:

$$Y^{-1} = \prod_{k=1}^{n-1} R_k \cdot \prod_{k=n}^{1} L_k,$$

where $k = (\overline{1,n})$ is the step number of the transformation of the conductivity matrix Y ; (this step k is called the factorization step); $L_k -$ left factor matrixes; $R_k -$ right factor matrixes.

In the case of studying the steady-state operation of the electric network of the energy system based on modeling in the form of a system of nonlinear equations, it is advisable to apply the approximation of this model by a linear system of equations, that is, to carry out the procedure of linearization of the mathematical model of the steady-state [1]. This procedure is based on the Newton-Raphson iterative method, which is characterized by fast convergence of the iterative process of finding a solution. The components of the vector of free members are the non-linear equations of the original steady- state model of the electric network in iterative approximations of the unknown voltages.

The process of electricity consumption is proposed to be approximated by multivariate regression models. Modern trends in modeling complex energy systems are genetic algorithms, evolutionary algorithms, and neural networks. Algorithms of structural and parametric synthesis are based on methods of inductive modeling [2].

The process of control an energetic complex electric power system is an

intelligent technology, the main purpose of which is to ensure the energy-efficient functioning of the studied power system in conditions of uncertainty. Optimal control of complex energy systems is proposed to be carried out on the basis of stochastic programming methods, as well as fuzzy mathematical programming. Therefore, a combination of probabilistic uncertainty and fuzzy uncertainty is characteristic of ergative energy systems. The reason for stochastic uncertainty is the influence of probabilistic disturbing factors on the studied system. Fuzzy uncertainty is a consequence of expert assessment of the functioning of the energetic energy system, which is taken into account when searching for an optimal solution by methods of fuzzy mathematical programming, heuristic programming. Modeling of the management processes of a complex energy system as a system with combined stochastic-fuzzy uncertainty is proposed to be carried out on the basis of mixed procedures on data described by probability distribution laws and membership functions of fuzzy sets. Methods of probabilistic modeling of electric power processes under conditions of stochastic uncertainty are not applied to operations with vague uncertainty.

The methods of fuzzy mathematical programming, based on the apparatus of fuzzy logic, are not adequate for performing integro-differential operations on fuzzy functions of time. It is proposed to analyze reliable, probabilistic and fuzzy data based on a generalizing function when modeling the processes of energy-efficient management of complex ergatic energy systems [3]. The generalizing function $\beta(x)$ is a positive definite function on the range of possible values of the argument. The generalizing function characterizes the possibility of π or the probability P of the argument taking a value on the interval $[x_1, x_2], x_1 \in B, x_2 \in B$ so:

$$P = \frac{\int_{x_1}^{x_2} \beta(x)dx}{\int_B \beta(x)dx}$$

$$\pi = \frac{\int_{x_1}^{x_2} \beta(x)dx}{max_B \int_{[x_{i-1}x_i]} \beta(x)dx}$$

where $x_{i-1}, x_i \in B, i = \overline{1,n}, n -$ the number of intervals of partition B

For the generalizing function with respect to the probability value x is true :

$$\beta(x) = f_x(x),$$

where $f_x(x)$ is the density of the probability distribution.

Regarding the deterministic value x_0 ,the generalizing function $\beta(x)$ is defined as :

$$\beta(x) = \delta(x - x_0),$$

where $\delta(x) -$ the Dirac delta function .

In case of fuzzy data x

$$\beta(x) = \mu_H(x),$$

where $\mu_H(x) -$ normalized membership function [3].

The system of generalizing functions represents a mathematical model of transformation of stochastic and fuzzy data under conditions of uncertainty.

The analysis of the optimization procedure of the ergatic power system management system consists in this. Stochastic and fuzzy data are received at the input

of the studied system. The vector of coefficients $\bar{C}$ characterizes the transformations carried out by the ergatic system. Then the output of the studied system $\overline{Y}$

$$\overline{Y} = F(\overline{X_1}, \overline{X_2}, \bar{C}),$$

where $\overline{X_1}$ - statistical data represented by the laws of probability distribution ; $\overline{X_2}$ - fuzzy data given by an expert and can be represented by membership functions.

It is necessary to optimize the functioning of the control system according to the optimization criterion Q($\overline{X_1}$, $\overline{X_2}$, $\bar{C}$). It is suggested that the function *F* represents a linear model

$$Y_i = \sum C_i X_{ij},$$

where C_i - weighting factors.

The optimization problem is proposed to be investigated by a step-by-step method, while the algorithm for implementing this method of researching the ergatic energy system is unstable in conditions of generalized uncertainty of data at the input of the system. The process of optimization of the control system of the energetic energy system under conditions of uncertainty by the step-by-step gradient method is proposed to be modeled by the algorithm proposed in [3] for technical systems. Procedures for finding an optimal solution to the process of managing ergatic complex energy systems involve the creation of an adaptive control system under conditions of uncertainty. It is proposed to consider the apparatus of generalizing functions as a mathematical model of the studied control system. At the same time, the reliability of functions belonging to fuzzy data is determined by the degree of trust in expert assessments provided by the expert in the decision-making process.

Conclusions

1. When applying the aggregative-decompositional approach to the analysis of the process of optimal management of a complex energy system with an increase in the degree of decomposition, the stability of the model of this system increases.
2. Structural-parametric synthesis of control systems for complex energetic energy systems is expedient to carry out on the basis of inductive modeling.
3. A complex energetic energy system is a system with combined stochastic-fuzzy uncertainty, it is proposed to model the processes of optimal management of this system on the basis of a generalizing function.

References

1. P.D. Lezhniuk, O.E. Rubanenko, I.O. Gunko. Optimization of modes of electrical networks with renewable sources of electricity. Monograph. - VNTU, 2018. – 174 p. (Ukrainian)

2. V.S. Stepashko, O.S. Bulgakova, V.V. Zosimov. Iterative algorithms of inductive modeling. Monograph. - Kyiv: Naukova Dumka, 2018. – 190 p. (Ukrainian)

3. O.Glon, V.Dubovoi. Modeling of control systems under conditions of uncertainty. Monograph. – Vinnytsia: UNIVERSUM, 2004. – 169 c. (Ukrainian)

УДК 629.7

В. Керней, А. Хімко, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз напруженого-деформованого стану елементів крила літака Boeing 737NG та шляхи підвищення їх довговічності

Проведено аналіз пошкодження конструктивних елементів крила літака Boeing 737 NG. Проведено аналіз та розрахунки напружено-деформованого стану конструктивних елементів крила - pickle fork. Визначено шляхи підвищення довговічності конструктивних елементів.

Вступ. Літак Boeing 737 Next Generation (NG) є одним із найпоширеніших комерційних повітряних суден у світі, що використовується для середньомагістральних авіаперевезень. Boeing 737 NG включає моделі 737-600, 737-700, 737-800 та 737-900, і завдяки своїй надійності, економічності та високій ефективності став основним вибором для багатьох авіакомпаній.

З'єднання крила з фюзеляжем є одним із ключових елементів у конструкції літака, оскільки саме через цей вузол передаються значні аеродинамічні навантаження, зокрема згинальні та крутильні моменти, вертикальні та горизонтальні сили, а також вібраційні коливання. У літаках Boeing 737 NG реалізовано жорстке з'єднання крила з фюзеляжем за допомогою конструктивного елементу типу вилка (pickle fork) - металевої вилки, що забезпечує з'єднання центрального лонжерона крила з основною силовою структурою фюзеляжу.

На кожному літаку Boeing 737 NG встановлено чотири вилки: по дві в передній і задній частинах вузла кріплення. Основне навантаження сприймається нижніми ділянками цих елементів, які забезпечують передачу сил з крила на фюзеляж. Умови експлуатації літака спричиняють багатократні циклічні навантаження на вузол, що призводить до накопичення втомних пошкоджень і виникнення зон концентрації напружень.

Метою дослідження було аналіз пошкоджень елементів крила літака Boeing 737 NG, аналіз напружено-деформованого стану конструктивних елементів крила та визначення шляхи підвищення довговічності конструкції.

Аналіз пошкоджень елементів конструкції. На рис.1 представлено схематичне зображення елементів вилок на лонжероні крила літака.

Останні інспекції експлуатованих повітряних суден виявили непередбачувані тріщини в елементах вилок, зокрема на літаках, що не досягли встановленого межового ресурсу у 90 тисяч циклів. Було встановлено, що локальні напруження в зоні кріплення перевищують проектні значення, що свідчить про недосконаліть конструкції з погляду стійкості до втомного навантаження. Це стало підставою для примусових перевірок парку літаків та тимчасового призупинення експлуатації понад 50 бортів по всьому світу Федеральною авіаційною адміністрацією США (FAA) у жовтні 2019 року.

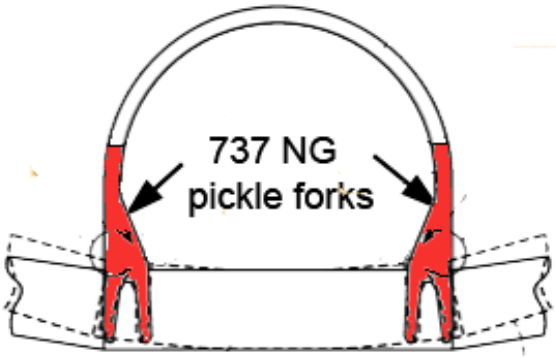


Рис. 1 – Схематичне зображення елементів вилок на лонжероні крила літака.

Раннє утворення тріщин (рис. 2) було пов'язано з кількома можливими факторами: збільшенням навантаження на крила через додавання змішаних вінглетів, що перенаправляють тиск до кореня крила; можливими виробничими невідповідностями; надмірними навантаженнями від важких приземлень або турбулентності; а також втомою, що перевищує початкові розрахункові припущення.



Рис. 2 – Місце розташування тріщини в елементі крила літака.

Одним із найпростіших підходів до підвищення довговічності конструкції є заміна вихідного матеріалу на більш стійкий до втоми. Відомо, що правильний вибір матеріалу може суттєво збільшити ресурс конструкції. Зазвичай вилки виготовляється з алюмінієвого сплаву, він є компонентом із «безпечним життям», що означає, що він має витримати весь експлуатаційний термін літака без необхідності заміни. Поточний сплав алюмінію 7075, хоч і міцний та легкий, може не забезпечити достатню стійкість до втоми під час

експлуатації літака, особливо коли вінглети збільшують згинальні моменти на корені крила. Перехід на більш стійкий до втоми матеріал, такий як титановий сплав (Ti-6Al-4V) або гібридний композит (Carbon Fiber Reinforced Polymer + Titanium inserts) на основі вуглепластику CFRP може значно збільшити термін служби цього вузла.

Аналіз напружено-деформованого стану конструкції та шляхи підвищення довговічності конструкції. Однак застосування таких матеріалів у структурі кріплення крила до фюзеляжу суттєво підвищує вартість виготовлення та загальні витрати на виробництво літака. У зв'язку з цим було розглянуто альтернативну стратегію - оптимізацію геометрії вузла кріплення. Перерозподіл напружень, зменшення зон концентрації та зміна конфігурації елементів конструкції можуть забезпечити підвищення втомної довговічності без необхідності переходу на дорогі матеріали. Початкова конструкція вилок концентрує напруження в конкретних точках, зокрема по зовнішній хорді, що сприяє ініціації тріщин. Перероблена геометрія може рівномірно розподіляти навантаження, знижуючи локальну втому.

Одним із варіантів покращення конструктивної надійності вузла кріплення крила до фюзеляжу є заміна стандартних болтів на більші за діаметром із натягом, яка дозволить значно покращити механічні властивості з'єднання. Впровадження натягу між болтом і отвором у конструкції створить додаткову напругу в місці з'єднання, що сприяє кращому утриманню елементів і зменшенню ризику розхитування болтів внаслідок вібраційних навантажень. Такий підхід також знизить ймовірність утворення мікротріщин навколо отворів, що є типовими для з'єднань, де спостерігаються високі концентрації напружень.

У рамках цього дослідження в програмному середовищі ANSYS було проведено чисельне моделювання вузла кріплення крила до фюзеляжу з використанням методу скінченних елементів FEM (рис. 3). Метою дослідження було оцінити вплив збільшення діаметра болтів на розподіл напружень у зоні з'єднання.

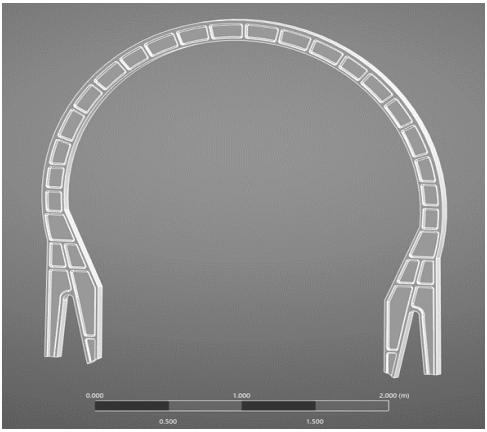


Рис. 3 – 3D модель вилки (pickle fork) літака Boeing 737NG в середовищі ANSYS з використанням методу скінченних елементів FEM.

У моделі було збережено геометричні параметри основних елементів конструкції, окрім діаметра болтів, який змінювався для двох сценаріїв: 9.5 мм та 12 мм.

Для обох випадків було застосовано однакові навантаження, що імітують дію експлуатаційних зусиль від крила. У результаті аналізу було встановлено, що в моделі з болтами 12 мм та натягом 508 Нм:

• Максимальні напруження в зоні отворів зменшилася на 4.2 МПа;

• Концентрація напружень навколо болтових отворів була нижче на 6,83 %;

• Спостерігалося більш рівномірне розподілення навантаження між елементами з'єднання, що свідчить про підвищення його жорсткості.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування болтів з більшим діаметром рівним 12 мм і натягом рівним 508 Нм для підвищення надійності вузла кріплення (рис. 4).

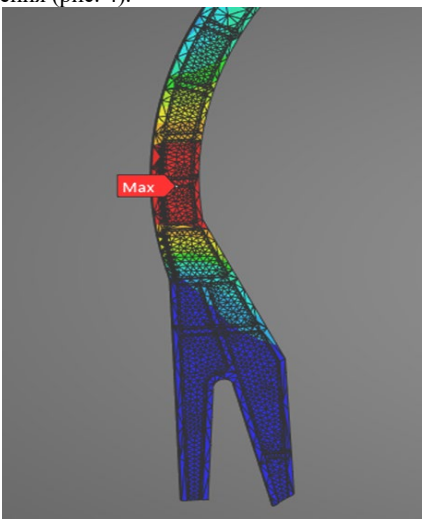


Рис. 4 – Розподіл навантажень вилки при розрахунках у середовищі ANSYS.

Хоча перепроектування вирішує основну причину, раннє виявлення дефектів залишається критичним для запобігання відмовам на службі. З огляду на це - перспективним напрямом є впровадження систем структурного моніторингу SHM, що дозволяють здійснювати постійний контроль за станом конструкції у реальному часі. Це дозволяє оперативно виявляти зародження дефектів, зменшуючи ризик раптових відмов і оптимізуючи інтервали технічного обслуговування.

Таким чином тріщини у (pickle fork), виявлені на Boeing 737 NG між 2016 та 2019 роками, виявили критичну вразливість у його конструкції крила, що вимагає модернізації. Застосування оптимізації розподілу навантаження та інтеграція SHM можуть суттєво підвищити структурну цілісність літака. Ці

рішення не тільки вирішують негайну проблему тріщин, а й забезпечують продовження безпечної експлуатації літака в умовах еволюціонуючої авіаційної інфраструктури.

Список літератури

1. Boeing 737 NG — Technical Specs [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.boeing.com/commercial/737ng#Technical%20Specs

2. Lakic N. Aircraft wing-to-fuselage joint with active suspension and method : U.S. Pat. 9,399,508 B2 / N. Lakic, R. Shubin, M. Hou, P. Feher ; Publ. Date: Jul. 26, 2016. – U.S. Patent and Trademark Office, 2016.

3. FAA. Airworthiness Directives: The Boeing Company Airplanes, FAA-2020-0789-0015 [Електронний ресурс] / FAA. – Опубл. 4 трав. 2021 р. – Режим доступу: https://www.regulations.gov/document/FAA-2020-0789-0015

4. Jovanović R. Fatigue analysis of wing-to-fuselage attachment structure : Master's thesis / R. Jovanović. – Belgrade: University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, 2015. – 100 c.

УДК 629.7.054

В.М. Учанін, д.т.н., О.Г. Алещенко, В.Я. Дереча
(Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, ДП «Антонов», Україна)

Вихрострумовий метод вимірювання товщини шару вуглецевого композиту на металевих конструкціях

Запропоновано і досліджено вихрострумовий метод вимірювання товщини шару армованого вуглецевим волокном пластику на конструкціях із немагнітного алюмінієвого сплаву і феромагнітної сталі. Дослідження проведено за допомогою зразків із алюмінієвого сплаву Д16Т і феромагнітної сталі Ст20, на які набір пластин вуглецевого композиту різної товщини. Для досліджень розроблено низькочастотний вихрострумовий перетворювач параметричного типу, вихідну напругу якого досліджували у резонансному режимі. Отримані залежності напруги на резонансному контурі від товщини вуглецевого композиту є базою для розроблення відповідного приладу. Можливість вимірювання шару вуглецевого композиту на металевих конструкціях важлива для контролю їх якості в умовах виробництва авіакосмічної техніки. Не менш важливим є моніторингу цілісності таких конструкцій під час їх експлуатації. У цьому випадку передбачається попереднє визначення товщини шару вуглецевого композиту у реперних точках з подальшим використанням в якості референсних значень.

Композиційні матеріали на основі вуглецю знаходять широке застосування у різних галузях сучасної техніки, зокрема, авіа-космічній галузі [1]. У волокнистих композиційних матеріалах використовують різні матриці в поєднанні з волокнистим наповнювачем. Широко розповсюдженим матеріалом є підсилений вуглецевим волокном пластик, який складається з вуглецевих волокон і полімерної матриці. Такий матеріал може бути багатошаровими з різною орієнтацією вуглецевих волокон у різних шарах. Ці композитні матеріали широко використовують в конструкціях літаків, оскільки вони поєднують високу міцність вуглецевих волокон з пружністю матричного наповнювача. Крім цього, вони інші унікальні властивості, зокрема, низький коефіцієнт термічного розширення, високу демпфувальну здатність, високу стійкість до циклічних навантажень та антикорозійну властивість.

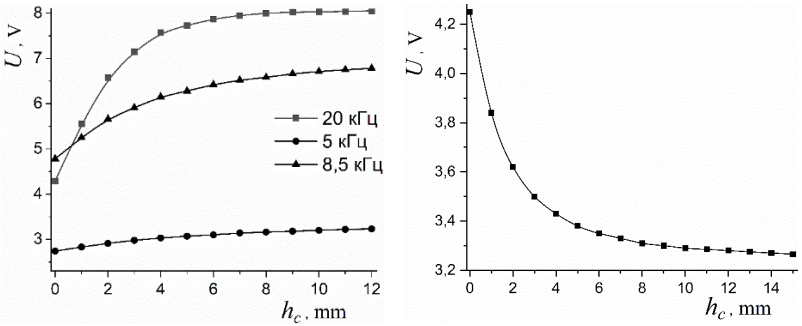
Широке застосування нових композитних матеріалів призводить до необхідності створення нових засобів неруйнівного контролю, оскільки існуючи методи і засоби не дозволяють вирішити нові задачі.

Останні роки стала актуальною проблема вимірювання товщини шару вуглецевого композитного матеріалу на металевих конструкціях, оскільки відомі методи вимірювання товщини не дозволяють розв’язати цю задачу. Зокрема, широко відомі вихрострумові товщиноміри дозволяють вимірювати товщину діелектричних покрить на металевій основі [2]. Але ці прилади непридатні для вимірювання товщини вуглецевого композиту через його порівняно велику питому електропровідність, що призводить до обмеження глибини проникання вихрових струмів. Вирішення цієї задачі дасть можливість не тільки контролювати якість з’єднань «метал-вуглецевий композит» під час виробництва,

а і проводити моніторинг в умовах експлуатації, оскільки це дасть можливість знаходити місця можливих розшарувань.

Для вирішення задачі вимірювання шару вуглецевого композиту на металевій основі необхідно суттєво зменшити робочу частоту, на яких питома електропровідність композиту буде менше впливати на глибину проникання вихрових струмів. Для цього необхідно розробити новий вихрострумовий перетворювач, спроможний працювати в діапазоні низьких робочих частот, та збільшити чутливість вимірювального траку приладу. Крім того, зі зменшенням робочої частоти зростає додаткова похибка вимірювання, пов'язана з варіаціями електрофізичних параметрів металевої конструкції.

Досліджували за допомогою зразків із алюмінієвого сплаву Д16Т та вуглецевої сталі Ст20, на які накладали набір пластин завтовшки 1,0 мм із вуглецевого композиту (надані ДП «Антонов»). Вибором кількості пластин моделювали різне товщину вуглецевого композиту. Напругу на резонансному контурі вимірювали на робочих частотах 5,0; 8,5 і 20,0 кГц (на алюмінієвому сплаві) і на робочій частоті 5,0 кГц (на феромагнітній сталі) (див. рис. 1) [3].



а б

Рис. 1. Залежність напруги U від товщини h_c шару вуглецевого композиту для зразка із алюмінієвого сплаву (а) і феромагнітної сталі (б)

Результати досліджень (рис. 1) показують принципову можливість вимірювання товщини шару вуглецевого композиту на конструкціях із алюмінієвих сплавів і феромагнітних сталей вихрострумовим методом [4]. Амплітуди U на рис. 1а зростають зі збільшенням товщини вуглецевого композиту h_c наближуючись до значень вихідної напруги під час розміщення ВСП у «повітрі». На робочій частоті 20 кГц отримано максимальні зміни вихідної напруги (від 4,29 В до 8,04 В) при збільшення товщини вуглецевого композиту від нульового значення до 12 мм. Для менших робочих частот відповідні зміни напруги є суттєво меншими, тому частоту 20 кГц можна вважати оптимальною. Залежності на рис. 1а і рис 1б є симетричними відносно горизонтальної осі. На відміну від залежностей для немагнітного алюмінієвого сталі, амплітуда напруги зі збільшення товщини h_c на рис. 1б зменшується. Таку

відмінність можна пояснити протилежним впливом немагнітного і феромагнітного металу на зміну індуктивності вихрострумового перетворювача. За наближення ВСП до немагнітного металу його індуктивність зменшується і, навпаки, індуктивність ВСП збільшується під час взаємодії з феромагнітним металевим об'єктом.

Висновок

Вихрострумовий метод забезпечує можливість вимірювання товщини шару вуглецевого композиту на металевих конструкціях із немагнітних алюмінієвих сплавів у діапазоні товщин до 12 мм і феромагнітних сталей у діапазоні товщин до 15 мм.

Отримані залежності напруги на резонансному контурі від товщини шару вуглецевого композиту буде використано для розроблення приладу для безконтактного вимірювання товщини шару ПВВП на металевих конструкціях.

Можливість вимірювання шару ПВВП на металевих конструкціях актуальна контролю таких конструкцій типу «вуглецевий композит-метал» під час виробництва.

Запропонований метод може бути також використаний для моніторингу цілісності конструкцій типу «вуглецевий композит-метал» в умовах експлуатації. У цьому випадку передбачається попереднє визначення товщини шару вуглецевого композиту у реперних точках для подальшого використання в якості референсних значень. Подальше збільшення результатів вимірювання товщини шару вуглецевий композит в процесі експлуатації відносно референсних значень буде свідчити про утворення розшарувань на межі «вуглецевий композит-метал» або між окремими шарами вуглецевого композиту.

Список літератури

1. Кива, Д. 2014. Этапы становления и начала развернутого применения полимерных композиционных материалов в конструкциях пассажирских и транспортных самолетов (1970–1995 гг.). Авиационно-космическая техника и технология, (6), 5–16.
2. Механіка руйнування і міцність матеріалів: довідн. посібник / Під. заг. ред. В.В. Панасюка. Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О.П. Осташ, В.М. Федірко, В.М. Учанін та інші. - Львів: Вид-во «Сполом», 2007. - 1068 с.
3. Учанін, В.М. Рибачук, В.Г. 2022. Дослідження можливості вихрострумового контролю слабопровідних гетерогенних середовищ. Відбір та обробка інформації. 50(126). 5-12. https://doi.org/10.15407/vidbir2022.50.005.
4. Учанін В.М., Алещенко О.Г., Савін А., Дереча В.Я. 2025. Дослідження вихрострумового резонансного методу вимірювання товщини шару підсиленого вуглецевим волокном пластику на металевих конструкцій. Технічна діагностика та неруйнівний контроль, № 2 (в друці).

UDC 629.735.083.02

M.O. Shapiro, Y.I. Smirnov, PhD
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Trends in the use of engine condition monitoring systems on aircraft

The paper highlights current developments in the field of engine condition monitoring (ECM) on aircraft. The advantages of onboard and remote monitoring are considered, as well as the prospects for artificial intelligence integration.

Introduction

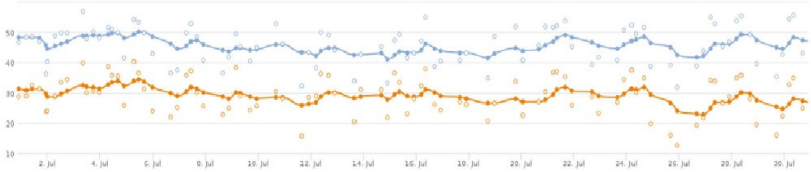
Engine Condition Monitoring (ECM) is one of the most important sections of the Maintenance Program (MP) document has been established to give a coordinated view of all checks or tasks periodically performed on airframe systems, structure, power plant and aircraft components in purpose of ensuring reliability of components and detecting or preventing any fault which could affect the airworthiness of the aircraft maintained in the Operator`s fleet. The objective of ECM is to follow-up the evaluation of the engine health and performance of installed engines on the aircraft. In an era of continuous technological advancement and the integration of artificial intelligence, new opportunities have emerged for enhancing engine condition monitoring systems in aircraft. Engines, being one of the key components of an aircraft, require precise and regular maintenance to ensure flight safety and operational efficiency. Scheduled inspections are gradually being replaced or supplemented by ECM systems that allow for continuous data collection and analysis to identify significant changes often indicative of potential failures. Any functional failure has to be assessed for consequence of failure and was assigned one of two basic categories – Safety and Economic.

Engine condition monitoring

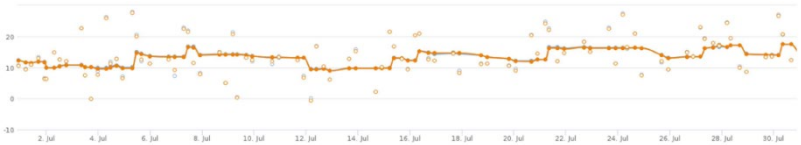
The integration of ECM into onboard aircraft systems can take various forms — from built-in monitoring modules to real-time data transmission to ground-based analytics centers. The types of sensors commonly used include:

- vibration monitors;
- temperature sensors;
- pressure monitors;
- speed measurement sensors, etc.

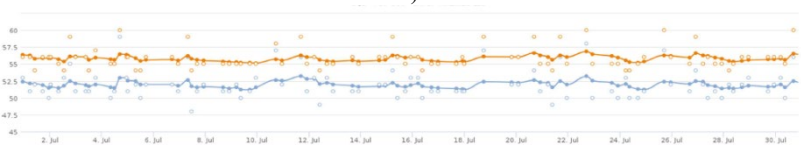
Key parameters monitored typically include EGT hot day margin (°C), thrust derate (%), oil pressure (PSID), and fan vibration (%) (Fig. 1). Deviations in these values often require more detailed investigation and may signal the early stages of malfunction.



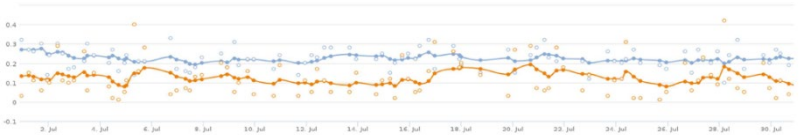
a)



b)



c)



d)

Fig. 1. Examples of monitored parameters by ECM:
a) EGT Hot Day Margin (°C)
b) Thrust Derate (%)
c) Oil pressure (PSID)
d) Vibration Fan (%)

Modern ECM systems utilize machine learning algorithms to detect anomalies and analyze trends. These approaches improve diagnostic accuracy and open up new possibilities for automated decision-making in maintenance planning. Artificial intelligence can process historical flight data and identify complex patterns that may go unnoticed by human operators.

Engine condition monitoring systems offer numerous benefits that help prevent potential damage and the safety risks of catastrophic failures. The primary advantages of ECM include:

- Evaluation effects of the maintenance activities and operational events affecting performance of the engines
- Reduction of unscheduled maintenance
- Minimizing unscheduled downtime and preventing secondary damage and AOG (Aircraft on Ground) situations.
- Enabling continuous monitoring of engine health and performance, allowing issues to be identified before they escalate into serious failures.
- Enhancing operational reliability and helping airlines adhere to flight schedules, which is vital for customer satisfaction and efficiency.

– Avoiding financial losses associated with AOG, including not only repairs but also passenger compensation, rebooking, and reputation damage.

Despite these benefits, ECM systems still face a number of challenges. These include data security, high implementation costs, sensor malfunctions, software limitations, and the need for standardized solutions across different aircraft types. Furthermore, there remains a strong need for clear regulatory guidance on how ECM data should be interpreted and acted upon.

Conclusion

Engine condition monitoring has become a key direction in the development of Aircraft Maintenance Program, enabling a transition from reactive to predictive and proactive strategies. Engine condition monitoring is one of the most effective maintenance practices used in MP based on MSG-3 logic. The implementation of intelligent data collection and processing systems, their integration with analytical platforms, and the application of machine learning algorithms significantly enhance the safety and efficiency of aircraft operation. ECM not only reduces the risk of failures but also contributes to cost optimization, improved operational reliability, and timely maintenance.

Despite existing challenges related to implementation, standardization, and data protection, the potential of ECM is expected to continue growing in the nearest future.

References

1. Bentley S. Introduction to Engine Condition Monitoring. Sofia: Sofema Aviation Services, 2018. – Source: https://sassofia.com/blog/introduction-to-engine-condition-monitoring/ (Accessed: 16 Apr. 2025).

2. Soni C., Saini A.K., Gautam C., Purohit G. Aircraft Engine Condition Monitoring for Predictive Maintenance. In: Handbook of Vibroacoustics, Noise and Harshness. Singapore: Springer, 2024. – pp. 1–21.

3. Aircraft Condition Monitoring System (ACMS). Skybrary / EUROCONTROL, 2023. – Source: https://skybrary.aero/articles/aircraft-condition-monitoring-system-acms (Accessed: 16 Apr. 2025).

УДК 620.1.08

Р.Г. Мнацаканов, д.т.н., О.А. Мікосянчик, д.т.н., С.С. Камак
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування шерографії для оцінки якості полімерних композиційних матеріалів

Представлено перспективи застосування методу зсувної спекл-інтерферометрії (шерографії) для виявлення та оцінки дефектів полімерних композиційних матеріалів. Зазначено принципи ідентифікації дефектів, проаналізовано чутливість методу.

Оскільки аналіз якості деталей і конструкцій з композиційних матеріалів (КМ) у зв'язку з їх широким використанням стає все більш і більш актуальним, для дефектоскопії композитів в даний час адаптований цілий ряд методів неруйнівного контролю.

Класичні методи неруйнівного контролю мають певні недоліки. Наприклад, для рентгенівських методів необхідно наявність складного та дорогого обладнання, крім того, розмір об'єктів контролю дуже обмежений. Ультразвуковий контроль потребує наявність статистичної бази для дефектів, які потрібно виявити, і виявляє не всі типи дефектів. Візуальні методи контролю застосовуються в основному для відкритих дефектів, тоді як руйнування виробів із КМ часто починається із закритого внутрішнього дефекту.

Перспективним напрямом дослідження якості КМ є впровадження спеціальних методів контролю, одним із яких є метод шерографії. Шерографія (метод зсувної спекл-інтерферометрії) – це інтерферометричний метод, розроблений для подолання низки обмежень голографічного методу контролю. На відміну від голографії, яка вимірює зміщення поверхні, шерографія вимірює похідні зсуву поверхні, тим самим усуваючи необхідність чисельно диференціювати дані зміщення для отримання деформацій [1].

Існує три версії шерографії, що використовують різні носії запису: фотоемульсію, термопластик та цифрове зображення (відео). Цифрова шерографія використовує комп'ютеризований процес, який зручніший для користувача та економічно ефективний. Вона використовує відеодатчики (наприклад, прилад із зарядовим зв'язком (ПЗЗ) або CCD-матрицю (CCD - charge-coupled device)) в якості записуючого носія та технологію цифрової обробки для отримання даних зображення та аналізу результатів, тим самим усуваючи витратні матеріали, що використовуються у фотографічних та термопластикових аналогах.

В даний час аерокосмічна промисловість використовує даний метод для неруйнівного контролю конструкцій літаків, зокрема, композиційних конструкцій (ASTM E 2581: 2014: R2023 Standard Practice for Shearography of Polymer Matrix Composites and Sandwich Core Materials in Aerospace Applications). До переваг впровадження методу шерографії можна віднести наявність додаткових каналів вимірювання, що надає широкі можливості щодо

вимірювання деформацій, властивостей матеріалів, залишкових напружень, тривимірних форм, а також дослідження вібрації.

Щоб визначити наявність внутрішнього дефекту, використовується порівняння двох інтерферограм, отриманих до і після зовнішньої дії. У ході цифрової обробки одна інтерферограма віднімається від іншої, спеціальні цифрові алгоритми компенсують лінійну складову зміни форми об'єкта контролю пов'язану, наприклад, з тепловим розширенням. Отриманий результат у вигляді шерограми характеризує картину здуття, западин та інших змін форми об'єкта, які можуть виникати через наявність у ньому дефектів внутрішньої структури (наприклад, ділянок відшарування сотових конструкцій КМ або слабкої адгезії шаруватого ламінату полімерного КМ).

Отже, сутність методу зсувної спекл-інтерферометрії полягає в дослідженні змін властивостей КМ при зовнішньому впливі. Зовнішній вплив може бути створено наступними чинниками: термічними, вакуумом, механічними, вібраційними. Тепловий та/або вплив в умовах вакууму є найбільш типовими видами впливу на конструкції з композиційних матеріалів при їх діагностуванні. Оптимальний тип навантаження залежить як від структури та складових компонентів КМ, так і від розміру, положення (глибини залягання) та типу дефектів. Тип навантаження з цієї причини має бути визначений заздалегідь у процесі проведення ряду експериментів із використанням еталонного об'єкта контролю. В подальшому, при накопиченні достатньої бази даних ідентифікованих дефектів в КМ, вплив зовнішнього чинника може бути оптимізовано за інтенсивністю та тривалістю. Протягом усієї процедури випробування зона спостереження може контролюватись на дисплеї; будь-які виявлені дефекти відображаються у реальному часі. Фактичний вимір відбувається в одному з двох режимів: ручний або автоматичний.

Досліджувана поверхня опромінюється до та після дії пучком когерентного випромінювання, яке потім через інтерферометричну систему потрапляє на CCD-матрицю. Інтерферометрична система налаштована таким чином, щоб у кожну точку матриці попадав сигнал, відбитий від двох точок поверхні, розташованих на певній відстані один від одного. Цю відстань з урахуванням напрямку, в якому одна з точок зміщена щодо іншої, називають вектором зсуву (рис. 1). Вектор зсуву визначає чутливість приладу до тих чи інших типів та розташування дефектів. Таким чином, на ПЗЗ-матриці формується інтерференційна картина, що відповідає розсіюванню когерентного випромінювання на поверхні, що інспектується (спекл-інтерферограма).

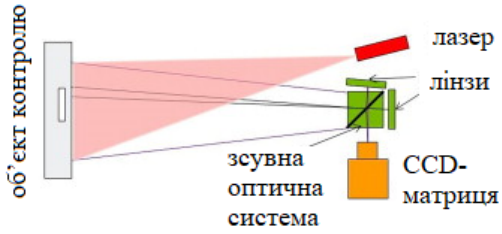


Рис. 1. Схема оцінки дефектів шерографією.

У роботі [2] представлено результати перевірки заднього фіксованого обтічника А320 за допомогою шерографії. Задній фіксований обтічник А320 – це композитна конструкція, виготовлена з ламінату на основі вуглецевого армуючого у поєднанні з стільниковим сердечником, який зовні встановлено на обтічнику закрилка як частина крила літака Airbus. Ці закрилки є рухомими керуючими поверхнями для розширення поверхні крила з метою збільшення підйомної сили.

Техніка шерографії виявляє зону впливу напруги через додаткове навантаження на досліджуваній композитній панелі. Зміни напрямку зсуву в техніці лазерної шерографії є ефективним засобом виявлення поширення дефектів у композитній панелі. Зсув у напрямку осі Y здатний виявити тріщини в горизонтальній орієнтації, тоді як зсув у напрямку осі X успішно виявляє тріщини у вертикальній орієнтації (рис. 2).

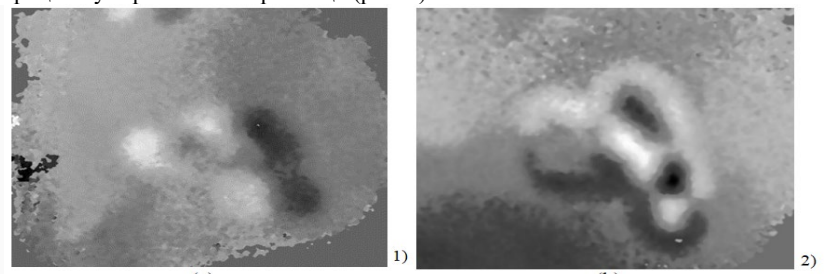


Рис. 2. Результати шерографії при деформації задньої фіксованої поверхні зразка обтічника А320: 1 – зсув по осі X, 2 – зсув по осі Y [2].

При застосуванні методу шерографії в серійному виробництві для досягнення максимального ефекту рекомендується попередньо набрати базу даних характерних дефектів на всіх типових зразках з різними геометричними параметрами цих дефектів. Простота використання та легкість у налаштуванні системи для роботи з об'єктами контролю з КМ робить шерографію технологією швидкого впровадження у процеси виробничого контролю та технічного обслуговування.

За допомогою систем шерографії дефекти КМ можуть бути швидко виявлені і однозначно визначені ще в процесі виробництва. Метод шерографії дозволяє своєчасно виявляти такі дефекти КМ, як порушення зчеплення, розшарування, повітряні бульбашки, включення сторонніх частинок, непроклеї, адгезійне розшарування, тріщини та інші дефекти. Це забезпечує своєчасне виявлення виробничих дефектів композитних конструкцій та запровадження необхідних коригуючих дій на виробництві, що збільшує ефективність та скорочує витрати на тестування та доопрацювання КМ.

В роботі [3] представлено порівняльний аналіз неруйнівних методів контролю (термографії та шерографії) з різними джерелами збудження для виявлення дефектів у гібридних сендвіч-структурах, виготовлених із титанових оболонок і серцевини з КМ. Встановлено, що термографією з ламповим

нагріванням можливо виявити дефекти на глибині 2 мм з діаметрами до 6 мм. Шерографія дозволяє виявляти більші дефекти, діаметром до 25 мм, і не глибше 2 мм. Це свідчить про те, що при виборі методу неруйнівного контролю для оцінки якості полімерних КМ необхідно провести комплексну оцінку характеру передбачуваного дефекту і його розташування, чутливість обраного методу контролю, умови роботи та структуру виробу (табл. 1).

Таблиця 1

Застосування методів неруйнівного контролю протягом життєвого циклу полімерних композиційних матеріалів

Дефект	Розробка і оптимізація виробу та процесу	Технологічний контроль в режимі реального часу	Контроль після виготовлення	Технічний контроль в процесі експлуатації
Акустична емісія	X	X	X	X
Комп'ютерна томографія			X	
Випробування на герметичність	X	X		X
Рентгенографічна дефектоскопія і радіоскопія	X	X	X	X
Шерографія	X	X	X	X
Вимірювання деформації			X	
Термографія			X	X
Ультразвукове дослідження	X	X	X	X
Візуальний контроль	X	X	X	X

Шерографія дозволяє забезпечити високу чутливість (до 30 нм), надійне виявлення та реєстрацію дефектів. Отримана за допомогою спекл-інтерферограми інформація про розмір, площу та орієнтацію дефекту в просторі, дає можливість побудови якісного зображення для подальшої оцінки працездатності та ресурсу конструкцій з полімерних КМ.

Висновок

Проаналізовано переваги впровадження методу шерографії в якості неруйнівного контролю при виявлення та оцінці дефектів протягом життєвого циклу полімерних композиційних конструкцій. Представлено принципи аналізу інтерферограм, типи виявлених дефектів, можливість вимірювання деформацій, властивостей матеріалів, залишкових напружень, тривимірних форм виробів з полімерних композиційних матеріалів.

Список літератури

1. Hung Y.Y. Applications of digital shearography for testing of composite structures. *Composites Part B: Engineering.* 1999. Vol. 30, Is. 7. P. 765-773. https://doi.org/10.1016/S1359-8368(99)00027-X

2. Yusof M. Y., Loganathan T. M., Burhan I. et. al. Shearography Technique on Inspection of Advanced Aircraft Composite Material. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (2019) 012009. doi:10.1088/1757-899X/554/1/012009

3. Georges M., Srajbr C., Menner P. et. al. Thermography and Shearography Inspection of Composite Hybrid Sandwich Structure Made of CFRP and GFRP Core and Titanium Skins. *Proceedings.* 2018. 2. 484. doi:10.3390/ICEM18-05384

УДК 621.396

Є.Ю. Кузьменко, аспірант.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна)

Машинне навчання та його застосування в авіаційних системах

Штучний інтелект та машинне навчання відкривають нові горизонти для розвитку сучасної авіації. Ці технології забезпечують ефективну обробку великих обсягів даних, що виникають під час польотів, технічного обслуговування та планування маршрутів. Їх застосування дозволяє прогнозувати відмови обладнання, зменшувати затримки та підвищувати безпеку польотів. Особливу увагу привертають предиктивні моделі обслуговування, що дозволяють авіакомпаніям мінімізувати витрати та підвищити експлуатаційну готовність флоту. У тезах розглянуто сучасні методи, математичні аспекти та перспективи впровадження AI у сфері авіаційних систем.

Штучний інтелект і машинне навчання надають нові можливості авіації. Ці технології дозволяють підвищити ефективність управління повітряним рухом, зменшити затримки, використовувати оптимальні маршрути та забезпечувати безпеку польотів. Основні напрями застосування штучного інтелекту полягають у прогнозуванні загальних даних, аналіз оголошень та автоматизації логістики у авіації

Методи машинного навчання у прогнозуванні польотів.

Передбачення польотів – досить складений процес, що вимагає обробки великого спектра даних: від метеоданих до даних про технічний стан літаків та повітряні рухи. Одним із важливих етапів є використання методів машинного навчання. Воно сприяє підвищенню точності прогнозів та зменшенню затримок у повітряному просторі.

Нейронні мережі є одним з ефективних методів прогнозування, які аналізують історичні дані та анімують траєкторії польотів [1]. Використання глибокого навчання дозволяє виявлення складних закономірностей у великих масивах даних та дозволяє прогнозувати зміни умов повітряного руху [2]. Розподілені системи прийняття рішень приводять до ефективної взаємодії диспетчерів з пілотами та автоматизованими системами управління [3]. Використання алгоритмів обробки природної мови дозволяє аналізувати текстові звіти диспетчерів і пілотів для виявлення ризиків і підвищення рівня безпеки [4].

Автоматизація аналізу великих даних у авіації.

Сучасні авіаційні системи генерують величезний обсяг даних, що необхідно ефективно обробляти для підвищення безпеки та оптимізації польотів. Машинне навчання дозволяє автоматизувати аналіз Big Data, виявляти тренди та прогнозувати можливі відхилення у функціонуванні авіаційних систем.

Важливим напрямком є використання глибоких нейронних мереж для виявлення аномалій у польотних даних, що сприяє ідентифікації потенційних відмов систем літака [5]. Також застосовуються методи кластеризації для групування схожих подій та розпізнавання критичних ситуацій, що допомагає диспетчерам приймати більш обґрунтовані рішення [6].

Штучний інтелект у прогнозуванні відмов авіаційної техніки. Прогнозування технічного стану авіаційної техніки є одним із ключових напрямків використання штучного інтелекту в авіації. Сучасні AI-системи аналізують величезні масиви експлуатаційних даних для виявлення прихованих закономірностей, що можуть вказувати на потенційні несправності. Одним із найефективніших методів є поєднання згорткових нейронних мереж (CNN) та довготривалої короткочасної пам'яті (LSTM), що дає змогу прогнозувати залишковий ресурс авіаційних двигунів (RUL) та своєчасно виконувати технічне обслуговування [7].

Математичний аспект Predictive Maintenance.

Вплив AI на predictive maintenance можна оцінити через ключові показники ефективності (KPI), такі як середній час між відмовами (MTBF), коефіцієнт виявлення несправностей (FDR) та витрати на технічне обслуговування (CASK).

1. Вплив на середній час між відмовами (MTBF)

Середній час між відмовами (Mean Time Between Failures, MTBF) визначається як:

$$\text{MTBF} = \frac{\sum T_{\text{опер}}}{N}$$

де $T_{\text{опер}}$ — загальний час роботи обладнання, а N — кількість зафіксованих відмов. Впровадження AI дозволяє збільшити MTBF на 15-25%, що сприяє зменшенню частоти технічного обслуговування [8].

2. Покращення коефіцієнта виявлення несправностей (FDR)

Коефіцієнт виявлення несправностей (Fault Detection Rate, FDR) визначається за формулою:

$$FDR = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\%$$

де TP (True Positives) — вчасно виявлені відмови, а FN (False Negatives) — невиявлені реальні відмови. Використання AI дозволяє досягти точності виявлення несправностей до 90-95%, що суттєво знижує ризики незапланованих ремонтів [9].

3. Вплив на витрати на обслуговування (CASK)

Витрати на обслуговування на кожен доступний місце-кілометр (Maintenance Cost per Available Seat Kilometer, CASK) обчислюються за формулою:

$$\text{CASK} = \frac{\text{Загальні витрати на обслуговування}}{\text{Кількість доступних місце} - \text{кілометрів}}$$

Використання AI у predictive maintenance дозволяє знизити середні витрати на обслуговування на 12-18%, що безпосередньо впливає на економічну ефективність авіакомпаній [10].

У рамках розвитку цифрових технологій, машинне навчання вже стало невід'ємною частиною інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень в авіації. Такі системи здатні враховувати мільйони параметрів у реальному часі та адаптувати моделі відповідно до нових даних. Наприклад, з використанням reinforcement learning (підкріплювального навчання) можна створювати адаптивні навігаційні маршрути залежно від умов повітряного простору.

Крім того, AI активно використовується для підвищення безпеки пасажирських перевезень: аналіз психологічного стану пілотів за допомогою біометричних сенсорів і глибоких нейронних мереж дозволяє виявляти втому чи стрес на ранніх етапах. Також все ширше впроваджуються предиктивні моделі технічного обслуговування не лише на рівні окремого літака, а й у масштабах флоту, що дозволяє ефективно планувати логістику, зменшуючи навантаження на технічні команди та збільшуючи готовність повітряного парку.

Висновки:

Впровадження штучного інтелекту у прогнозуванні польотів та технічному обслуговуванні значно підвищує ефективність авіаційної галузі. Машинне навчання дозволяє оптимізувати маршрути, зменшити ризики відмов та знизити витрати на технічне обслуговування, покращуючи показники MTBF, FDR та CASK. Подальший розвиток цих технологій сприятиме зменшенню впливу людського фактора та забезпеченню більшої надійності авіасистем.

Список літератури

1. Shmelova T., Sikirda Yu., Yatsko M. Collaborative Decision-Making Models in Flight Emergency "Landing Gear Failure on Takeoff". CEUR Workshop Proceedings. Vol. 3373. Aachen: CEUR-WS, 2023. 19 p.
2. Shmelova T., Yatsko M., Sierostanov I. Decision-making modeling in case of emergency "captain incapacitation at takeoff". International Journal of Decision Support System Technology. Vol. 15(1). IGI Global, 2023. 20 p.
3. Malhi A., Gao R.X. Prognosis of Defect Propagation Based on Recurrent Neural Networks. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. 62, No. 3. IEEE, 2013. P. 578–589.
4. Zhang Y., Qian C., Li Y. Deep learning algorithms for fault detection in aircraft systems. Neural Computing and Applications. Vol. 34. Springer, 2022. P. 9913–9932.
5. Li J., Tang Y., Chen M. AI-driven approach for early anomaly detection in aerospace systems. Applied Intelligence. Vol. 53. Springer, 2023. P. 13421–13438.
6. Kourouklis D., Tsardoulias E.G., Kostavelis I. Predictive Maintenance in Aviation: A Deep Learning Approach. Journal of Aerospace Engineering. Vol. 36(2). ASCE, 2023. 15 p.

УДК 629.735.018

В.В. Токарук
(Національний авіаційний університет, Україна)

Удосконалення технологічного процесу складання елементів крила

Розглянуто технологічний процес складання елементів крила літака Ан-26, а саме кінцевого обтічник крила.

Крило літака Ан-26 (рис. 1.) високо розташоване, вільнонесуче, трапецієподібної форми в плані з прямокутним центропланом. Зовнішні обводи крила по перетинах в трапецієподібної частини утворені набором аеродинамічних профілів різної товщини. За конструкцією крило кесонного типу складається з двох лонжеронів, двадцяти трьох нервюр, обшивки і стрингерів, що утворюють панелі, носових і хвостових частин і кінцевих обтічників.

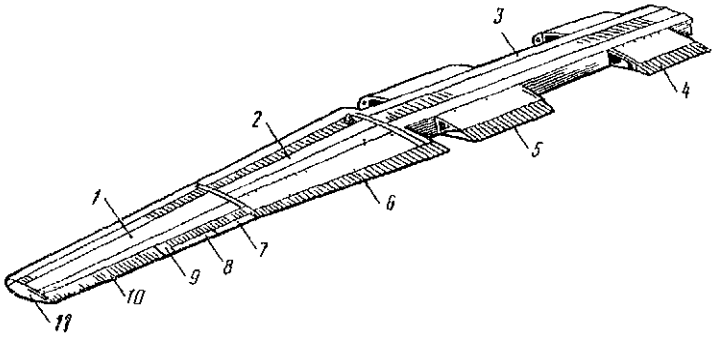


Рис. 1.2. Крило літака Ан-26

1- частина крила підйомна, 2 - частина крила середня, 3 - центроплан, 4, 5 - закрилки однощілинні, 6 - закрилок двухщелевоие, 7 - сервокомпенсатор, 8 - тріммер, 9 - секція елеронів коренева 10 - секція елеронів кінцева, 11 - закінцівках крила секції і дві відокремлені частини (ОЧК).

В процесі експлуатації на крилі літака виникають дві групи дефектів. До першої групи відносяться дефекти, які утворюються за час довготермінового застосування деталей протягом встановленого ресурсу (корозійні ураження). Другу групу складають експлуатаційні дефекти, які виникають в результаті порушення встановлених норм експлуатації (механічні пошкодження).

Загальний технологічний процес ремонту як авіаційної техніки в цілому так і її агрегатів складається з таких етапів, як приймання до ремонту, розбирання, очищення, дефектація, ремонт, складання, випробовування, передача замовнику.

Дана робота присвячена удосконалення технологічної операції складання. Складання вузлів, секцій, відсіків і агрегатів може здійснюватися різними методами. Методи складання визначають весь комплекс технологічної підготовки виробництва: вибір схем базування і складання, а також технологічної оснастки, що забезпечують виготовлення деталей і складання виробів із заданим рівнем взаємозамінності і точності; процеси виготовлення і монтажу технологічного оснащення для виробництва деталей і складання виробів.

Розроблена технологічна оснастка для складання обтічника рис 2:

1) Забезпечує установку всіх складальних частин (СЧ) конструкції кінцевого обтічника в складальному (монтажні) положенні відносно один одного при прийнятих складальних (настановних) базах.

2) Незмінність обраних складальних баз в процесі складання.

3) Відсутність деформування СЧ під впливом власної маси в процесі складання.

4) Доступність робітників-складальників до всіх зон збираної конструкції в процесі її складання.

5) Можливість максимального використання для проектування складального пристосування (СП) типових модулів (програм) і систем автоматизованого проектування оснащення.

6) Можливість максимального використання для виготовлення елементів СП нормалізованих деталей і вузлів.

7) Компенсація:

– розмірів СП під впливом зміни температури навколишнього середовища;

– деформації конструкції СП під впливом маси конструкції;

– зусиль, що виникають при фіксації в складальних (монтажних) положеннях СЧ;

– навантажень, що виникають при роботі механічного інструменту та інших засобів технічного оснащення, вбудованих в СП.

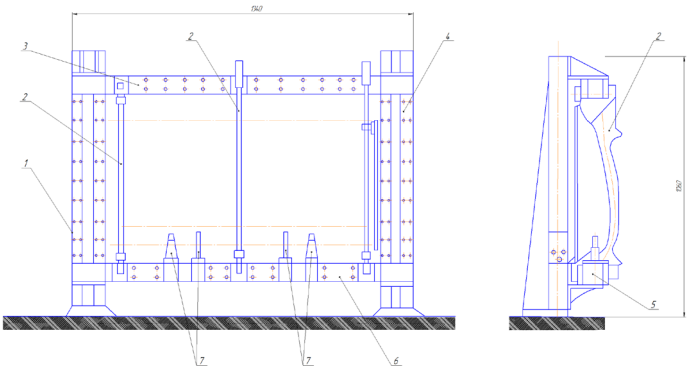


Рис. 2. Стапель склдання кінцевого обтічника.

В якості технологічної оснастки для складання обтічника запропоновано СП спрощеної конструкції для складання з базуванням по поверхні каркаса.

Специфічні вимоги до обраної конструкції технологічної оснастки для складання обтічника включають:

1) Наявність упорів для базування діафрагм;

2) Можливість підключення пневмосети стисненого повітря;

3) Можливість переналагодження під ліве/праве виконання обтічника.

Технологічна оснастки для складання кінцевого обтічника крила це СП спрощена конструкція, в якому встановлюються деталі каркаса, потім на них базуються своїм внутрішнім обводом обшивки виконуються попередні з'єднання, проводиться свердління отворів під заклепки і зенкування гнізд під їх потаємні головки

За результатами розробки технологічного процесу складнння кінцевого обтічника крила розроблено цикловий графік складання кінцевого обтічника крила який наведено на рис 3.

N п/п	Зміст завдання	Трудомісткість виконання завдання $T_{зад}$	Коеф. виконання норм $K_{вн}$	Кількість одночасно працюючих p_o	Цикловий час виконання завдання $Ц_{зад}$	Такти. Години. R = 40 год.											
						1								2			
						4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52
1	Виготовлення деталей і СО (просікання щілинний окантовки, формование жабер окантовки, клепка анкерних гайок з прокладками та ін.), пневмомолотком Atlas Copco, на стенді	28.8	1,2	1	24													
2	встановлення в СП діафрагм, кріплення. Установка щілинний окантовки і обшивок на деталі каркаса	9.2	1,15	1	8													
3	Свердління отворів під заклепки в обшивках по НО в діафрагмах і кутниках, за допомогою кутової пневмодрилі Atlas Copco. Зенкування гнізд.	8,8	1,1	1	8													
4	Установка інших анкерних гайок, свердління отворів під кріплення до каркаса	4,8	1,2	1	4													
5	Клепка анкерних гайок до каркаса пневмомолотком Atlas Copco, на стенді	4.6	1,15	1	4													
6	Установка легкознімним обтічника, виконання болтових з'єднань. Контроль БТК	4.6	1,15	1	4													

$Ц_{ск}$ = 52 год. = 2R

A = 50 компл. $T_{изд\ прав}$ **= 60.8** н.-год.

R = $Ф_к$ / A = 2008 / 50 ~ **40** год.

Рис. 3. Цикловий графік складання кінцевого обтічника крила

Висновок. Застосування розробленої технологічної оснастки для складання елементів крила таких, як кінцевий елерон та кінцевий обтічник крила разом з використанням нового сучасного інструменту (пневмодрілі, клепальні автомати, пневмомолотки, тощо) значно зменшить трудоміскість та підвищилть якість складальних операцій.

Список літератури

1. Терещенко Ю.М., Волянська Л.Г., Животовська К.А., та ін. Технологія виробництва літальних апаратів. Кн. 2. Технологія складання літальних апаратів. - К. : Книжк. вид-во НАУ, 2006. - 491 с.

2. Технологія складання та випробування авіаційних літальних апаратів. Толстой С.А. – К.: КиАТ, 2012. – 24 с.

3. Мамлюк О. В., Кудрін А. П., Дмитрієв С. О., Гриценко І. А., Зайвенко Г. М. Типові технологічні процеси та системи автоматизованого проектування при виготовленні повітряних суден: монографія/ МОН України, Національний авіаційний університет. – Київ: НАУ, 2019. – 252 с.

4. Мамлюк О. В., Кудрін А. П., Зайвенко Г. М. Інженерія забезпечення якості деталей, вузлів та агрегатів у машинобудуванні. Монографія - К.: НАУ, 2021. – 140 с.

UDC 629.7.083: 00752(043.2)

O.V. Rugain, PhD
(Kyiv Aviation Institute, Ukraine)

Drones in aircraft maintenance technologies

The work considers the problem of using unmanned aerial vehicles in aircraft maintenance technologies as a means of visual inspection of the aircraft airframe and monitoring the state of external equipment.

Aircraft repair and maintenance systems and technologies are constantly evolving. Design organizations and aviation management are looking for technological solutions to optimize costs, reduce downtime and ensure operational safety of the aircraft fleet. In this regard, the use of drones for aircraft inspection and maintenance (fig. 1) has become an attractive and promising direction for airlines, aircraft paint manufacturers and maintenance, repair and overhaul (MRO) centers. Companies such as LATAM Airlines, Airbus, Lufthansa Technik and AkzoNobel have demonstrated how these new technologies not only improve diagnostic accuracy, but also directly impact innovation processes and profitability [1].



Figure 1 – External inspection of a Boeing 787 using a drone

Aircraft maintenance is the effort required to keep equipment operational and functioning. Unplanned aircraft delays due to equipment failure are a major problem for the aviation industry, costing billions of dollars in losses each year. High-quality maintenance is an important aspect of increasing productivity by reducing downtime and maintaining airworthiness.

The aircraft cannot fly with malfunctions; they must be repaired before takeoff. This is a rather complex and time-consuming task. On the way to solving it, it is necessary to find such innovative technologies, with the help of engineering and technical personnel, they will be able to significantly reduce the cost of performing MRO, as well as minimize downtime of the aircraft fleet.

Pre-flight inspection procedures are performed by certified aircraft maintenance personnel or crew members prior to flight. The process is the same for all categories of aircraft, but its implementation differs for certain specific types of aircraft. The result should be a reduction in the number of possible failures caused by the human factor affecting operational safety. An equally important fact is the desired

minimization of the time required for all types of inspections and maintenance, which will improve the final indicator of their effectiveness [2].

The use of drones in aircraft inspection follows an automated workflow [1]:

- Fuselage Scanning: A drone equipped with high-resolution cameras and LIDAR sensors flies around the aircraft, capturing thousands of images in minutes.

- AI-Powered Data Processing: The images are analysed using artificial intelligence algorithms to detect paint damage, corrosion, or lightning strikes.

- Report Generation: a 3D model of the aircraft is created, highlighting critical areas and allowing technicians to schedule precise corrective actions.

This system reduces manual visual inspections from hours to minutes, significantly improving operational efficiency.

Thus, the use of drones transforms the visual inspection procedure of an aircraft from a manual to an automated process. This technology has the following advantages [3]:

1. It saves time.

With a drone, the visual inspection procedure is transformed from a manual to an automated process. In addition to being difficult, a visual inspection can take several days. The process is often stressful, especially when there is a new lessee who already has a contract to receive the aircraft. What can take aircraft maintenance technicians up to two full days can be completed with a drone in 2 hours, saving valuable time.

2. This technology improves safety.

Automated inspection by drone eliminates the need for maintenance technicians to climb to great heights using ladders, scaffolding, and hoists. No licensed drone operator is required, only supervision by ground personnel who safely monitor the work.

3. It streamlines operations.

High-resolution images captured by the drone are immediately uploaded to a cloud platform. From there, each team member can quickly access the data, helping to better anticipate task cards and repair activities, and organize the team and plan accordingly.

4. It generates reliable data.

Drones provide consistent, repeatable, and objective data, reducing the risk of costly surprises. Aircraft maintenance technicians must be very accurate in their work, identifying and reporting deviations on the fuselage. If the damage found is not reflected in the repair report, it raises questions about whether the repair was properly done and well documented. Drones help them improve the accuracy of identifying and reporting deviations on the fuselage.

5. This technology allows for rapid response.

A drone can be deployed within 5 minutes to begin an inspection, allowing maintenance technicians and airlines to quickly take corrective action. Having historical photos and reports of the entire aircraft from the data archive at your fingertips can help you react quickly and reduce stress. After all, airlines invest in an aircraft for its airworthiness and minimum flight time.

6. It avoids arguments.

With a drone, you have unbiased proof of the aircraft's status and all visual inspection reports are readily available. Normally, if a problem arises, you would need to take photos, write reports, provide facts and evidence, and a host of other documents

to start the often endless warranty claim discussion. However, with a drone, such discrepancies between the airline, the technical equipment, and the lessor's documentation can be avoided.

7. And finally, it is attractive.

It's no secret that the aviation maintenance industry is suffering from a severe shortage of aircraft maintenance technicians, prompting airlines and maintenance organizations to train a younger workforce to replace them. Being at the forefront of innovation and embracing digital solutions at work helps you stand out from the competition and attract new talent.

Recently, Intel and Airbus began a collaboration to further improve this process [2]. Intel supplies UAVs equipped with video recorders that allow them to record images or data that can be used to create entire 3D models of Airbus aircraft. Airbus Aerial, a subsidiary of Airbus S.A.S., provides equipment inspection services to various sectors of the aviation industry. There are other similar companies operating in this market, such as France's Ubisense S.A.S, MRO Drone Ltd from Great Britain and Canard Drones from Spain. Recently, they have developed special procedures to provide airport and aircraft screening solutions.

Aircraft maintenance and repair (MRO) providers [4] that adopt these technologies now will be well positioned to reap the benefits while also attracting the skilled workforce needed for future aircraft MRO. In summary, the introduction of drones into MRO technology represents a fundamental shift in aircraft maintenance. Leveraging these innovations, the MRO industry is entering a new era that promises safer skies, more reliable aircraft, and exciting opportunities for the next generation of aviation maintenance professionals.

References

1. Sebastian Mora Zapata. Drones in Aircraft Maintenance. Business Management / Aviation Industry / Account Representative / Sky Mart. – March 11, 2025.
https://www.linkedin.com/pulse/drones-aircraft-maintenance-innovation-efficiency-mora-zapata-nbgwe/

2. Rugain O.V., Ishunin E.K. Robotics Methods Implementation in Aircraft Maintenance Technologies / O.V. Rugain, E.K. Ishunin // Materials XVI International Scientific and Technical Conference "AVIA-2023" April 18-20, 2023. – K.: NAU, 2023.
https://conference.nau.edu.ua/index.php/AVIA/AVIA2023/schedConf/presentations

3. 7 reasons why aircraft maintenance technicians and drones are a good match. Blog. – July 19, 2021.
https://www.mainblades.com/blog-posts/7-reasons-why-aircraft-maintenance-technicians-should-use-drones-3

4. Hussain Fadlalah. Revolutionising Aircraft Maintenance: How VR and Drones are Transforming MRO. Aerospace Blogs. – August 21, 2024.
https://www.mane.co.uk/resources/blog/revolutionising-aircraft-maintenance--how-vr-and-drones-are-transforming-mro/

УДК 629.735.083.02 (045)

О.П. Шемейко, О.В. Попов, к.т.н., доцент, С.О. Дмитрієв, д.т.н., професор, Д.В. Попов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Зниження впливу людського чиннику на якість технічного обслуговування повітряних суден

Задля мінімізації загальносистемних умов, які сприяють прояву негативних наслідків людського чиннику, необхідно дуже ретельно вивчити системні й організаційні недоліки. Останнім часом, ведуться дискусії щодо впровадження в систему підтримання льотної придатності повітряних суден так званого безпаперового супроводу процесу технічного обслуговування.

Одним з найважливіших питань в авіаційній галузі є безпека польотів.

Здебільшого, процедури та інструкції, необхідні для всіх операцій в системі MRO (Maintenance Repair and Overhaul) організовані відповідно до правил і надруковані на папері відповідно до вимог. З цієї причини, оскільки всі записи з технічного обслуговування (ТО) є обов'язковими на друкованому папері та зберігаються протягом певного періоду часу.

За результатами моніторингу наукових досліджень, можемо зробити висновки, що станом на сьогодні, багато крупних, відомих розробників повітряних суден (ПС) та їх компонентів та експлуатанти зацікавлені в тому, щоб запропонувати цифрові зручності, які можуть заощадити витрати, підвищити продуктивність, заощадити інформаційний простір, полегшити документацію та обмін інформацією, захистити особисту інформацію та мінімізувати вплив людського чиннику на якість ТО ПС за допомоги безпаперового життя [1].

Експлуатація та ТО ПС суворо регламентується та ретельно планується для забезпечення безпеки. Положення вимагають великої кількості документів, оскільки вони супроводжуються судовими процедурами. Документи обробляються кількома зацікавленими сторонами, включаючи виробників оригінального обладнання [1], орендарів, організацій з ТО та авіакомпаній.

Слід зазначити, що процес експлуатації та ТО ПС зараз проходить поступову трансформацію шляхом впровадження цифровізації [1]. Оскільки зацікавлені сторони охоплюють нові технологічні рішення, очікується, що кількість виробленої інформації зростатиме, а отже, збільшуватиметься її невід'ємна цінність. Впровадження ключових сприятливих рішень та ініціатив, таких як цифрові літаки (широко відомі як безпаперові літаки), експлуатація та технічне обслуговування, електронний підпис та радіочастотна ідентифікація (RFID), породжує додаткові виклики [1].

Крім того, необхідно встановити узгодженість між технологічними рішеннями шляхом прийняття універсальних вимог та уніфікованих інформаційних стандартів. IATA розробила посібник із впровадження безпаперових операцій літаків з метою надання підтримки як зацікавленим сторонам, так і вченим [1]. Протягом усього життєвого циклу комерційного

літака деякі дії, такі як ремонт, заміна компонентів і завдання з ТО, визначаються щодня, створюючи записи, які необхідно узгоджувати. Орендарі мають суворі умови контракту, які вимагають від операторів зберігати та надавати всю необхідну документацію щодо ТО.

При розробці дієвого алгоритму програмного забезпечення (ПЗ) для зниження впливу ЛЧ при ТО ПС слід розглянути типову архітектуру з формування, накопичення, обміну та зберігання робочих даних в авіаційній компанії (АК) або організації ТО (рис. 1).

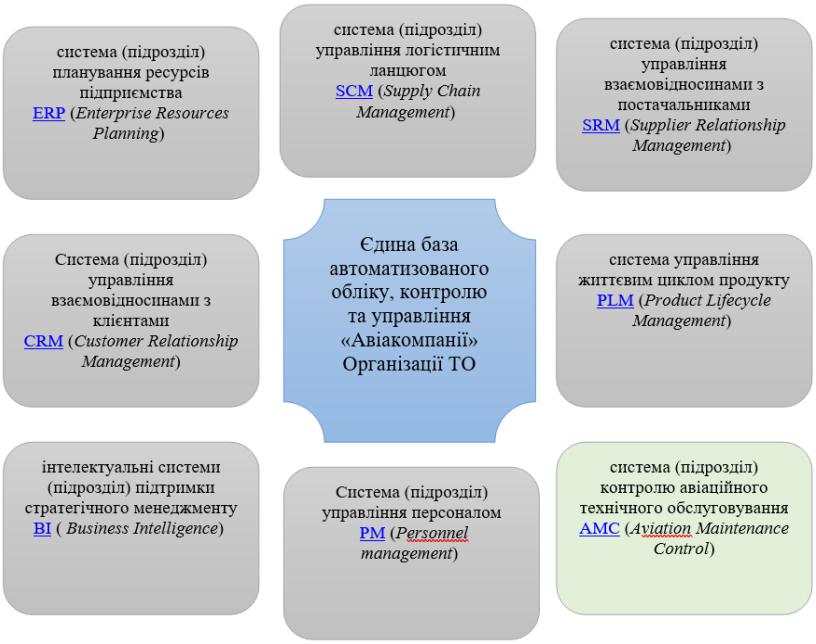


Рис. 1. Загальна (типова) архітектура ПЗ управління «Авіакомпанією»

В результаті обробки паперового носія, будь-якої робочої інформації в середині АК відбувається збільшення часу обробки даних при плануванні та проведенні ТО ПС. Також, фіксація робочих процесів, шляхом обробки паперових носіїв інформації призводить до формалізації багатьох важливих етапів діяльності АК або організації ТО. Заповнення паперових журналів, чек листів, внутрішніх контрольних документів, за аналізом причин АП, в більшості випадків являється першоджерелом появи ЛЧ, який призводить до фіктивності контрольованих процесів, і були покликані усунути ЛЧ при ТО ПС.

Для прикладу розглянемо існуючі типові алгоритми функціонування систем (підрозділів) в АК або організації ТО:

– система (підрозділ) управління логістичним ланцюгом SCM (Supply Chain Management) формуючи процеси накопичення та доставки запасних частин, розхідників, тощо, аналізуючи чисельну потребу надсилає запит до

системи (підрозділу) контролю авіаційного ТО АМС (Aviation Maintenance Control). Відповідь на запит передбачає виділення робочого часу технічному персоналу (ТП), для підрахунку та оформлення паперового замовлення та відповіді адресату. Відволікання ТП, в процесі ТО ПС на другорядні завдання, призводять до незначних але систематичних навантажень на робочий процес, який покликаний тримати найвищі стандарти ТО заради безпеки польотів.

Розробка та впровадження модуля в ПЗ [2, 3], який автоматизує процес формування потреб, аналізу наявності, обміну даних між виконавцями та формує електронний підпис відповідальної особи значно скорочує часовий інтервал обробки даних і мінімізує ЛЧ – формальність.

Застосування ТП, ПЗ в мобільному термінал (iPad), безпосередньо під час ТО ПС, дозволяє одразу фіксувати процес встановлення запчастини, вузла, агрегату або використання розхідного матеріалу з миттєвим обміном даних з усіма зацікавленими системами (підрозділами) АК або організації ТО. Фото (відео) фіксація встановлення агрегату (вузлу) з відображеним серійним номером, часом, датою та законтрованими (опломбованими, зашплінтованими) з'єднаннями дає змогу значно підвищити рівень контролю поетапності виконання процесів, миттєвого формування логістичних і звітних даних та усуватиме потребу у виконанні другорядних завдань. Також, застосування бази даних, індивідуально виконаних робіт ТП, яка отримана з особистого робочого терміналу (iPad), дозволить без зайвої бюрократії сформувати реєстр практики на виконання вимог АМС 66.A.20(b)2, АМС 66.A.30(a). За потреби, ПЗ з мобільного пристрою, формує підтверджуючий файл, який в будь-який час може бути роздрукований для більш суворої, архівної звітності.

- истема (підрозділ) управління персоналом РМ (Personnel management) проводячи підбір ТП здійснює його детальне вивчення. Після прийому на роботу більшість відомих, у відповідності до мнемонічної моделі PEAR (People, Environment, Actions, Resources) «ГРУША» [4-6], даних залишаються зберігатись в базах системи (підрозділу) персоналу. Авіаційний технік потрапляючи до система (підрозділу) контролю ТО АМС (Aviation Maintenance Control) потрапляє під контроль посадової особи, яка як правило має на руках в паперовому вигляді витяг з особової справи працівника. З цього моменту починається формуватися типовий ЛЧ, розриву та відкладення контролю за персоналом та його станом [3], через неможливість ефективно і систематизовано фіксувати сильні і слабкі професійні сторони працівника в продовж довготривалого робочого процесу. Певні морально-психологічні та соціальні особливості персоналу, через формалізований підхід у веденні паперової документації, з часом залишаються поза увагою відповідального керівника тим самим збільшуючи наслідковий ланцюг ЛЧ.

Застосування модуля ПЗ, який акумулюватиме та фіксуватиме тестові алгоритми для відповідального керівника, дозволить здійснювати дієвий контроль за персоналом. Так, при початку робочої зміни, за допомогою модуля ПЗ, достатньо провести тестування ТП, і вже на початковому етапі нівелювати більшість негативних психологічних аспектів в допуску до роботи. Також застосування окремого розробленого модулю в ПЗ дозволятиме проводити персональну підготовку та перевірку ТП за всіма навчальними темами, шляхом

його онлайн тестування у відповідності до вимог AMC 147.A.120(a) Навчальний матеріал з технічного обслуговування. Беручи до уваги значне поширення в авіаційній галузі мобільних пристроїв (планшетів, смартфонів), які працюють на операційній системі iOS компанії Apple розглядається та пропонується концептуальна архітектура ПЗ на зазначеній платформі (рис. 2).

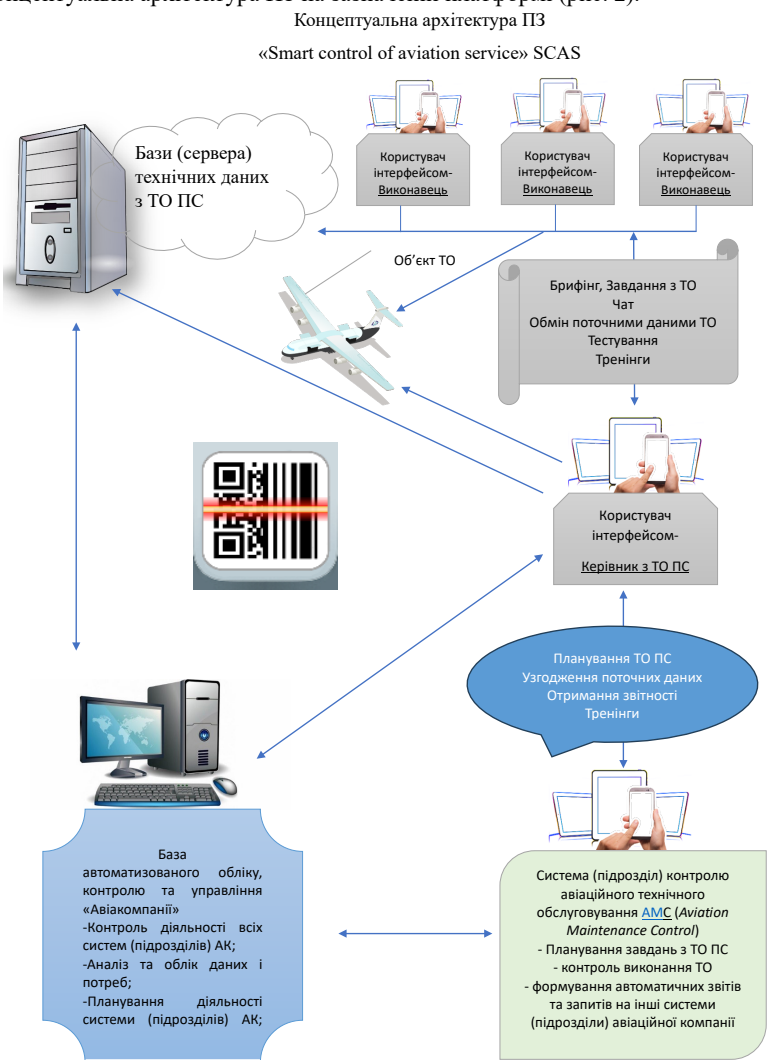


Рис. 2. Концептуальна архітектура ПЗ на операційній системі iOS

При розробці ПЗ для ТО ПС слід зважати на ергономічність інтерфейсу, комфортністю сприйняття візуального контенту, та інтуїтивну зрозумілість всіма користувачами АК організації ТО. Для реалізації вказаних критеріїв ПЗ для ТО ПС повинно складатись з окремих самодостатніх модулів, доступ до яких можливий через мережу всім зацікавленим в обробці даних системам АК.

Основними модулями, в ПЗ із запропонованою назвою SCAS є:

- модуль аутентифікації та авторизації персоналу (реалізація протоколів доступу до території, приміщень, майна, ресурсів, особистих даних та службових документів);
- модуль доступу до інформаційних баз АК (доступ до нормативно-правових документів, технічної документації та архівної інформації з ТО ПС) ;
- модуль обробки вхідних (вихідних) даних отриманих при виконанні ТО (отримання плану ТО, чек-листу, фіксація виконаних дій, аналіз виконаних дій, контроль виконання з боку керівництва);
- модуль аналізу даних виконаних користувачем дій (протокольна фіксація спожитих матеріальних ресурсів та формування звітності, фіксація часу робіт, фіксація доступу до запасних частин при ремонті);
- модуль онлайн комунікації (чат, месенджер) між співробітниками АК, організації ТО.

Користувацький інтерфейс SCAS пропонується реалізувати на операційній системі iOS, яка в свою чергу заснована на концепції прямої маніпуляції з використанням жестів та мультитачу [3]. Елементи інтерфейсу управління складатимуться з візуалізованих повзунків, перемикачів і кнопок для швидкого переходу між модулями, простої зміни контенту, виконання розроблених алгоритмів.

Список літератури

1. E. Karakilic, E. Gunaltili, S. Ekici, A. Dalkiran, O. Balli, T. Hikmet Karakoc. A Comparative Study between Paper and Paperless Aircraft Maintenance: A Case Study. Sustainability 2023, 15, 15150. https://doi.org/10.3390/su152015150.
2. Roy T. Fielding. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. 2000.: https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm
3. Дэвид Марк, Джек Наттинг, Ким Топли, Фредрик Т. Олссон, Джефф Ламарш. Swift. Розробка додатків в середовищі Xcode для iPhone и iPad с использованием iOS SDK Beginning iPhone Development with Swift: Exploring the iOS SDK. 2016. — 816 с.
4. Popov O., Savchenko I., Grynyuk S., Kolomiiets Z. Influence of the human factor in the aircraft and its components continuing airworthiness system // Materials of the The Ninth World Congress "Aviation in the XXI-st century", September 22-24, 2020.: abstracts. –K.: 2020.
5. FAA-H-8083-30B. Federal aviation administration. Aviation Maintenance Technician Handbook– General. U.S. Department of Transportation Flight Standards Service 2023. – 677 p.
6. Людський фактор у системі збереження льотної придатності АТ: навч. посіб. / В.І. Бурлаков, Ю.П. Пучков, О.В. Попов, Д.В Попов. – К. : НАУ, 2018. – 112 с.

УДК 629.735.083.02 (045)

М.О. Демчук, О.В. Попов, к.т.н., доцент,
С.О. Дмитрієв, д.т.н., професор, Д.В. Попов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Загальні засади з підтримання льотної придатності повітряних суден нескладної конструкції авіації загального призначення

Актуальність питань щодо підтримання льотної придатності повітряних суден не викликає жодних сумнівів. Але, популяризація використання в Україні теплових аеростатів вимагає приділення уваги питанням розробки та затвердження відповідної документації з технічного обслуговування повітряних аеростатів та управлінням підтриманням їх льотної придатності.

За даними національного реєстру повітряних суден України у 2024 року кількість аеростатів складала 32 одиниці (рис. 1). Що складає біля 4 % від всього парку цивільних повітряних суден України.

Прагнення України до інтеграції в європейське та світове авіаційне співтовариство призводить до необхідності створення нових інфраструктурних проектів. Розвиток туризму, як сектору економіки, сприяє зростанню попиту на послуги авіації загального призначення (АЗП), включаючи польоти на теплових аеростатах (ТА). Що, в свою чергу, вимагатиме наявності ефективних стратегій, методів та засобів з технічного обслуговування (ТО) та підтримання льотної придатності (ЛП) ТА.

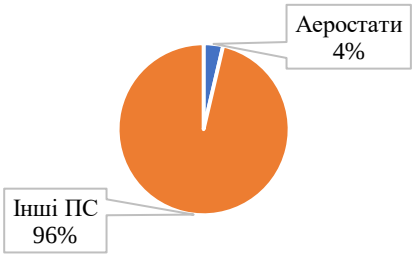


Рисунок 1 – Частка представників АЗП (ТА) в реєстрі ПС України

За даними [1], станом на 2024 рік в України близько 40 суб'єктів авіаційної діяльності сертифіковано Державною авіаційною службою України (ДАСУ), як Організації з управління підтриманням ЛП (ПЛП) за Part-M/G. Але слід зазначати, що жодна з цих суб'єктів не займається ТА. У той же час, 7 Організацій сертифіковано як Організації з ТО за Part-M/F [2]. І жодна з них не займається аеростатами.

Таким чином, розробка адекватної з точки зору управління процесами при здійсненні робіт з ТО та ефективної з погляду на забезпечення якості виконання робіт з ТО моделі організації ТО та ПЛП ТА стає актуальною задачею, яка дозволить забезпечити високий рівень БП, а також сприятиме розвитку АЗП в Україні.

Практичні напрацювання для відкриття компанії з ТО та ПЛП ТА гуртувалися на розробці вимог, структури, процесів та методів для організації ТО, а також підготовці типового керівництва з ТО та керівництва з ПЛП ТА.

Під час виконання досліджень та розробок вищенаведеного, необхідно було звернути на наступне:

– дослідження вимоги національного нормативно-правового базису з питань регулювання авіаційної діяльності щодо суб'єктів з ТО та ПЛП ТА;

– здійснити розробку основних складових в контексті авіаційного законодавство кращих світових практик для суб'єктів з ТО та ПЛП ТА;

У подальшому, з урахуванням реалізації вищенаведеного передбачається розробка Програми з ТО ТА, а також Керівництва з ПЛП ТА.

Державним компетентним органом з питань регулювання авіаційної діяльності як на національному, так і на міжнародному рівнях є ДАСУ, тобто забезпечує реалізацію державної політики в сфері ЦА. Відповідно до загальних зобов'язань України, як члена ІСАО – є зобов'язання з розробки національних авіаційних правил (НАП) шляхом впровадження положень стандартів та рекомендованих практик (SARP's – Standard and Recommended Practices) ІСАО. Узагальнену схему розробки (побудови) НАП задля нормативно-правового забезпечення системи ПЛП ПС, або MRO (Maintenance Repair and Overhaul) наведено на рис. 2.



Рис. 2. Схема побудови НАП щодо підтримання ЛП ПС

Основними суб'єктами з регулювання авіаційної діяльності з боку ДАСУ в межах системи MRO шляхом схвалення (сертифікації) є :

- експлуатант;
- екземпляр ПС (Part- M);
- організація з ТО (Part-145, Part-M subpart F);
- персоналу з ТО (Part-66);
- організації з підготовки персоналу з ТО (Part-147);
- організація з управляння підтриманням ЛП ПС (Part-M subpart G).

На рис. 3 наведено зв'язок так звана загальна характеристика між окремим Частинами правил EASA. Таких як: Part-21, -M, -145, -66 та -147 [3].



Рис. 3. Взаємний зв'язок між певними Частинам Правил EASA

Етапи На рис. 4 наведено «кроки» схвалення Організації з управління ПЛП ТА за Part-M/F.

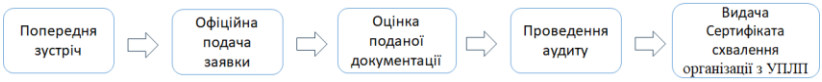


Рис. 4. Спрощена схема етапів сертифікації Організації з управлінням ПЛП ТА

Реалізація цих етапів вимагає від Замовника наступних документів:
– Заявка на схвалення за формою 2 EASA.
– Заявка на схвалення керівного персоналу за формою 4 EASA.
– Програма ТО теплового аеростату.
– Проект Керівництва з управління підтриманням ЛП ТА.
– Проект договору з експлуатантом/власником ПС.
Далі, наведемо схему реалізації цих етапів за часом (рис. 5).

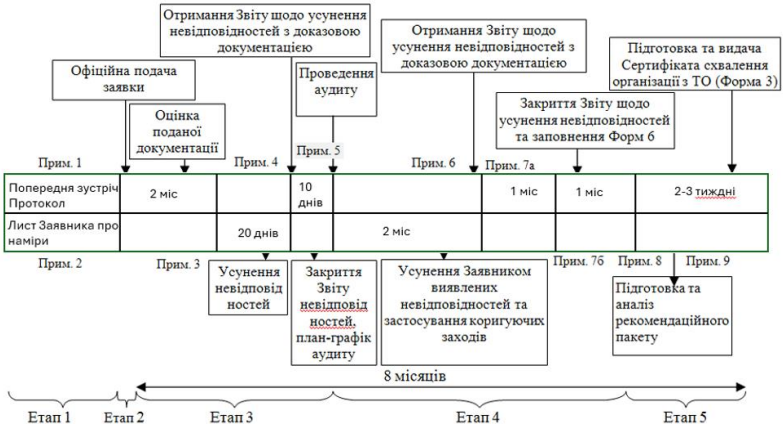


Рис. 5. Схема Часового періоду процесу схвалення Організації з ТО

Процедури Організації з ТО повинні біти прописані в Maintenance Organisation Manual (MOM) організації. Технічне обслуговування ТА не потребує великої організації з ТО. В окремих випадках організація може складатися із однієї особи. Процедури такої організації теж нескладні. Приклад основних процедур Організації з ТО теплових аеростатів наведено на рис. 6.



Рис. 6. Основні процедури процесу виконання ТО ТА організацією з ТО, схваленої за EASA Part-M, Subpart G

Процедури з УП ЛП забезпечують виконання всього обсягу завдань з ПЛП кожного ПС, яке знаходиться під управлінням Організації. Завдання з підтримання ЛП визначаються M.A.301 [4]. Структура необхідних процедур для Організації з УП ЛП ТА представлена на рис. 7.

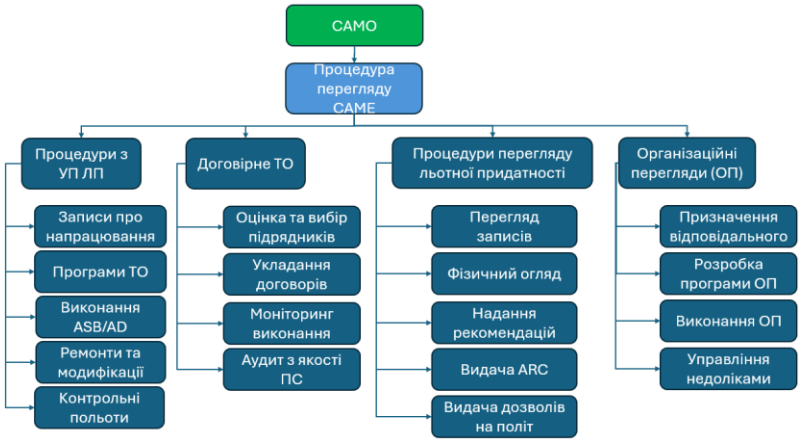


Рис. 7. Структура процедур Організації з управління підтриманням льотної придатності теплових аеростатів

Відповідно до системи організаційних переглядів Організації з УПЛП ТА зазначимо що:

– тепловий аеростат – нескладне повітряне судно з нескладними операціями з технічного обслуговування;

– Організація з підтримання льотної придатності (CAMO – Continuing Airworthiness Management Organization) теплових аеростатів – невелика організація, в однієї до трьох осіб.

Спрощена система організаційних переглядів згідно Доповнення XIII до Acceptable Means of Compliance (методи визначення відповідності) (AMC) M.A.712 (f) AMC та керівного матеріалу (GM) до додатка 1 (Part-M) АПУ.

Програма організаційних переглядів CAMO теплових аеростатів:

• Відповідальна особа за організаційні перегляди – Відповідальний керівник.

• Щорічні перегляди.

• Програма організаційних переглядів включає чек-листи за наступними процедурами:

✓Обсяг робіт.
✓Стан ЛП парку ТА.
✓Програма ТО ПС.
✓Директиви ЛП.
✓Модифікації/ремонти.
✓Відносини з власниками/експлуатантами.
✓Персонал.
✓Договірне ТО.
✓Технічні записи та ведення записів.
✓Процедури звітування про події.
✓Перегляд льотної придатності.

Список літератури

1. Перелік схвалених організацій з управління підтримання льотної придатності. ДАСУ. https://avia.gov.ua/perelik-shvalenih-organizatsij-z-upravlinnya-pidtrimannya-lotnoyi-pridatnosti-tablepage/
2. Перелік схвалених за Part-M/G організацій, які мають діючий сертифікат. https://avia.gov.ua/npd/perelik-shvalenih-za-part-m-g-organizatsij-yaki-mayut-diyuchij-sertifikat/
3. МОДУЛЬ 10. Авіаційне законодавство. НЦ МТО НАУ. Видання 3. Рев. 0. Дата 31/08/2021
4. Авіаційні правила України «Підтримання льотної придатності ПС та авіаційних виробів, компонентів і обладнання та схвалення організацій і персоналу, залучених до виконання цих завдань» у виді прийнятих Агенством прийнятних методів відповідності (AMC) та керівного матеріалу (GM) https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/04/Dodatok-I-AMC-ta-GM-Part-M.pdf

УДК 62-82:535.528

Т.В. Тарасенко, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Кавітаційна ерозія в авіаційному гідравлічному приводі

В роботі представлено результати дослідження кавітаційної ерозії конструкційних матеріалів, яка протікає у гідравлічних системах літальних апаратів при високонапірному дроселюванні робочої рідини. Запропоновано у якості кавітаційних генераторів коливань тиску використовувати дросельні пристрої, які працюють у кавітаційному режимі.

Великі робочі тиски гідравлічних систем сучасних літальних апаратів забезпечують високі питомі потужності гідравлічних приводів і високі масо-габаритні показники гідравлічних агрегатів в цілому. При роботі гідравлічних агрегатів виникають значні перепади тиску, які можуть спричиняти кавітаційне витікання рідини через дросельний канал. Кавітаційне витікання рідини супроводжується кавітаційними ефектами, які проявляються у високочастотних вигляді кавітаційних коливань тиску у гідросистемі, які призводять до хибних спрацювань і виходу з ладу гідравлічної апаратури, високочастотними акустичними шумами, деградацією робочої рідини, включаючи «дизельний» ефект, кавітаційною ерозією проточних частин гідравлічних агрегатів та ін. Тому дослідження кавітаційної ерозії у гідравлічних системах є актуальним для забезпечення безпеки польотів.

Кавітаційна ерозія в першу чергу проявляється механічними явищами, які виникають при колапсі каверн [1]. Відомі два механізми кавітаційної ерозії, та їх поєднання – механізм ударної хвилі і механізм кумулятивного струменя. Механізм ударної хвилі базується на моделі колапсу каверни в ідеальній рідині. Високі тиски від радіальних ударних хвиль викликають механічні руйнування поверхонь. Механізм мікроструменів базується на асиметричному замиканні каверн. Поблизу стінки каверна в процесі деформації набуває тороїдальної форми з наступним утворенням у центрі тороїда мікроструміня. Мікрострумінь має велику швидкість і при співударянні зі стінкою викликає механічні руйнування [2]. В будь якому випадку механізму руйнування поверхні, виникають мікрократери і поверхня проточної частини починає нагадувати «місячний ландшафт».

Одночасно з механічними явищами діють корозійні і хімічні фактори і кавітаційна ерозія відбувається інтенсивніше. Кавітація і корозія доповнюють одна одну. Продукти окислення (захисні плівки), які створюють захисний бар'єр, інтенсивно видаляються кавітацією. Газова кавітація постійно насичує ерозійну область киснем, який підсилює корозію. Вклад хімічного фактору у інтенсивність кавітаційної ерозії складає до 15% від загальної втрати маси дослідного зразка.

Характер кавітаційних руйнувань залежить від пластичності металу. У пластичних металах деформація приводить до появи кратерів (див. рис.1). Подальші удари руйнують кільцеві кратери. Метал руйнується по граням

кристалічного зерна, яке заважає його пластичній течії. Крихкі метали під дією швидкозмінних напружень пошкоджуються внаслідок утворення тріщин.

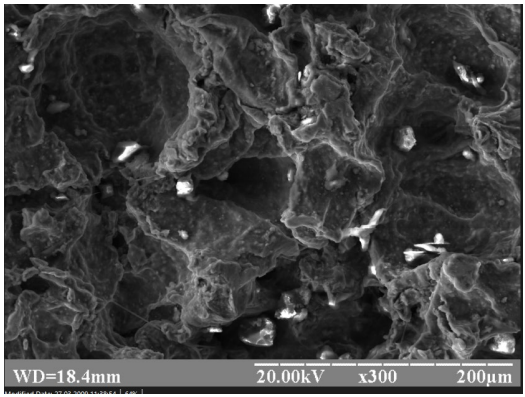


Рис. 1. Кавітаційна ерозія поверхні дослідного зразка. Матеріал зразка Д16 АТВ. 300 кратне збільшення

Практичний інтерес становить порівняльна кавітаційна стійкість конструкційних матеріалів, які широко використовуються у гідравлічному машинобудуванні. Для порівняння у якості модельного матеріалу використовувався сплав Д16, який має низьку кавітаційну стійкість та твердість (рис. 2.).

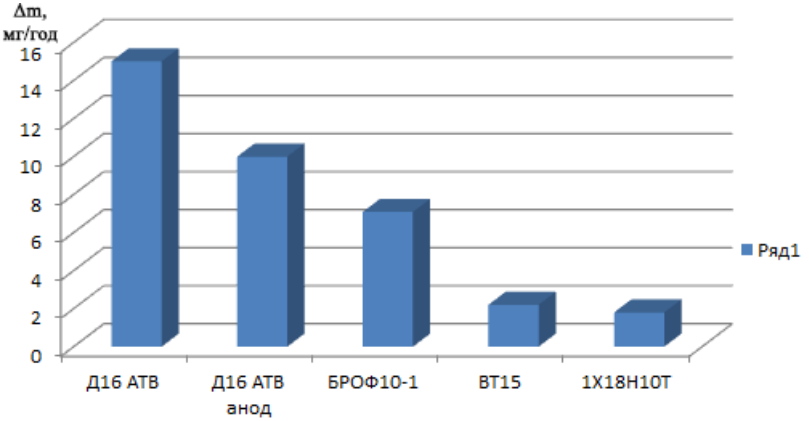


Рис.1. Порівняльна кавітаційна стійкість конструкційних матеріалів, що використовуються у гідравлічному машинобудуванні

Встановлено, що найбільшу кавітаційну стійкість мають сплави латуні і бронзи БрОФ10-1, БрОС10-1, БрОАЦе10-1, БрОСН5-20-3, ЛМцСКА, ЛМцСКА нержавіюча сталь 1Х18Н10Т, титановий сплав ВТ15. Високу кавітаційну стійкість латунних та бронзових сплавів можна пояснити пластичністю поверхневих шарів.

Для підвищення кавітаційної стійкості конструкційних матеріалів необхідно зменшити шорсткість робочих поверхонь, або на робочі поверхні наносити полімерні матеріали. Автори роботи [4] вважають, що існує два фактори, чому органічні полімерні покриття можуть протистояти кавітаційній ерозії: перший фактор полягає в тому, що хімічні властивості полімерних матеріалів нелегко піддаються корозії, і вони можуть утворювати бар'єр між рідиною та захищеними частинами. Другий фактор — еластична стінка полімерного покриття взаємодіє з кавітаційними бульбашками і буферизує ударні хвилі.

Висновок

1. Встановлено, що для запобігання кавітаційної ерозії, необхідно уникати режимів роботи гідравлічних агрегатів в кавітаційному режимі.
2. Досліджено механізм кавітаційного зношування конструкційних матеріалів. Встановлено, що окрім механічної дії кавітації на метали існують корозійний і хімічний фактори, які прискорюють протікання кавітаційної ерозії.
3. Використовувати у якості конструкційних матеріалів кавітаційно стійкі конструкційні матеріали: сплави бронзи, латуні, нержавіючу сталь та титан.

Список літератури

1. Themistoklis, M., Soren, S., Tom van Terwisga, J. (2013). Cavitation erosion risk assessment for a marine propeller behind a Ro–Ro container vessel. Physics of Fluids. Vol. 35, Issue 1, 013342.
2. Joshi, J S., Franc, P., Ghigliotti, G., Fivel, M. (2019). Sph modelling of a cavitation bubble collapse near an elasto-visco-plastic material. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. Vol. 125, 420–439.
3. Tarasenko, T., Badakh, V. (2019). Study of localization and intensification of cavitation erosion during high-pressure throttling of liquid in hydraulic devices. Friction and wear problems. No. 2 (83), 93 – 103.
4. Y. Wang Experiment investigation on effects of elastic modulus on cavitation erosion of silicone rubber / Y. Wang, Z. Li, L. Tian, Z. Shang // Ultrasonics Sonochemistry, 05 Jan 2023, 93:106290 https://doi.org/10.1016/j. ultsonch.2023.106290 PMID: 36634412 PMCID: PMC9841055

УДК 621.226

Ю.А. Кравецький
(АТ «АНТОНОВ», Україна)

Особливості модельних досліджень динамічних характеристик електрогідравлічного дистанційного приводу

Запропоновані розрахункові схеми та математичні рівняння, що описують режими роботи слідкуючого гідроприводу у складі резервованої системи дистанційного керування. Представлені результати модельних досліджень характеристик при зміні режиму роботи гідроприводу та пропозиції по підвищенню динамічної точності позиціонування гідроприводу.

В якості виконавчого приводу багатьох сучасних машин та систем використовується гідропривід. Виходячи з віршувальних задач системи гідроприводів мають свої особливості. Експлуатаційні режими вимагають одержання високих показників якості керування незалежно від змін у широких діапазонах параметрів та умов роботи.

При роботі гідроприводу можуть виникати перехідні процеси, які викликані змінами як вхідних сигналів керування так і змінами режимів роботи гідроприводу (розгін, гальмування, зміна швидкості, перемикання режиму роботи). Для гідроприводів рульових поверхонь керування при перемиканні режиму роботи системи можуть виникати закиди поверхні керування. Це знижує показники системи керування щодо динамічної точності позиціонування поверхні. Враховуючи, що приводи працюють у режимах зі змінними навантаженнями, перевищення закиду керма призводять до перевищення допустимих навантажень. А у випадку перевищення обмежень по міцності - до руйнування конструкції.

Актуальною задачею є дослідження впливу перехідних процесів на динамічну точність позиціонування вихідної ланки гідроприводу при зміні режиму роботи.

Метою модельного дослідження є визначення основних чинників, що визначають динамічну похибку при експлуатації із задіянням основного і резервного приводів та пошук шляхів підвищення динамічної точності позиціонування.

Об’єктом модельного дослідження є електрогідравлічний привід у замкненому контурі керування зі зворотнім зв’язком. За основу математичної моделі взято розрахункову та структурну схеми гідроприводу у замкненому контурі (рис. 1, рис. 2).

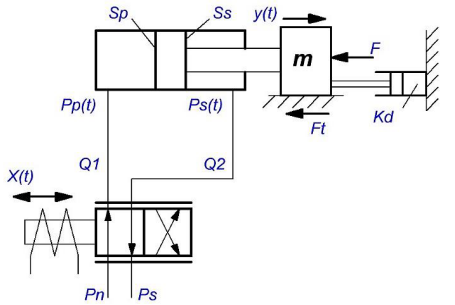


Рис. 1. Розрахункова схема гідроприводу систем керування

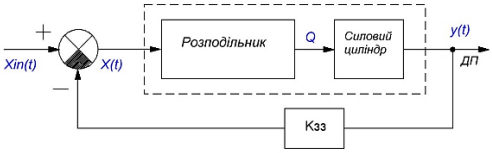


Рис. 2. Розрахункова структурна схема роботи гідроприводу системи у замкненому контурі

Функціонування приводу для запропонованої схеми описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = y; \\ \dfrac{d^2y}{dt^2} = \dfrac{1}{m}\left(p_p S_p - (p_s S_s + F + F_t + F_d)\right); \\ \dfrac{dp_p}{dt} = \dfrac{E\left(\pi\mu\, d_z\, x_z \sqrt{\frac{(2g\,\Delta p)}{\gamma}} - VS_p\right)}{W_{01} + S_p y} \\ \dfrac{dp_s}{dt} = \dfrac{E\left(-\pi\mu\, d_z\, x_z \sqrt{\frac{2gp_s}{\gamma}} + VS_s\right)}{W_{02} - S_s y}; \\ x = x_{in} - k_{33} y. \end{cases} \quad (1)$$

де m – приведена до поршню маса рухомих частин та робочої рідини, y – переміщення поршню, Pp Ps – тиск у поршневій та штоковій камерах гідроциліндру відповідно, Sp, Ss – ефективна площа поршню у поршневій та штоковій камерах гідроциліндру, Vp, Vs – швидкість у поршневій та штоковій лініях, Sp, Ss – площі перетинів у поршневій та штоковій лініях, W01 – початковий об'єм РР у напірній камері ГЦ, W02 – початковий об'єм РР у зливній камері ГЦ, E – модуль пружності РР, Qpn Qps – витрата РР через розподільник у напірній та зливній лініях відповідно, μ- коефіцієнт витрати розподільника, γ -питома вага РР, g – прискорення вільного падіння, Δp – перепад тиску на дроселі, Pn – тиск подачі насоса, Ft – сила тертя, Fd – сила демпфування

$$F_d = Kd \frac{dy}{dt}, \quad (2)$$

де Kd – коефіцієнт в'язкого тертя демпферу

fz - площа прохідного перерізу розподільника:

$$f_z = \pi d_z x_z, \quad (3)$$

де dz – діаметр золотника, xz – величина відкриття щілини розподільника

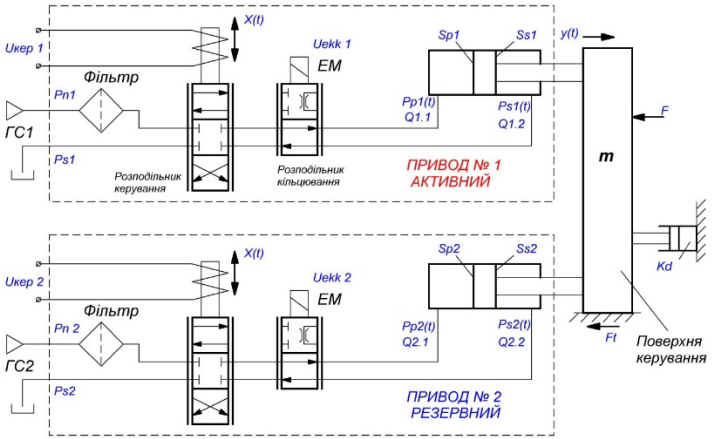


Рис. 3. Структурна схема системи керування гідроприводом

Система рівнянь математичної моделі для стану резервованої системи керування гідроприводом у режимі демпфування буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = y; \\ \frac{dy}{dt} = \frac{Kd}{F_d} \\ \frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{m}(F + F_t + F_d). \end{cases} \quad (4)$$

Час перемикання системи:

$$t_c = (\Delta t_2 - \Delta t_1), \quad (5)$$

де tc - час перемикання системи керування з активного приводу№1 на резервний привод №2, Δt1 – час вимкнення приводу №1, Δt2 – час підключення приводу №2,

$$\Delta t_1 = t_1 - t_0, \quad (4)$$

де t1 – момент часу вимкнення приводу №1, t0 – момент часу формування команди на вимкнення приводу №1;

$$\Delta t_2 = t_2 - t_0, \quad (5)$$

де t2 – момент часу вимкнення приводу №2, t0 – момент часу формування команди на вимкнення приводу №2;

За результатами проведених модельних досліджень (рис. 4, 5) встановлено, що величина похибки позиціонування не залежить від зміни тиску у гідросистемі, але має пряму залежність від зусилля навантаження. При зменшенні часу перемикання системи були отримані зменшені показники динамічної похибки позиціонування гідроприводу.

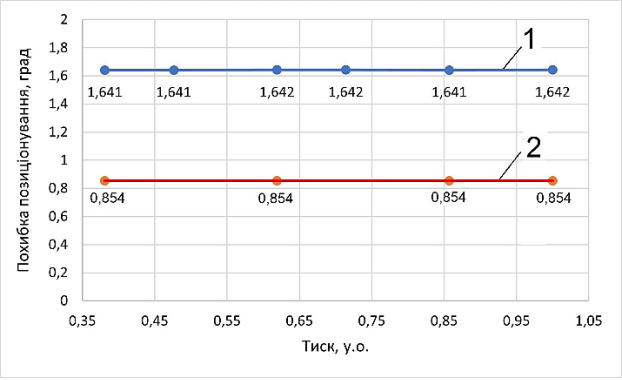


Рис. 4. Залежність динамічної похибки позиціонування від зміни тиску у гідросистемі при постійному зусиллі навантаження для перехідних процесів, що виникають при зміні режиму керування гідроприводом шляхом перемикання з активного приводу на резервний при незмінному вхідному сигналі керування
1 - з часом перемикання системи 50 мс, 2- з часом перемикання системи 25 мс

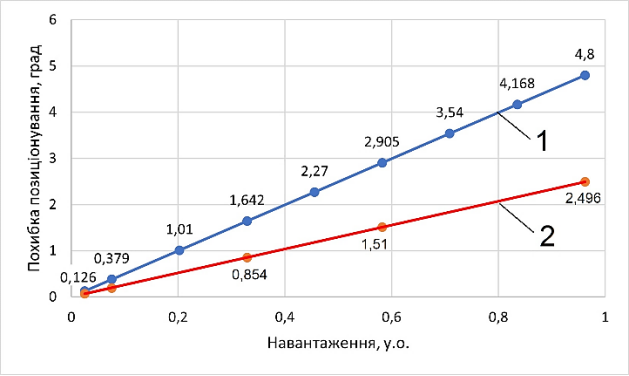


Рис. 5. Залежність динамічної похибки позиціонування поверхні керування та від зміни зусилля навантаження при постійному тиску у гідросистемі для перехідних процесів, що виникають при зміні режиму керування гідроприводом шляхом перемикання з активного приводу на резервний при незмінному вхідному сигналі керування
1 - з часом перемикання системи 50 мс, 2- з часом перемикання системи 25 мс

Виконані серії модельних експериментів по дослідженню впливу перехідних процесів на показники динамічної точності позиціонування гідроприводу. За результатами яких отримані наступні показники:

- для перехідних процесів, які зумовлені зміною вхідного сигналу керування (ступінчастий сигнал): для режиму роботи при постійному зусиллі навантаження та при зміні тиску у гідросистемі (у робочому діапазоні зміни параметру), або для режиму роботи при постійному тиску у гідросистемі та зміні зусилля навантаження (у робочому діапазоні зміни параметру) - похибка є сталою та не перевищує 9,1%;

- для перехідних процесів, які зумовлені перемиканням режиму роботи гідроприводу (перемикання з активного на резервний)

- для режиму роботи при постійному навантаженні та зміні тиску у гідросистемі похибка є сталою та становить 1,641 градус;

- для режиму роботи при постійному тиску у гідросистемі та зміні зусилля навантаження залежність похибки від зусилля має лінійний характер, зі зростанням зусилля навантаження з 3-5 до 95 % похибка зростає з 0,1 до 4,8 градусів;

- при зменшенні часу перемикання системи з 50 до 25 мс похибка зменшується з 1,641 до 0,854 градусів для режимів роботи при постійному навантаженні та зміні тиску, та з 4,8 до 2,5 градусів для режимів роботи при зміні зусилля навантаження та постійному тиску у гідросистемі.

Висновок

Запропоновані розрахункові схеми та математичні рівняння, що описують режими роботи слідкуючого гідроприводу у складі резервованої системи дистанційного керування. Представлені результати модельних досліджень характеристик при зміні режиму роботи гідроприводу.

Підвищення показників динамічної точності позиціонування гідроприводу при зміні режиму роботи можливе шляхом зменшення часу перехідного режиму перемикання системи.

Список літератури

1. Кравецький Ю.А., Чернов О.В Підвищення динамічної точності позиціонування електрогідравличного приводу.- Mech. Adv. Technol. Vol. 8, No. 3, 2024, pp. 271–279 https://journal.mmi.kpi.ua/article/view/310508/304524.

2. Моделювання та оптимізація гідравлічних систем: навч. посібник/ Лур'є З.Я., Іваницька О.П., Жерняк А.І., - К.: ІСДО, 1995. -144 с.

УДК 629.735.33

О.Р. Фещук, Т.В. Тарасенко, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна.)

Системи керування закрилками

Розвиток авіаційної техніки супроводжується постійним удосконаленням систем керування елементами механізації крила, зокрема закрилками. Ці системи відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки польоту на критичних режимах, таких як зліт і посадка. У сучасних дослідженнях приділяється увага електромеханічним і цифровим рішенням, що дозволяють підвищити точність керування, зменшити вагу системи та забезпечити її адаптивність до змінних умов польоту.

Об'єктом дослідження є системи керування закрилками, які реалізовані на прикладі сучасних літаків с постійної стрілоподібності. Аналіз проведено з використанням методу порівняльного аналізу конструктивних рішень, а також функціонального моделювання роботи систем. Для оцінки динаміки приводу застосовано метод математичного моделювання нелінійної системи з урахуванням зворотного зв'язку.

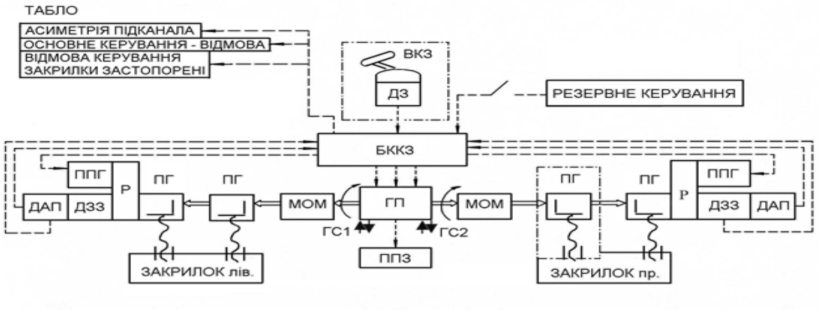


Рис. 1.Схема типового керування закрилками для літаків с постійної стрілоподібності:

ВКЗ – важіль керування закрилками; ДЗ – датчик задаючий; БККЗ - блок керування і контролю закрилками; ППГ – протиприбиральне гальмо; ДАП – датчик асиметрії підканалу; ДЗЗ – датчик зворотного зв'язку; Р – редуктор; ПГ – підйомник гвинтовий; МОМ – механізм обмеження моменту; ГП – гідравлічний привід; ППЗ – показчик положення закрилків

Рівняння електромеханічного приводу:

Електрична частина:

$$L\frac{di(t)}{dt} + Ri(t) + k_e\omega(t) = V(t)$$

де:
L — індуктивність обмотки двигуна,
R — опір обмотки,
i(t) — струм,
ke — постійна ЕРС,
ω(t) — кутова швидкість вала,
V(t) — напруга на двигуні.

Механічна частина:

$$J\frac{d\omega(t)}{dt} + d\omega(t) = k_t i(t) - T(t)$$

де:
J — момент інерції системи (двигун + редуктор + закрилок),
b — коефіцієнт в'язкого тертя,
kt — моментна постійна двигуна,
T(t) — момент навантаження (опір закрилка повітрю тощо).

Рівняння гідромеханічного приводу:

Гідравлічна частина:

$$Q = A * x + \frac{V_a}{\beta_e} * p$$

де:
Q — витрата в камеру A і B (м³/с),
A — площа поршня і штока (м²),
x— швидкість переміщення поршня (м/с),
V — об’єм в камері (м³),
βe — ефективний модуль пружності рідини (Па),
p — швидкість зміни тиску (Па/с).

Механічна частина:

$$M \cdot x + b \cdot x + k \cdot x = Ap \cdot pA - Ar \cdot pB - F$$

де:
M — маса навантаження (кг),
b — коефіцієнт тертя (Н·с/м),
k — жорсткість елементів зв'язку (Н/м),
x — переміщення поршня (м),
F — сила зовнішнього навантаження (Н).

Висновок:

Розглянуто типову архітектуру системи керування закрилками: гідромеханічні, електромеханічні електрогідравлічні. Установлено, що перехід

до електромеханічних приводів (ЕМА) дозволяє значно знизити загальну масу системи та виключити потребу в централізованих гідросистемах. Сучасні цифрові контролери (наприклад, на базі FADEC-подібних архітектур) забезпечують гнучке керування закрилками, включаючи режим самодіагностики та резервування. Аналіз динамічних характеристик показав, що час розгортання закрилків у системі із електроприводом скорочується на 20–30% порівняно з гідравлічними аналогами. Окрема увага приділена алгоритмам адаптивного керування, що дозволяють оптимізувати положення закрилків залежно від аеродинамічних параметрів польоту, зменшуючи опір і покращуючи паливну ефективність.

Список літератури

1. Y. Li, X. Chen, Z. Qiu, "Review of Electromechanical Actuation Technologies for More Electric Aircraft," *Chinese Journal of Aeronautics*, 2021, vol. 34(2), pp. 1–18.

2. J. N. Juang, B. Park, "Modeling and control of flap and slat actuation systems," *Aerospace Science and Technology*, 2020, vol. 99, 105760.

3. C. Pusch, R. Popp, "Design of high-reliability flap drive systems for next-generation aircraft," *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2019, vol. 30(15), pp. 2289–2299.

УДК 621.22:629.7:681.3

Р.О. Єременко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Алгоритм розробки динамічних моделей рідинно-газових систем на базі фундаментальних блоків

Запропоновано загальний підхід до моделювання складних рідинно-газових систем в контексті проєктування авіаційної техніки. Алгоритм визначає основні етапи створення та верифікації моделей окремих агрегатів, а також використання їх в якості елементів для створення систем довільної складності.

Проєктування гідравлічних та пневматичних систем літальних апаратів являє собою складну задачу із багатьма змінними і взаємозалежними факторами, тому стандартним методом вирішення цієї проблеми є моделювання за допомогою різноманітного програмного забезпечення (ПЗ) для одновимірного моделювання систем, наприклад: OpenModelica [1], Mathworks Simscape [2], Dassault Systems Scilab-Xcos [3], Simcenter Amesim тощо [4].

Для коректного виконання поставлених задач розробник повинен мати достатній рівень розуміння фізичних процесів, котрі відбуваються в проєктованих системах та їхніх агрегатах, а також мати знання та розуміння відповідного ПЗ. Загалом уніфікація функціоналу зазначеного ПЗ досягається, здебільшого, на базовому рівні (фундаментальні блоки, обробка сигналів, методи вирішення диференційних рівнянь).

Якщо порівнювати обсяг бібліотек математичних моделей, документації та прикладів застосування, то комерційне ПЗ має значні переваги (Amesim, Simscape), натомість, придбання ліцензії для використання таких пакетів вимагає значних витрат. Проте, беззаперечним лідером в доступності і гнучкості є ПЗ з відкритим вихідним кодом (OpenModelica, Xcos), хоча такі ПЗ пропонують здебільшого базові інструменти і бібліотеки меншого обсягу.

В контексті виробництва, де ефективність визначається інтеграцією різноманітних процесів розробки та підтримки продуктів протягом всього життєвого циклу комерційне ПЗ є пріоритетним, адже забезпечується рішення на рівні інфраструктури в цілому.

В контексті навчання, академічної роботи і малосерійного або дослідницького виробництва, більш доречним може бути ПЗ з відкритим вихідним кодом, котре забезпечує базовий рівень інструментів, гнучкість і адаптивність до конкретних задач, відсутність значних матеріальних витрат (ПЗ є безкоштовним, вимоги до апаратного забезпечення, зазвичай, є нижчими, доступні старі версії за необхідності, а також реалізована кросплатформеність).

Враховуючи те, що базові набори інструментів і методи роботи як з комерційним, так і з вільним ПЗ є аналогічними, використання саме безкоштовних альтернатив для підготовки фахівців в процесі здобуття вищої освіти може бути більш корисним і з педагогічної точки зору, адже акцент зміщується на розуміння фізичних процесів і математичних інструментів, котрі їх описують. Тому в даній роботі запропоновано загальний алгоритм розробки і

верифікації математичних моделей агрегатів РГС ЛА та систем в цілому.

Окреслений підхід не обмежений для застосування виключно з відкритим ПЗ, і може бути застосований для комерційних пакетів. Далі наведено основні кроки розробки та верифікації моделей агрегатів та РГС ЛА:

1. Аналіз систем-прототипів, визначення складових агрегатів та умов їхньої роботи.

2. Класифікація агрегатів за типом елементу (в контексті моделі із зосередженими елементами), наприклад: лінійні елементи (трубопроводи, клапани, дроселі, фільтри); вузлові елементи (точки з'єднання, розгалуження потоків); елементи, що відображають граничні умови (джерела сталого тиску або подачі); джерела енергії в межах системи (насоси, акумулятори); споживачі енергії (циліндри, мотори). Використання електро-гідравлічної подібності [5].

3. Визначення базових математичних моделей, що описують елементи (ідеальна постановка в першому наближенні, стаціонарний режим роботи тощо).

4. Визначення динамічних компонентів окремих елементів (інерція рідини, пружність стінок агрегатів, стисливість робочого середовища тощо). Підбір відповідних диференційних рівнянь і параметрів.

5. Інтерпретація алгебраїчних та диференційних рівнянь у вигляді блок-схеми в робочому просторі ПЗ.

6. Визначення уніфікованих інтерфейсів між елементами (параметри входу, виходу, кількість каналів, типи величин), що необхідно для забезпечення модульності загальної системи.

7. Постановка конкретної задачі, тестування моделей окремих елементів та їх комбінацій, верифікація результатів.

8. Організація елементів у окремі суперблоки (субмоделі), забезпечення документації, оформлення та наповнення власної бібліотеки елементів. Забезпечення версійності, вдосконалення та оптимізації субмоделей.

9. Використання субмоделей для створення загальних моделей РГС ЛА довільної складності.

Для ілюстрації запропонованого алгоритму можна навести субмодель сегменту гідравлічного трубопроводу (Рис. 1), котра використовується в контексті загальної спрощеної моделі гідравлічної системи (Рис. 2).

На Рис. 1 зображено окремі гілки блок схеми, кожна з яких відтворює алгебраїчне або диференційне рівняння. Окремо передбачено чотири вхідних порти: Pin (тиск на вході в сегмент), Pout (тиск на виході з сегменту), L (довжина сегменту), d (діаметр сегменту). Також виконано вивід (SCOPE) залежності коефіцієнту опору в залежності від числа Рейнольдса для перевірки коректності логіки переключення між режимами течії.

На Рис. 2 зображено спрощену гідравлічну систему, котра має граничні умови тиску на вході і на виході в суперблок трубопроводу (Pin, Pout), задані параметри довжини L та діаметру d сегменту. На виході із суперблоку розраховане значення витрати рідини Qout, котра залежить від перепаду тиску та опору трубопроводу.

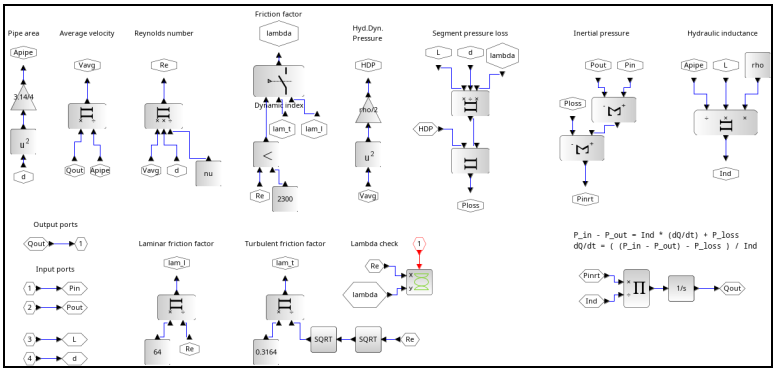


Рис. 1. Субмодель сегменту гідравлічного трубопроводу.

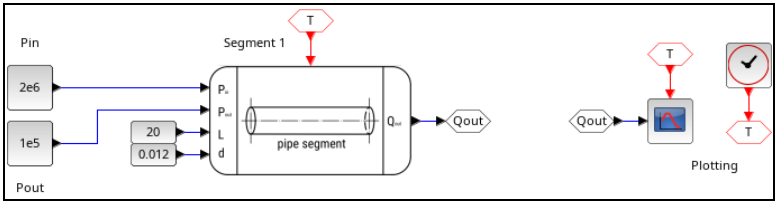


Рис. 2. Спрощена модель гідравлічної системи.

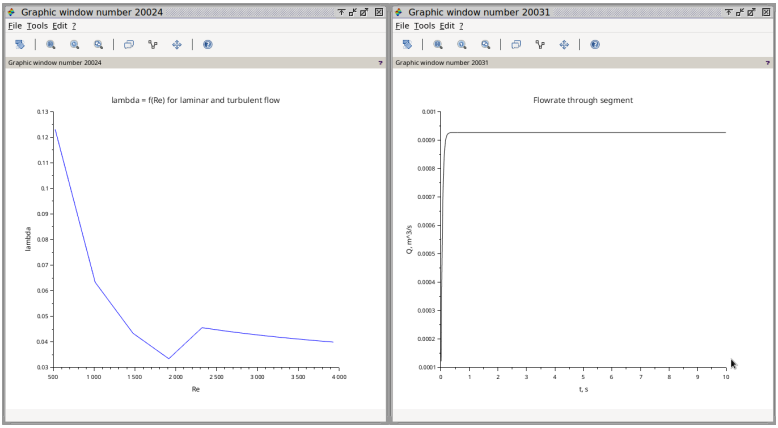


Рис. 3. Результати симуляції.

На Рис. 3 зображено результати симуляції даної моделі, а саме: залежність коефіцієнту тертя від числа Рейнольдса з чітким переходом між режимами течії в околі точки Re = 2300, а також зміну витрати рідини через сегмент трубопроводу з часом.

Висновок

В даній роботі запропоновано загальний алгоритм побудови моделей РГС ЛА. Результат продемонстровано на прикладі моделі простої гідравлічної системи та субмоделі сегменту трубопроводу.

Відповідно до запропонованого алгоритму, керуючись принципами теорії графів, законами гідравліки та механіки, планується створення відкритої бібліотеки типових гідравлічних та пневматичних агрегатів і супутньої документації з метою подальшого використання їх в навчальному процесі, для інженерних розрахунків в рамках наукових робіт і у виробництві.

Список літератури

1. OpenModelica [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://openmodelica.org/.
2. Simscape [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.mathworks.com/products/simscape.html.
3. Xcos [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.scilab.org/software/xcos.
4. Simcenter Amesim software [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/systems-simulation/amesim/.
5. Durfee W., Sun Z., Van de Ven J. Fluid power system dynamics // Center for Compact and Efficient Fluid Power. – 2009.

УДК 621.6.02:621.692(076-5)

К.І. Капітанчук, к.т.н., М.П. Андріїшин, к.т.н., С.А. Якимчук, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

CFD-аналіз чисельного моделювання аеродинамічних процесів відцентрового вентилятора

Представлено дослідження характеристик відцентрового вентилятора із загнутими назад лопатками. Проведено чисельне моделювання в програмі Ansys 2025 Student

Відцентрові вентилятори є незамінним елементом у технологічних процесах, де необхідна стабільна подача стисненого повітря у великому об'ємі з певним рівнем тиску. Завдяки безперервному режиму роботи та можливості адаптації до різних умов експлуатації ці пристрої широко застосовуються в різних галузях промисловості. Надійність, ефективність і оптимізована конструкція роблять їх ключовим компонентом вентиляційних, енергетичних і технологічних систем по всьому світу. [1-2]

Метою роботи є чисельне моделювання аеродинамічних характеристик відцентрового вентилятора методом CFD, визначення ключових параметрів, таких як тиск та швидкість потоку, а також виявлення можливостей для покращення його конструкції.

Розрахунок виконувався на основі класичних емпіричних співвідношень теорії відцентрових машин. Форма лопаток була оптимізована для мінімізації втрат енергії та турбулентності. Лопатки мають назад загнуту форму для підвищення загального ККД вентилятора. Проектування профілю виконувалося в середовищі Ansys BladeGen. Дизайн відцентрового вентилятора надано на рис. 1. [3-5]



Рис 1. Дизайн відцентрового вентилятора

Для аналізу характеристик потоку використовувалося чисельне моделювання в Ansys CFX. Побудовано обчислювальну сітку для вхідної труби, яка надана на рис. 2, та робочого колеса відцентрового вентилятора (див. рис. 3).

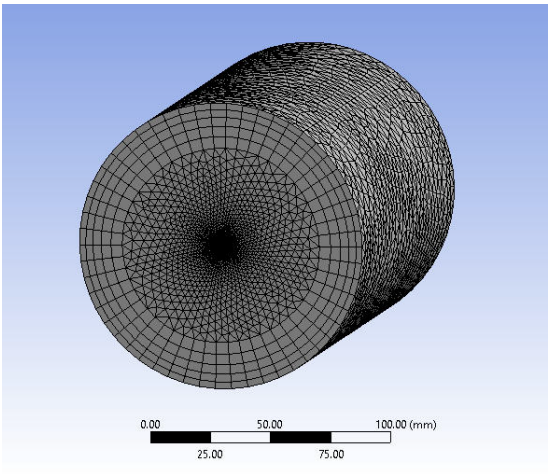


Рис. 2. Обчислювальна сітка для вхідної труби

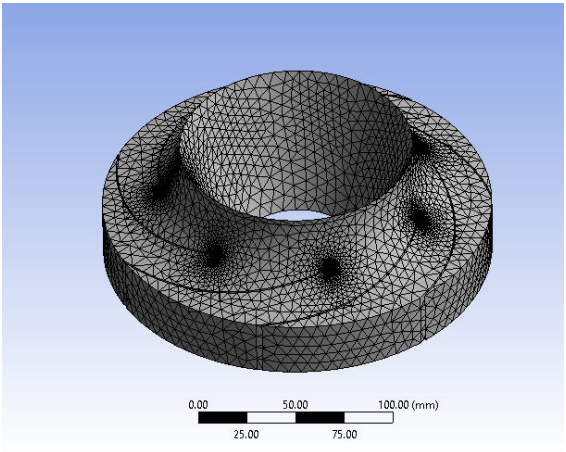


Рис. 3. Обчислювальна сітка для робочого колеса відцентрового вентилятора

Для аналізу використано програмний комплекс ANSYS CFD з моделлю турбулентності k-ω SST, яка забезпечує точні розрахунки для внутрішніх турбулентних потоків [5-8].

На основі чисельного моделювання в програмному середовищі CFX отримано детальний аналіз розподілу швидкостей та тиску в робочому об'ємі відцентрового вентилятора. Візуалізація налаштування граничних умов представлена рис.4, а розподіл поля швидкості та вектор руху потоку в моделі каналу відцентрового вентилятора на рис. 5.

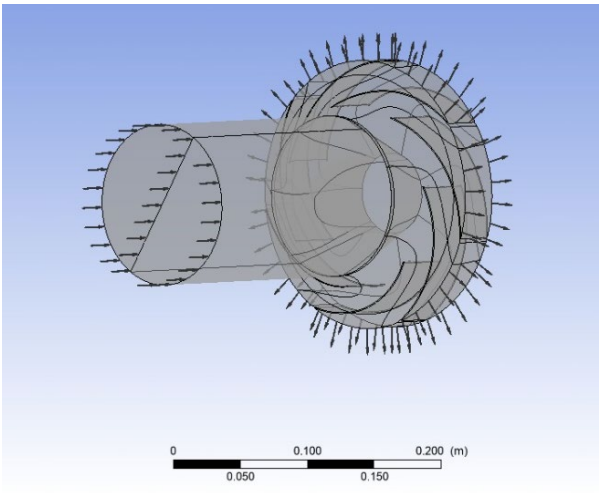


Рис. 4. Візуалізація налаштування граничних умов для чисельного моделювання потоку в Ansys CFX

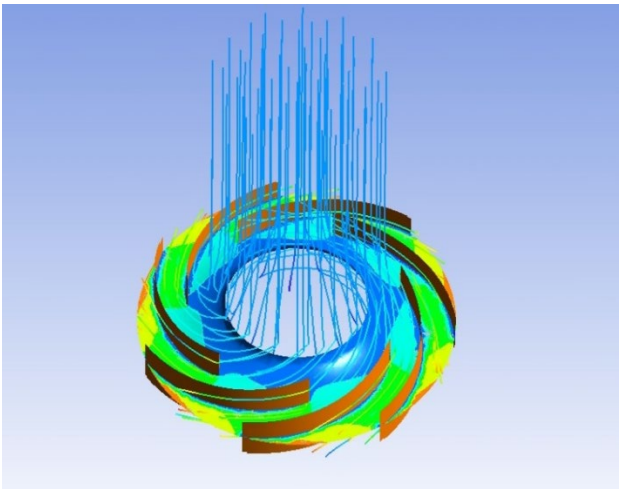


Рис. 5. Розподіл швидкостей та векторів потоку в каналі відцентрового вентилятора

Результати розрахунків представлені у вигляді графічних зображень полів тиску рис. 6 і швидкості рис. 7, що дає змогу оцінити ключові характеристики роботи вентилятора. Перед крильчаткою формується зона зниженого тиску, що забезпечує всмоктування повітряного потоку. Усередині вентилятора відбувається поступове збільшення тиску завдяки відцентрових сил в робочому колесі. На виході з вентилятора тиск досягає максимальних

значень, що відповідає проектним параметрам даного типу вентилятора.

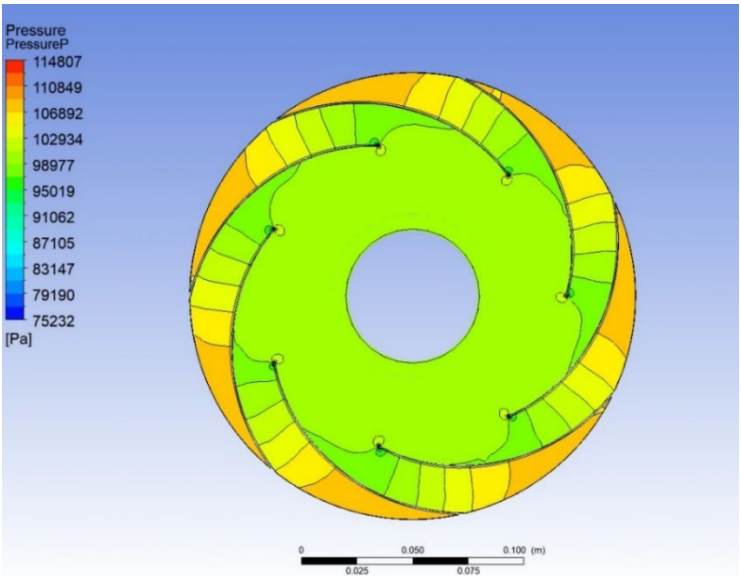


Рис. 6. Графічне зображення полів тиску

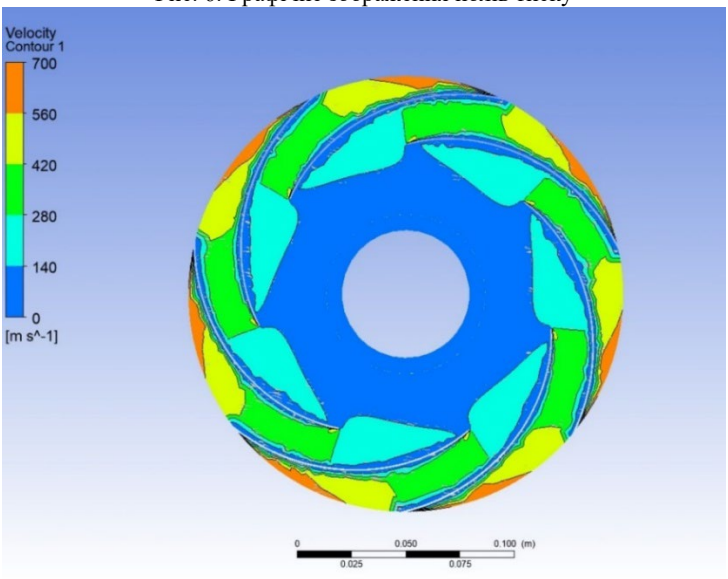


Рис. 7. Графічне зображення полів швидкості

Висновок

Чисельне моделювання аеродинамічних характеристик відцентрового вентилятора методом CFD дозволило отримати детальну картину розподілу тиску та швидкості у робочому об'ємі.

Аналіз показав, що вентиляційний пристрій забезпечує ефективний приріст тиску і швидкості, однак спостерігаються нерівномірності у розподілі параметрів, що може вказувати на можливості оптимізації геометрії робочого колеса та напрямних лопаток. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на покращення ефективності вентилятора за рахунок вдосконалення конструкції

Список літератури

1. Нагнітачі природного газу: підручник / М.С. Кулик, К.І. Капітанчук, М.П. Андріїшин. – К.: НАУ, 2022. – 228 с.
URL: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/55906
2. Підвищення ефективності вентиляційних установок ежекторного типу / П.І. Греков, К.І. Капітанчук, Л.Г. Волянська, В.Є. Алпатов // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – №4(10). – С. 45-49.
URL: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39938
3. Construction of a compressor stage blade row according to the Gas-dinamic calculation / М.Ю. Богданов, П.І. Греков, К.І. Капітанчук, І.О. Ластівка // Наукоємні технології. – 2012. – №1(13). – С. 5-8.
DOI: 10.18372/2310-5461.13.5009
4. Методика розрахунку ізоентропної течії реального газу з використанням газодинамічних функцій / К.І. Капітанчук // Енергетичні установки: матеріали XIII Міжнар. наук.-тех. конф. «АВІА–2017», 19–21 квітня 2017 року, м. Київ: НАУ. – 2017 р. – С. 20.62–20.65.
URL: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39835
5. Identification of unsteady effects in the flow through a centrifugal fan using CFD/CAA methods / Pritz, B., Probst, M., Wiśniewski, P., Dykas, S., Majkut, M., & Smołka, K. // Archives of Thermodynamics, 2021.
URL: https://journals.pan.pl/dlibra/publication/139657/edition/122212/content
6. Design and experimental research of a centrifugal fan with backward-curved blades / Kapitanchuk, K. I., Andriyishyn, M. P., Yakymchuk, S. A.// XI Всесвітній конгрес «Авіація в XXI столітті – Безпека в авіації та космічні технології», 25-27 вересня 2024 року, м. Київ - 2024.
URL: https://jrnl.nau.edu.ua/index.php/congress/article/view/19139
7. Вимірювальний стенд для визначення аеродинамічних характеристик вентиляторів відповідно до стандарту ANSI/AMCA 210-07 / М.П. Андріїшин, К.І. Капітанчук, С.А. Якимчук // XXIV Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП "Промислова гідравліка і пневматика", 19-20 грудня 2024 року, м. Київ.: матеріали конференції.– 2025. URL: https://km.kpi.ua/nauka/konferentsiyi/x
URL: http://congress.nau.edu.ua/2024/materialy-kongresu/
8. Menter, P. SST k-omega Model - CFD Online. Computational Fluid Dynamics Resource, 2021.
URL: https://www.cfd-online.com/Wiki/SST_k-omega_model

УДК 621.452.3

Д.О. Куц[1], О.В. Завгородній[2], А.М. Іванів[1], Р.Ю. Білий[1]
([1]-Український державний університет науки і технологій, Дніпро
[2] – НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя)

Підвищення експлуатаційних показників камери згоряння газотурбінного двигуна шляхом впровадження адитивного способу виробництва

Розглянуті основні етапи стандартного виготовлення завихрювача камери згоряння газотурбінного двигуна та показані переваги вирощування деталі шляхом лазерного 3D-друку. Отримані результати по експлуатаційним показникам завихрювача, виготовленого адитивною технологією, на базі досвіду підприємства АТ «Мотор Січ».

Завихрювач камери згоряння авіадвигуна формує стійке та ефективне змішування потоку повітря та палива. Це критично важливо для забезпечення стабільного горіння та ефективності роботи камери згоряння. Стабільність витратних характеристик завихрювача безпосередньо впливає на рівномірність температурного поля та на надійність та продуктивність усієї системи [1]. Насьогодні вже реалізовані всі класичні шляхи підвищення експлуатаційних показників завихрювача: проведене вдосконалення конструкції, при цьому запас міцності матеріалу завихрювача знаходиться на межі можливостей сплаву.

Лазерний 3D-принтінг належить до високопродуктивних адитивних технологій, що відкриває широкі перспективи для виробництва складнопрофільних деталей авіаційних двигунів. До таких деталей можна віднести деталь паливної системи – завихрювач, що має тонкі стінки та систему отворів, які вкрай складно сформувати традиційними технологіями литва та механічної обробки [2]. Лазерний друк відкриває нові можливості для підвищення експлуатаційних характеристик завихрювачів.

Метою даної роботи є підвищення експлуатаційних характеристик завихрювача (витрати палива) та стану поверхні (зниження шорсткості) по контурах завихрювача. Для досягнення поставленої мети класична паяна конструкція завихрювача підлягає заміні на розроблену консолідовану конструкцію – на друковану монодеталь.

Класична конструкція завихрювача складається з трьох деталей, виготовлених литтям за витоплюваними моделями (рис. 1). Така складальна конструкція в процесі виготовлення та експлуатації проявила наступні недоліки:

- наявність паяних та зварних швів;
- часто зустрічається брак виливок (близько 30%) і готових деталей по критерію невідповідності витрат повітря, як по контурах, так і сумісно;
- нестабільна геометрія внутрішніх порожнин та шорсткості поверхонь;
-поштучний підбір завихрювачів в процесі складальних операцій двигуна по витратним характеристикам.

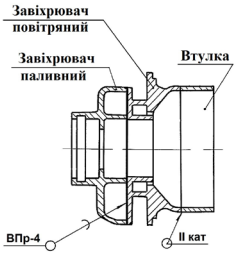


Рис. 1. Класична конструкція завихрювача

Перехід з традиційних на адитивні технології високоточного формування виробів в процесі пошарового мікросплавлення порошків (технологія SLS) жароміцних сплавів дозволить вирішити вище зазначені проблеми. Технологія SLS для друку завихрювачів обрана не випадково і спирається на світові досягнення в цьому напраямку. Так, прикладом виготовлення деталей методом SLS зі плаву INCONEL 718 є друк сопла паливної форсунки для двигуна «Arrano» і завихрювача камери згоряння двигуна «Ardiden-3» (рис. 2) [3].



Рис. 2. Паливна форсунка для двигуна «Arrano» і завихрювач камери згоряння двигуна «Ardiden-3» [3]

Завдяки зміні конструкції виключились не лише зварні та паяні шви ливарних завихрювачів, але і знизилась трудомісткість майже вдвічі за рахунок зменшення операцій механічної обробки.

Результати перевірки геометрії методом 3D-сканування показали, що литі завихрювачі мають незначні відхилення від вимог кресленника. В свою чергу, завихрювачі, вирощені методом SLS, таких відхилень не мали.

Дані контролю шорсткості профілометром внутрішніх порожнин показали, що литі завихрювачі мають значно вищу шорсткіть порівняно із завихрювачами, отриманими методом SLS.

На підставі порівняльного аналізу результатів дослідження витратних характеристик сумісно по контурах завихрювачів отриманих шляхом продування на випробувальній установці встановлено, що в завихрювачах,

виготовлених традиційним шляхом, геометричні відхилення викликали суттєвий розкид витратних характеристик (рис. 3).

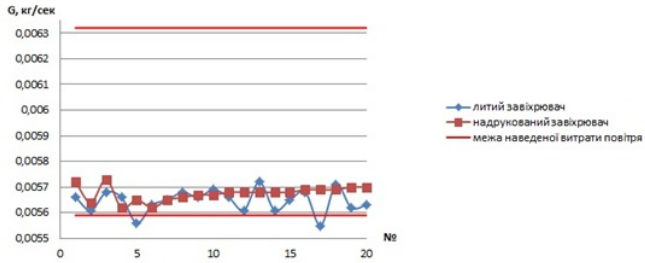


Рис. 3. Результати загальної витрати повітря сумісно по контурах

Завихрювачі-монодеталі, вирощені за технологією SLS, мали стабільні геометричні показники, що стабілізувало різницю загальних наведених витрат повітря спільно по контурах до ±1,5%, що цілком відповідало вимогам комплектування.

Таким чином, застосування лазерного 3D-друку за технологію лазерного пошарового сплавлення (SLS) сприяло удосконаленню геометрії каналів та зниженню шорсткості поверхонь завихрювачів, що забезпечувало стабільність витрат палива і виключало необхідність індивідуального підбору за цим параметром.

Список літератури

1. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive manufacturing technologies: rapidprototyping to direct digital manufacturing. New York: Springer, 2009. - 484 p.

2. Jones, A. (2020). "Challengesin Aviation Engine Design." Aerospace Science and Technology, №78, P. 567-578.

3. Metal-AM. Turbomeca uses metal additive manufacturing for helicopter engine components. 2015.

УДК 629.7.035.7

Ф.І. Кірчу, к.т.н., Л.Г. Волянська, к.т.н.,
І.Г. Бабічев, аспірант, П.І. Кірчу, аспірант,
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Робота тандемного вентилятора з об'єднуючою тороїдально - спіральною закінцівкою лопатей в обмеженому просторі

Робота тягового вентилятора в обмеженому просторі стає все більш актуальною проблемою, виходячи з мініатюризації літальних апаратів і, як наслідок, розширенням їх функціональних можливостей. При цьому проблема шуму може бути вирішена двома шляхами – застосуванням тороїдальних вентиляторів, технологія виготовлення яких є доволі складною проблемою, або ж традиційних лопатей з об'єднуючою тороїдально-спіральною закінцівкою. Останній варіант виглядає найбільш привабливим з точки зору використання раніше напрацьованих результатів.

Загальновизнаний факт того, що тяга канального вентилятора зменшується зі зменшенням висоти (ефект землі). Тяга каналу зменшується, а тяга лопатей-збільшується.

В роботі [1] показано, що тяга лопатей збільшується на 28%, а тяга каналу зменшується на 41,1% (висота 0,5D), що призводить до зменшення загальної тяги на 12,5%. Тобто у будь-якому випадку ефективність канального вентилятора зменшується в зоні впливу землі (при висотах h=0,25÷0,75 D).

Канальні вентилятори зацікавили виробників виходячи з їх високого потенціалу (можливостей), широкого застосування як в цивільних, так і у військових місіях, надаючи безперечні переваги на полі бою, зберігаючи людські ресурси [2,3].

У порівнянні із ізольованим (відкритим) вентилятором наявність каналу (повітропроводу) може істотно послабити стискування сліду вентилятора і дає можливість літати ефективно з високою безпекою, компактною структурою і низьким рівнем шуму.

Однак, виходячи з того, що можливості канальних вентиляторів, практично вичерпані, особливо з точки зору швидкісних характеристик, багато хто з дослідників починає звертати увагу на інші конструкції, зокрема на тандемні вентилятори (гвинти), які знайшли свою нішу, зокрема, в морських рушіях.

Застосування тандемних лопатей ротора дозволяє на фоні значного зростання тяги (до 40%) зберегти масові, геометричні характеристики із збереженням задовільного рівня шуму та технологічності виготовлення. Особливо це стосується тандемних гвинтів з тороїдально- спіральною закінцівкою (рис.1), що значно зменшує кінцеві втрати.

В тороїдально-спіральному вентиляторі кінчик однієї лопаті загинається зворотно в кінчик лопаті другого ряду. Така конструкція дозволяє звести до мінімуму лобовий опір закручених повітряних вихорів, створюваних на кінчиках лопатей і підвищує загальну жорсткість вентилятора. При цьому

вихори, створювані вентилятором, розподіляються по всій лопаті, а не тільки на її кінці. Потік повітря швидко розсіюється в атмосфері, а вихор не розповсюджується далеко, тому його важко почути. При цьому шум знижується в ключовому діапазоні 100Гц- 5кГц (до якого особливо чутливе людське вухо). Тобто подразливе дзижчання перетворюється в звичайний шелест.



Рис.1. Тандемний вентилятор з об'єднуючою тороїдально-спіральною закінцівкою лопатей

Тандемний вентилятор з тороїдально-спіральною закінцівкою не тільки тихіший при заданому рівні тяги, ніж стандартний, а і дає більшу тягу при заданому рівні потужності.

На відміну від інших подібних гвинтів (на приклад, наведеному в роботі [4]) запропонована конструкція не має основного недоліку тороїдальних гвинтів – складність у виготовленні. Вона набагато простіша і технологічніша.

До того ж, необхідно врахувати, що у нашому випадку це тандемний, дворядний вентилятор, в якому набагато легше регулювати втрати в кореневій частині лопаті, ніж у лопаті, виконаній у класичному варіанті.

Якщо такий гвинт розташовується в каналі (канальний тандемний вентилятор), то тяга каналу, як и загальна тяга, зросте за рахунок «косого» обдуву стінок каналу з високою швидкістю. Шум при цьому зменшується за рахунок перерозподілу спектру звукових частот в бік високочастотних коливань з меншою амплітудою (інтенсивністю).

Перш за все необхідно звернути увагу на то, що вплив стелі для тандемних відкритих вентиляторів, на відміну від канальних вентиляторів, більший за рахунок бокового надходження повітря в міжлопатевий простір, яке має значний вплив на низьких частотах обертання ротора (до 4000 об/хв).

При спільному впливі стелі і стінки цей ефект ще збільшується, в той же час сприяючи більш м'якому підходу літального апарата до стінки, запобігаючи різкому контакту з нею (рис.2). Тому необхідно приділяти підвищену увагу роботі контролера польоту у цих умовах, або ж застосувати канальний (закапотований) тандемний вентилятор.

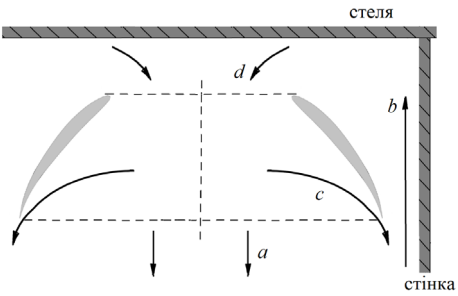


Рис.2. Формування вихідного повітряного потоку в тандемному вентиляторі з тороїдально-спіральною об'єднуючою закінцівкою лопатей:
a - вихідний потік; *b* - радіальний потік; *d* - потік "всмоктування";
c - "косий потік"

Ефект землі обмежує вихідний потік літального апарата з канальним вентилятором, змушуючи його розвертатися поперечно з утворенням небажаних наземних вихорів. Для тандемних вентиляторів ефект землі менш яскраво виражений і досягає максимуму в районе h=0,25÷0,35D. Тобто в цьому районі тяга вентилятора і крутний момент досягають мінімуму.

Це пояснюється впливом "косого" витоку потоку з області закінцівок, що, розширюючи конусність потоку, "висмоктує" повітря із зони високого тиску в центрі обертового диску в зону низького тиску на периферії лопатей. Особливо яскраво цей ефект проявляється в пристінковій зоні для високообертового ротора (n>4000 об/хв).

Керованість (як і зменшення темпу падіння тяги) в умовах роботи при спільному впливі землі і стінки більша за рахунок взаємодії радіального потоку вздовж стінки та поперечного потоку під площиною обертання вентилятора і "косої" завіси від тороїдально-спіральної закінцівки (рис.3), яка діє під кутом закрутки на вихідний потік. При цьому зменшується приземне вихороутворювання і зберігається структура потоку.

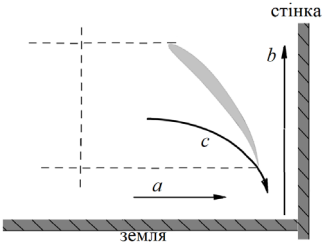


Рис.3. Формування вихідного повітряного потоку в тандемному вентиляторі з тороїдально - спіральною об'єднуючою закінцівкою лопатей:
a – поперечний потік; *b*– радіальний потік; *c* – "косий" потік ("коса завіса")

Якщо ж тандемний вентилятор з тороїдально-спіральними закінцівками працює в каналі, то загальна тяга з висотою зменшується менш інтенсивно за

рахунок менш інтенсивного зменшення тяги каналу. Знову ж таки за рахунок “косого” обдування каналу.

Висновки

Змінюючи взаємне розташування рядів вентилятора (спіральність закінцівок лопатей), профілювання закінцівок, можна отримати модельний ряд тандемних вентиляторів, особливо канальних, для широкого спектра застосування, включаючи тягнучі гвинти високошвидкісних БПЛА, морських суден (особливо канальних гвинтів).

Такого ж ефекту можна досягнути за рахунок збільшення кількості лопатей, що призводить до більш чіткої організації потоку в тороїдальному каналі і формуванню циліндричного вихідного повітряного потоку.

Зі збільшенням кількості лопатей (і швидкості обертання ротора) тороїдальний стан потоку стабілізується і система стає більш стійкою. При цьому вихідний потік вентилятора набуває також стійкої характерної циліндричної форми. Окрім того скручує потік закінцівки в тугий джгут, забезпечуючи стійкість БПЛА практично в усіх умовах польоту, особливо при боковому вітрі.

Список літератури

1. Gao, Y.; Xu, Y. The Overall Design of Variable Diameter Ducted Fan in the Aircraft. *Aerospace* 2022**,** *9*, 387. https://doi.org/10.3390/aerospace9070387
2. Luo, Y., He, Y., Xu, B. *et al.* Numerical simulation and analysis of a ducted-fan drone hovering in confined environments. *Adv. Aerodyn.* **6**, 18 (2024). https://doi.org/10.1186/s42774-024-00179-z
3. Tardaguila, B., Claus, S., Herrero, M., Wulf, J., Nagels, L., Verwulgen, S. (2023). Ground Effect on a Landing Platform for an Unmanned Aerodynamic System. In: Tareq Ahram and Waldemar Karwowski (eds) Human Factors in Robots, Drones and Unmanned Systems. AHFE (2023) International Conference. AHFE Open Access, vol 93. AHFE International, USA. http://doi.org/10.54941/ahfe1003748
4. https://hightech.plus/2023/02/01/razrabotannie-v-mit-vinti-novoi-formi-delayut-lyuboi-dron-pochti-besshumnim

UDC 629.735.03(02)

I.F. Kinaschuk, PhD, M.I Kinaschuk
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Numerical modeling of the operation of the screen-exhaust devices during the flight of a helicopter with vertical and horizontal blades of the ejection system

An example and results of numerical modeling of the operation of screen-exhaust devices in the composition of a helicopter, taking into account the speed pressure of air during flight, with a comparison of different ejector schemes, are presented.

Structural diagrams of screen-exhaust devices

When analytically calculating ejectors, there is a need to select coefficients, specify geometric parameters and operating modes, and other difficulties. As a result of such calculations, we can obtain, with a certain approximation, integral parameters that can be close to experimental characteristics. Modern trends in the development of scientific research allow us to reduce the time for designing ejectors and facilitate a significant amount of work by using special programs for numerical modeling. With numerical modeling, it is possible to obtain adequate integral parameters, as well as the values of the flow parameters at any point in the calculation area. This makes it possible to change these parameters at the inlet and outlet of the ejector in order to optimize its design.

Numerical research was performed in the universal integrated in the CAD system Catia5-CFD package/program FloEFD Mentor Graphics Corp. Calculations were performed for the flight mode at a speed of 225 km/h GTE.

The purpose of the research was to determine the quality of the flow, the absence of secondary flows, and to check the injection phenomena along the path in the design of the screen-exhaust device (ESD) of two schemes and engine nozzles under the same boundary conditions using the exhaust nozzle. During numerical modeling, the parameters of the ESD with vertical ejector blades (Fig. 1) and the ESD with horizontal ejector blades (Fig. 2) were compared. In each of the specified ESDs, the slope of the exhaust cut relative to the horizon line is 10 degrees.

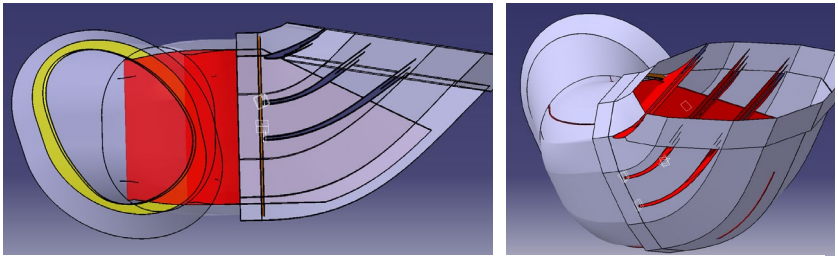


Figure 1. – Screen-exhaust device with vertical ejecting blades.

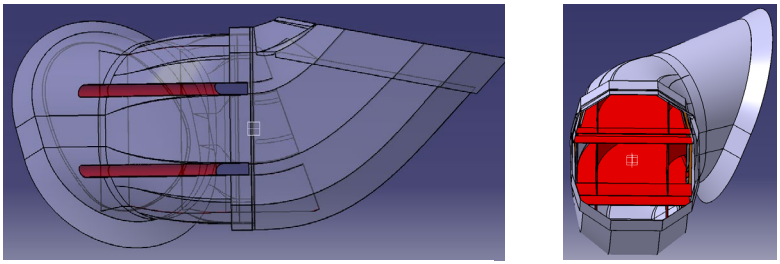


Figure 2. – Screen-exhaust device with horizontal ejecting blades.

In the works [1,2], existing methods of reducing the temperature of combustion products of an aircraft gas turbine engine are shown, numerical calculations and visualization of mixing of high-temperature gases with atmospheric air are given. These studies were conducted to identify an effective design of the SED to reduce the level of the temperature field of combustion products behind the helicopter to reduce the thermal visibility of the gas turbine engine exhaust in operation on the ground. The developed SED also provides for mixing of high-temperature gases with forced supercharging that occurs during the flight of the helicopter.

Analyzing the results of numerical modeling of the SED with vertical ejector blades, the following can be noted:

- the calculated value of the total pressure loss in the SED is 2.29%;
- the calculated value of the total pressure loss in the exhaust pipe is 2.84%;
- in the EVP, vortex structures are formed at the turns, which block the passage section;
- the flow near the labyrinth seal of the SED with the helicopter side washes the seal, thus the helicopter side is protected from overheating, and hot gases do not enter the engine compartment (see Fig. 3).

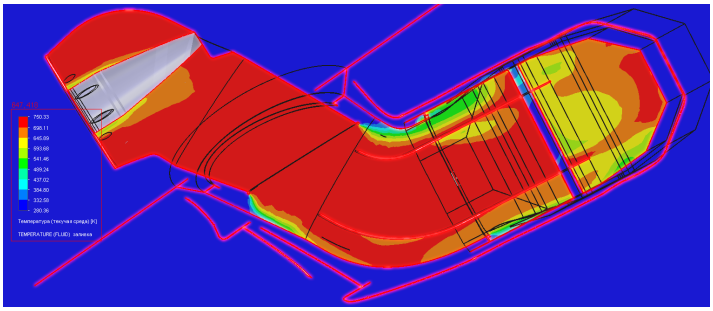


Figure 4. – Temperature field in a screen-exhaust device with vertical ejector blades

Analyzing the results of numerical modeling of the SED with vertical ejector blades, the following can be noted:

- the calculated value of the total pressure loss in the SED is 2.31%;
- the calculated value of the total pressure loss in the exhaust pipe is 2.37%;
- Vortex structures are formed in the SED at turns, which block the passage section;
- the flow near the labyrinth seal of the SED with the helicopter side does not wash the seal, thus the helicopter side is not protected from overheating, and hot gases enter the engine compartment (see Fig. 4).

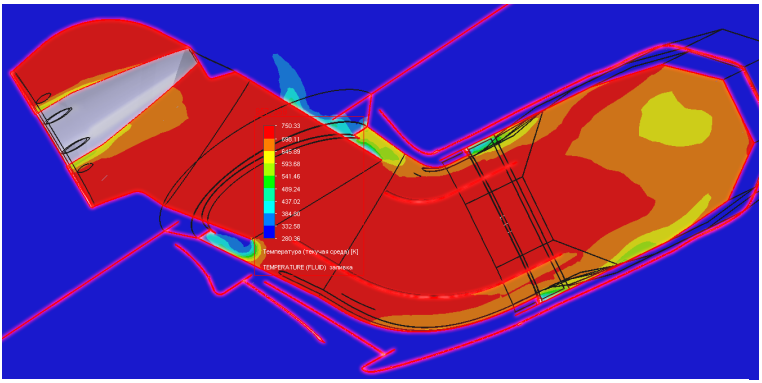


Figure 4. – Temperature field in a screen-exhaust device with vertical ejector blades

Conclusions

According to the results of numerical modeling of the SED with different locations of the ejection blades, a decision was made based on the obtained and analyzed results regarding the optimal choice of its flow part. It was determined that the flow of exhaust gases and atmospheric air near the SED's abutment to the helicopter side with the vertical location of the ejection blades during the helicopter's flight washes the seals, and hot gases do not enter the engine compartment and do not heat the elements of the side skin.

References

1. Kinaschuk, M. (2020). Numerical study of the exhaust gas flow of TV3-117 type engines in composition with a screen – exhaust device. ScienceRise, 4, 17–23. https://doi.org/10.21303/2313-8416.2020.001391

2. Paszko, M. (2017). Infrared Signature Suppression Systems in Modern Military Helicopters. Transactions on Aerospace Research, 2017 (3), 63–83. https://doi.org/10.2478/tar-2017-0022

УДК 621.432-242:620.22

І.О. Сироїжка, М.В. Войтенко
(Українська державна льотна академія, Україна)

Аналіз використання новітніх матеріалів у виробництві поршнів двигуна внутрішнього згорання

Стаття аналізує традиційні та новітні матеріали для поршнів двигуна внутрішнього згорання. Розглянуто їх переваги та недоліки щодо міцності, ваги, термостійкості та зносостійкості. Новітні матеріали є перспективними для підвищення ефективності двигунів, попри вищу вартість та складність виробництв.

Поршень є однією з найважливіших деталей двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), яка перетворює тиск газів на механічну енергію. До матеріалів, з яких виготовляють поршні, висуваються жорсткі вимоги: вони повинні витримувати високі температури, значні механічні навантаження, бути стійкими до корозії та зносу. Традиційно для цього використовують алюмінієві сплави або чавун. Однак сучасні потреби у підвищенні потужності, зменшенні ваги та покращенні екологічності ДВЗ спонукають інженерів і вчених до розробки новітніх матеріалів, таких як композити та кераміка [1].

Чавунні поршні мають високу міцність, твердість і зносостійкість. Завдяки низькому коефіцієнту лінійного розширення, вони забезпечують стабільність розмірів навіть при значних перепадах температур. Недоліком є велика маса та низька теплопровідність, що обмежує використання чавуну у швидкохідних двигунах.

Алюмінієві сплави, такі як силумін (Al-Si), мають малу густину, високу теплопровідність і відносно низьку вартість виробництва. Вони дозволяють зменшити вагу поршня на 30% порівняно з чавунними аналогами, що позитивно впливає на економічність і динаміку. Проте алюміній має низьку міцність при високих температурах і значний коефіцієнт лінійного розширення, що ускладнює їх використання у двигунах із підвищеними навантаженнями [1, 2].

Методи виробництва поршнів із традиційних матеріалів.

Чавунні поршні виготовляють методом лиття з додаванням сферичного графіту, що дозволяє підвищити міцність і зносостійкість матеріалу, зменшивши його щільність. Це забезпечує кращу термостабільність при високих температурах, зберігаючи механічну цілісність і розмірну стабільність деталей. Чавун добре піддається литтю, має високі ливарні властивості, що дозволяє досягти високої точності форми поршня, а також створювати складні деталі з рівномірним розподілом матеріалу, що мінімізує ризик утворення дефектів. Основними недоліками є велика вага та низька теплопровідність [2].

Алюмінієві поршні, навпаки, виготовляються методом лиття в кокіль або штампуванням. Силумін, що містить до 12% кремнію, є основним матеріалом для виготовлення таких поршнів.

Алюмінієві сплави відрізняються низькою щільністю, що знижує інерційні навантаження на поршневу систему двигуна, а також високою

теплопровідністю, що сприяє ефективному охолодженню. Ці сплави мають гарні ливарні властивості, однак проблеми можуть виникати через схильність до гарячих тріщин і деякі труднощі з термообробкою, що може погіршувати механічні характеристики поршнів. Введення додаткових легуючих елементів, дозволяє підвищити міцність і жаростійкість, однак це також підвищує вартість виробництва [3].

Новітні матеріали у виробництві поршнів.

Композитні матеріали, зокрема металеві композити (МКМ) та волокнисті композити, є перспективними для виробництва поршнів завдяки своїй здатності поєднувати легкість з високою міцністю. Один із найпоширеніших типів металевих композитів — це спечена алюмінієва пудра (САП), що містить оксид алюмінію (Al_2O_3). Ці матеріали мають кращі жаростійкість і механічні властивості порівняно з традиційними алюмінієвими сплавами, що дозволяє їх використовувати в умовах підвищених температур. Наприклад, САП-1, САП-2 та САП-3 використовуються для деталей, що працюють при температурі до 500°C, забезпечуючи вищу міцність і жаростійкість порівняно з традиційними алюмінієвими сплавами [1].

Металеві композити мають декілька значних переваг: можливість змінювати їх структуру за рахунок додавання армуючих волокон або порошкових елементів, що дозволяє створювати матеріали з наперед визначеними властивостями. Матеріали можуть мати підвищену міцність, легкість та зносостійкість, а також низький коефіцієнт теплового розширення, що зменшує деформації деталей при зміні температур. Виробництво композитів передбачає використання технологій порошкової металургії, де алюмінієва пудра пресується і спікається для отримання високощільного матеріалу.

Композити дозволяють створювати матеріали із заданими характеристиками, змінюючи кількість і розподіл зміцнювальної фази. Наприклад, додавання 40–50% оксиду алюмінію до матриці забезпечує термостійкість поршня навіть при температурах понад 1200 °C [1, 3].

Керамічні матеріали на даний момент являється найперспективніший для застосування в поршнях завдяки їхній винятковій термостійкості та низькому коефіцієнту теплового розширення. Матеріали на основі оксиду алюмінію та діоксиду кремнію мають високий опір до високих температур (до 1200°C), що робить їх ідеальними для використання в двигунах із високими температурними навантаженнями. Вони також відзначаються високою стійкістю до корозії та зносу, що збільшує термін їх служби в екстремальних умовах експлуатації.

Однак, попри ці переваги, керамічні матеріали має кілька суттєвих недоліків:

1. Вона є досить крихкою, що ускладнює її використання в умовах постійних механічних навантажень і вібрацій.
2. Керамічні матеріали дорогі у виробництві, що обмежує їх масове використання.
3. Вони мають низьку пластичність, що ускладнює їх обробку та виготовлення деталей із складною геометрією [2].

Для виробництва поршнів із новітніх матеріалів застосовують різні методи, включаючи порошкову металургію, лиття під тиском та рідке штампування.

Порошкова металургія, яка використовується для створення композитних матеріалів, дозволяє отримати високу щільність та рівномірну структуру матеріалу. Під час цього процесу алюмінієва пудра збагачується оксидом алюмінію, після чого пресується і піддається спіканню при високих температурах.

Рідке штампування дозволяє створювати міцні деталі з мінімальними порожнинами та дефектами, що підвищує довговічність і термостійкість поршнів [1].

Самі композитні матеріали значно перевершують традиційні алюмінієві сплави за низкою експлуатаційних характеристик, що робить їх перспективними для використання у двигунах внутрішнього згоряння, особливо в умовах підвищених температур і навантажень.

Переваги:

1.Підвищена зносостійкістьє

2.Термовитривалість.

3.Низький коефіцієнт термічного розширення.

4.Термостабільність [1].

Висновок

Використання новітніх матеріалів у виробництві поршнів є одним з перспективних напрямків, який дозволяє підвищити ефективність двигунів, знизити їхню масу та підвищити стійкість до високих температур.

Традиційні матеріали, такі як алюмінієві сплави та чавун, залишаються популярними завдяки їхній доступності та оптимальним експлуатаційним характеристикам.

Однак новітні матеріали, зокрема композити та кераміка, надають значні переваги, особливо в умовах високих температур і навантажень. Основним бар'єром для масового впровадження новітніх матеріалів є їх висока вартість та технологічні складнощі виробництва.

Список літератури

1. Якушенко С., Федіна І., Носов П. Доцільність виготовлення поршнів автомобільних двигунів з композитних матеріалів. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. 2018. № 2(1). С. 129–136.

2. Саввова О. Нові керамічні та скломатеріали спеціального призначення: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекет, 2020. 106 с.

3. Якушенко С., Федіна І. Вплив режимів роботи двигуна на зміну механічних властивостей поршнів. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. 2015. № 5(10). С. 79–83.

УДК 669.295:621.785.34

В.С. Труш, д.т.н., ст. дослідник
Г.Г. Веселівська, к.т.н., ст. дослідник
Х.Р. Задорожна, к.т.н.
Я.Я. Сірак, к.т.н.
(Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, Україна)

Вплив температурно-часових параметрів дифузійного насичення елементами втілення (O, N, C) на характеристики зміцненого поверхневого шару титану

Наведено розрахунки впливу температури та тривалості дифузійного насичення киснем, азотом, вуглецем на твердість поверхневого шару титану. Представлені результати дають можливість прогнозувати твердість та розмір зміцненого поверхневого шару титану залежно від температурно-часових параметрів обробки, тобто вирішувати задачу оптимізації режимів хіміко-термічної обробки.

Завдяки високій питомій міцності, корозійній тривкості титан і сплави на його основі є незамінним конструкційним матеріалам для авіації, де заміна стальних деталей на титанові призводить до суттєвого зниження маси конструкцій [1-3].

Через високу хімічну спорідненість титану до елементів втілення (O, N, C) [4-7] відбувається формування зміцненого поверхневого шару, що істотно впливає на експлуатаційні властивості виробу в цілому [8–12]. Тому перспективним засобом покращення фізико-механічних властивостей титану є дифузійне насичення з контрольованих газових середовищ, для якого характерні відтворюваність процесу, можливість обробляти деталі довільної форми, навіть з отворами, висока адгезія модифікованих шарів до матриці завдяки можливості формування глибокого дифузійного підшару.

Характеристики поверхневого зміцненого шару (твердість поверхні, глибина шару) титану на пряму залежить від параметрів обробки, зокрема температури та тривалості.

Мета роботи – аналітично оцінити вплив температури та тривалості дифузійного насичення киснем, азотом, вуглецем на характеристики поверхневого зміцненого шару титану.

Залежність мікротвердості титану від вмісту розчинених елементів втілення має лінійний характер: $H_i = H_0 + K_i \cdot C_i$. Тут H_i твердість титану з відповідною концентрацією C_i кисню (i = O), азоту (i = N) або вуглецю (i = C), K_i - коефіцієнти пропоційності. Коефіцієнти K_i для систем «Ti-O» «Ti-N», «Ti-C» мають наступні значення: K_0=0,8 ГПа/ат%, K_N =1,2 ГПа/ат%, K_C=0,6 ГПа/ат%. Такі значення коефіцієнтів K_i свідчать про те, що один відсоток азоту змінює твердість титану на 1,2 ГПа, тоді як такий же відсоток кисню та вуглецю змінюють твердість титану відповідно на 0,8 і 0,6 ГПа. Врахувавши значення K_i, а також розрахованих попередньо концентраційних профілів

кисню, азоту та вуглецю у титані, можна переbодувати на роподіли твердостей в поверхневих шарах відповідно до наступної кореляційної залежності:

$$H_i\ (l,\ \tau) = H_0 + K_i \cdot [C_i\ (l,\ \tau) - C_0],$$

де $C_i\ (l,\ \tau)$, $H_i\ (l,\ \tau)$ – відповідні розподіли концентрацій домішок і мікротвердості по перерізу зразка, K_i – коефіцієнт кореляції між розрахунковою концентрацією елемента втілення та твердістю поверхневого шару, H_0 – твердість серцевини.

На основі проведених поведених розрахунків було визначено твердість поверхні титану та глибину зміцненої зони після насичення елементами втілення залежно від температури та часу витримки (рис.1).

Також слід відзначити, що запропоновані розрахунки дозволяють давати науково-обґрунтовані рекомендації щодо зовнішніх параметрів (температури, тривалості) обробки титану для одержання поверхневого шару з наперед заданою твердістю поверхні та глибиною зміцненої зони. Рекомендації надані щодо температурно-часових параметрів обробки у випадку насичення киснем, азотом або вуглецем (рис. 1).

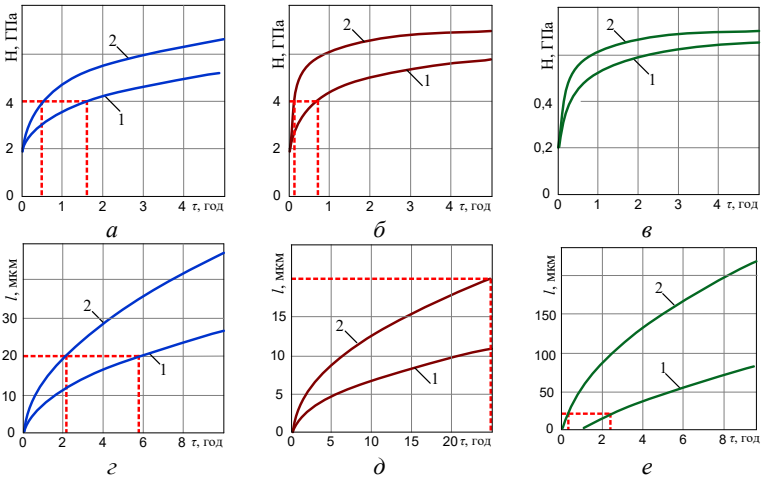


Рис. 1. Часові залежності поверхневих мікротвердостей (*а, б, в*) та глибини зміцненої зони (*г, д, е*) після насичення титану O, N, C за різних температур: *1* – 700°C, *2* – 750°C.

Отже, запропоновані розрахунки дають можливість вирішувати не тільки пряму задачу – визначати та прогнозувати ступінь поверхневого зміцнення та розмір зміцненого шару залежно від температурно-часових параметрів обробки, а й зворотну – за необхідним ступенем поверхневого зміцнення та розміром зміцненого шару знаходити температурно-часові параметри обробки, тобто вирішувати задачу оптимізації режимів хіміко-термічної обробки.

Висновки. Аналітично встановлено значення мікротвердості поверхневого шару та розміру зміцненого поверхневого титану залежно від параметрів дифузійного насичення (температура, тривалість, розрідження) киснем, азотом та вуглецем. Отримані результати можна застосувати для оптимізації режимів хіміко-термічної обробки титанових деталей авіаційного призначення.

Список літератури

1. Application and Features of Titanium for the Aerospace Industry / Inagaki I., Takechi T., Shirai Y., Ariyasu N. Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report. 2014, no. 106, p. 22-27.
2. Lütjering G. and Williams J. C. Titanium, 2nd ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag Heidelberg, 2007, 442 p.
3. Güleryüz H., Atar E., Seahjani F., and Çimenoğlu H. An overview on surface hardening of titanium alloys by diffusion of interstitial atoms. Diffus. Found. 2015, vol. 4, pp. 103–116, doi: 10.4028/www.scientific.net/df.4.103.
4. Malinov S., Sha W. Modeling thermodynamics, kinetics, and phase transformation morphology while heat treating titanium alloys. JOM. 2005. 57(9). P. 42-45.
5. Okamoto, H. O-Ti (Oxygen-Titanium). Journal of Phase Equilibria and Diffusion. 2011. 32(5). P. 473–474.
6. Okamoto H. N-Ti (Nitrogen-Titanium). Journal of Phase Equilibria and Diffusion. 2012. 34(2). – P. 151–152.
7. Федірко В.М., Погрелюк І.М., Лук'яненко О.Г., Труш В.С. Хіміко-термічна обробка титанових сплавів. Поверхневе твердорозчинне модифікування. К.: Наукова думка, 2020. с. 183.
8. Trush V., Fedirko V., Luk'yanenko A. Surface treatment of titanium alloys in oxygen-containing gaseous medium (Chapter 4). In book Titanium Alloys - Novel Aspects of Their Processing, editors Motyka M., Ziaja W., Sieniawski J. IntechOpen. London. United Kingdom. 2019. P. 27–41.
9. Fedirko V. M., Luk'yanenko A. G., Pohrelyuk I. M., and Trush V. S. Increasing the serviceability of products from single-phase titanium alloys by thermochemical treatment. Materials Performance and Characterization. 2017, vol. 6, no. 4, pp. 642-655.
10. Fedirko V. N., Luk'yanenko A. G., Trush V. S. Solid-Solution Hardening of the Surface Layer of Titanium Alloys. Part 1. Effect on Mechanical Properties. Metal Science and Heat Treatment. 2014, vol. 56, iss. 7, pp. 368–373.
11. Tokaji K., Ogawa T., Shibata H. The Effects of gas nitriding on fatigue behavior in titanium and titanium alloys. Journal of Materials Engineering and Performance. 1999. Vol. 8(2). P. 159–167.
12. Takahashi K., Sato E. Influence of Surface Treatments on Fatigue Strength of Ti6Al4V Alloy. Materials Transactions. 2010. Vol. 51, No. 4. P. 694-698

УДК 629.7:004.8

О.М. Панкул
(Харківський національний університет
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна)

Аналіз і прогнозування несправностей авіаційних двигунів із використанням дерева відмов та ШІ у системах технічного обслуговування

Розглядається застосування штучного інтелекту для прогнозування несправностей авіаційних двигунів з урахуванням дерева відмов. Акцент зроблено на технічне обслуговування під час бойових дій.

Досвід війни в Україні показав, що в умовах ведення бойових дій авіаційна техніка працює на межі своїх можливостей, отримуючи значні перевантаження. У цих екстремальних умовах, не маючи достатнього часу для повноцінного огляду, виникає гостра потреба в удосконаленні систем технічного обслуговування авіаційної техніки. Це, всвою чергу, спонукає до розробки новітніх методів виявлення відмов і прогнозування технічного стану, зокрема силових установок. Одним із найперспективніших напрямів в умовах ведення бойових дій є впровадження штучного інтелекту в процеси моніторингу технічного стану та обслуговування.

У контексті сучасних бойових дій системи на основі штучного інтелекту повинні відігравати ключову роль — обробляти великі бази даних у режимі реального часу, швидко виявляти всі відхилення в роботі авіаційних двигунів, ідентифікувати критичні коди несправностей із використанням дерева відмов (Fault Tree Analysis, FTA) та прогнозувати зниження ефективності роботи .

Дерево відмов дозволяє формалізувати логіку критичних сценаріїв виходу з ладу. Кожен вузол дерева може бути доповнений алгоритмічною оцінкою ймовірності події за допомогою ШІ. Наприклад, вузол «підвищена вібрація» аналізується не лише як ознака відмови, але й уточнюється нейромережею, що враховує попередні та оперативні дані щодо відмов

У разі фіксації зростання вібрації турбінного валу, дерево відмов вказує на можливі джерела: зношення підшипника, дисбаланс лопаток, ослаблення вузлів кріплення. ШІ-модель, навчена на історичних даних, обирає найімовірніший сценарій та надає прогноз про залишковий ресурс до критичної відмови.

Це дозволяє зменшити ризики раптового виходу техніки з ладу під час виконання бойових вильотів, значно зменшити кількість хибних непрогнозованих відмов, мінімізувати людський фактор, підвищити живучість авіації техніки та оптимізувати ремонтно-відновлювальні роботи в умовах обмеженого ресурсу та часу.

Для вирішення окреслених проблем пропонується застосування гібридного підходу, що інтегрує структурний аналіз дерева відмов та можливості машинного навчання для прогнозування стану авіаційних двигунів.

Висновок

Застосування гібридного підходу, що поєднує дерево відмов та сучасні моделі штучного інтелекту, є перспективним напрямом для кардинального вдосконалення систем технічного обслуговування та прогнозування несправностей авіаційних двигунів, особливо в екстремальних умовах бойових дій. Цей підхід дозволяє інтегрувати структурний аналіз ризиків та логіки відмов, що надається FTA, з можливостями ШІ щодо аналізу великих обсягів експлуатаційних даних, виявлення прихованих закономірностей та точного прогнозування залишкового ресурсу.

Незважаючи на певні технічні та фінансові виклики, пов'язані з модернізацією техніки та необхідністю обробки різнорідних даних, потенційні вигоди від впровадження таких систем є значними. Вони включають зменшення кількості раптових відмов, оптимізацію ресурсів ТО, підвищення ефективності планування ремонтних робіт та, як наслідок, суттєве підвищення живучості та боєготовності авіаційної техніки в умовах обмежень.

Подальші дослідження мають бути сфокусовані на повномасштабному навчанні та валідації ШІ-моделей на репрезентативних даних, розробці надійних механізмів динамічного оновлення дерева відмов на основі висновків ШІ, оптимізації алгоритмів для ефективної роботи в режимі з обмеженими ресурсами, а також на питаннях кібербезпеки та верифікації прогнозуючих систем.

Таким чином, впровадження ШІ відкриває нові можливості в обслуговуванні авіаційних двигунів. Проте це потребує певних затрат на модернізацію та адаптацію застарілої авіаційної техніки для досягнення високого рівня сумісності, забезпечуючи автономність, прогнозованість і ефективність технічного обслуговування навіть в умовах бойових дій.

Штучний інтелект дозволяє значно підвищити ефективність технічного обслуговування авіаційної техніки, зменшуючи ризики раптових відмов і оптимізуючи ресурсне забезпечення.

Список літератури

1. **Agustian, D., & Pratama, A.** (2024). *Artificial Intelligence Application on Aircraft Maintenance: A Systematic Literature Review*. EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, 9(1). https://publications.eai.eu/index.php/IoT/article/view/69383.
2. **Cohen, J., Huan, X., & Ni, J.** (2023). *Fault Prognosis of Turbofan Engines: Eventual Failure Prediction and Remaining Useful Life Estimation*. arXiv preprint arXiv:2303.12982. https://arxiv.org/abs/2303.12982
3. Zhang J., Wang Y. Intelligent fault diagnosis for aircraft engines using deep learning. Aerospace Science and Technology, 2020, 107. [англ.]
4. Малекі М., Язді М., Аббасі А. Гібридний підхід FTA із застосуванням ШІ для оцінки ризиків. Safety Science, 2021, т. 139. [пер. з англ.]
5. Сакена А., Гебель К. та ін. Моделювання поширення пошкоджень в авіаційних двигунах. Proc. PHM Conf., 2008. [англ.]

6. Бабу, Г. С., Чжао, П., і Лі, Х. Л. (2016). Регресійний підхід на основі глибокої згорткової нейронної мережі для оцінки залишкового терміну корисного використання. (с. 214–228).

УДК 629.7.035.6

С.В. Єнчев, д.т.н., Є.О. Пасічниченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Принципи побудови алгоритмів контролю авіаційних газотурбінних двигунів

На основі проведеного аналізу пропонується до використання в алгоритмах контролю авіаційних газотурбінних двигунів схему системи з еталонною моделлю та з нейромережевим класифікатором відмов.

До сучасних систем автоматичного керування (САК) авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) висуваються такі вимоги [1]:

– оптимізація алгоритмів керування;
– зменшення часу прийомистості двигуна;
– збільшення ресурсу двигуна;
– підвищення запасів стійкості компресора;
– компенсація відмов у двигуні та САК;
– зменшення кількості експлуатаційних регулювань;
– відновлення параметрів двигуна під час вироблення його ресурсу;
– адаптація характеристик САК ГТД до індивідуальних особливостей конкретного екземпляра двигуна;
– прогнозування поведінки системи з метою оперативного коригування алгоритмів управління в середовищі, що змінюється;
– забезпечення стійкості робочих процесів та працездатності САК ГТД як на розрахункових, так і на позаштатних режимах, пов'язаних з відмовами виконавчих механізмів, датчиків, пристроїв введення-виведення інформації (ПВВ), бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ), сильних зовнішніх збурень на вході ГТД [2].

Ефективність функціонування авіаційного ГТД значною мірою визначається тим, наскільки повно при виборі засобів і методів контролю та діагностики враховано особливості ГТД як об'єкта керування та контролю. Одним з ефективних засобів підвищення надійності електронних САК ГТД є використання автоматичних систем контролю та діагностики їх стану з метою прийняття правильних рішень з управління при виникненні несправностей у двигуні або його керуючій системі.

Аналізуючи склад та характер функцій, що реалізуються за допомогою системи контролю та діагностики, можна виділити такі завдання контролю:

– визначення технічного стану об'єкта контролю, в поточний час;
– визначення місця й причини виникнення відмови (у разі її виникнення);
– усунення несправності (ухвалення рішення про потребу резервування, ремонту);
– прогнозування технічного стану об'єкта контролю;
– накопичення й обробка статистичних даних з метою вивчення впливу умов експлуатації, конструкції та технології виробництва на технічні характеристики об'єкта контролю [2].

Завдання контролю та діагностики складної технічної системи зводяться

до оперативного контролю стану системи та визначення типу відмови у разі його виникнення. На рис. 1. використовуються наступні позначення: S_0 -- множина справних станів, (режимів роботи) системи; $\overline{S}_0$ -- множина непрацездатних станів викликаних відмовами в системі ; H_0 -- система контролю (СК) видає сигнал «Система справна»; $\overline{H}_0$ -- СК видає сигнал відмови за допомогою СК; P_{00}, P_{11} -- ймовірності прийняття правильних рішень за допомогою СК; P_{10} -- ймовірність помилки 1-го роду («хибна відмова»); P_{10} -- ймовірність помилки 2-го роду («пропущена (невиявлена) відмова»).

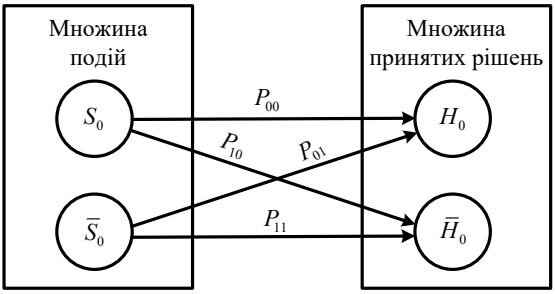


Рис. 1. Схема прийняття рішень у задачах контролю та діагностики

Бортові системи контролю та діагностики в процесі свого розвитку набули здатності не тільки до виявлення елементів САК ГТД, які відмовили, але і до самовідновлення структури й функцій системи. Останнє здійснюється за рахунок підключення резервних блоків, зміни зв'язків у системі керування, перерозподілу функцій та ресурсів між підсистемами, зміни режимів роботи двигуна у разі тієї чи іншої несправності. Завдяки цим заходам можливе відновлення ефективності функціонування САК в цілому. Розвиток бортових систем контролю та діагностики здійснюється у бік охоплення контролем якомога більшої частини системи, а також підвищення ефективності, швидкодії, надійності та достовірності контролю [3].

У процесі вирішення завдань контролю та діагностики необхідно вирішувати такі задачі: чи є функціонування системи нормальним, яка підсистема відмовила, чи можна парирувати відмову.

У разі виявлення відмови (несправності) можна змінити стратегію управління таким чином:

– змінити алгоритм керування (використовувати його спрощений варіант);

– повторити обчислення керуючого алгоритму заново;

– скоротити множину завдань, поставлених перед САК;

– використовувати структурну надмірність, що є в системі;

– перерозподілити завдання між справними підсистемами.

У сучасних САК широко використовується керування за моделлю (Model Based Control) (рис. 2). При цьому стан системи, що перевіряється, оцінюють за результатами аналізу її реакції на різні вхідні впливи, під якими розуміють зміни

параметрів зовнішнього середовища і параметрів її елементів [3]. При розробці алгоритмів контролю при цьому потрібно мати еталонну модель (ЕМ) об'єкта контролю (або системи), яка б встановлювала взаємозв'язок між станами контрольованого об'єкта (системи, що перевіряється і його відповідними реакціями. На рис. 2 наведено структурну схему замкнутої САК з ЕМ, де y -- вихід об'єкта управління (ОУ); y^0 – задавальний вплив; $e = y - y^0$ -- похибка керування. При появі неузгодження $\varepsilon = y^{EM} - y$ проводиться корекція параметрів цифрового регулятора ЦР таким чином, щоб характеристики САК збігалися з характеристиками ЕМ.

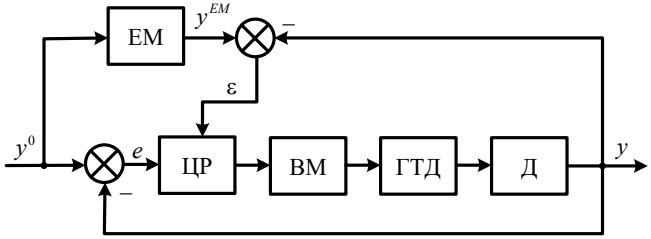


Рис. 2. Структурна схема керування за ЕМ

Сучасні САК ГТД, що функціонують в умовах параметричної та структурної невизначеності, вимагають застосування нових підходів до забезпечення контролю та діагностики. В основі запропонованого підходу до вирішення завдань контролю та діагностики САК ГТД застосовується метод виявлення та ідентифікації відмов FDI [3,4]. Типова схема реалізації методу FDI ґрунтується на порівнянні результатів вимірювань характеристик технічного стану об'єкта контролю (або будь-якого іншого елемента/модуля САК ГТД) з виходами його нейромережевої моделі (рис. 3).

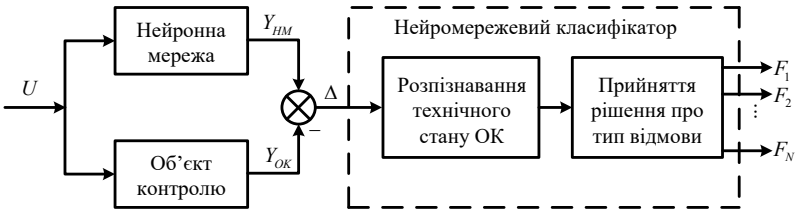


Рис. 3. Нейромережева реалізація методу FDI

На рис. 3: U -- вектор управляючих вхідних впливів; $Y_{НМ}$ --вектор виходів НМ-моделі ОК, $Y_{ОК}$ -- вектор вихідних параметрів ОК; $\Delta = Y_{НМ} - Y_{ОК}$ -- нев'язка, тобто різниця векторів виходів ОК і НМ, на основі аналізу якої відбувається розпізнавання стану ОК в поточний момент часу та прийняття рішення про належність цього стану тому чи іншому класу *(F* вектор виходів НМ-класифікатора).

Реалізація методу FDI передбачає вирішення наступних завдань:

1) розробка та програмна реалізація моделі досліджуваного ОК;

2) аналіз величини неузгодженості (нев'язки) та розпізнавання поточного стану двигуна;

3) ухвалення рішення про технічний стан ОК.

Нейромережева модель «еталонного» об'єкта контролю із усередненими параметрами може бути, синтезована з урахуванням навчальної вибірки, отриманої з урахуванням експериментальних даних. Оскільки реальні дані щодо дефектних ОК можуть бути відсутніми або бути неповними, при формуванні навчальної вибірки для навчання НМ-класифікатора в математичну модель ОК можуть навмисно вводитися ті чи інші зміни, що відповідають конкретним типам дефектів (відмов). Вихід НМ-класифікатора F являє собою бінарний, вектор $F = \{F_1, F_2, \therefore, F_N\}$, компоненти якого приймають значення 0 або 1 і відображають результати діагнозу (N -- кількість виявлених відмов).

Висновок.

Застосування методу FDI на основі НМ-алгоритмів є ключовим моментом у забезпеченні контролю та діагностики елементів САК ГТД, оскільки дозволяє скоротити кількість помилок 1-го та 2-го роду, що виникають у процесі функціонування САК.

Список літератури

1. Dynamic Modelling of Gas Turbines: Identification, simulation, condition, monitoring and optimal control / G. Kulikov. H. Thompson. Springer-Verlag, New York. 2004. 309 p.
2. Єнчев С.В. Синтез інтелектуальних систем керування авіаційними газотурбінними двигунами. Дис. на здобуття наук. ст. докт. техн. наук. – Київ : НАУ. – 326 с.
3. Забезпечення відмовостійкості нечіткої інтелектуальної системи керування авіаційними двигунами / Єнчев С.В. // Вчені записки Таврійського націо-нального університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки». Том 30 (69). № 2. – Частина 1 2019. – С.29-34.

UDC 621.438

O. Andriiets, PhD, Associate Professor, State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine, S. Korzh, member of the supervisory board of the JSC «MOTOR SICH», Ukraine, A. Sulimov, State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine

Researches of the current state and development trends of aircraft engines

Researches of the current state and development trends in the design and production of aircraft engines by domestic and foreign companies. Features of the design of fans of bypass turbojet engines of the Ultrafan class, their parameters and modern materials for manufacturing.Researches and trends in the development of the powerful aircraft engines.

The GE9X engine of GE Aerospace and the «UltraFan» of Rolls-Royce is the largest contemporary aircraft engines. At the moment composite materials use in a largest new jet engine GE9X with the thrust of 61 tons by pass ratio 12,5 for aircraft Boeing 777X. The ultrafan of GE9X have inlet fan diameter 3,4m with 16 fan blades by composite materials, fig.1.

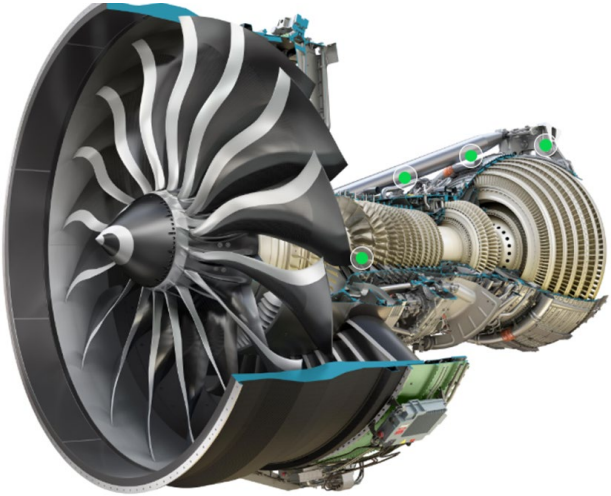


Fig.1 Jet engine GE9X.

Designer of GE9X GE Aerospace about 30 years manufactured fan blades by composite materials but during this period no blade came off during engine operation. while in 30 years of engines operation with metal blades, there were 5 cases of fan blades made of titanium alloys breaking off [1,2]. The using of composite materials in the engine GE9X allowed to reduce the weight of the engine by 15% while confirming the modern level of its efficiency and resource GE Aerospace, fig.2.

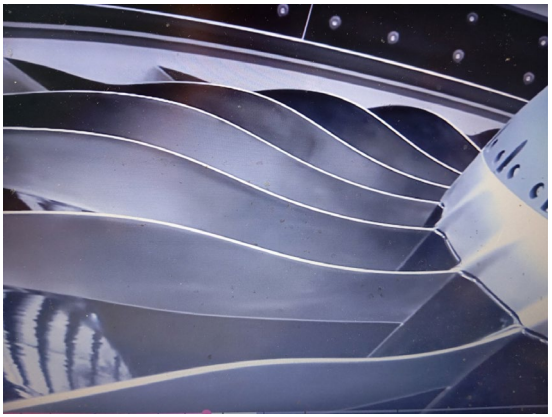


Fig.2.Fan blades of GE9X.

GE Aerospace is a world pioneer in the use of composite materials in aircraft engines. But other aircraft engine developers are also introducing composite materials into their engines. For decades, the British company Rolls-Royce has traditionally made fan blades in its engines from metal titanium alloys, hollowed out from the inside. But at the moment Rolls-Royce has developed and manufactured two engine «Ultrafan» demonstrators with a thrust of 22 and 50 tons in new narrowbody and widebody aircraft in the 2030s, because the future of jet aeroengines with the ultra-dimentions of engine fan. The fan of Rolls-Royce «Ultrafan» diameter is 3,55m, fig.3, fig.4.



Fig. 3. «Ultrafan» engine of Rolls Roys.



Fig. 4. Rotor of Rolls Roys «Ultrafan».

The engine «Ultrafan» also uses new materials and features carbon titanium fan blades (fig.5), a composite casing and advanced ceramic matrix composite (CMC) components to reduce weight and operate more effectively in high-pressure turbine temperatures.



Fig.5. «Ultrafan» fan blade.

In fact, a lightweight compact core, which houses the engine's compression, combustion, and high-pressure turbine modules, is being reengineered by the RISE program team to be smaller and optimize thermal efficiency, with an advanced cooling system and materials that can withstand extremely high temperatures.

Rolls-Royce to put engine development 'on ice' until new jet unveiled UltraFan engine program to be halted when testing finishes. Rolls-Royce has spent roughly £500m on developing the «UltraFan» demonstrator. The UltraFan program is making good progress. At a press event held in Derby in the run-up to year's Farnborough Airshow-2024, the company was keen to show off the vast engine that boasts a 14:1 bypass ratio. Individual components of the engine have already been assembled and tested. The «UltraFan» is unlike a "ready to deliver" engine in more ways than one. Clearly, the engine had a totally different design to a Trent. However, as a test engine, it is also fitted with thousands of internal sensors that wouldn't be found on a production engine. Wires from each sensor must be fed through the engine pylon while not getting in the way of the rest of the engine. The company is currently figuring out exactly where each will go before attaching the giant engine to the test rig.

Conclusions

Open Fan is a style of engine architecture that aims to provide the same level of safety, speed, noise, and power as current jet engines while delivering a significant reduction in fuel usage and carbon emissions. Benefits of Composites: weight savings, increased fuel efficiency, better durability, enhanced structural properties.

References

1. D. I. Halliwell, "Candidate Engines for a Supersonic Business Jet," Joint AIAA Foundation/ASME.IGTI Design Competition, 2023. – 88p.
2. L. Larsson, T. Grönstedt and K. G. Kyprianidis, "Conceptual design and mission analysis for a geared turbofan and an open rotor configuration," in ASME/Turbo Expo: Turbine Technical Conference and Exposition, 2011. – 112p.

УДК 621.6.02:621.692(076-5)

М.П. Андрійшин, к.т.н., К.І. Капітанчук, к.т.н., Д.О. Шклярук, аспірант
(Державий університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

CFD-аналіз чисельного моделювання процесу стиснення газо-водневої суміші в відцентрових компресорах при транспортуванні

Розглянуто використання CFD-аналізу (Computational Fluid Dynamics) для чисельного моделювання процесів стиснення газо-водневої суміші у відцентрових компресорах. Проаналізовано вплив зміни фізико-хімічних параметрів суміші на ефективність роботи стиснення компресора. Отримані результати дозволяють оцінити зміни вихідного тиску, рівня турбулентності та коефіцієнта корисної дії залежно від концентрації водню в суміші

В сучасних умовах глобальної енергетичної трансформації та переходу до низьковуглецевих технологій транспортування водню через існуючі газотранспортні системи (ГТС) стає одним із ключових напрямів розвитку енергетики [1-2]. Використання водню в газових мережах супроводжується низкою технологічних викликів, серед яких найбільш критичним є забезпечення ефективного стиснення газо-водневої суміші (ГВС) в відцентрових компресорах [3-5].

Особливу увагу слід приділяти питанням зменшення втрат енергії, стабільності потоку та забезпечення безперебійної роботи компресорних станцій (КС) при зміні фізико-хімічних властивостей газу [3-7].

Одним із ключових викликів є адаптація існуючих компресорів до роботи з воднем, оскільки його низька густина, висока дифузійна здатність та схильність до турбулентності впливають на ефективність стиснення та стабільність роботи обладнання. З огляду на це, важливим напрямом досліджень є оцінка впливу змін ГВС на роботу відцентрових компресорів, визначення критичних параметрів потоку та розробка рекомендацій щодо їхньої оптимальної конструкції [3, 8-9].

Зміна концентрації водню у потоці може призводити до зниження вихідного тиску, підвищення турбулентності та зміни коефіцієнта корисної дії, що вимагає адаптації лопаток компресора, частоти обертання ротора та геометричних параметрів проточної частини [3-10].

Мета дослідження полягає у визначенні впливу змінного складу ГВС на ефективність роботи відцентрових компресорів та розробці методики їхньої модернізації для зменшення втрат енергії та підвищення стабільності потоку.

Для реалізації мети було виконано CFD-аналіз процесів стиснення ГВС із використанням універсальної програмної системи моделювання гідродинамічних процесів ANSYS Fluent та визначено ключові параметри потоку, що впливають на продуктивність компресорів [7-10].

Для дослідження аеродинамічних процесів у компресорі була використана модель турбулентності k-ω SST (Shear Stress Transport). Ця модель поєднує переваги моделей k-ω та k-ε, забезпечуючи високу точність розрахунків при моделюванні турбулентних потоків в компресорах [10].

Проведена валідація чисельного моделювання на основі реальних

експериментальних даних підтвердила ефективність використання моделі k-ω SST для аналізу турбулентних потоків в відцентрових компресорах.

Розроблено алгоритм, що включає підготовку геометричної моделі відцентрового компресора з урахуванням особливостей ГВС, генерацію обчислювальної сітки з достатньою роздільною здатністю для точного моделювання потоків, налаштування граничних умов відповідно до експлуатаційних параметрів компресора, виконання CFD-розрахунків з використанням моделі k-ω SST для отримання детальних характеристик потоку, аналіз результатів та розробку рекомендацій щодо модифікації конструкції компресора для оптимальної роботи ГВС.

Реалізація цієї методики дозволяє автоматизувати процес оцінки динаміки потоку ГВС, прогнозувати зміни вихідного тиску залежно від концентрації водню та розробляти рекомендації щодо модифікації конструкції компресора для забезпечення його ефективної роботи.

Густина ГВС розрахована за формулою:

$$\rho_{\text{суміш}} = \frac{\sum y_i M_i}{\sum y_i M_i / \rho_i},$$

де y_i – об'ємна частка компонентів у суміші, M_i – молярна маса компонентів, кг/кмоль, ρ_i – густина кожного з компонентів, кг/м³.

Вихідні дані складових суміші CH_4 (80 %) + H_2 (20 %) надано в табл. 1.

Таблиця 1

Компонент	Молярна маса M_i кг/кмоль	Густина ρ_i, кг/м³	Об'ємна частка y_i
Метан (CH_4)	16,04	0,717	0,8
Водень (H_2)	2,016	0,0899	0,2

Розрахунок для суміші CH_4 (80%) + H_2 (20%)

Отже,
$$\rho_{\text{суміш}} = \frac{0,8*16,04 + 0,2*2,02}{0,8*16,04/0,717 + 0,2*2,02/0,0899}.$$

Зазначимо, що густина ГВС на 22 % менша за величину природного газу без водню. тому ефективність роботи компресорів на КС ГТС значно зменшиться.

Проведемо оцінку величини вихідного тиску за відцентровим компресором за формулою

$$P_{\text{вих}} = P_{\text{вх}} \left(\frac{T_{\text{вих}}}{T_{\text{вх}}} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}.$$

де $P_{\text{вх}} = 0,1$ МПа – вхідний тиск; $T_{\text{вх}} = 300$ К – вхідна температура; $T_{\text{вих}}$ – вихідна температура; $\gamma = 1.32$ – показник адіабати для ГВС.

Результати чисельного аналізу для різних концентрацій водню в ГВС

надано в табл. 2.

Таблиця 2

Результати чисельного аналізу для різних концентрацій водню

Частка H_2, %	Вихідний тиск, МПа	Температура на виході, K	Витрата, м³/год	ККД, %
0	0,400	320	2000	85
5	0,395	318	2040	84
10	0,390	317	2070	83
15	0,385	316	2090	82,5
20	0,380	315	2100	82
25	0,365	312	2150	80

Отже, що збільшення концентрації водню у ГВС призводить до зниження вихідного тиску з 0,4 МПа (при 0 % H_2) до 0,35 МПа (при 30 % H_2). Водночас витрата газу збільшується з 2000 м³/год до 2200 м³/год, що свідчить про зміну характеристик потоку в компресорі. Коефіцієнт корисної дії компресора поступово зменшується з 85 % до 78 %, що пояснюється підвищенням турбулентності потоку та зростанням енергетичних втрат.

Отримані результати дозволяють оцінити оптимальні робочі параметри компресора при транспортуванні водню в ГТС, а також визначити необхідні конструктивні зміни для підвищення його ефективності.

На рис. 1 показано залежність вихідного тиску від концентрації водню. Видно, що збільшення вмісту H_2 у газовій суміші призводить до поступового зниження вихідного тиску.

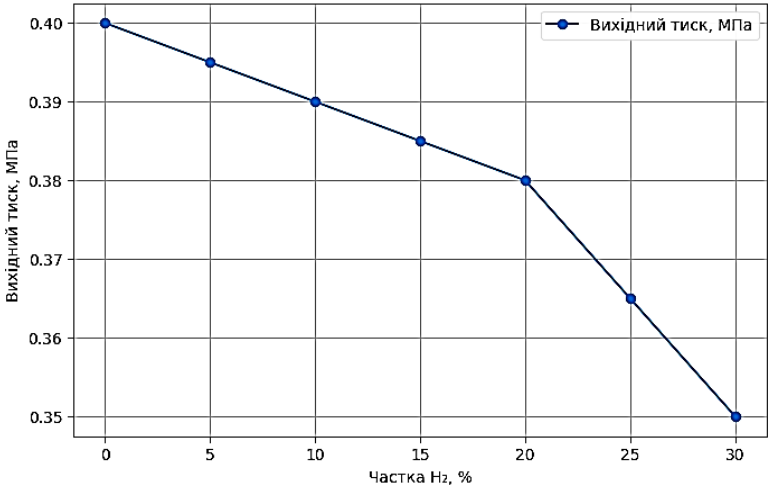


Рис. 1. Вплив частки H_2 на вихідний тиск у компресорі

На рис. 2 наведена залежність коефіцієнта корисної дії (ККД) від частки водню у суміші. Чим більше водню у потоці, тим нижчий ККД, що свідчить про

додаткові енергетичні втрати під час стиснення.

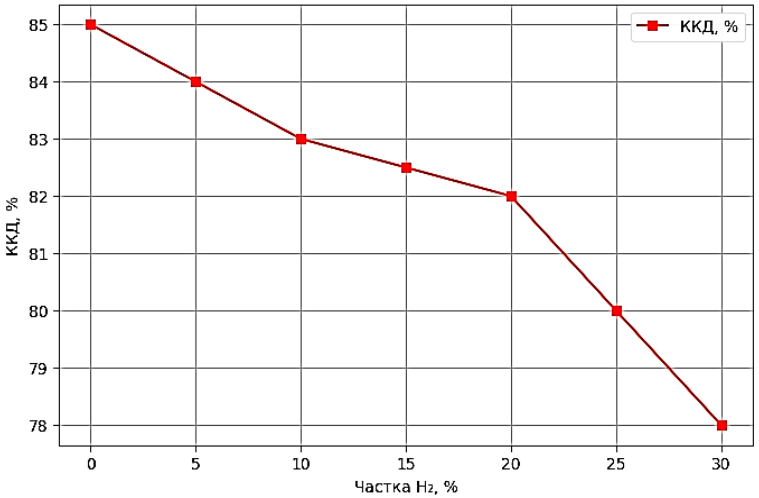


Рис. 2. Залежність ККД від частки водню у газотранспортній системі

На рис. 3 показано зміну витрати газу в компресорі залежно від частки водню. Спостерігається тенденція до зростання витрати, що вимагає додаткової оптимізації конструкції компресора для стабілізації потоку.

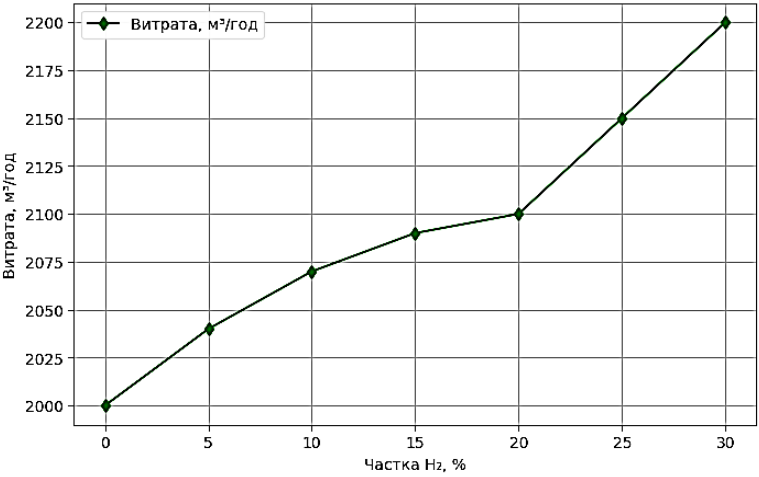


Рис. 3. Витрата газу в компресорі залежно від частки водню

Висновок

Збільшення концентрації водню призводить до зниження вихідного тиску компресора на 12,5 % у порівнянні з природним газом. Відзначено

зростання витрати газу через зниження щільності ГВС, що вимагає перегляду режимів роботи КС. ККД компресора зменшується із зростанням концентрації водню, що пов'язано з підвищенням турбулентності потоку.

CFD-аналіз підтвердив необхідність адаптації конструкції компресора для ефективного транспортування водню у ГТС. Отримані дані можуть бути використані для модифікації проточної частини компресорів, що дозволить компенсувати втрати ефективності при транспортуванні ГВС.

Список літератури

1. Нагнітачі природного газу: підручник / М.С. Кулик, К.І. Капітанчук, М.П. Андріїшин. – К.: НАУ, 2022. – 228 с. URL: https: //er.nau.edu.ua/handle/NAU/55906
2. Трубопровідний транспорт газу: підруч. / О.М. Сусак, В.К. Касперович, М.П. Андріїшин. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – 2013. – 345 с. URL: https:// er.nau.edu.ua/handle/NAU/41213
3. Дослідження впливу газо-водневої суміші на газотермодинамічні параметри роботи газоперекачувального агрегату компресорної станції / М.П. Андріїшин, К.І. Капітанчук, Н.М. Андріїшин // 29 Apr 2023 – Sciences & Technologie, 57 (1). Related articles. DOI: 10.18372/2310-5461.57.17447
4. Martinez, A., Lopez, S. Validation of the Hydraulic Turbine OpenFOAM Library for a High-Pressure Centrifugal Compressor. ASME Digital Collection – Pipeline Compressors, 2022. URL: https://www.researchgate.net/publication/380198209_VALIDATION_OF_THE_HYDRAULIC_TURBINE_OPENFOAM_LIBRARY_FOR_A_HIGH-PRESSURE_CENTRIFUGAL_COMPRESSOR
5. ENTSOG & GIE. Hydrogen Transport and Storage Q&A: Questions and Answers on Hydrogen Transport and Storage. GIE/ENTSOG, 2021. URL: https://www.gie.eu.
6. Grigoriev, D. Computational Analysis of Centrifugal Compressors for Hydrogen Blending. Sumy State University, 2023. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/97725/1/Grigoriev_master_thesis.pdf
7. Martinez, A., Lopez, S. Hydrogen blending in gas pipelines: The role of compressors. Chemical Engineering Science, 2020, Vol. 229, 115864. DOI: 10.1016/j.ces.2020.115864
8. Zhang, X., Wang, Y., Liu, Z. Optimization of hydrogen blending in natural gas pipelines. Springer Energy Systems, 2024. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s41403-024-00482-7
9. Визначення ефективності роботи газоперекачувального агрегату компресорної станції за даними її експлуатації / М.П. Андріїшин, К.І. Капітанчук, Н.М. Андріїшин // Наукоємні технології, №1 (49). – 2021. – С. 49–56. URL: https://er.nau. edu.ua/handle/NAU/50467
10. Menter, P. SST k-omega Model - CFD Online. Computational Fluid Dynamics Resource, 2021. URL: https://www.cfd-online.com/Wiki/SST_k-omega_model

УДК 006.91

С.В. Єгоров, к.т.н, доцент, Т.Ю. Шкварницька, к.т.н, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Метод еквівалентної заміни потужності з використання приладів урівноваження з еталонною мірою величини, що регулюється

Розглянуто метод еквівалентної заміни потужності змінної напруги потужністю постійної напруги з використанням перетворювачів теплової групи. Показано, що при рівності вихідних величин має місце рівність x і x_0, в тому числі і при нелінійній функції перетворення, якщо робоча точка характеристики не розташована на горизонтальній ділянці.

Як відомо, мірою ефективного значення змінної напруги є постійна напруга, що виділяє рівну потужність на однаковому навантаженні. Еквівалентність має місце в тому діапазоні частот, де відсутня частотна похибка. Метод еквівалентної заміни потужності змінної напруги потужністю постійної називається методом компарування. Як перетворювальні пристрої найбільшого поширення набули перетворювачі теплової групи [1-4].

Зазвичай під час компарування використовується метод різночасного порівняння, тобто використовується часовий поділ каналів. При часовому розділенні каналів у більшості випадків не відбувається виділення різниці вимірюваної та зразкової величин, а утворюється різниця вихідних величин перетворювача при дії x та x_0. При рівності вихідних величин має місце рівність x і x_0, в тому числі і при нелінійній функції перетворення, якщо робоча точка характеристики не розташована на горизонтальній ділянці. Останнє очевидно з розкладання функції перетворення на ряд Тейлора:

$$F(x) - F(x_0) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} \frac{\partial^n F(x_0)}{\partial x^n} (x - x_0)^n. \quad (1)$$

Справді, якщо хоча б одна похідна $\frac{\partial^n F(x_0)}{\partial x^n}$ при $n \epsilon (1, \infty)$ не дорівнює нулю в точці x_0, то у разі рівності значень функцій, тобто

$$F(x) - F(x_0) = 0 \quad (2)$$

має місце рівність $x = x_0$.

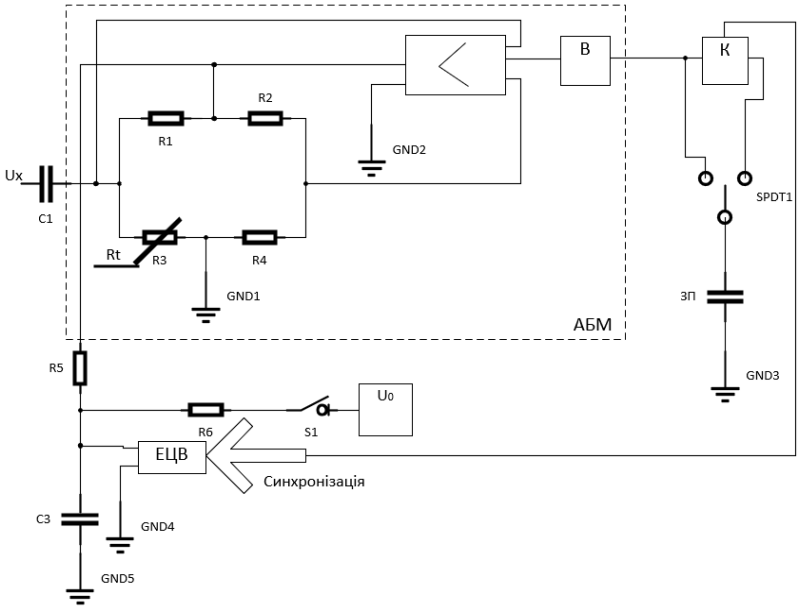
Для автоматизації процесу компарування використовується метод врівноваження з перетворенням, що розгортається, або періодичним порівнянням.

В автоматичних компараторних вольтметрах з термоперетворювачем конденсатор, підключений до входу кола зворотного зв'язку підсилювача постійного струму, заряджається до е.р.с. термоперетворювача, включеного в коло змінної напруги, яка підлягає вимірюванню.

Після цього нагрівач термоперетворювача за допомогою швидкодіючого реле перемикається до постійної напруги, значення якої змінюється таким чином, що в нагрівачі встановлюється струм відповідної е.р.с., що мала місце при змінному струмі. Тоді постійна напруга, прикладена до термоперетворювача, відповідає чинному значенню вимірюваної напруги і може бути виміряна цифровим вольтметром постійного струму.

Особливо ефективним виявилося застосування врівноважуючого перетворення з автоматичним компаруванням при вимірюванні НВЧ напруг і потужності у важких кліматичних умовах.

У приладі на рис. 1 в перший такт запам'ятовується рівень вихідної напруги автобалансного термісторного мосту, що відповідає значенню вимірюваної високочастотної напруги, під час другого такту вимірюється миттєве значення лінійно наростаючої напруги, що подається на вхід автобалансного моста, в момент рівності його вихідної та напруги, що була занесена в пам'ять раніше.



АБМ – автобалансний міст, $R(t)$ – термістор, К – компаратор, R6, C3, U_0 – генератор зростаючої напруги, ЕЦВ – електронний цифровий вольтметр, ЗП – запам’ятовуючий пристрій, В – випрямляч.

Рис.1. Структурна схема перетворювача НВЧ потужності

Під час докладного аналізу автокомпараторних цифрових вимірювачів діючого значення змінної напруги слід приділити особливу увагу питанням зниження комутаційної похибки, для чого потрібно розробити схему синхронізації частоти комутації схеми періодичного порівняння з частотою опорної напруги. Також є можливість розширення частотного діапазону підсилювача при зниженні вимог до довготривалої стабільності.

Вимірювання струму, що протікає через низькоомний опір, може проводитися за допомогою термістора послідовно. При цьому, якщо термістор

не має шунтуючої реактивності, відтворюване значення напруги визначається як

$$U_0 = \sqrt{\frac{P_T}{R_{T\omega}}} Z_H \quad (3)$$

де P_T - потужність, що поглинається термістором;
$R_{T\omega}$ – активна складова термісторного опору на НВЧ.

Однак, термістор не позбавлений реактивності, в результаті формула розрахунку методу з урахуванням реактивності опору навантаження Z_H буде виглядати наступним чином

$$U_0 = \sqrt{\frac{P_T}{R_{T0}}} [1 + \varphi(f)] \quad (4)$$

де R_{T0}– опір терморезистора при постійному струмі, а функція $\varphi(f)$ визначає частотні властивості як термістору, так і опору навантаження, тобто частотну характеристику вимірювальної головки терморезистора. Терморезисторний вимірювач струму, що описується має наступні переваги в порівнянні з термоперетворювачем: 1) завдяки низьким значенням реактивності і малим розмірам вимірювальна головка має більш широкий діапазон робочих частот; 2) використання мостових схем для вимірювань поглиненої потужності дає можливість зменшити похибку при відтворенні значень напруг; 3) Немає необхідності калібрувати терморезистор при вимірюванні.

Висновок

Прилади врівноваження з регульованою мірою еталонної величини і фазонечутливим до фази сигналу пристроєм порівняння мають частотний діапазон, який у верхній області частот визначається частотною характеристикою одноканального тракту, а в нижній допустимою частотою комутації. Назване обмеження перешкоджає побудові універсальних приладів цього типу, незважаючи на такі суттєві переваги, як різке зменшення адитивної та мультиплікативної похибок та відсутність вимог до лінійності перетворювача ефективних значень.

Список літератури

1. Thomas D. McGee Principles and methods of temperature measurement / Thomas D. McGee // Wiley, New York, 1988. – p.203.

2. Biomedical Sensors / edited by Joe Watson. – Momentum Press, LLC, 2010. – p.463.

3. Practical Temperature Measurements. Agilent Application Note. Agilent Semiconductor [electronic resource]. – access mode: https://web.archive.org/web/20090824054305/http:/cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7822E.pdf

4. Positive voltage regulators L7800 series. – access mode: https://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/889305.pdf

УДК 539.1.073

Є. П. Швалюк, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна,
ДП «КИЇВОБЛСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ», Україна)

Класифікація іонізаційних камер та особливості їх конструкції

Іонізаційна камера по своїй суті є повітряним або газовим електричним конденсатором, до електродів якого прикладена різниця потенціалів. При попаданні іонізуючих часток в простір між електродами там утворюються електрони та іони газу, які переміщаючись в електричному полі, створюють електричний струм, пропорційний до швидкості виникнення зарядів, і відповідно потужності дози опромінення.

Іонізаційні камери, що використовують у технічних засобах радіаційного контролю, можна класифікувати за такими ознаками: за характером іонізації; характером вихідного сигналу; конструктивним виконанням.

За характером іонізації камери можуть належати до одного з таких трьох типів:

1. Камери, іонізація в яких здійснюється частинками, що виникають виключно в робочому об'ємі камери, тобто в тому об'ємі газу, іонізація якого вимірюється.

2. Камери, іонізація в яких здійснюється як частинками, що виникають у робочому об'ємі під дією гамма-випромінювання, так і частинками, що проникають у робочий об'єм із шару навколишнього газу, товщиною не меншою, ніж довжина пробігу частинки.

Такі камери називаються камерами з вільним газом або нормальними іонізаційними камерами. Вони призначені для абсолютного вимірювання дози в рентгенах і використовуються в еталонних установках для відтворення одиниці рентгена.

3. Камери, іонізація в яких здійснюється частинками, що виникають у вимірювальному об'ємі, і частинками, що проникають у цей об'єм із навколишніх стінок.

Такі камери називаються порожнинними іонізаційними камерами. Вони широко застосовуються у військовій дозиметричній апаратурі для відносних вимірювань гамма-випромінювання. Крім того, вони можуть застосовуватися для вимірювання альфа-, бета-випромінювання та потоків нейтронів.

За характером вихідного сигналу камери можуть бути поділені на три групи: імпульсні, струмові та інтегральні.

1.Імпульсна іонізаційна камера призначена для реєстрації випромінювання за імпульсами струму, що виникають у ній під час проходження через неї окремих іонізуючих частинок.

2.Струмова іонізаційна камера призначена для реєстрації випромінювання за середнім струмом, що виникає в ній під впливом цього випромінювання.

3. Інтегральна іонізаційна камера, принцип якої полягає в тому, що заряд, накопичений протягом деякого інтервалу часу під дією іонізуючого випромінювання, призводить до зміни різниці потенціалів між електродами камери. У такому режимі працюють конденсаторні камери, що існують для вимірювання доз гамма-випромінювань.

Основне розходження між імпульсними камерами та камерами інших типів полягає в сталому часі розряду $\tau = R \cdot C$ того контуру, який складається з ємності камери і вхідної ємності вимірювального пристрою, а також опором ізоляції камери і вхідним опором вимірювального пристрою.

У струмових камерах опір ізоляції становить близько 10^{15} Ом, а якщо ємність камери становить близько $10^{-10} – 10^{-11}$ Ф, то стала часу ланцюга розряду досягає $\tau \geq 10^4$ с. Камери імпульсного типу ввімкнені звичайно на опір близько вимірювати кількість електрики, що збирається на електродах від кожної окремої частки. Але величина заряду дуже мала, тому й амплітуда імпульсів вимірюється в мікровольтах [1].

За конструкцією камери можуть бути циліндричними або плоскими.

Циліндричні іонізаційні камери складаються з зовнішнього циліндра (зі струмопровідного матеріалу) і стрижня, розташованого по його осі (рис. 1).

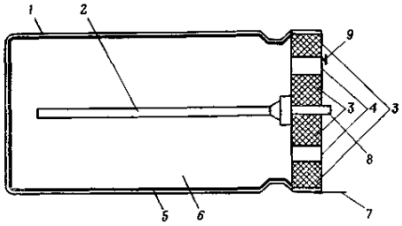


Рис. 1. Циліндрична іонізаційна камера:
– алюмінієвий циліндр – позитивний електрод;
– алюмінієвий стрижень – негативний електрод; *3* – ізолятори;
– охоронне кільце; *5* – аквадаг; *6* – повітря; *7* – вивід позитивного електрода;
– вивід негативного електрода; *9* – вивід охоронного кільця

Зовнішній циліндричний електрод *1* називається високопотенціальним. Він з'єднаний з позитивним полюсом джерела живлення. Внутрішній стрижень джерела живлення. Такий спосіб вмикання сприяє зниженню швидкості електронів під час їх руху до зовнішнього електрода через те, що у зовнішнього електрода напруженість поля менша, ніж у збирального електрода.

Унаслідок малих швидкостей електронів виникнення ударної іонізації буде відбуватися за великих напруг, тобто таким способом ввімкнення поширюється область насичення вольт-амперної характеристики камери та її можна використовувати для реєстрації більш інтенсивних потоків випромінювання. Для попередження ураження обслуговуючого персоналу

електричним струмом камера іноді закривається алюмінієвим захисним кожухом, з'єднаним із корпусом (землею).

Високовольтний електрод і збиральний електрод, розділяються високоякісним ізолятором *3*. Як ізолятор часто застосовуються фторопласт, поліетилен, полістирол, янтар, кварц. Основна вимога до ізолятора – високий опір ізоляції по поверхні. Цій вимозі найбільше задовольняють фторопласт, кварц. Янтар має високі ізоляційні властивості, однак його поверхня має бути ретельно відполірована. Крім того, він дуже крихкий, не витримує підвищених температур і оброблення деякими розчинниками (наприклад, спиртом). За підвищених температур може бути використаний кварц. У вологій атмосфері та за підвищених температур особливо придатний фторопласт.

Плоскі іонізаційні камери, як правило, виконуються у вигляді прямокутної коробки. Іноді електродами є дві протилежні поверхні коробки, а в більшості випадків як збиральний електрод усередину камери вводять пластину (рис. 2.).

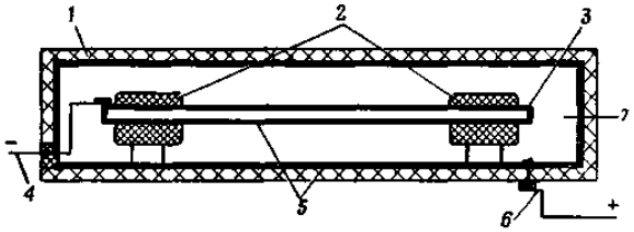


Рис. 2. Плоска іонізаційна камера:
– пластмасова коробка, що вкрита зсередини аквадагом, – позитивний електрод; *2* – порцелянові ізолятори для кріплення внутрішнього електрода; – пластмасова пластина, що вкрита з усіх боків аквадагом, – негативний електрод; *4* – вивід негативного електрода; *5* – аквадаг графітний – струмопровідний шар; 6 – вивід зовнішнього електрода; 7 – повітря

У центрі цієї коробки на двох ізоляторах закріплена пластина, також виготовлена з повітроеквівалентної пластмаси та покрита з усіх боків аквадагом. Аквадаг проводить електричний струм. Покрита їм пластмасова коробка стає струмопровідною та може бути зовнішнім електродом камери, а пластина – внутрішнім. Від електродів камери зроблені електричні виводи назовні для під'єднання її до схеми. Газовим середовищем камери є повітря за нормального тиску [2].

Як правило коробка та пластина виготовляються з алюмінію або повітроеквівалентної пластмаси. В останньому випадку внутрішня поверхня пластини покривається струмопровідним шаром аквадаги – суміші графітового порошку з речовинами, що мають здатність склеювати. Внутрішня поверхня коробки є високопотенціальним електродом, а пластина – збиральним.

Вимоги до ізоляторів плоскої камери висуваються такі ж, як і до ізоляторів циліндричної камери. Плоскі камери також обладнані охоронним кільцем.

Іонізаційні камери дозволяють вимірювати не тільки альфа-, бета- або гамма-випромінювання, але й нейтронне випромінювання, що досить важко, так як нейтрони не несуть заряду і їх проходження через газовий об'єм камери не приводить до іонізації газу, яку можна було б виміряти.

Висновки

В роботі докладно показано, які іонізаційні камери за характером іонізації, характером вихідного сигналу та конструктивним виконанням використовуються у технічних засобах радіаційного контролю.

Отже, підсумовуючи результати дослідження, зазначимо, що розвиток промисловості, атомної енергетики та широке використання ядерних технологій у різних галузях народного господарства привели до необхідності створення різних за своєю конструкцією іонізаційних камер та типів їх виконання.

Список літератури

Чернявський І.Ю., Марущенко В.В., Мартинюк І.М. Військова дозиметрія: навч. посіб. – Х.: ФВП НТУ «ХПІ», 2011. – 528 с.

Беденко Л. Б., Григорєв О. М., Каракуркчі Д. А., Мальований С.В., Чернявський І. Ю. Основи вимірювання іонізуючих випромінювань: Навчальний посібник. – Харків: ХІТВ, 2007.

УДК 621.3

Ю.Г. Ведміцький, к.т.н., доцент, М.В. Климишен,
А.В. Комар, І.О. Іващенко, О.О. Маліновський
(Вінницький національний технічний університет, Україна)

Побудова хвильового рівняння двопровідної довгої лінії в канонічній формі

В роботі проведено математичну ідентифікацію фізичних процесів, що спостерігаються в двопровідній довгій лінії. На основі рівнянь Хевісайда (телеграфних рівнянь) отримано одновимірне хвильове рівняння в канонічній формі. Результати роботи доповнюють вихідний базис теорії довгої лінії.

Наявна робота уточнює окремі положення *теорії довгої лінії*, яка є важливою складовою теоретичних основ електротехніки. Необхідність таких уточнень обумовлена багатьма чинниками. Найістотнішими з них для авторів стала потреба в пошуку довершеної форми математичного узагальнення щодо опису фізичних процесів, які спостерігаються або можуть спостерігатися в *двопровідній довгій лінії* – одновимірній електромагнітній системі з розподіленими параметрами – під час транспортування нею електричної енергії або передачі по ній інформації у формі електричних сигналів. Зазначене і є *метою* цієї роботи.

Отже, розглянемо двопровідну довгу лінію як однорідну стаціонарну динамічну електричну систему з розподіленими параметрами – лінійну, однак непараметричну. Як відомо [1-6], фізичні процеси в такому електричному колі описуються надзвичайно красивою і симетричною системою лінійних диференціальних рівнянь в частинних похідних *О. Хевісайда*, названих в теоретичній електротехніці "*телеграфними рівняннями*":

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial u}{\partial x} = R_0 i + L_0 \dfrac{\partial i}{\partial t}; \\ -\dfrac{\partial i}{\partial x} = G_0 u + C_0 \dfrac{\partial u}{\partial t}, \end{cases} \tag{1}$$

де R_0, L_0, G_0, C_0 – первинні параметри довгої лінії, які характеризують її електромагнітні властивості. За умовою однорідності і стаціонарності системи ці параметри не є функціями ані одновимірної просторової координати x, ані часу t.

Самі ж рівняння, що входять до системи (1), складено відносно миттєвих напруги і струму. Останні є функціями водночас двох незалежних змінних –

$$u = u(x, t), \;\; i = i(x, t).$$

В обидвох рівняннях системи (1), продиференціювавши їх ліві та праві частини, проведемо окремі математичні перетворення.

Зазначимо, що операцію диференціювання відносно першого рівняння здійснимо по незалежній змінній *x*. Ліву і праву частини другого ж рівняння системи (1) продиференціюємо по іншій незалежній змінній – часові *t*.

Внаслідок таких дій отримуємо систему

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial^2 u}{\partial x^2} = R_0 \dfrac{\partial i}{\partial x} + L_0 \dfrac{\partial^2 i}{\partial t\, \partial x}; \\ -\dfrac{\partial^2 i}{\partial x\, \partial t} = G_0 \dfrac{\partial u}{\partial t} + C_0 \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2}. \end{cases} \tag{2}$$

Скористаємося другим рівнянням вихідної системи (1) зі значенням першої частинної похідної $\dfrac{\partial i}{\partial x}$ та другим рівнянням системи (2) з другою змішаною частинною похідною $\dfrac{\partial^2 i}{\partial x\, \partial t}$, підставимо їх в перше рівняння системи (2).

В результаті математичних перетворень отримуємо диференціальне рівняння в частинних похідних, яке сформовано відносно миттєвої напруги:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - L_0 C_0 \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \left(G_0 L_0 + R_0 C_0\right) \frac{\partial u}{\partial t} - R_0 G_0\, u = 0. \tag{3}$$

Внаслідок притаманної системі (1) математичної *симетрії* диференціальне рівняння, складене відносно миттєвого струму $i = i\left(x, t\right)$, матиме подібну ж до рівняння (3) структуру:

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} - L_0 C_0 \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} - \left(G_0 L_0 + R_0 C_0\right) \frac{\partial i}{\partial t} - R_0 G_0\, i = 0, \tag{4}$$

в чому неважко переконатися, якщо провести схожі математичні перетворення в системі (1), але вже по відношенню до миттєвого струму.

Отримані рівняння (3) та (4) є одновимірними лінійними диференціальними рівняннями в частинних похідних 2-го порядку з двома незалежними змінними і належать до класу *рівнянь математичної фізики*.

Запишемо їх структуру узагальнено в канонічній формі. Наприклад, в термінах миттєвої напруги таке диференціальне рівняння матиме вигляд

$$A\left(x, t\right) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2B\left(x, t\right) \frac{\partial^2 u}{\partial x\, \partial t} + C\left(x, t\right) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + F\left(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial t}\right) = 0, \tag{5}$$

де за математичною ідентифікацією співвідношень (3) та (4) коефіцієнти $A\left(x, t\right)$, $B\left(x, t\right)$ та $C\left(x, t\right)$ не залежать ні від просторової координати x (однорідність), ні від часу t (стаціонарність), позаяк досліджувана нами довга лінія за умовою задачі якраз і є саме такою: і однорідною динамічною системою, і стаціонарною.

Отже, як випливає із рівнянь (3-5), для довгої лінії значення коефіцієнтів $A = 1,\ B = 0$, а

$$C = -L_0 C_0. \tag{6}$$

Що ж до функції $F\left(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial t}\right)$, то

$$F\left(x, t, u, \frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial u}{\partial t}\right) = -\left(G_0 L_0 + R_0 C_0\right)\frac{\partial u}{\partial t} - R_0 G_0 u.$$

Отримані диференціальні рівняння в частинних похідних (3) і (4) називаються одновимірними *хвильовими рівняннями* довгої лінії і, оскільки їх параметр відповідно до (6)

$$D = B^2 - AC = L_0 C_0 > 0,$$

такі рівняння належать до класу диференціальних рівнянь *гіперболічного типу*.

Нагадаємо, що гіперболічні диференціальні рівняння описують в динамічній системі з розподіленими параметрами *коливальні* (*хвильові*) фізичні процеси, в нашому випадку – *електромагнітної природи*.

Висновок

В роботі проведено математичну ідентифікацію фізичних процесів, які спостерігаються в одновимірній однорідній стаціонарній динамічній системі з розподіленими параметрами на прикладі двопровідної довгої лінії, для якої на основі рівнянь Хевісайда (телеграфних рівнянь) отримано одновимірні хвильові рівняння відносно миттєвих напруги та струму. Результати дослідження доповнюють вихідний теоретичний базис довгої лінії

Список літератури

1. Теоретичні основи електротехніки: підручник / В. С. Бойко, В. В. Бойко. – К.: ІВЦ “Політехніка”, 2004. – 272 с.
2. Математичні методи ідентифікації динамічних систем / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 263 с.
3. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола: підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив, за ред. проф. Ю. О. Карпова. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 456 с.
4. Теорія автоматичного керування : підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 2007. – 657 с.
5. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 392 с.
6. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підручник / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацив, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький ; під ред. проф. Ю. О. Карпова – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 377 с.

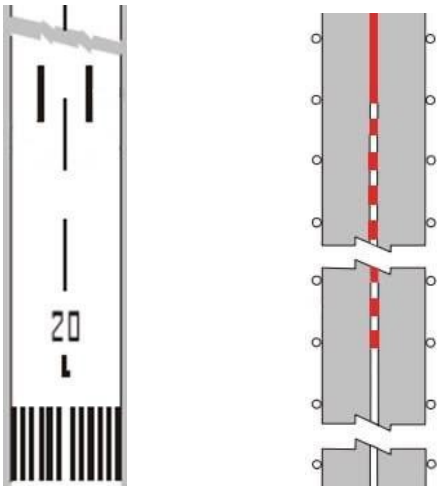
УДК 656.71.057

С.С. Дев'яткіна, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аеродромні світлосигнальні засоби забезпечення зльоту повітряних суден в умовах низької видимості

Запропоновано результати аналізу протиріччя, яке міститься у вимогах Стандартів та Рекомендованої практики ІСАО щодо обов'язкової наявності осьових вогнів злітно-посадкової смуги в якості візуального засобу для забезпечення пілота повітряного судна необхідною інформацією під час зльоту в умовах низької видимості.

Зліт повітряного судна (ПС) особливо в умовах низької видимості (low visibility take off – LVTO) виконується пілотом з використанням наземних візуальних засобів, що забезпечують йому необхідний візуальний контакт з наземними орієнтирами, допомагаючи зберігати траєкторію під час розбігу в межах злітно-посадкової смуги (ЗПС). Такими візуальними засобами для орієнтування пілота ПС вдень є маркування ЗПС – її осьової лінії та бічних меж. Головним орієнтиром для пілота вночі є заглиблені вогні осьової лінії та бічні вогні ЗПС. Приклади маркування порогу ЗПС, осьової лінії та бічних меж ЗПС наведено на рис. 1а, а приклад оснащення світлосигнальними вогнями осьової лінії та бічних меж ЗПС на рис. 1б.



а б

Рис. 1. а. Приклад маркування порогу ЗПС, осьової лінії та бічних меж ЗПС та б. Оснащення ЗПС світлосигнальними вогнями осьової лінії та бічних меж.

Візуальні засоби, а саме маркування, забезпечують пілоту ПС, який виконує зліт, необхідний візуальний контакт с наземними орієнтирами, і домагають тримати в полі зору осьову лінію та периметр ЗПС під час розбігу до моменту відриву ПС від землі.

Світлосигнальні засоби – аеродромні вогні осьової лінії та бічних меж ЗПС додатково забезпечують пілота ПС кодованою кольоровою інформацією відносно відстані, що залишилася до кінця ЗПС, яка особливо важлива під час перерваного зльоту, що є особливо важливим в сутінки, вночі або в складних метеорологічних умовах. Як видно з рис.1 б, осьові вогні ЗПС це вогні білого кольору, на ділянці 900-300 м до кінця ЗПС мають чергування білого та червоного вогню, а на останніх 300 м до кінця ЗПС мають бути встановлені вогні червоного кольору. Це кольорове маркування надає пілоту ПС важливу інформацію про відстань, яка залишається до кінця ЗПС під час пробігу після посадки в умовах експлуатаційного мінімуму II та III категорії та під час зльоту в сутінках чи складних метеорологічних умовах, коли маркування може бути недостатньо для створення повноцінної візуальної картини.

Склад і конфігурація візуальних засобів, якими оснащуються ЗПС регламентуються Стандартами та Рекомендованою практикою ІСАО [1, 2]. Порівняльний аналіз вимог двох вищевказаних документів в частині наземних візуальних засобів, необхідних для виконання зльоту ПС в умовах низької видимості, продемонстрував наявність ряду протиріч. Особливо це стосується продовженого та перерваного зльоту.

Вимоги Стандарту ІСАО, [1], п. 5.3.12.3 передбачає обов'язкове використання осьових вогнів на ЗПС, що призначена для зльоту при значенні дальності видимості на ЗПС менше ніж 400 м.

Більш того, той же документ ІСАО, [1], п. 5.3.12.4 рекомендує використання осьових вогнів ЗПС на ЗПС, призначеної для зльоту при експлуатаційному мінімумі с дальністю видимості на ЗПС порядку 400 м або більше, коли ЗПС використовується літаками з дуже високою злітною швидкістю, особливо, якщо ширина між рядами бічних вогнів ЗПС перевищує 50 м.

В той самий час, документ ІСАО, [2], п. 6.3.2, таблиця 6.1 дозволяє виконувати зліт в умовах дальності видимості на ЗПС (runway visual range – RVR) до 300 м при наявності бічних вогнів ЗПС и маркування осьової лінії ЗПС, тобто, фактично, за відсутністю осьових вогнів ЗПС.

Таким чином, фактично, у вимогах стандартів ІСАО міститься протиріччя: один документ наголошує на обов'язковому використанні осьових вогнів ЗПС при зльоті в умовах RVR менше 400 м, в той самий час, як інший документ дозволяє виконання зльоту за наявності тільки маркування при RVR, що дорівнює 300 м.

Даний факт означає, що на нормативному рівні закладається явний небезпечний фактор, який по суті є фактором ризику щодо безпеки польотів при виконанні зльоту в умовах дальності видимості на ЗПС (RVR) від 400 до 300 м. Вказана ситуація є небезпечною, адже неоднозначність вимог нормативно-технічних документів створює поле для зростання рівня ризику щодо безпеки польотів в умовах зльоту при низькій видимості (LVTO) ПС що пояснюється наступними міркуваннями.

1. Маркування осьової лінії ЗПС може бути недостатньо помітно внаслідок його зношення та/або забруднення, зменшення його контрасту при наявності снігового покрову тощо.

2. Використання посадкових фар ПС для створення додаткової освітленості ділянки земної поверхні попереду ПС під час його зльоту не завжди є прийнятним варіантом, особливо якщо зліт виконується в умовах приземного туману, який досить часто є причиною умов LVTO.

3. Найвагомішим аргументом на користь необхідності застосування вимоги про використання осьових вогнів ЗПС в умовах LVTO є той факт, що маркування осьової лінії ЗПС не забезпечує пілота інформацією про відстань, що залишається до кінця ЗПС. Ця додаткова інформація кольорового кодування є вкрай важливою для ситуаційної обізнаності пілота про місце його знаходження в межах ЗПС як при зменшенні швидкості під часу пробігу після приземлення, так і при зльоті.

4. Особливо слід наголосити на важливості отриманні чіткої та достовірної візуальної інформації в умовах продовженого зльоту, коли певні відмови систем ПС вимагають більш тривалого розбігу з відривом на останні третині ЗПС, або в умовах перерваного зльоту, коли основна задача пілота – зупинити ПС в межах ЗПС або, принаймні, в межах кінцевої зони безпеки.

Також, слід зауважити, що осьові вогні ЗПС є вкрай важливими для визначення і оцінки дальності видимості на ЗПС в перехідній зоні де значення RVR знаходиться в діапазоні від 550 м до 200 м, і де орієнтування пілота змінюється з осьових вогнів ЗПС на бічні вогні ЗПС і навпаки [3].

Висновки

1. З усього вищевказаного очевидно, що забезпечення пілота візуальною інформацією про осьову лінію ЗПС при використанні осьових вогнів під час зльоту в умовах низької видимості є необхідним і більш надійним засобом ніж тільки маркування осьової лінії.

2. Існування протиріччя в Стандартах ICAO про можливість невикористання осьових вогнів ЗПС в умовах зльоту в LVTO створює явний ризик щодо безпеки польотів під час зльоту, який легко можна усунути, гармонізувавши вимоги двох нормативних документів.

3. Використання світлосигнальних засобів, а саме вогнів осьової лінії ЗПС під час зльоту в умовах LVTO при значенні RVR менше ніж 400 м, вирішить вищеописане протиріччя та сприятиме підвищенню рівня безпеки польотів на етапі зльоту.

Список літератури

1. Annex 14 to the Convention of International Civil Aviation. Aerodromes. Volume I. Aerodrome Design and Operations. ICAO International Standards and Recommended Practices, 9th edition, 2022, ISBN 978-92-9265-735-2.

2. Doc 9365. Manual of All-Weather Operations. ICAO International Standards and Recommended Practices, 4th edition, 2017. ISBN 978-92-9258-235-7

3. Doc 9328. Manual of Runway Visual Range Observing and Reporting Practices. ICAO International Standards and Recommended Practices, 3rd edition, 2005.

УДК 621.372.542(045)

Т.Ю. Шкварницька, к.т.н., доц., Т.І. Яреміч ст. викладач, А.А. Афанасьєв
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості розсіювання імпульсного сигналу лінійним відбивачем

В роботі визначається відбитий сигнал в точці прийому, суміщеній з точкою випромінювання, від лінійного відбивача (рис. 1) за умови, що падаюча хвиля є сферичною, відстань до відбивача r набагато більша за довжину відбивача L.

Введемо позначення: P_0 - тиск у хвилі, що падає, P_1 - тиск у відбитій хвилі; Δr - відстань між сусідніми елементарними відбивачами; m - номер елементарного відбивача; n - номер спектральної складової розкладання падаючого сигналу f(t) до ряду Фур'є. На відстані r від випромінювача спектральна щільність падаючої хвилі:

$$P_0(\omega) = \frac{B(\omega)}{r} e^{-jkr} = \frac{B(\omega)}{r} e^{-j\omega\frac{r}{c}}, \qquad (1)$$

де B(ω) – спектральна щільність зондуючого сигналу; с –швидкість поширення хвилі у середовищі. Нехай відзеркалена хвиля в точці прийому від пер - шого m = 1 та останнього m = M елементарного відбивачів:

$$P_{11}(\omega) = \frac{B(\omega)}{r^2} e^{-j2kr} \Delta\rho; \qquad (2)$$

$$P_{1\text{м}}(\omega) = \frac{B(\omega)}{[r + (\text{M} - 1)\Delta r]^2} e^{-j2k[r+(M-1)\Delta r]^2} \Delta\rho, \qquad (3)$$

де $\Delta\rho$ – нормуючий множник.

Результуюча відзеркалена хвиля в точці 0:

$$P_1(\omega) = \sum_{m=1}^{M} \frac{B(\omega)}{[r + (\text{M} - 1)\Delta r]^2} e^{-j2k[r+(\text{M}-1)\Delta 1]} \Delta\rho\,. \qquad (4)$$

Для випадку, коли довжина відбивача $L = \Delta r\,(M - 1) << r$, можна (4) представити у вигляді

$$P_1(\omega) = \frac{B(\omega)}{r^2} \sum_{m=1}^{\text{M}} e^{-j2k[r+(M-1)\Delta 1]}\, \Delta\rho. \qquad (5)$$

Припустимо $M \to \infty$ при $\Delta r \to 0$ так, що $(M - 1)\Delta r = L$. При цьому $\Delta\rho \to d\rho$. Тоді:

$$P_1(\omega) = \frac{B(\omega)}{r^2} e^{-j2kr} \int_0^L e^{-j2kp}\, d\rho = \frac{B(\omega)}{r^2} e^{-j2kr} \cdot L \cdot \beta(kL), \qquad (6)$$

де

$$\beta(kL) = \frac{e^{-j2kL} - 1}{-j2kL} = e^{-j2kL} \frac{sinkL}{kL}. \qquad (7)$$

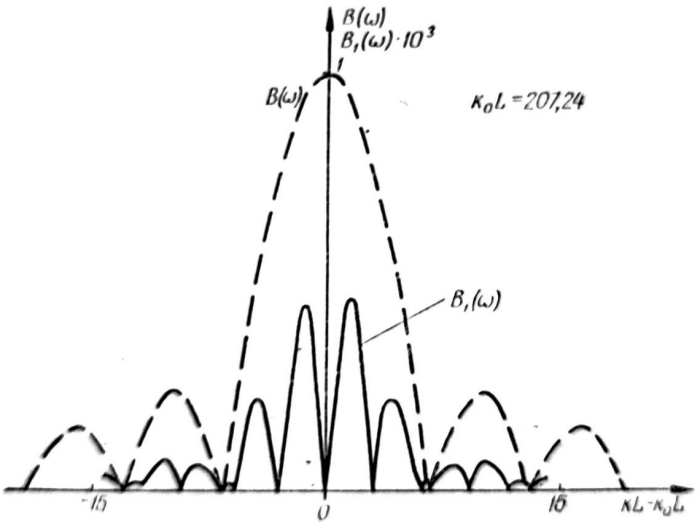


Рис. 1.

Згідно (6) відлуння – сигнал в точці 0:

$$P_1\left(t + \frac{2r}{C}\right) = \frac{L}{2\pi r^2} \int_{-\infty}^{\infty} B_1(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \qquad (8)$$

де

$$B_1(\omega) = B(\omega) \cdot \beta(kL). \qquad (9)$$

Формула (9) отримана в припущенні, що коефіцієнт відбиття кожного елементарного відбивача не залежить від частоти У випадку, якщо ця умова не виконується,

$$B_1(\omega) = B(\omega) \cdot \beta(kL) \cdot \psi(\omega), \qquad (10)$$

де ψ(ω) - функція, що враховує частотну залежність коефіцієнта відображення кожного елементарного відбивача.

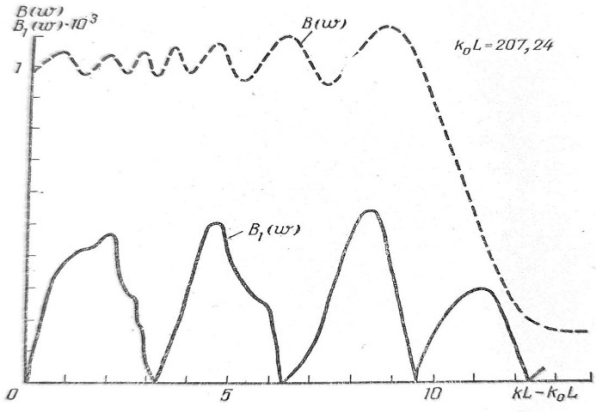


Рис. 2.

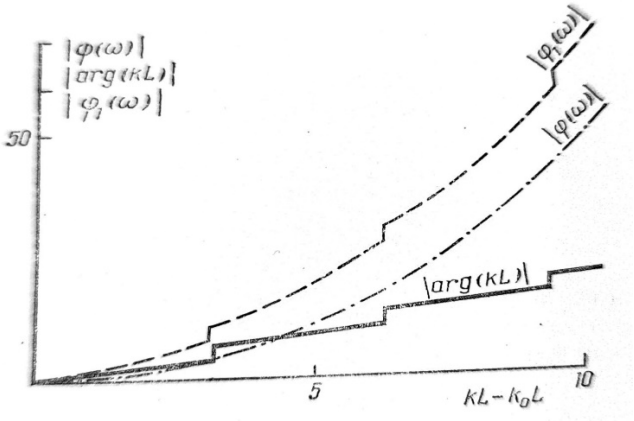


Рис. 3.

Розглянемо відображення імпульсного сигналу з монохроматичним заповненням тривалістю Т. З урахуванням (10) спектр відбитого сигналу

$$B_1(\omega) = B(\omega) \cdot \beta(kL) = \frac{sin\frac{\omega - \omega_0}{2}T}{\frac{\omega - \omega_0}{2}T} \cdot \frac{sinkL}{kL} \cdot e^{-jkL}. \qquad (11)$$

На рис. 1 наведені значення | $B(\omega)$| та |$B_1(\omega)$| для L = 0,165 *м*; $T = 10^{-4}$ *сек*; $f_0 = 3 \cdot 10^5$ *Гц.*

Результати обчислень |$B_1(\omega)$| у випдаку складного ЛЧМ-сигналу:

$$P_0(t) = e^{j\left[\omega_0 t + \frac{\omega t^2}{2}\right]} \text{ при } -\frac{T}{2} \le t \le \frac{T}{2} \qquad (12)$$

представлені на рис. 2 при L = 0,165 *м*; $T = 2 \cdot 10^{-3}$ *сек*; $\omega_д = 3\pi \cdot 10^4$ *гц.*

Фазова харатеристика відбитого ЛЧМ-сигналу показана на рис. 3, де φ (ω) – фазова характеристика зондуючого сигналу *arg* $\beta(kL)$ – фазова характеристика відбивача, φ (ω) – фазова характеристика відбитого сигналу.

Список літератури

1. Newton, R. G. (2002). Scattering Theory of Waves and Particles (2nd ed.). Dover Publications.
2. Skolnik, M. I. (2008). Radar Handbook (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
3. Галаган, Р. М. (2012). Фізичні основи ультразвукового контролю: підручник. НТУУ «КПІ».
4. Harvey, J. E. (2019). Understanding surface scatter: A linear systems formulation. ResearchGate.
5. Бурляй, І. В., Орел, Б. Б., Джулай, О. М. (2007). Системи радіозв'язку та їх застосування. Київ: ОРС.

УДК 629.7.054

С.В. Єгоров, к.т.н., Т.Ю. Шкварницька, к.т.н., В.А. Копитов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Захист систем електропостачання аеропорту напругою 10 кВ за допомогою високовольтних запобіжників

У тезах розглянуто застосування високовольтних запобіжників у системах електропостачання аеропорту напругою 10 кВ. Наведено обґрунтування їх доцільності, принцип роботи, переваги використання та умови ефективного застосування для забезпечення надійного та селективного захисту.

Однією з важливих складових забезпечення безпеки функціонування авіаційної інфраструктури є стабільне та надійне електропостачання. Аеропорт як об'єкт критичної інфраструктури вимагає особливої уваги до питань резервування, селективності та ефективного захисту електрообладнання від аварійних режимів. На рівні середньої напруги, зокрема 10 кВ, захист систем електропостачання набуває особливої актуальності через високу відповідальність перед споживачами.

В умовах експлуатації енергетичного господарства аеропорту важливо враховувати, що система живлення обслуговує не лише термінальні комплекси, але й елементи аеродромного обладнання — світлосигнальні системи, радіонавігаційне та метеорологічне устаткування. Збої в подачі електроенергії на будь-якому з цих етапів можуть мати серйозні наслідки. Тому ефективний захист у мережах 10 кВ є основою надійної та безперебійної роботи всієї інфраструктури.

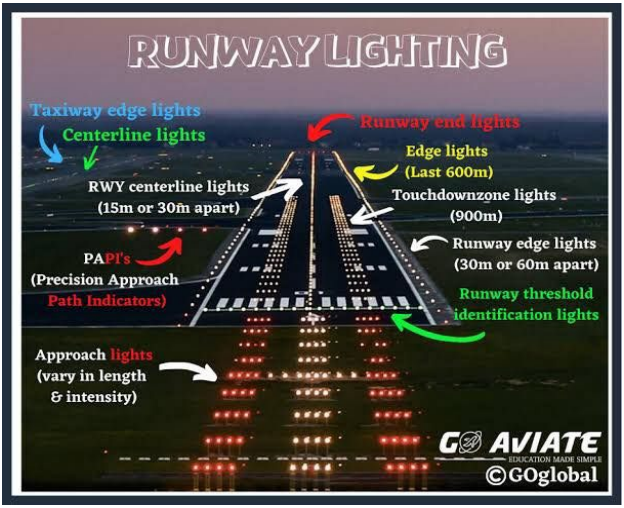


Рис. 1. Світлосигнальна система аеродрому

Захист від коротких замикань і перевантажень у системах середньої напруги традиційно здійснюється за допомогою автоматичних вимикачів і релейного захисту. Проте в багатьох випадках доцільно застосовувати високовольтні запобіжники як окремий або додатковий елемент захисту. Їх використання дозволяє забезпечити локалізацію аварії, обмеження зони вимкнення, швидкодію та економічну ефективність.

Основний принцип роботи високовольтного запобіжника полягає в тому, що при перевищенні допустимого струму відбувається розплавлення провідника всередині запобіжника та гасіння електричної дуги. Таким чином, запобіжник розриває електричне коло, не допускаючи подальшого розвитку аварійного процесу. Після цього достатньо замінити пошкоджену вставку для відновлення роботи мережі.



Рис. 2. Високовольтний запобіжник 10 кВ

У системах живлення аеропорту високовольтні запобіжники доцільно застосовувати для захисту трансформаторів, які знижують напругу з 10 кВ до 0,4 кВ. Вони також ефективні на вводах кабельних ліній до розподільчих щитів. Перевагою таких запобіжників є простота конструкції, надійність спрацювання, відсутність необхідності в зовнішньому живленні чи логіці управління, а також відсутність рухомих частин.

Особливо важливо підкреслити, що в умовах аеропорту будь-яке аварійне вимкнення повинно бути селективним, тобто обмеженим лише пошкодженою ділянкою. Високовольтні запобіжники забезпечують саме таку властивість, дозволяючи іншим частинам мережі продовжувати нормальну роботу. Це суттєво знижує ризик повного знеструмлення і дозволяє уникнути зупинки критичних систем.

Окремої уваги потребує питання погодженості роботи запобіжників з іншими елементами захисту. При правильному виборі характеристик плавких вставок можна досягти узгодженого спрацювання, коли запобіжник вимикає аварію раніше, ніж основні комутаційні пристрої. Такий підхід дозволяє уникнути непотрібного вимкнення всіх споживачів секції або підстанції.

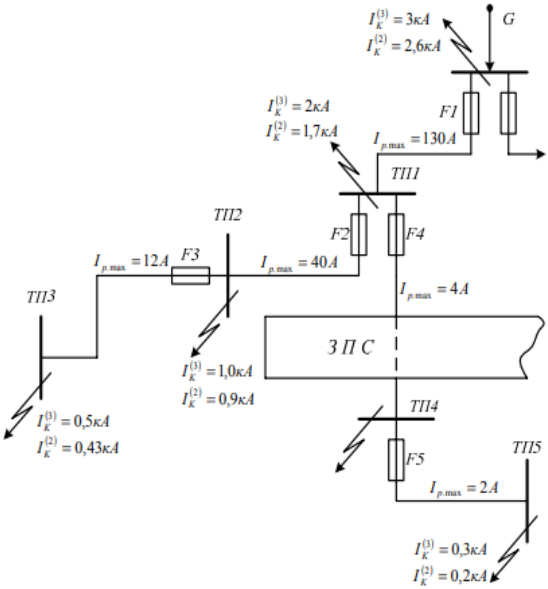


Рис. 3. Схема радіальної мережі з елементами захисту

Також важливо враховувати умови навколишнього середовища. Аеропорти часто розташовані у відкритих, незахищених місцевостях, де електрообладнання піддається впливу вологи, пилу, перепадів температури. У зв'язку з цим високовольтні запобіжники повинні відповідати вимогам герметичності, стійкості до УФ-випромінювання та корозії, що особливо актуально для відкритих розподільчих пристроїв.

Додатково, при проектуванні систем захисту аеропортів важливо враховувати можливі сценарії відмов та типові місця виникнення коротких замикань. У таких системах найбільш вразливими є кабельні лінії, трансформатори та силове обладнання, що працює в умовах значних коливань навантаження. Саме в цих зонах найбільш доцільним є застосування високовольтних запобіжників, які не лише запобігають розвитку аварії, а й зменшують механічні та термічні пошкодження обладнання.

Окрім захисту від коротких замикань, запобіжники також здатні реагувати на надструми, викликані несподіваними перевантаженнями. Наприклад, у разі запуску потужного обладнання або аварійного вмикання резервних систем, в мережі можуть виникати значні пускові струми. Запобіжник, підібраний із врахуванням таких явищ, дозволяє не реагувати на короткочасні перенавантаження, зберігаючи при цьому здатність миттєво вимикати дійсно аварійні струми.

Ще одним вагомим чинником на користь застосування запобіжників є простота їх монтажу та обслуговування. У порівнянні з автоматичними вимикачами, які потребують складної наладки, зовнішнього живлення, періодичних перевірок і калібрування, запобіжники фактично не потребують технічного обслуговування протягом усього терміну експлуатації. Це важливо в умовах цілодобової роботи аеропорту, коли будь-яке втручання в систему електропостачання має бути мінімальним за часом і наслідками.

З економічної точки зору використання запобіжників також є виправданим. Їх вартість значно нижча, ніж у складних систем релейного захисту або комутаційної апаратури. У випадку спрацювання заміна плавкої вставки займає мінімум часу і не вимагає спеціалізованого персоналу чи обладнання. Це забезпечує значне скорочення витрат як на капітальні вкладення, так і на обслуговування.

Слід також зазначити, що високовольтні запобіжники можуть бути частиною комбінованих систем захисту. Наприклад, вони можуть працювати разом із вакуумними вимикачами або автоматами, беручи на себе функцію швидкого відсікання надструмів, тоді як решта системи реалізовує повний аналіз аварії через релейну логіку. Такий підхід дозволяє створити гнучку, багаторівневу систему захисту, яка відповідає усім вимогам сучасних норм.

Ще одним аспектом, який варто розглянути, є відповідність сучасним нормативним документам, як українським, так і міжнародним (IEC, IEEE). Використання сертифікованих високовольтних запобіжників дозволяє адаптувати енергосистему аеропорту до міжнародних стандартів, що є особливо актуальним при обслуговуванні міжнародних рейсів та впровадженні нових технологій.

Таким чином, високовольтні запобіжники є не лише технічним елементом захисту, а й важливим компонентом стратегічної надійності системи електропостачання, що забезпечує безперервну роботу об’єктів критичної інфраструктури.

Висновок

Високовольтні запобіжники відіграють ключову роль у забезпеченні надійності, безпеки та безперервності електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, таких як аеропорти. В умовах підвищених вимог до стабільності функціонування систем освітлення злітно-посадкових смуг, навігаційного та радіолокаційного обладнання, навіть короткочасне знеструмлення може призвести до порушень у графіку польотів або створити загрозу безпеці польотів. Саме тому вибір засобів захисту електрообладнання має базуватись не лише на технічних характеристиках, але й на критичності об'єкта до можливих збоїв.

Застосування високовольтних запобіжників у мережах напругою 10 кВ дозволяє реалізувати просту, ефективну та швидкодіючу схему аварійного відключення пошкоджених ділянок. Їхня компактність, відсутність потреби в електроживленні, швидке спрацювання та здатність до селективного захисту роблять ці пристрої незамінними в умовах експлуатації складних інфраструктурних систем.

Також важливо відзначити, що використання запобіжників значно спрощує обслуговування систем електропостачання, що особливо цінно в умовах

обмеженого доступу або необхідності цілодобової експлуатації. Швидка заміна пошкодженого елемента без потреби в переналаштуванні або зупинці роботи системи дозволяє мінімізувати простої та знизити витрати на технічне обслуговування.

У підсумку, високовольтні запобіжники є одним з найефективніших і найекономічніших засобів захисту в системах середньої напруги. Їх застосування в енергосистемах аеропортів забезпечує високу надійність, відповідність сучасним стандартам та здатність швидко реагувати на аварійні ситуації. Це робить їх оптимальним рішенням для впровадження в сучасні проєкти електропостачання аеропортових об'єктів, сприяючи підвищенню енергетичної безпеки авіаційної галузі в цілому.

Список літератури

1. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів : підручник / В. Д. Козлов, В. П. Захарченко, О. М. Тачиніна; за заг. ред. В. Д. Козлова.– К. : НАУ, 2018. – 312 с

2. High voltage (HV) fuses in particular applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.etigroup.eu/media-center/eti-blog/high-voltage-hv-fuses-in-particular-applications.

УДК 629.05

С.М. Шевкун, к.т.н., ст. дослідник
(Державне підприємство «УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ», Україна)
В.П. Квасніков, д.т.н., проф., засл. метролог України
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
М.В. Добролюбова, к.т.н., доцент
(Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Україна)
М.С. Шевкун
(Perfect Computer Solutions LLC, США)

Автоматизована система для прецизійного вимірювання кутів на основі розрахункового конденсатора змінної ємності

Запропоновано основні принципи побудови автоматизованої системи для високоточного вимірювання кутів повороту з використанням розрахункового конденсатора змінної ємності, що забезпечує створення в аерокосмічній галузі високотехнологічних прецизійних засобів вимірювальної техніки, що видають вимірювальну інформацію у повному діапазоні значень у реальному часі.

Високоточні вимірювання кута повороту рухомих деталей відіграють критично важливу роль в авіаційній і космічній техніці, де висока надійність і точність є першочерговими вимогами. Вони знайшли застосування в широкому спектрі систем і механізмів різного призначення, а саме:

- системах керування польотом для точного визначення положення поверхонь управління літального апарату (рулі висоти та напряму, елерони, закрилки тощо), забезпечуючи керованість і стабільність;
- системах наведення та стабілізації у космічних апаратах, літаках та ракетах для орієнтації, стабілізації та точного наведення радіолокаційного, навігаційного, наукового та іншого обладнання;
- приводах сонячних панелей для оптимального наведення сонячних панелей космічних апаратів на Сонце для досягнення максимуму генерації електроенергії;
- гіроскопах та поворотних платформах у складі інерціальних навігаційних систем та інших пристроїв для точного вимірювання положення та кутової швидкості;
- маніпуляторах та складових частинах роботизованої техніки, що використовуються на борту літальних апаратів або при виробництві аерокосмічної техніки для точного позиціонування під час керування рухом та технологічними процесами;
- наземному обладнанні для високоточного калібрування, налагодження та тестування компонентів і систем аерокосмічної техніки.

Найбільше використання в аерокосмічній галузі отримали наступні типи високоточних вимірювачів кута повороту (енкодерів):

- абсолютні енкодери, які видають унікальний код для кожного кутового положення, що дозволяє визначити абсолютний кут відразу після ввімкнення;

- інкрементальні енкодери, які видають імпульси під час обертання, і для визначення абсолютного кута необхідно відстежувати кількість імпульсів від початкової точки, забезпечують високу роздільну здатність і точність вимірювань, але тільки у відносній формі;

- резольвери та сельсини - електромагнітні датчики, що видають аналогові сигнали, пропорційні синусу та косинусу кута, відрізняються стійкістю до впливу зовнішніх факторів та високою надійністю;

- потенціометричні датчики - змінюють свій опір залежно від кута повороту;

- індуктивні енкодери - безконтактні енкодери, що використовують індуктивний принцип для високоточного вимірювання кута в суворих умовах;

- оптичні енкодери, які використовують оптичні диски з нанесеними штрихами та фотоелектричні датчики, забезпечують дуже високу точність і роздільну здатність при визначенні кута повороту;

- магнітні енкодери, використовують ефект Холла або магніторезистивні ефекти для вимірювання кута, менш чутливі до забруднень та менш точні, ніж оптичні енкодери.

При розробці високоточного вимірювача кута повороту для використання у складі аерокосмічної техніки необхідно враховувати наступні критерії:

- необхідну точність вимірювань;
- умови експлуатації;
- масогабаритні обмеження;
- тип інтерфейсу для зв'язку з іншими бортовими системами.

Перспективним напрямком розвитку високоточних вимірювачів кута повороту є застосування енкодерів, заснованих на принципі використання прецизійного конденсатора змінної ємності.

Ємнісний датчик кута повороту зазвичай складається з двох основних частин:

- ротор - рухома частина, яка обертається навколо центральної осі, і яка складається з однієї або кількох пластин із провідника (електродів);

- статор - нерухома частина, яка оточує ротор, яка також складається з однієї або кількох провідних пластин (електродів), розташованих таким чином, щоб з електродами ротора утворювати конденсатор.

Взаємне розташування електродів та їх форма на роторі і на статорі ретельно розраховуються для забезпечення передбачуваної залежності між кутом повороту ротора і електричною ємністю, що утворюється між електродами конденсатора.

Принцип дії ємнісного датчика кута повороту полягає у зміні ємності конденсатора залежно від площі перекриття між його обкладками, відстані між ними та діелектричної проникності середовища між ними.

Ємнісний датчик інтегрується в автоматизовану систему, яка безперервно вимірює ємність та її зміну. Оскільки форма електродів спроєктована певним чином і є заздалегідь відомою, ємність конденсатора може

бути отримана розрахунковим шляхом. Зміна ємності може бути однозначно перетворена на значення кута повороту з високою точністю.

В конденсаторі змінної ємності доцільно використовувати кілька пар електродів для збільшення отриманої ємності і, відповідно точності вимірювань. Конструкція конденсатора повинна бути такою, щоб забезпечити лінійну або іншу необхідну залежність вихідного сигналу від кута повороту. Також для підвищення точності та зменшення впливу зовнішніх факторів, таких як температура або вологість, можуть застосовуватися диференційні схеми. У таких схемах вимірюються різниці або відношення між ємностями кількох конденсаторів, сконструйованих на одній вісі.

Автоматизована система для прецизійного вимірювання кутів на основі розрахункового конденсатора змінної ємності - це комплекс технічних і програмних засобів, призначений для автоматичного вимірювання кута повороту об'єкта, обробки отриманих даних, їхньої візуалізації, зберігання та передачі. До її складу входять такі основні компоненти:

1. Ємнісний датчик кута повороту, який використовує зміну ємності між електродами для визначення кута.

2. Блок первинної обробки сигналів з інтерфейсним модулем. Виконує наступні функції:

- приймання електричних сигналів від ємнісного датчика;
- фільтрація завад та шумів та аналого-цифрове перетворення сигналу;
- підсилення вхідних сигналів та узгодження їх рівнів з вхідними параметрами контролера або комп’ютера;
- корекція нелінійності вихідної функції ємнісного датчика.

3. Контролер або комп'ютер - основний обчислювальний елемент системи, який здійснює:

- приймання оцифрованих даних від блоку первинної обробки сигналів;
- обробку даних, що включає перерахунок значення ємності датчика в одиниці кута (градуси, радіани), фільтрацію та згладжування даних, обчислення похідних параметрів (кутова швидкість та прискорення), контроль граничних параметрів та формування сигналів тривоги про досягнення критичних меж;
- інтерфейсний зв'язок з оператором;
- передавання сигналів управління іншим системам (виконавчими механізмам, трансмісії тощо).

4. Пристрій візуалізації, який відображає оператору інформацію про кут повороту. До його складу можуть входити:

- графічні дисплеї (монітори) для відображення числових значень, графіків, діаграм та іншої візуальної інформації;
- цифрові дисплеї для відображення числових значень;
- сигнальні лампи або індикатори для повідомлення про досягнення граничних меж або аварійних станів.

5. Система живлення, яка забезпечує стабільне електроживлення всіх складових частин автоматизованої вимірювальної системи. Вона включає:

- джерела постійної напруги та струму;
- джерела змінного струму;
- блок безперебійного живлення (за потреби).

6. Комунікаційний інтерфейс, який забезпечує зв'язок між різними складовими частинами системи, а також з зовнішніми системами (наприклад, системами керування, мережами передачі даних).

7. Механічні елементи, такі як редуктори (за потреби), кронштейни, кріплення для датчиків тощо.

8. Програмне забезпечення, яке виконує функції:

- збір, обробка та аналіз даних про кут повороту;
- калібрування ємнісного датчика;
- налаштування необхідних параметрів вимірювання;
- візуалізація поточних значень кута, швидкості, прискорення;
- формування звітів та зберігання даних у файлах або базах даних;
- передавання даних мережею.

Перевагами автоматизованої системи для прецизійного вимірювання кутів на основі розрахункового конденсатора змінної ємності є:

- висока точність і роздільна здатність завдяки ретельному проектуванню електродів конденсатора і електронним компонентам високої чутливості;
- безконтактність - відсутність фізичного контакту між рухомими і нерухомими частинами, що забезпечує високу надійність і великий ресурс використання через відсутність механічного зносу;
- широкий діапазон робочих температур;
- низьке енергоспоживання;
- компактність і невелика вага;
- нечутливість до забруднень від пилу та бруду завдяки відсутності фізичного контакту та можливості виконання у герметичному корпусі;
- отримання вимірювальної інформації про кут повороту в широкому діапазоні (від 0 º до 360 º) в реальному часі в автоматизованому режимі.

Висновок

Запропонована автоматизована система для прецизійного вимірювання кутів на основі розрахункового конденсатора змінної ємності має високу точність, роздільну здатність і чутливість, широкий діапазон вимірювань у реальному часі, характеризується високою технологічністю виготовлення, завадозахищеністю, нечутливістю до впливу зовнішніх кліматичних факторів, а також пилу та бруду, має високу надійність та тривалий ресурс експлуатації.

Систему доцільно рекомендувати для використання в аерокосмічній техніці для вирішення широкого кола кутовимірювальних задач.

Список літератури

1. Поліщук Є.С., Дороговець М.М., Стадник Б.І. та ін.: Засоби та методи вимірювань неелектричних величин: Підручник / За ред. професора Є.С. Поліщука – Львів: Видавництво «Бескид Біт», 2008.– 618 с.

2. Полищук Е.С., Обозовский А.Т. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин. – К.: Вища школа, 1987.– 357 с.

UDC: 623.746.9

P. Dischler, MBA-Student
(Swiss TPH, University of Basel, Switzerland)

Comparative Analysis of Drone Countermeasures for Humanitarian Missions

This article evaluates countermeasures for drones in humanitarian conflict zones. A comparative matrix assesses effectiveness, ethics, feasibility, cost, and safety. Findings highlight the need for context-specific strategies combining passive and active measures, focusing on adaptability and practical protection rather than symbolic visibility.

Introduction

The security landscape for humanitarian actors has deteriorated sharply in conflict zones such as Syria, Ukraine, and Sudan, where medical facilities and personnel face systematic attacks despite protections under International Humanitarian Law (IHL) [1]. The rise of drones—particularly First-Person-View (FPV) models—has compounded risks, as seen in Ukraine, where marked aid convoys are deliberately targeted [2]. Traditional reliance on high-visibility emblems like the Red Cross now often backfires, necessitating a paradigm shift toward integrated counter-drone strategies.

Basic Preventive Measures in High-Risk Areas

Before deploying advanced systems, foundational practices are critical for mitigating drone threats:

RF Signature Suppression: Mobile phones and communication devices must operate in airplane mode to avoid detection by drones scanning for electronic emissions [2].

Route Planning: Natural concealment (e.g., forests, urban structures) and multiple alternate routes reduce aerial detectability. Input from local populations on terrain and recent drone activity enhances route safety [2].

Movement Discipline: Avoiding predictable patterns, minimizing travel during peak drone hours (dawn/dusk), and spacing vehicles in convoys lower visual exposure [2].

Weather Considerations: Adverse conditions (heavy rain, fog) disrupt drone operations but also hinder humanitarian missions. Planning must balance weather risks against mission urgency [3].

Detailed Countermeasure Analysis

1. High-Visibility Markings: While Red Cross or UN logos traditionally signal neutrality under IHL [4], FPV drones in Ukraine have exploited these markings to target aid convoys [2]. Ethical dilemmas arise when visibility endangers personnel, forcing organizations to reassess emblem use case-by-case.

2. Concealment Strategies: Unmarked vehicles, civilian attire, and minimized digital footprints reduce detection risks. However, reduced transparency complicates coordination with local stakeholders and may erode community trust [5].

3. Armored Vehicles and Personal Gear: Armor mitigates blast impacts, and ballistic gear improves survival odds during attacks. Yet, militarized appearances risk alienating communities and attracting suspicion from armed groups [6].

4. Early-Warning Systems: Acoustic sensors and radar offer limited utility against low-altitude FPV drones but provide critical seconds for sheltering. Stationary facilities benefit most, while mobile teams face integration challenges [7].

5. Electronic Jamming: Jammers disrupt drone control signals, forcing crashes or returns. However, collateral disruption of medical devices or civilian communications raises ethical concerns. Adaptive adversaries using frequency-hopping or tethered drones further limit effectiveness [8].

6. Kinetic Measures: Shooting drones or deploying nets is tactically effective but ethically fraught. Such actions violate humanitarian neutrality and risk bystander harm, making them unsuitable for most missions [9].

7. Armed Escorts: Military escorts deter attacks but compromise perceived neutrality, jeopardizing long-term access and community relations. Their use is ethically justifiable only in extreme, life-threatening scenarios [10].

Table 1

Comparative Matrix

Measure	**Effectiveness vs. Drones (esp. FPV)**	**Ethical Viability**	**Technical Feasibility**	**Cost & Logistics**	**Impact on Personnel & Civilian Safety**
High-Visibility Markings (e.g., Red Cross, UN flags)	Low vs. FPV drones; sometimes increases risk	Traditionally required under IHL; ethical dilemmas if exploited by attackers	Very easy to implement	Very low cost, simple logistics	Historically protective but now often ineffective; may even increase targeting risk
Concealment / Low Visibility	Avoids detection by drones in "hunt" mode; effective for small teams	Acceptable as self-protection; can conflict with transparency norms	Easy to implement	No cost; very flexible	Reduces detection risk; may hinder recognition by friendly forces

Armored Vehicles & Personal Protection	Mitigates effects of explosions, not prevention	Defensively ethical; perception risks (military look)	Requires special procurement and training	High cost; logistically complex	Improves survival; external civilians still at risk
Early-Warning & Detection Systems	Useful for larger drones; limited effect vs. FPVs	Fully ethical; perception concerns if misunderstood	Varies: from visual to radar-based	Ranges from low to very high	Provides crucial seconds to react; effectiveness depends on follow-up actions
Electronic Countermeasures (Jamming)	Moderately effective; can cause FPV drones to crash	Ethically grey zone; may affect civilian comms	Technically demanding; requires training	High cost; logistical burden (power, size)	Can prevent strikes; risk of collateral effects if drone crashes elsewhere
Kinetic Countermeasures (e.g., shooting, net guns)	Effective if very close; limited window to react	Highly controversial; violates humanitarian neutrality	Requires firearms, training, authorization	Moderate cost; high legal/political risk	May protect direct targets but endanger bystanders; escalatory potential
Armed Escorts (military/police)	Can deter or intercept drones; dependent on escort capabilities	Last-resort measure; compromises perceived neutrality	Feasible for large missions; not for small/mobile teams	Very high cost; bureaucratic & logistic hurdles	Short-term protection; long-term reputational damage, possible civilian risks

Conclusion

This matrix shows that no single countermeasure provides comprehensive protection against drone threats. Instead, effective security planning requires a context-specific blend of passive and active defenses, tailored to operational scale, geographic setting, threat profile, and available resources.

Larger missions, such as base operations, warehouse logistics, or medical convoys, are generally better positioned to integrate heavier technical systems. These may include jammers, early-warning systems, and armored vehicles. However, even with advanced technology, none of these offer complete protection against FPV drones or adaptive adversaries. For smaller or highly mobile missions, flexibility, concealment, and route unpredictability offer more realistic and context-appropriate protection. These missions may need to rely more on behavioral measures and low-tech adaptations, such as reduced RF signatures or movement timing.

Medical evacuation scenarios may warrant exceptional measures. When civilian lives are acutely threatened, a temporary compromise on neutrality—e.g., through discreet military escort or use of jammers—might be ethically defensible, especially when no alternative protection exists. In contrast, routine medical support or mobile outreach may need to prioritize visibility and coordination with local authorities to maintain long-term community trust.

A critical insight from recent contexts like Ukraine is that traditional assumptions no longer apply. Clear markings do not consistently provide protection. On the contrary, in some environments they may increase risk. Operational feedback shows that drone operators sometimes deliberately target marked vehicles or use them as navigational beacons. The implications are severe: humanitarian actors must no longer treat visibility as a guaranteed shield, but as a situational choice to be reassessed before each mission.

Furthermore, humanitarian actors should, whenever feasible, engage in direct dialogue with all conflict parties to notify them of movements, medical missions, and delivery operations. While this does not guarantee safety, it remains a crucial avenue for deconfliction and can help maintain access. Such communication, especially if grounded in established humanitarian negotiation frameworks, demonstrates commitment to neutrality and transparency.

Protecting human life must take precedence over symbolic visibility or adherence to outdated norms. Technology alone is not enough—strategic planning, operational discipline, and principled pragmatism are the best tools humanitarians have in the face of evolving drone threats. Humanitarianism under fire must remain both adaptive and values-driven.

References

1. Blanchet, K., et al. (2023). *Conflict and Health*, 17, 56. https://doi.org/10.1186/s13031-023-00555-4
2. NGO Security Briefing. (2024). *Field Observations on Drone Threats* (confidential).
3. Climavision. (2023). *Weather Impacts on UAV Operations*.
4. ICRC. (2020). *Emblems and Humanitarian Action*.

5. HEKS/EPER. (2024). *Working in Hard-to-Reach Areas*.
6. Selvamuthu, D., et al. (2024). *RT&A Journal*, 19(3), 186–195.
7. Kallenborn, Z., & Plichta, M. (2024). *Joint Force Quarterly*.
8. Radivojević, J., et al. (2021). *Jamming Techniques*.
9. Plowright, W. (2024). *Journal of Humanitarian Affairs*, 5(3), 23–31.
10. IASC. (2013). *Guidelines on Armed Escorts*.

UDC: 341.215:355.426.2

P.Dischler, MBA-Student
(Swiss TPH, University of Basel)

Navigating Drone Threats in Humanitarian Field Missions: A Decision-Making Framework and Toolkit

This article proposes a structured decision-making framework for humanitarian missions under drone threat. It integrates operational risk, ethical considerations, and contextual intelligence into a matrix-based toolkit for field use, supporting go/no-go choices that prioritize safety, community trust, and mission relevance.

Introduction

Humanitarian operations today face an increasingly complex risk landscape, with weaponized drones emerging as a significant threat. In recent conflicts, small First-Person View (FPV) drones have been used to deliberately target aid workers and convoys, even those clearly marked with humanitarian logos [1]. For example, during the Ukraine conflict, multiple humanitarian vehicles and facilities came under FPV drone attack, resulting in staff casualties, despite visible humanitarian markings intended to confer protection [1]. The rise of such improvised combat UAVs has dramatically altered the security environment for field teams. These drones are low-cost, highly maneuverable, and able to deliver precise strikes, lowering the threshold for attackers and increasing the risk of direct attacks on NGO convoys, warehouses, and aid workers. Traditional security measures – for instance, relying on high-visibility logos or assuming humanitarian immunity – are no longer reliably effective in deterring violence. This evolution forces humanitarian planners to rethink mission go/no-go decisions under unprecedented conditions of uncertainty and threat.

Planning field missions in high-risk areas has always required balancing the urgency of humanitarian needs against the duty of care for staff safety. Now, drone threats intensify this challenge. Field coordinators and security managers must weigh not only conventional dangers (ambushes, mines, shelling) but also the possibility of unseen aerial attacks. Unlike static threats, drones can appear with little warning and strike quickly, which complicates real-time decision-making.

All this unfolds under tight resource constraints: humanitarian budgets are limited, and missions often operate with just enough funding for program delivery, let alone expensive security technology. Deciding whether to launch a mission in a high-threat area with limited resources becomes a critical question, especially when lives may hang in the balance if aid is delayed.

This article proposes an academically grounded yet practical framework to aid field coordinators and security managers in systematically assessing whether and how to proceed with missions under drone threat conditions. We build on prior research into security risk management, humanitarian logistics, and collaborative decision-making to synthesize a conceptual model tailored to the current threat landscape. This model is then operationalized through a field-adaptable decision-support matrix, designed for use in real-time mission planning.

Table 1.

Decision-Support Matrix for Missions under Drone Threat

Factor	**Favorable (Green)**	**Moderate (Yellow)**	**Unfavorable (Red)**
Mission Criticality	Critical, life-saving (e.g. evacuation or urgent medical aid)	Important, but timing is flexible	Routine or deferrable mission (can be postponed without major impact)
Drone Threat Level	No known drone activity or none within the last 7 days	Possible drone presence or activity reported within the last week, no direct targeting	Confirmed drone attacks or surveillance within 72 hours targeting humanitarian entities
Other Threats (Conflict)	Stable or minimal conflict in operational area	Intermittent risk (e.g. localized crime or distant fighting)	Active combat or extreme volatility on planned routes
Resource Availability	Full operational capacity (vehicles, staff, protection)	Some limitations (partial team or logistics)	Inadequate support; no mitigation possible
Access Alternatives	Safe, effective alternatives (e.g. remote delivery, local partners)	Partial alternatives or temporary workarounds	No alternatives – field presence essential
Technological Countermeasures	Reliable access to drone detection and early-warning systems	Partial tech tools or situational access to monitoring devices	No technical support or counter-UAV tools on hand

Table 2.

Decision Guidance Matrix Based on Risk and Criticality Factors

Mission Criticality	**Threat Level (Drone + Conflict)**	**Resource Status**	**Access Alternatives**	**Recommended Action**	**Suggested Adjustments**
High	Low–Moderate	Medium–High	Any	Proceed	Standard mitigation measures, full visibility, normal movement
High	High	Medium	Some	Proceed with Adjustment	Reroute via terrain cover, low-profile convoy, night movement, digital notification to parties
Medium	Moderate–High	Medium–Low	Limited	Postpone	Await intel, coordinate with locals, upgrade protection measures
Low	Moderate–High	Low	No Alternatives	Abort	Shift to remote support or local partner-only implementation
Any	High (2+ factors red)	Any	Any	Abort or Redesign	Reassess mission structure; introduce decentralized supply options

Focused Ethical and Operational Considerations

Visibility vs. Security: Humanitarian organizations traditionally rely on markings and openness to assert neutrality. However, documented cases from Ukraine (2022–24) show that marked vehicles were repeatedly targeted [1]. Conversely, some low-profile convoys avoided detection. Hybrid approaches—like removable logos or digital deconfliction via pre-notification—have emerged as alternatives. These strategies must be aligned with both the security situation and community expectations.

Community Coordination: Proactive local engagement can reduce risk and build legitimacy. This includes:

- Training community volunteers to recognize drone activity and provide early warnings;
- Establishing village-based visual/sound alerts;
- Informing local leaders discreetly about planned movement to avoid misidentification;
- Incorporating feedback from community representatives into the final mission decision. Malhouni & Mabrouki [4] emphasize the importance of integrating community voices into tactical humanitarian planning—not just for ethical reasons, but to ensure operational feasibility in volatile zones.

Organizational Backing: Field decisions must be supported by flexible HQ protocols that validate pause/postpone decisions based on grounded risk assessments. The toolkit enhances field-level decision autonomy, while maintaining documentation and justification aligned with organizational duty of care.

Humanitarian Principles Under Threat: Risk decisions must weigh neutrality, visibility, and do-no-harm simultaneously. Markings may save lives in some contexts and endanger others. Transparency with both community and conflict parties is critical, as is documenting the ethical reasoning behind each operational decision.

Conclusion

The framework and matrix together support structured, transparent, and ethically defensible decisions under drone threat. With added specificity, adjustment guidance, and embedded ethical tools, the approach offers humanitarian actors a realistic, field-ready resource. To evolve further, the toolkit should be digitized, tested in simulations, and complemented by scenario-based staff training.

References

1. Confidential Source (Humanitarian Security Briefing, Ukraine 2024).
2. Clarinval, C., & Biller-Andorno, N. (2014). *Challenging Operations: An Ethical Framework to Assist Humanitarian Aid Workers in their Decision-making Processes.* PLOS Currents Disasters. https://doi.org/10.1371/currents.dis.96bec99f13800a8059bb5b5a82028bbf
3. Wang, N., Christen, M., Hunt, M., & Biller-Andorno, N. (2022). *Supporting value sensitivity in the humanitarian use of drones through an ethics assessment framework.* International Review of the Red Cross, 104(919).
4. Malhouni, Y., & Mabrouki, C. (2024). *Mitigating risks and overcoming logistics challenges in humanitarian deployment to conflict zones: Evidence from the DRC and CAR.* Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management. https://doi.org/10.1108/JHLSCM-04-2023-0031

UDC 656.7.086 (45)

Peter Dischler
(Swiss TPH, University of Basel, Switzerland)
T. Shmelova, Doctor of Science
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine, Kyiv)

Humanitarian applications of UAV's: benefits and integration of routes planning with decision-making tools

It is proposed that UAV flights be organized to carry out various missions within a humanitarian operation safely, economically, and efficiently. The main challenge lies in the lack of optimized decision-making and coordination among UAV groups, depending on the objectives of the mission, especially under uncertain and dynamically changing flight environments. Integrating advanced path planning with decision-making tools enhances operational flexibility and improves the efficiency of the overall solution.

Introduction. Unmanned aircraft vehicles (UAV) have become essential in humanitarian work, improving the speed and efficiency of disaster response, medical deliveries, and search-and-rescue efforts. They allow aid organizations to quickly assess crisis zones, deliver life-saving supplies, and overcome logistical barriers in hard-to-reach areas. One of the key challenges, however, is ensuring that drone operations remain effective in complex and rapidly changing environments. To address this, integrating advanced path planning with expert decision-making tools enhances operational flexibility and efficiency. The main advantage of using UAVs is that the operating is attributed to reduced risk and increased economic efficiency, compared with classical means of air transport. The goal of ICAO is providing of the fundamental international regulatory framework through SARs – Standards and Recommended Practices, the application of new technologies for the organization of UAV flights in an integrated space, performing flights with minimal risks and maximum efficiency [1; 2].

The purpose of the research: integration of different methods that combine elements of decision theory, dynamic modeling, expert estimation, and adaptive management for obtaining optimal solutions when organizing a UAV flights.

Humanitarian Applications of UAVs. Unmanned aircraft vehicles (drones) have transformed humanitarian logistics by enabling rapid response in disaster zones, transporting medical supplies, and improving coordination in emergency situations. For example, research has shown that drones can provide real-time aerial images of disaster-hit areas, helping responders assess damage and prioritize rescue efforts [3]. In regions where roads are impassable, drones can deliver critical supplies like vaccines, blood, and medications directly to affected communities, reducing delays and improving health outcomes [4]. With the integration of artificial intelligence, drones are becoming even more autonomous, allowing them to navigate difficult terrain and avoid obstacles with minimal human intervention [5]. A study conducted in Africa highlights how drone-based medical deliveries have made a difference in rural areas with limited access to healthcare. The findings showed that drones significantly reduced transport times for essential medicines, ensuring that patients received timely treatment. In Madagascar, Malawi, and Senegal, for in-

stance, drones were used to bridge logistical gaps in healthcare supply chains, supporting traditional transport networks rather than replacing them [6]. Additionally, research on drone logistics has identified key barriers to adoption, including infrastructure challenges and regulatory constraints. These real-world applications demonstrate the growing impact of drones in humanitarian work and the importance of refining their operational strategies.

1.Path Planning and Expert Decision-Making Tool Integration. One of the challenges in humanitarian drone operations is ensuring that drones take the safest and most efficient routes while adapting to changing conditions on the ground. To address this, a structured approach combining expert decision-making and path planning is essential. This model ensures that drones can operate effectively in unpredictable environments. Our approach to integrating path planning with expert decision-making tools consists of the following steps:

2.Data Collection and Pre-Processing: Before a drone mission begins, environmental data such as weather conditions, terrain maps, and satellite imagery are gathered. AI-powered systems analyze this data to identify safe routes and potential hazards. Past mission data is also considered to improve accuracy and efficiency [7].

3.Algorithm Selection for Path Planning: The system dynamically chooses algorithms based on mission parameters, for example in Table 1 presented.

Table 1. The system dynamically chooses algorithms based on mission parameters

Scenario	Algorithm	Advantage	Source
Time-critical delivery	A*	Fastest path in open terrain	[4 -6]
Complex 3D environments	RRT*	Obstacle avoidance in cluttered spaces	[6]
Swarm coordination	Potential Fields	Collision-free multi-drone paths	[7]
Unknown environments	D* Lite	Real-time replanning	[8 - 10]

4.Expert Decision-Making Integration: Humanitarian experts play a key role in mission planning. Field responders, logistics coordinators, security advisors, and medical personnel provide input on priorities such as urgency, accessibility, and regulatory restrictions. The decision-making tool then evaluates multiple flight scenarios, weighing factors such as risk, efficiency, and resource availability [2] (Shmelova et al., 2023). Local knowledge is also integrated into the planning process, ensuring that cultural and logistical factors are considered. The use of hybrid expert systems for collaborative decision-making further enhances the effectiveness of this approach, as seen in studies on transportation services for healthcare needs [3]. Additionally, nondeterministic models help refine decision-making during flight emergencies by prioritizing critical factors in real time [11].

5.Real-Time Path Optimization: AI-driven algorithms continuously update the drone's flight path based on real-time data. If sudden changes occur, such as a worsening weather event or an unexpected security risk, the system recalculates an optimal route. Information from meteorological services, ground teams, and real-time drone telemetry helps refine these adjustments [12].

6.Execution and Adaptive Control*:* During the mission, drones follow the planned flight path while remaining in constant communication with the operations center. If obstacles arise, autonomous systems adjust the route instantly, ensuring a

smooth and efficient mission. In multi-drone operations, swarm intelligence allows for coordinated deliveries, optimizing supply distribution across larger disaster zones [13].

7.Post-Mission Analysis and Learning: After each mission, collected data is analyzed to improve future planning. Patterns from previous flights help refine AI models, making the system increasingly efficient over time. Field teams provide feedback, ensuring that human expertise remains central to decision-making and that operational strategies continue to evolve based on real-world challenges [9].

The air navigation rules for UAV flights and the expected risks are used to classify obstructions within zones and between them. Risk estimations of the obstructions, flight areas, and flight levels in conflict zones were obtained using the expert estimation method. The air navigation rules for UAV flights and expected risks are also used to classify obstructions in towns and between towns. To define minimal-risk flights and ensure maximum safety of UAV routes in conflict zones, the method of dynamic programming is used. Figure 1 shows examples of constructing a minimum-risk path, considering the presence of "Allowed," "Restricted," and "Dangerous" flight zones, using two dynamic programming methods: Grid Analysis and Dijkstra's Algorithm.

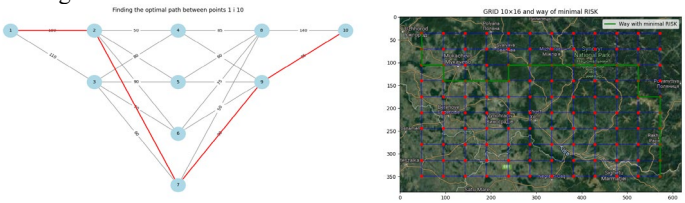


Figure 1. Minimal cost flight of UAV

Fragment of code in Python for flight of UAV using Algorithm of Dijkstra:

```
# Finding the shortest path using Dijkstra's algorithm
shortest_path = nx.dijkstra_path(G, source=1, target=10, weight='weight')
shortest_distance = nx.dijkstra_path_length(G, source=1, target=10, weight='weight')
# Drawing a graph
nx.draw(G, pos, with_labels=True, node_color='lightblue', node_size=1000, font_size=10, edge_color='gray')
labels = {(i, j): d for (i, j), d in distances.items()}
nx.draw_networkx_edge_labels(G, pos, edge_labels=labels, font_size=9)
# Highlight the optimal path in red
path_edges = list(zip(shortest_path, shortest_path[1:]))
nx.draw_networkx_edges(G, pos, edgelist=path_edges, edge_color='red', width=2)
plt.title("Finding the optimal path between points 1 i 10")
plt.show()
```

By combining smart path planning with expert insights, drones don't just operate on their own - they become a seamless part of a well-coordinated and responsive humanitarian effort.

References

1. Manual on remotely piloted aircraft systems (RPAS) / Doc. 10019/AN 507. 1-ed. – Canada, Montreal: ICAO, 2015.-190 p.
2. Shmelova, T., Sterenharz, A., & Burlaka, O. (2019). Optimization of flows and flexible redistribution of autonomous UAV routes in multilevel airspace. In CEUR Vol 2805 Workshop Proceedings (Vol. 2393, pp. 704–715). CEUR-WS.
3. Shmelova, T., Smolanka, V., Sikirda, Y., & Sechko, O. (2024). Real-time monitoring and diagnostics of the person's emotional state and decision-making in extreme situations for healthcare. Decision Making and Analysis, 2(1), 11–32. https://doi.org/10.55976/dma.22024121911-32
4. Shi, Y., Wang, L., & Li, Z. (2024). AI-enhanced UAVs for disaster response: A review of path planning and decision support. Journal of Artificial Intelligence Research, 65(1), 78–95. https://doi.org/10.1016/j.jair.2024.101234
5. Knoblauch, A. M., de La Rosa, S., Sherman, J., Blaurock, S., & Wyss, K. (2019). Medical supply drone delivery in low- and middle-income countries: A feasibility study. Global Health Science and Practice, 7(4), 500–508. https://doi.org/10.9745/GHSP-D-19-00211
6. Kamat, A., Shanker, S., Barve, A., Muduli, K., Mangla, S. K., & Luthra, S. (2022). Uncovering interrelationships between barriers to unmanned aerial vehicles in humanitarian logistics. Operations Management Research, 15(3), 1134–1160. https://doi.org/10.1007/s12063-021-00235-7
7. Aretoulaki, E., Ponis, S. T., & Plakas, G. (2024). Requirements engineering for a drone-enabled integrated humanitarian logistics platform. Applied Sciences, 14(15), 6464. https://doi.org/10.3390/app14156464
8. Chowdhury, S., Emelogu, A., Marufuzzaman, M., Nurre, S. G., & Bian, L. (2017). Drones for disaster response and relief operations: A continuous approximation model. International Journal of Production Economics, 188, 167–184. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.03.024
9. Edwards, D., Subramanian, N., Chaudhuri, A., Morlacchi, P., & Zeng, W. (2024). Use of delivery drones for humanitarian operations: Analysis of adoption barriers among logistics service providers from the technology acceptance model perspective. Annals of Operations Research, 335(1), 845–876. https://doi.org/10.1007/s10479-023-05307-4
10. Rejeb, A., Rejeb, K., Simske, S., & Treiblmaier, H. (2021). Humanitarian drones: A review and research agenda. Internet of Things, 16, 100434. https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100434
11. Shmelova, T., Yatsko, M., & Sierostanov, I. (2023). Collaborative Decision Making (CDM) in Emergency Caused by Captain Incapacitation. International Journal of Decision Support System Technology, 15(1), 1–27. https://doi.org/10.4018/ijdsst.320477
12. Zhang, L., Yang, H., & Li, X. (2024). Cooperative UAV systems for emergency response: A systematic review. Journal of Field Robotics, 41(1), 156–178. https://doi.org/10.1002/rob.22176
13. Murphy, R. R., Tadokoro, S., & Nardi, D. (2023). Search and rescue robotics. In B. Siciliano & O. Khatib (Eds.), Springer Handbook of Robotics (3rd ed.) (pp. 1151–1174). Springer International. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62362-3_46

UDC 711.553.9:004-047.36(043.2)

D.O. Klokta
(State University "Kyiv Aviation Institute")

Intelligent runway condition monitoring systems to optimize airfield operations

This article explores the relevance and benefits of intelligent runway condition monitoring systems for optimizing airport operations. Traditional monitoring methods, which are limited by human factors and laboriousness, are compared with modern intelligent systems that use unmanned aerial vehicles, sensor networks, and machine learning algorithms. The advantages of intelligent systems, such as continuous monitoring, early detection of defects, and optimization of repair planning, are described, as well as the challenges associated with their implementation. The advantages of intelligent systems are clearly demonstrated using a histogram comparing key performance indicators. The article emphasizes the need to transition to intelligent systems to improve the safety and efficiency of aviation operations.

Introduction

A runway (runway) is not just a piece of asphalt or concrete, it is an artery that ensures the airport's vital activity, its connection with the world. The safety of millions of passengers, the efficiency of air transportation, and the economic stability of regions depend on its condition. In today's world, where the pace of air traffic is constantly increasing and climatic conditions are becoming more unpredictable, traditional methods of monitoring the condition of the runway no longer meet the requirements of the time.

Visual inspections, although necessary, cannot provide constant control over the entire length of the strip, especially in difficult weather conditions or at night. Periodic measurements, although they provide quantitative data, do not allow for a prompt response to the occurrence of defects. As a result, minor damage can develop into serious problems that will lead to the closure of the strip, flight delays, and in the worst case, to aviation incidents.

That is why intelligent runway condition monitoring systems are coming to the fore. They combine advanced technologies: unmanned aerial vehicles (UAVs) equipped with high-precision aerial photography, sensor networks that measure the physical and mechanical characteristics of the coating, machine learning algorithms that analyze huge amounts of data and detect even the smallest defects.

Imagine a system that monitors the condition of every meter of the runway in real time, detects cracks at early stages, predicts their development, and estimates the remaining service life of the coating. Such a system allows not only to respond promptly to problems, but also to plan repair work with maximum efficiency, minimizing runway downtime.

Intelligent runway condition monitoring systems are not just a technological innovation, they are a necessity dictated by the requirements of the time. They allow not only to increase the safety and efficiency of aviation operations, but also to reduce the costs of maintaining airfield infrastructure, extend the service life of the runway, and make air transportation more reliable and affordable.

In the context of the growing intensity of air traffic and changing climatic conditions, the implementation of such systems is becoming a key factor in the competitiveness of airports. They allow not only to ensure the safety and comfort of passengers, but also to optimize the use of resources, reduce the environmental load, make aviation more sustainable and efficient.

Therefore, intelligent runway condition monitoring systems are not just a technology of the future, they are a tool that already today allows to make aviation safer, more efficient and more reliable.

Modern methods of monitoring the condition of the runway

The runway (runway) is a key element of the aerodrome infrastructure, ensuring the safety and efficiency of aviation operations. Its condition directly affects the safety of aircraft take-off and landing, airport capacity and economic efficiency of air transportation. Traditional methods of monitoring the condition of the runway, based on visual inspections and periodic measurements, have a number of limitations that do not allow to ensure the required level of safety and efficiency in the conditions of increasing air traffic intensity and changing climatic conditions. Visual inspections, although a necessary component of monitoring, cannot provide constant control over the entire length of the runway, especially in difficult weather conditions or at night [2]. The human factor can also affect the accuracy and objectivity of the assessment of the condition of the coating. Periodic measurements, including measurements of roughness, strength and other characteristics of the coating, are laborious and do not allow to promptly respond to the occurrence of defects. In addition, they do not allow to predict the dynamics of the development of defects and assess the residual resource of the runway [2].

In this regard, intelligent runway condition monitoring systems based on the use of modern technologies, such as unmanned aerial vehicles (UAVs), sensor networks, computer vision and machine learning methods, are becoming increasingly relevant. UAVs equipped with high-precision aerial photography allow you to obtain detailed images of the runway surface, detect cracks, potholes and other defects. Sensor networks, including fiber-optic sensors, piezoelectric sensors and other types of sensors, allow you to measure the physical and mechanical characteristics of the coating in real time. Computer vision and machine learning methods are used to analyze images and data from sensor networks, detect defects, predict their development and assess the remaining runway resource [3].

The transition from traditional monitoring methods to intelligent systems allows you to increase the safety and efficiency of aviation operations, reduce the cost of runway repair and maintenance, extend its service life and optimize the planning of airfield operations. Intelligent runway condition monitoring systems are a promising direction in the development of airfield infrastructure that meets the requirements of the modern aviation market[4].

Comparative analysis of the effectiveness of traditional and intelligent runway condition monitoring systems

Traditional methods of monitoring the condition of the runway, despite their stability, have a number of significant shortcomings. Visual inspections, for example, depend on the human factor, which leads to subjective assessments and the possibility of missing small but critical defects. Periodic measurements, although they provide quantitative data, are laborious and do not allow for a prompt response to changes in the condition of the coating. In addition, they do not provide continuous monitoring, which is especially important in conditions of changeable weather and high flight intensity. Intelligent monitoring systems, in contrast, offer continuous, automated and objective control over the condition of the runway. The use of UAVs with high-precision aerial photography allows for the detection of defects at an early stage, even those that are invisible to the human eye. Sensor networks integrated into the coating provide data on physical and mechanical characteristics in real time, which allows for monitoring changes and predicting the development of defects. Machine learning algorithms process large amounts of data, identifying patterns and providing predictions about the remaining runway life.

However, the implementation of intelligent systems also has its challenges. The high cost of hardware and software, the need for qualified personnel to maintain the system, as well as cybersecurity issues are factors that need to be taken into account. In addition, integrating a new system with existing airport infrastructure can require significant efforts.

Despite these challenges, the benefits of intelligent monitoring systems are obvious. They can improve flight safety, reduce repair and maintenance costs, extend the service life of runways, and optimize the planning of airport operations. The transition to intelligent systems is an inevitable step towards creating a safer and more efficient aviation infrastructure.

For a visual comparison of traditional and intelligent monitoring methods, a histogram can be used that displays key performance indicators, such as defect detection accuracy, response time, maintenance costs, and runway service life (fig 1).

Conclusion

The analysis shows that intelligent runway condition monitoring systems are not just a promising direction, but a necessary step for optimizing airfield operations. Traditional methods, despite their well-established status, have significant limitations that do not allow ensuring the required level of safety and efficiency in the conditions of increasing air traffic intensity and changing climatic conditions.

The implementation of intelligent systems using unmanned aerial vehicles (UAVs), sensor networks and machine learning algorithms allows for the transition to continuous, automated and objective monitoring of the runway condition. This ensures early detection of defects, prediction of their development and optimization of repair planning, which, in turn, leads to increased flight safety, reduced maintenance costs and extended runway service life.

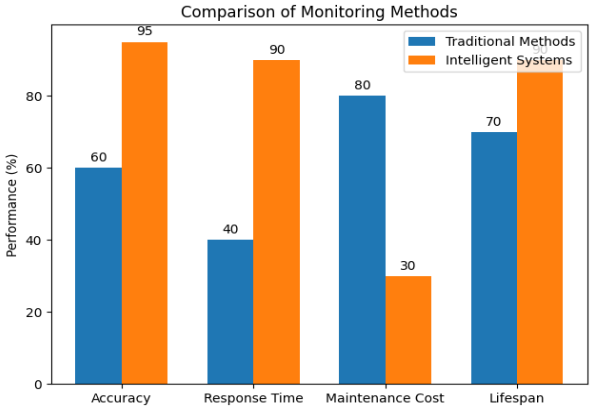


Fig. 1. Comparison of Monitoring Methods

Although the implementation of intelligent systems is associated with certain challenges, such as the high cost of equipment and the need for qualified personnel, their advantages are undeniable. The transition to these systems is an inevitable step towards creating a safer, more efficient and more sustainable aviation infrastructure. In conclusion, intelligent runway monitoring systems are a key factor for ensuring the competitiveness of airports in the modern aviation market. They allow not only to increase passenger safety and comfort, but also to optimize resource use, reduce environmental impact and make aviation more reliable and affordable.

References

1. ICAO: State of Global Aviation Safety. ICAO Safety Report (2019)
2. Vorobyeva, O., et al.: Assessing the contribution of data mining methods to avoid aircraft run-off from the runway to increase the safety and reduce the negative environmental Impacts. Int. J. Environ. Res. Public Health 17, 796 (2020).
3. Wu, C., "Construction method of pavement condition monitoring system," Shang Hai: Tong ji University, (2014). (in Chinese). Wu, C., "Construction method of pavement condition monitoring system," Shang Hai: Tong ji University, (2014).
4. Ling, J.M., Fang, Y.X., Zhang, J.K., et al. "Framework and key technologies of airport smart runway," China Civ. Eng. J, 55(2), 120–128 (2022).
5. Ling, J.M., Li, P.L., Liu, S.F., et al. "The Connotation Expansion and Function System of Airport Smart Runway," China Civ. Eng. J, 1–8 (2024)
6. Daidzic, N.E., Shrestha, J.: Airplane landing performance on contaminated runways in adverse conditions. J. Aircr. 45(6), 2131–2144 (2008).
7. EUROCONTROL: European Action Plan for the Prevention of Runway Incursions, ed. 1 (2017).
8. European Union Aviation Safety Agency (EASA): Easy Access Rules for Aerodromes (2019).

УДК 004.932.72’1

А.В. Рябко, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Порівняльний аналіз методів BRISK та ORB для виявлення локальних ознак на знімках з безпілотних літальних апаратів

У дослідженні розглядаються бінарні методи виявлення локальних ознак, такі як BRISK та ORB, що широко використовуються в комп'ютерному баченні для обробки знімків з безпілотних літальних апаратів. Алгоритми аналізуються з точки зору точності та швидкості, їх переваги й недоліки обговорюються на прикладі обробки зображень у середовищі MATLAB.

Знімки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є важливим джерелом даних для різних завдань, зокрема дистанційного зондування, картографії, моніторингу довкілля та пошуку об’єктів. Виявлення та зіставлення об’єктів на таких знімках є складним завданням через змінні умови освітлення, масштабування та можливі деформації зображення. Для вирішення цих проблем застосовуються сучасні алгоритми локального виявлення ознак, такі як BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints) та ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF). Вони дозволяють ефективно знаходити ключові точки на зображеннях та створювати їхні унікальні дескриптори, що полегшує процес автоматичного аналізу [3].

Методи BRISK та ORB призначені для автоматичного знаходження ключових точок та створення їхніх дескрипторів, що дозволяє зіставляти зображення навіть у випадках значних змін у кадрі.

BRISK є детектором та дескриптором ключових точок, що використовує багаторівневий підхід до пошуку ключових точок із застосуванням гаусового розмиття. Основними його перевагами є висока точність ідентифікації локальних ознак, надійність до змін масштабу та обертання, а також використання бінарного дескриптора, що забезпечує швидке порівняння ключових точок.

ORB, у свою чергу, є покращеним методом, що базується на поєднанні FAST (Features from Accelerated Segment Test) та BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features). Він забезпечує високу швидкість роботи, що робить його придатним для застосувань у реальному часі, аналізує орієнтацію ключових точок для підвищення стійкості до змін перспективи та використовує бінарні дескриптори, що оптимізують обчислювальну ефективність.

Бінарні дескриптори, що використовуються в обох методах, є компактними і менш вимогливими до обчислювальних ресурсів порівняно з традиційними методами, такими як SIFT та SURF. Вони дозволяють зменшити час порівняння ключових точок за рахунок використання операцій XOR та Hamming відстані, що значно прискорює процес обробки зображень.

Для порівняльного аналізу було відібрано двадцять знімків БПЛА, що містять як міські, так і природні ландшафти. Основними критеріями оцінки

були кількість виявлених ключових точок, що визначає здатність методу знаходити особливості на зображенні, стійкість до змін освітлення та масштабу, що оцінює стабільність відповідності точок при зміні умов знімання, а також швидкість обробки, яка є важливим параметром для застосування у реальному часі.

У результаті аналізу було встановлено, що BRISK продемонстрував високу точність при обробці знімків, що містять дрібні текстуровані деталі, однак мав вищі обчислювальні витрати, що може бути критичним при роботі з великим обсягом даних. ORB, натомість, забезпечив швидке виявлення та зіставлення ключових точок, що дозволяє використовувати його у завданнях реального часу, проте його дескриптори виявилися менш стійкими до значних змін освітлення та масштабування.



Рис. 1. Приклад знімку з БПЛА та об’єкта, що треба знайти



Рис. 2. Результат пошуку об’єкта

Висновок

Аналіз показав, що методи BRISK та ORB мають свої переваги залежно від конкретного застосування. BRISK є кращим вибором для детального аналізу знімків БПЛА, де важливе точне відображення деталей, тоді як ORB є більш ефективним для швидких розрахунків та роботи у реальному часі. Бінарні дескриптори, що використовуються в обох методах, відіграють

важливу роль у забезпеченні швидкості обробки, що робить їх корисними для багатьох застосувань у сфері автоматичного розпізнавання та аналізу зображень.

Список літератури

1. D. G. Lowe, “Distinctive image features from scale-invariant keypoints”, International Journal of Computer Vision, 60 (2), pp. 91-110, 2004. https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94.
2. M. Cheng, M. Matsuoka, “An efficient and precise remote sensing optical image matching technique using binary-based feature points”, Sensors, Volume 21, Issue 18, Article number 6035, 2021. https://doi.org/10.3390/s21186035.
3. D. Detone, T. Malisiewicz, A. Rabinovich, “SuperPoint: Self-supervised interest point detection and description”, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, Salt Lake City, USA, 2018, pp. 337–349. https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.07629.
4. Y. Jin, D. Mishkin, A. Mishchuk, J. Matas, P. Fua, K. M. Yi, E. Trulls, “Image matching across wide baselines: from paper to practice”, International Journal of Computer Vision, Volume 129 (2), 2021, pp.517–547. https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.01587.
5. S. Leutenegger, M. Chli, R. Siegwart, “BRISK: Binary Robust invariant scalable keypoints”, IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2011). https://doi.org/ 10.1109/ICCV.2011.6126542.
6. S. Ghaffari, K. F. Li, D. Capson, “Combining SIFT and BRISK Descriptors to Improve Image Matching Accuracy”, 2024 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing. https://doi.org/10.1109/PACRIM61180.2024.10690201.
7. C. Ma, X. Hu, J. Xiao, H. Du, G. Zhang, “Improved ORB algorithm using three-patch method and local gray difference”, Sensors (Switzerland), Volume 20, Issue 4, Article number 975. https://doi.org/10.3390/s20040975.
8. E. Rublee, V. Rabaud, K. Konolige, G. Bradski, “ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF”, IEEE International Conference on Computer Vision, 2011, Pages 2564-2571. https://doi.org/10.1109/ICCV.2011.6126544.
9. A. Riabko, “Comparative analysis of SIFT and SURF methods for local feature detection in satellite imagery”, 2024 International Workshop on Computational Methods in Systems Engineering, (CMSE 2024), National Aviation University, Kyiv, Ukraine, Volume 3732, Pages 21-31. ISSN: 16130073.

УДК 629.7.05

Є.В. Тачинін (АТ «Антонов», Україна)
С.В. Єнчев, д. т. н., професор
(Державний університет «Київський Авіаційний інститут, Україна)

Передумови розробки методики оцінки впливу сучасних інформаційних технологій контролю на готовність літака до польотів

У бортові системи літаків широко впроваджуються інформаційні технології самоконтролю, які дозволяють значно знизити тривалість пошуку та усунення несправностей та зменшують необхідність у наземних засобах контролю.

Ключовим моментом у забезпеченні експлуатаційної технологічності нового літака є прогнозування її показників. Контролепридатність (КП) є підзавданням експлуатаційної технологічності та визначається як характеристика проекту, що дозволяє визначити стан об'єкта (компонента) і несправності, які будуть ефективно знайдені та усунуті за прийнятної вартості. Діагностика складається з ручних, автоматичних і напівавтоматичних апаратних засобів технічного обслуговування, програмного забезпечення та процедур з визначення стану, виявлення та усунення несправностей [1].

Необхідні апаратні засоби, програмне забезпечення та процедури будуть залежати значною мірою від експлуатаційної технологічності (ЕТ), тобто характеристики контролепридатності. Діагностика є аспектом ТО. Всі процедури ТО визначаються значною мірою конструкцією літака чи системи. Проект із високою ЕТ потребує найменшої кількості засобів ТО та простих процедур ТО [2].

На рівні компонента контролепридатність – це його властивість, яка дозволяє швидко підтвердити його функціональну цілісність. З економічної точки зору ефективна контролепридатність дозволяє знизити:

- тривалість простоїв літака;
- кількість помилкових зняття справного компонента;
- вартість перевірок у лабораторії та вартість ремонту.

Часто контролепридатність оцінюється за допомогою показника NFF (No Fault Found – дослівно «несправності не знайдене» або кількість необґрунтованих зняття компонента.

Як показують статистичні дані [3], блоки авіоніки, що прибули для ремонту, лише в 14,3 % мали підтверджені відмови, стільки ж перемежовані, а 71,4% випадків були пов'язані з помилковою сигналізацією.

Для літаків F/A-18C помилкова сигналізація відмов склала більш 88%, а середній наробіток на помилкову сигналізацію- менше 1 год. У деяких випадках повернення повернутих через помилкову сигналізацію відмов перевищив 83% [4]. Для іншого роду військ (флот, сухопутні) цей показник досягає 67%. В 2000 р. для конвертоплану V-22 помилкова сигналізація була на рівні 92% [5]. За даними Boeing [5], деяка авіоніка на військових літаках

показала 100% помилкової сигналізації про відмови. Автомобільні блоки керування круїз-контролем, повернено із цієї причини - 96% NFF [6].

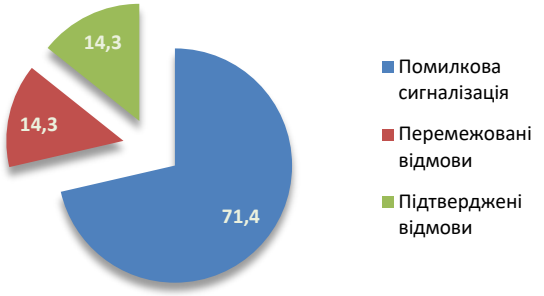


Рис.1 Процентне співвідношення результатів перевірок виробів, відправлених у ремонт

Тобто, підвищуючи рівень контролепридатності шляхом впровадження надійних і достовірних систем контролю та діагностики, можна по-перше виключити порядку 70% необґрунтованих відправлень обладнання в ремонт і, по-друге, значно підвищити готовність літака до польотів.

На даний час, впроваджені розробниками індивідуальні вбудовані системи контролю (ВСК/BITE) обладнання та централізовані бортові системи контролю та діагностики або технічного обслуговування (СЦТО/CMS) враховуються в закладеній (або конструктивної) готовності літака Ai (inherent availability). CMS це розвинена бортова система технічного обслуговування, яка об'єднує результати контролю індивідуальних BITE і на додаток до них контролює за власними алгоритмами обладнання, що не має BITE. Так як, CMS нерозривно пов'язана з BITE, надалі будемо використовувати загальне поняття CMS технології.

Закладена (або конструктивна) готовність літака Ai як комплексний показник ефективності експлуатаційної технологічності може бути розрахована за наступною формулою [1]:

$$Ai = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}}{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} + \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i R_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}},$$

де MTBF – середній наробіток літака на відмову; MTTR – середня тривалість відновлення літака; N – кількість замінних компонентів; λ_i – інтенсивність відмов n-го компонента; R_i – середня тривалість відновлення n-го компонента;

Приклад залежності *Ai* від MTTR і MTTR наведено на рис. 2 [1].

Необхідно відзначити, що показник Ai характеризує проект з точки зору надійності та експлуатаційної технологічності й ураховує тільки позапланове технічне обслуговування. Як показують графіки на рис.2, для досягнення заданого показника Ai та компенсації зниження надійності необхідно підвищити MTTR.

На показник MTTR безпосередньо впливає контролепридатність, а саме впровадження BITE і CMS технологій.

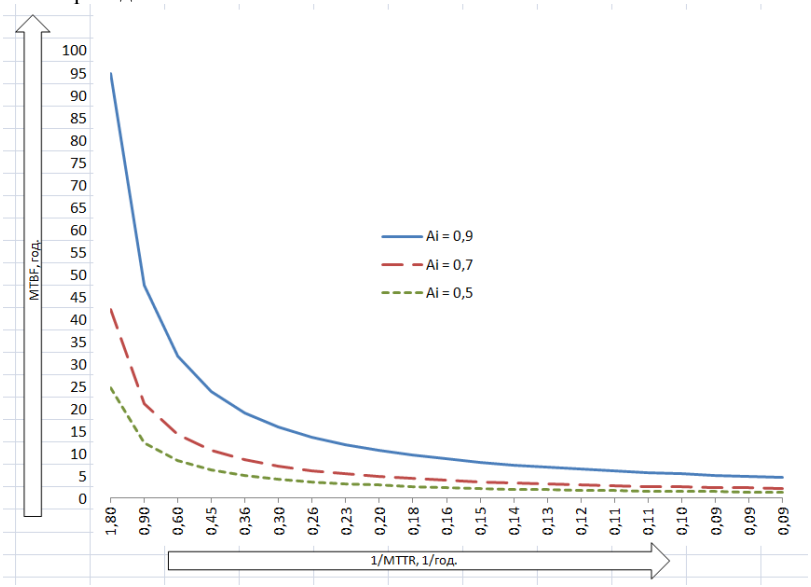


Рис. 2. Залежність *Ai* від MTTR і MTTR

У свою чергу експлуатаційна готовність літака Ao розраховується з урахуванням простоїв на планове та позапланове ТО та так званих не конструктивних факторів, тобто чисто експлуатаційних [1].

$$Ao = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} = \frac{1/\sum_{i=1}^{n} m_i}{1/\sum_{i=1}^{n} m_i + \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i R_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}},$$

де MTBM - середній наробіток між ТО (плановим і позаплановим), MDT – середня тривалість простою на ТО.

Технології BITE і CMS створюються та відповідно можуть бути оцінені вже на етапі проектування тому, що від їхньої глибини реалізації та ступеню їх інтеграції напряму вже залежить показник Ai.

Контролепридатність також як і готовність може бути закладеною (конструктивною), а також досягнутої при експлуатації [2].

Отже, постає задача оцінки впливу впровадження розробником технологій CMS, на готовність літака до польотів.

Запропонована методика оцінки впливу впровадження розробником літака технологій CMS, як елементу сучасних інформаційних технологій контролю на показник готовності літака до польотів Ai.

У разі реалізації CMS:

$$Ai_1 = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR * (1 - K_t)} = \frac{1/\sum_{i=1}^{n} \lambda_i}{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} + \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i R_i}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} (1 - Kt_i)},$$

де Kt – коефіцієнт зниження тривалості операції по ТО з урахуванням впровадження технологій CMS,

Методів і способів розрахунків Ai або Ao з урахуванням впливу цих факторів у сучасній науковій літературі не наводиться достатньо. Безперечно Kt для різних типів і призначення обладнання будуть відрізнятися та можуть задаватися з метою досягнення цільового показника Ai у з урахуванням статистичних даних.

За допомогою розрахунків в MS Excel, що використовують реальні дані декількох сотень комплектуючих виробів були отримані результати для різних рівнів Kt: 0; 0,25; 0,50; 0,75.

Результати для прийнятих значень Kt для регіонального пасажирського літака наведені в табл.

Таблиця

Результати для різних значень Kt

Показник	Умови	Результат
Готовність літака Ai_0	Kt=0	0,973
Готовність літака Ai_1	Kt=0,25	0,979
Готовність літака Ai_2	Kt=0,50	0,986
Готовність літака Ai_4	Kt=0,75	0,996

Результати моделювання представлені на рис. 4.

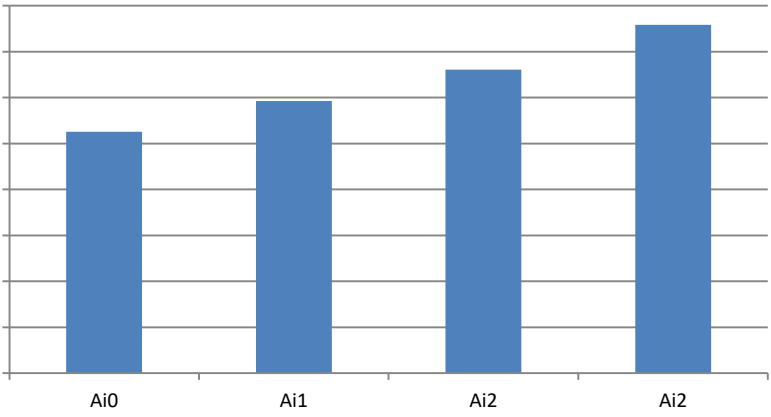


Рис. 4. Результати моделювання Ai

Висновки. Таким чином, результати моделювання показують, що значення готовності літака до польотів Ai змінюються в межах у діапазоні 0,973…0,996, при ефективному впровадженні та застосуванні технологій CMS на етапі проектування, що відповідає зниженню неготовності до вильоту для одного літака від 27 до 4 на 1000 польотів.

Список літератури

1. MIL-HDBK-470A. Designing and Developing Maintainable Products and Systems. 1997. – 719 c.
2. Benjamin S. Blanchard. Logistics Engineering And Management. Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998. – 526 c.
3. Louis Y. Ungar. Causes and Costs of No Fault Found Events. Advanced Test Engineering (A.T.E.) Solutions, Inc. El Segundo, CA, IPC APEX EXPO 2015, 36 c.
4. K. Bain and David G. Orwig. F/A-18E/F Built-in-test (BIT) Maturation Process. Proceedings of NDIA Third Annual Systems Engineering & Supportability Conference, August 2000, c. 419-429.
5. K. Westervelt. Applying the Quality Function Deployment on the V-22 Osprey. 2010 IEEE Aerospace Conference, 2010, c. 212.
6. Kinseng K, Holt M, Precht M. Physics of failure assessment of a cruise control module, Microelectronics Reliability 39,1999, c. 1423-1444.
7. Esker, E.A., Martin, J., Simpson, W.R., Sheppard, J.W, Integrating Design for Testability and Automatic Testing Approaches, IEEE Systems Readiness Technology Conference, Maryland, USA, 1990; pp 509 – 514.

UDC 656.7.086 (45)

T. Shmelova, Doctor of Technical Sciences, Professor
(State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine)
Yu. Sikirda, Candidate of Technical Sciences, Professor
(Ukrainian State Flight Academy, Ukraine)
K. Surkova, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Ukraine
(Ukrainian State Flight Academy, Ukraine)
S. Shaptala
(State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine)
O. Dobryansky
(State Research Institute for Testing, Certification of Armaments and Military Equipment, Ukraine)

Integration of stochastic and non-stochastic models of decision-making by UAV operator

The specifics of stochastic and non-stochastic modeling of decision-making by a UAV operator are considered, and an example of choosing the optimal place for aircraft-type UAV landing in bad weather conditions (thunderstorm) while landing approaching based on the decision matrix under conditions of uncertainty and the decision tree under conditions of risk is presented.

Problem statement. Unmanned technologies have been around for a long time, since the last century. Initially, unmanned aerial vehicles (UAV) were complex and expensive and had only military applications, mainly in the area of tactical and strategic intelligence. However, over the last three decades, there has been a breakthrough in this sphere. The miniaturization of computing systems and the evolution of satellite navigation (GPS/GLONASS) have made it possible to create UAVs that are smaller, more lightweight, and, most significantly, more affordable than previous ones. Today, progress in the development of civilian unmanned systems is rapid, particularly for financial reasons, and a new service sector has emerged [1].

Document [2] provides statistics on UAV accidents in EASA member states for 2023. In 2023, there were 12 accidents and serious incidents involving UAVs. The events are classified using the ICAO Accident Incident Data Reporting Data (ADREP) taxonomy, and the categories are listed in the document: OTHR: other; MAC: Airprox/ACAS warning/loss of alignment/near-air collision; LALT: low altitude flights; LOC-I: loss of control in-flight; NAV: navigation error; CTOL: collision with an obstacle(s) during takeoff and landing; SCF-NP: system (component) failure or malfunction; SCF-PP: power plant failure or malfunction; and UNK: not known or not specified.

In Doc. 10019-AN/507 [3] states that the same methods as for manned aviation are used to assess the hazards and manage safety risks during UAV operation. Before using UAVs, it is necessary to identify hazards, assess the relevant risks, and develop appropriate mitigation measures in the context of drone services.

To preserve high-cost UAVs, it is advisable to develop algorithms for the operator's actions for each type of UAV for various emergencies using the advanced

ASSSIST (Acknowledge, Separate, Synergetic ((Cooperation, Coordination, Consolidation)), Silence, Inform, Support, Time) module of the distributed decision support system (DSS) for UAVs.

The authors' works have addressed the development of individual and collaborative deterministic, stochastic, and non-stochastic models for DSS by the UAV operator in cases of engine failure, fire, urgent delivery of medical supplies, etc. as well as the integration of models to establish unambiguity and synchronize joint actions at key points of multi-alternative interaction and minimize potential risks/losses [4; 5].

The purpose of this publication is the development and integration of decision-making (DM) models by the UAV operator under conditions of risk and uncertainty when the UAV gets into the bad weather conditions (BWC) for the ASSSIST module of the distributed DSS.

Modeling of decision-making by UAV operator under risk and uncertainty. Under conditions of stochastic uncertainty (risk), when each alternative A_i is associated with a multitude of possible consequences u_{ij}, and each consequence has a certain probability of occurrence p_j depending on the impact of environmental factors f_j the sequence of UAV operator's actions should be represented from the standpoint of a systematic approach in the form of a decision tree. A fragment of the decision tree in the task of choosing the optimal flight completion option is shown in Figure 3.

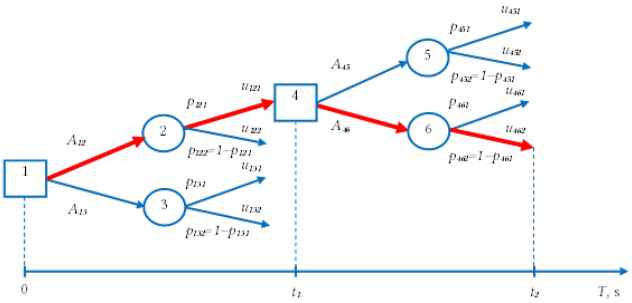


Fig. 1. A fragment of the decision tree in the task of choosing the optimal flight completion option (ASSSIST): 1, 4 – the decision nodes; 2, 3, 5, 6 – the random nodes; A_i – the DM alternatives; u_{ij} – the DM consequences; p_j – the probability of DM consequences; t_m – the time for DM

The solution of the task starts from the last stage, goes to the previous stage, and the calculations continue to the first stage. For the DM task under risk and finding the optimal solution (minimum risks), the risk R is compared at the m-th stage R_m with the risk of the previous stage R_{m-1} (1):

$$R_{Am} = F_m(t_m;\{A\};\{\beta\};\{u\};\{p\}) = t_m(\Sigma p_k u_k + \beta_k), R_m < R_{m-1}, \quad (1)$$

where t – a time of the DM stage; A – an alternative decision; β – an additional risk (risk shift) by the DM stage (development of the emergency); p – a probability of the factors' influence on DM; u – a loss as a result of DM.

Under non-stochastic (complete) uncertainty, when the probability distribution p_j, which corresponds to the factors f_j, that influence results u_{ij} of A_i alternative, is either unknown or cannot be determined, the methodological basis for DM by the UAV operator is a decision matrix (Table 1).

Table 1.

Decision matrix

The matrix	$\{A\}$	Factors influencing DM by UAV operator $\{f\}$					
		f_1	f_2	…	f_j	…	f_n
Alternative actions by UAV operator	A_1	u_{11}	u_{12}	…	u_{1j}	…	u_{1n}
	A_2	u_{21}	u_{22}	…	u_{2j}	…	u_{2n}
	…	…	…	…	…	…	….
	A_i	u_{i1}	u_{i2}	…	u_{ij}	…	u_{in}
	…	…	…	…	…	…	…
	A_m	u_{m1}	u_{m2}	…	u_{mj}	…	u_{mn}

In this case, four DM criteria are used to evaluate potential alternatives: Wald (W) criterion, is also called the minimax criterion; Laplace (L) criterion, is also called the Bayesian (average value) criterion; Hurwitz (H) criterion, is also called the alpha (optimism-pessimism) criterion; Savage (S) criterion, is also called the minimum risk (regret) criterion.

An illustrative example of the integration of UAV operator stochastic and non-stochastic decision-making models in bad weather conditions. According to the National Transport Safety Bureau (NTSB), 21.3% of aviation accidents occur due to weather conditions, and 39.1% of them are due to BWC. In this case, the main reason for aviation accidents in BWC (up to 68%) is the wrong and untimely DM by the pilot [6].

There is presented a training example of getting an aircraft-type UAV into BWC (thunderstorm) during the landing approach. It is necessary to make a decision under conditions of risk and uncertainty, to determine the optimal place for UAV landing.

Characterization of the flight situation:

1. Aircraft-type UAV.

2. Flight route (Fig. 2) from departure aerodrome Kyiv (Zhulyany) (A_1) to destination aerodrome Kyiv (Boryspil) (A_2).

3. Alternative landing places: departure aerodrome Kyiv (Zhulyany) (A_1); destination aerodrome Kyiv (Boryspil) (A_2); alternate aerodromes Kniazhychi (A_3), Bortnychi (A_4), and Hnidyn (A_5).

4. Probability of meteorological conditions: $p_1 = 0.9$ – weather worsening, thunderstorm; $p_2 = 0.9$ – weather improvement, no thunderstorm.

5. When selecting the optimal alternative for flight completion, the UAV operator is guided by the factors [4; 5]: f_1 – weather conditions at the landing place; f_2 – distance to the landing place, quantity of fuel on board; f_3 – technical characteristics of the landing place; f_4 – navigation aids; f_5 – flight performance characteristics of UAV.

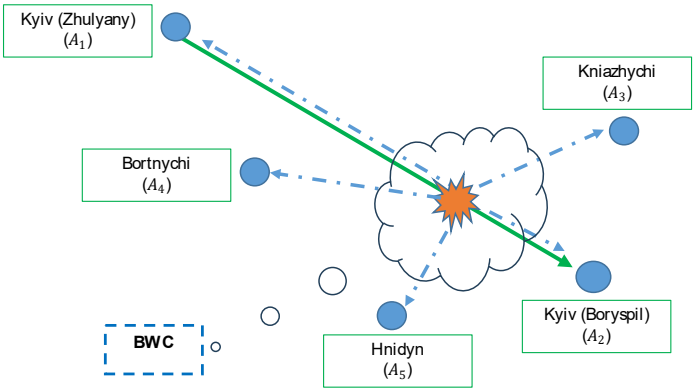


Fig. 2: Schematic illustration of the flight route Kyiv (Zhulyany) (A_1) – Kyiv (Boryspil) (A_2)

Decision-making under conditions of uncertainty. The decision matrix for choosing the optimal place for UAV landing in BWC (thunderstorm) is in Table 2. Initial data are obtained by the Expert Judgment Method (EJM).

Table 2.

The decision matrix for UAV operator in BWC

Alternative decisions		Factors influencing DM by UAV operator {f}					Solutions, c.u.			
{A}		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	W	L	H	S
Departure aerodrome	Kyiv (Zhulyany) (A_1)	10	3	10	10	8	**3**	**8.2**	**6.5**	**7**
Destination aerodrome	Kyiv (Boryspil) (A_2)	2	7	10	10	8	**2**	**7.4**	**6.0**	**8**
Alternate aerodromes	Kniazhychi (A_3)	8	6	5	6	4	**4**	**5.8**	**6.0**	**4**
	Bortnychi (A_4)	3	6	5	6	6	**3**	**5.2**	**4.5**	**3**
	Hnidyn (A_5)	3	7	5	6	4	**3**	**5.0**	**5.0**	**4**

Decision-making under conditions of risk. A graphical example of risk calculation in the form of a decision tree is shown in Fig. 3. Initial data are obtained by the EJM.

The optimal place for UAV landing in BWC (thunderstorm) with minimum loss is Kyiv (Zhulyany) (A_1) (A_{12} = 109.2 c.u.).

Further research will be aimed at the development of the UAV operator DM models and action scenarios under conditions of certainty, risk, and uncertainty in different emergencies for application within the ASSSIST module of the distributed DSS.

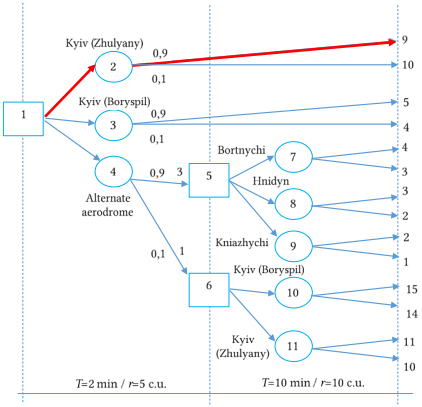


Fig. 3. A graphical example of risk calculation in the form of a decision tree

Conclusion. The specifics of stochastic and non-stochastic modeling of DM by a UAV operator are considered, and an example of choosing the optimal place for aircraft-type UAV landing in BWC (thunderstorm) while landing approaching based on the decision matrix under conditions of uncertainty (Wald, Laplace, Hurwitz, and Savage criteria) and the decision tree under conditions of risk (Bayesian-Laplace criterion) is presented. The calculations were performed using the MS Excel table processor and the Python programming language in the COLAB environment. The solution A_0 was obtained in MS Excel to check the result of Python. Integration of UAV operator stochastic and non-stochastic DM models allows getting a more accurate solution.

References

1. Manual of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). Doc. 10019-AN/507. 1st ed. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2015. 166 p.

2. Annual Safety Review 2024. Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, 2024. 128 p.

3. Safety Management Manual (SMM): Highlights. Doc. 9859. 4th ed. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2018. 300 p.

4. T. Shmelova, Yu. Sikirda, Collaborative decision-making models for UAV operator's intelligent decision support system in emergencies. *Proceedings of the 2nd International Conference on Artificial Intelligence and Information Systems (ICAIIS 2021)*. Chongqing, China, May 28-30 2021. P. 1–7. https://doi.org/10.1145/3469213.3469222.

5. Shmelova T., Lohachova K., Yatsko M. Integration of decision-making stochastic models of Air Navigation System operators in emergency situations. *CEUR Workshop Proceedings*. 2022. Vol-3137. P. 211-226.

6. Statistical Reviews. National Transport Safety Bureau, 2025. URL: https://www.ntsb.gov/safety/Pages/research.aspx (date of access: 08.04.2025).

UDC 621. 396.621.372

V.V. Konin, D.Sc., L.U. Golub
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Model for studying the orbital parameters of GNSS satellites

A mathematical model is presented for studying the orbital parameters of navigation satellites GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, and GEO. The model enables monitoring of GNSS availability, which is particularly crucial for unmanned aviation when operating in autonomous mode.

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) include GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, GEO, local integrity monitoring systems, and user equipment [1]. GNSS technologies are being actively implemented in the aviation industry, especially in unmanned aviation [2]. The development of satellite navigation equipment is aimed at the simultaneous use of all systems and all frequency bands allocated for satellite radionavigation. Even the use of the most advanced navigation equipment does not eliminate the possibility of satellite signal loss or distortion en route or during landing. For this reason, the International Civil Aviation Organization (ICAO) recommends monitoring the availability of navigation satellites. Monitoring systems do exist, for example [3, 4], but they operate via the Internet. The proposed model for studying the orbital parameters of GNSS satellites enables the acquisition of information about the availability of navigation satellites in an autonomous mode.

The proposed model employs a method for determining satellite coordinates using Keplerian orbital elements presented in the YUMA format. This method is used across all satellite navigation systems and, with minor modifications, is referenced in the interface control documents [5, 6, 7, 8]. To determine geometric factors, the method of inverting the covariance matrix for linearized equations is applied.

$$n \times (3 + N)$$

Where n is the number of satellites, and N is the number of systems.

The input data consists of a satellite almanac in YUMA format. This data can be obtained from a navigation receiver or from websites engaged in global monitoring. The YUMA format includes data only for GPS satellites. The company Trimble publishes almanac data for all satellite navigation systems on the ftr-node [9], but in its own proprietary format. In the model, the input data is the almanac from [9], converted into YUMA format using the program [10]. A description of the YUMA format can be found on the website [11]. In addition to the almanac data, a desired date is specified: year, month, day, hour, minute, second, and a time interval within which the coordinates of the navigation satellites are determined for the current second, as well as the position from which the satellites are observed. Satellite identification numbers are stored in the Trimble protocol data. For GPS, ID = 1, …, 32; for GLONASS, ID = 38, …, 61; for QZSS, ID = 112, …, 117; for GEO, ID = 118, …, 138; for Galileo, ID = 202, …, 236; for BeiDou, ID = 264, …, 390.

Verification of the almanac's integrity for use in the model. Satellites with an almanac parameter "Health" differing from zero are excluded.

Calculation of satellite coordinates and time at the current moment in the geocentric Earth-centered, Earth-fixed (ECEF) coordinate system using formulas [5-8]. As a result, the satellite coordinates are obtained.

$$X(j,i),\ Y(j,i),\ Z(j,i)$$

Where i ∈ 1, ..., N represents the identification numbers of the satellites, j ∈ t_0, ..., t_n denotes the time steps within the interval from t_0 - t_n , N is the maximum satellite number in the almanac.

Transition to the topocentric coordinate system. The transformation is performed using the MATLAB function **ecef2enu**. As a result, we obtain, where henceforth the indices **j** and **i** are omitted.

$$xEast, yNort, zUp$$

Determination of satellite visibility angles. The azimuth (Az) and elevation (El) angles are calculated using the topocentric coordinates of the satellites obtained earlier.

$$AZ = tan^{-1}(xEast/yNort) + 2\pi,$$

$$EL = tan^{-1}(zUp/\sqrt{xEast^2 + yNort^2 +}).$$

Formation of observation matrices. For individual systems, the structure of the observation matrices is identical. The row of the observation matrix for the i-th satellite at time j is given by .

$$G(i,j) = \left[\cos EL(i,j)\cdot\cos AZ(i,j) \quad \cos EL(i,j)\cdot\sin AZ(i,j) \quad \sin EL(i,j) \quad 1\right]$$

Determination of geometric factors. To perform the calculation, a matrix is computed.

$$[D] = [G^T \cdot W \cdot G]^{-1}$$

Where T denotes the transpose of matrix G, W is the matrix of weighting coefficients, and '-1' indicates the inverse of the matrix within square brackets.

Geometric factors are determined from the diagonal elements of matrix [D]. For a single system, the formulas for the geometric factors are as follows.

$$GDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33} + D_{44}},$$
$$PDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22} + D_{33}},$$
$$HDOP = \sqrt{D_{11} + D_{22}},$$
$$VDOP = \sqrt{D_{33}},$$
$$TDOP = \sqrt{D_{44}}.$$

If there is more than one system, diagonal elements are added to GDOP and TDOP.

Development of a graphical interface. Graphical representations are created using MATLAB tools, except for SkyPlot charts, which are generated using the function **plotsat** [12].

The images partially presented below were obtained using the almanac for March 20, 2025. The almanac was retrieved from the Trimble server at ftp.trimble.com/pub/eph and converted into the YUMA format [10].

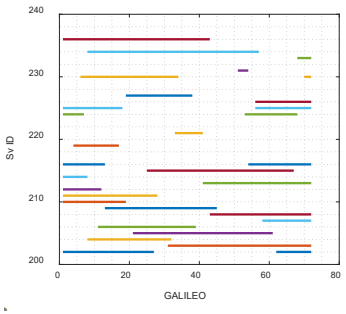


Fig.1

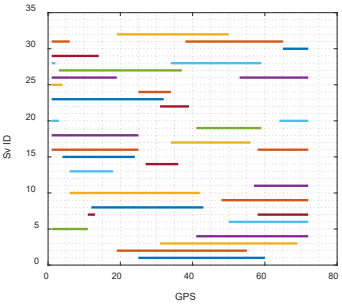


Fig.2

Figures 1 and 2 show visibility diagrams for GPS and Galileo satellites. The horizontal axis represents time samples, with each sample corresponding to 600 seconds, while the vertical axis represents the identification numbers of the satellites. The presence of a colored line indicates the observability of a satellite. For other systems, the diagrams are similar.

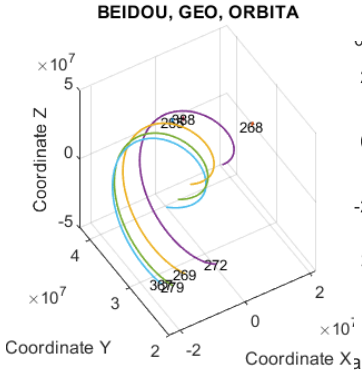


Fig.3

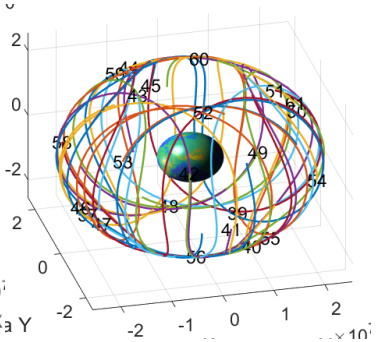


Fig.4

Figure 3 depicts the 3D orbits of geosynchronous BeiDou satellites, while Figure 4 shows the orbits of GLONASS satellites.

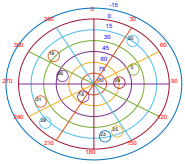


Fig.5

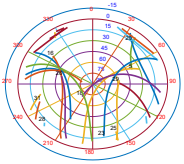


Fig.6

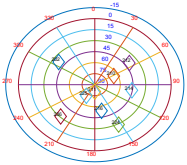


Fig.7

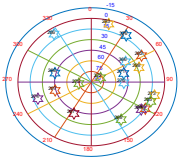


Fig.8

Figures 5, 7, and 8 show the positions of GPS, Galileo, and BeiDou satellites at a specified time sample, while Figure 6 illustrates the traces of GPS satellites over a specific time interval. The images in Figures 5 through 8 are referred to as SkyPlots.

The concentric circles correspond to the elevation angles (EL) of the satellites, while the azimuth angles are measured within a range of 0 to 360 degrees from the northward direction (0 on the diagram).

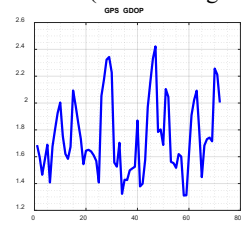


Fig.9

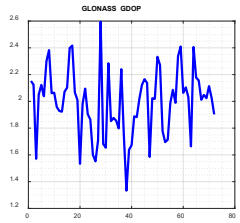


Fig.10

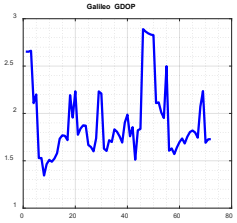


Fig.11

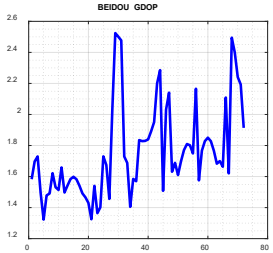


Fig.12

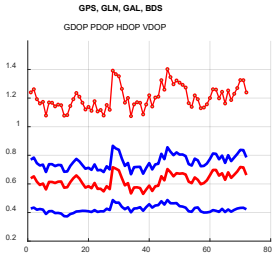


Fig.13

Figures 9 through 12 display the geometric factors (GDOP) for individual systems. Figure 13 shows GDOP, PDOP, HDOP, and VDOP during the simultaneous operation of four systems. (Doppler frequency)

Conclusion

A model has been proposed and tested for studying the orbital characteristics of satellite navigation systems GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, and QZSS, operating both individually and in arbitrary combinations. The set of parameters obtained through the model enables autonomous prediction of navigation satellite availability, monitoring of the radio navigation field during flight planning, and the development of failure scenarios for both entire systems and individual satellites. The model has been implemented as a program and is available for use in the study of disciplines such as "Global Navigation Satellite Systems" and "Satellite Information Aerospace Technologies and Systems" at the State University "Kyiv Aviation Institute."

References

1. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation – Aeronautical Telecommunications, Volume I (Radio Navigation Aids), 8th edn. ICAO, Montreal (2023).

2. EUSPA, EUSPA EO and GNSS Market Report. Luxembourg, 2024, doi: 10.2878/73092.

3. https://www.gnssplanning.com/#/settings

4. https://gnss-monitoring.dlr.de/gnss-advanced/map
5. Incorporation of IRN-IS-200M-001, 22 Aug 2022.
6. GALILEO OPEN SERVICE SIGNAL-IN-SPACE INTERFACE CONTROL DOCUMENT (OS SIS ICD) Issue 2.1 | November 2023
7. BeiDou Navigation SatelliteSystemSignal In SpaceInterface Control DocumentOpen Service Signal B2b (Version 1.0). China Satellite NavigationOfficeJuly, 2020.
8. Quasi-Zenith Satellite System Interface Specification Satellite Positioning, Navigation and Timing Service (IS-QZSS-PNT-006). July 11, 2024.
9. ftp.trimble.com/pub/eph
10. Valeriy Konin, Olexiy Pogurelskiy (2024). GNSS almanac converter (https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/<...>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved April 17, 2024.
11. https://www.celestrak.org/GPS/almanac/Yuma/definition.php
12.ValeriyKonin(2024).VISIO GPS https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/163061-visio-gps), MATLAB Central File Exchange. Retrieved April 9, 2024.

УДК 629.7.07(043.2)

С.А. Сімченко,
Т.Ф. Шмельова, д.т.н., професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Прийняття рішень оператором БПЛА в аварійній ситуації «втрата GPS» з використанням семантично-когнітивного моделювання

Пропонується моделі прийняття рішень оператором БПЛА в умовах невизначеності і ризику у разі виникнення аварійної ситуації за допомогою семантично-когнітивного моделювання. Прийняття рішень з визначенням основних факторів впливу на його прийняття.

Постановка проблеми. Ситуаційне управління багатоцільовими БПЛА при спільному використанні державної та цивільної пілотованої і безпілотної авіації в єдиному повітряному просторі характеризується значним зростанням об'ємів інформації різного формату, застосуванням консолідованої інформації з відповідними пріоритетами, пошуком, обробкою, класифікацію, структуризацію, інтеграцію та консолідацію ресурсів глобального інформаційного середовища. Основною проблемою при прийнятті оперативних рішень є своєчасне, оперативне отримання та оброблення різнорідної інформації, що є актуальним у разі виникнення аварійної ситуації.

Одним з конструктивних способів інтеграції інформаційних ресурсів є формування ситуаційних онтологій, пріоритетного об'єднання різнорідної інформації і конструктивного прийняття рішень при виконанні польотів БПЛА і єдиному ПП, як у нормальних так і в позаштатних ситуаціях. Наразі актуальним є аналіз розвитку ситуації «втрата GPS (Global Positioning System - система глобального позиціювання)» і моделювання прийняття рішень оператором БПЛА в умовах ризику і невизначеності.

Метою публікації є аналіз виникнення аварійній ситуації «втрата GPS», визначення основних факторів, що впливають на розвиток ситуації в польоті, та моделювання прийняття рішень оператором БПЛА в аварійній ситуації «втрата GPS та перехід на інерційну навігаційну систему» з використанням семантично-когнітивного моделювання.

Основна частина. Для когнітивного моделювання визначаються основні фактори, що впливають на прийняття рішень і відповідні взаємозв'язки: вид цільової задачі, аналіз, оцінювання місцевості виконання польоту; визначення, оцінювання факторів, що впливають на виконання польоту, забезпечення виконання польоту БПЛА в умовах ризику і невизначеності; підготовка і обробка експертних даних. Онтологія об'єднання інформації забезпечують оперативне прийняття рішень з упередженням [1]. Аналіз великих обсягів інформації і моделювання прийняття рішень забезпечується реалізацію інформаційно-аналітичних платформ, які спроможні постійно обробляти динамічну інформацію, яка формується у просторово-розподілених мережевих джерелах, безперервно отримується та оновлюється профільними фахівцями, що безпосередньо мають відношення до виконання місій БПЛА та приймати

оперативні рішення. Навігаційні дані, мають перевірятись на цілісність та достовірність. Прийняття рішень полягає в аналізі ситуації, в якій знаходиться БПЛА, ідентифікації і прийняття рішення. При плануванні польотів БПЛА передбачається можливість виконання аварійної посадки в місцях, де ризик для безпеки людей або майна на землі буде мінімальним. Враховуючи те, що в аварійній ситуації зовнішні пілоти, на відміну від пілотів, які перебувають на борту і виконують політ у візуальних умовах, мають у своєму розпорядженні обмежені можливості спостереження за фактичної обстановкою на землі, вони повинні покладатися на попередньо заплановані сценарії розвитку аварійних ситуацій, які можуть виникнути при виконанні польоту по заданому маршруту.

Авторами представлено семантично-когнітивну модель прийняття рішень оператором БПЛА при аварійній ситуації "втрата GPS та перехід на інерційну навігаційну систему". Семантично когнітивне моделювання та прийняття рішень застосовуються в системі підтримки прийняття рішень (СППР) оператора БПЛА для ефективного здійснення необхідних заходів для забезпечення безпеки польотів [2; 3]. В умовах сучасної авіації безпека польотів залежить від ефективного прийняття рішень оператором БпЛА у позаштатних ситуаціях. Розглянемо семантично-когнітивну моделі прийняття рішень оператором БПЛА при аварійній ситуації «втрата GPS та перехід на інерційну навігаційну систему». Семантично когнітивне моделювання та прийняття рішень застосовуються в системі підтримки прийняття рішень (СППР) оператора для ефективного здійснення необхідних заходів для забезпечення безпеки польотів [1]. За допомогою когнітивного моделювання побудуємо концептуальну модель, що описує, як оператор БПЛА аналізує інформацію, формує рішення та виконує дії в стресових умовах.



Рисунок 1. Концептуальна модель прийняття рішень в аварійній ситуації

Втрата сигналу GPS на борту безпілотного літального апарату становить критичну проблему, оскільки позбавляє БПЛА основного джерела точної навігаційної інформації. Без GPS апарат втрачає можливість визначати своє абсолютне положення в просторі з високою точністю, що ставить під загрозу виконання місії та безпеку польоту. Але наявність на борту інерційної навігаційної системи (ІНС) забезпечує стабільний політ БПЛА, на відміну від

GPS точність ІНС поступово зменшується через накопичення похибки, що вимагає від оператора прийняття рішення, щодо одного з варіантів завершення місії. На рис.2 представлена семантична мережа, що відображає алгоритм прийняття рішення в аварійній ситуації.

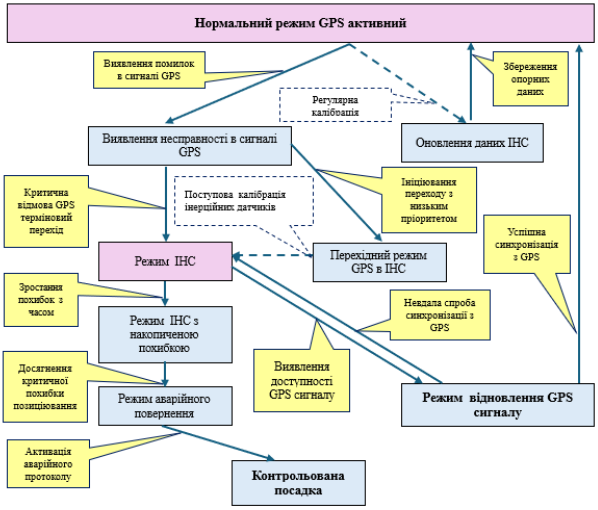


Рисунок 2. Семантична мережа, що відображає алгоритм прийняття рішення в аварійній ситуації

В контексті аварійних ситуацій моделі прийняття рішень в умовах невизначеності забезпечують структурований підхід до оцінки ризиків та вибору найбільш раціонального варіанту дій серед наявних альтернатив. Варіанти рішень: «продовження польоту з використанням резервної ІНС», «повернення на точку зльоту», «аварійна посадка на найближчу точку». В семантичній моделі взаємозв'язків між елементами виконання польоту БПЛА розташовані фактори, що впливають на виконання польотного завдання [2]. Кожна окрема ситуація спричиняє свій набір «важливості» впливу. В таблиці 1 представлені фактори елементів, що впливають на прийняття рішень.

Таблиця 1. Таблиця факторів елементів, що впливають на прийняття рішень

Елементи системи	Фактори	Елементи системи	Фактори
Стан БПЛА	Положення в просторі	Тип ІНС	Модель
	Швидкість		Точність
	Висота		Резервування
	Запас енергії/палива		Накопичена похибка
Середовище	Місцевість	Місія	Пріоритет місії
	Погодні умови		Прогрес виконання

	Видимість		Точка призначення
	Перешкоди		Планові шляхові точки
Критерії	Безпека польоту	Тип польоту БПЛА	Автономний політ
	Виконання плану		Управління зовнішнім пілотом
	Економія ресурсів	Тип БПЛА	Квадрокоптер
	Збереження БПЛА		Літаковий тип

Якісне оцінювання важливості факторів, що впливають на прийняття рішень БПЛА при аварійній ситуації «втрата GPS та перехід на інерційну навігаційну систему» представлено у таблиці 2.

Таблиця 2. Таблиця важливості факторів, що впливають на прийняття рішень

Фактор	Продовження з ІНС	Повернення	Аварійна посадка
Положення в просторі	Середній	Високий	Високий
Модель ІНС	Критичний	Середній	Низький
Швидкість ІНС	Високий	Середній	Низький
Точність ІНС	Критичний	Високий	Середній
Висота	Середній	Середній	Високий
Резервування	Високий	Середній	Низький
Запас енергії/палива	Критичний	Критичний	Середній
Накопичена похибка	Критичний	Високий	Середній
Місцевість	Середній	Середній	Критичний
Пріоритет місії	Критичний	Середній	Низький
Погодні умови	Високий	Високий	Критичний
Прогрес виконання	Високий	Середній	Низький
Видимість	Середній	Середній	Високий
Точка призначення	Високий	Низький	Низький
Перешкоди	Високий	Середній	Критичний
Планові шляхові точки	Середній	Низький	Низький

За допомогою методу експертного оцінювання було визначено значущість факторів які найбільше впливають на вибір альтернативного рішення під час виникнення аварійної ситуації «втрата GPS». Такими є: точність ІНС, пріоритет місії, погодні умови, запас енергії/палива, збереження БПЛА. В табл.3 представлені оцінки експертів, визначення узгодженості експертів, вагові коефіцієнти (w_i) значущості факторів, що впливають на прийняття рішень у разі аварійної ситуації «втрата GPS та перехід на інерційну навігаційну систему» для альтернативних рішень: продовження польоту з використанням резервної ІНС; повернення на точку зльоту; аварійна посадка на найближчу точку. Наприклад, ступінь узгодженості групи експертів щодо впливу фактору «погодні умови», для рішення «продовження польоту з використанням резервної ІНС» визначені дисперсія, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації:

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^{m}\left(R_{\text{гр}j} - R_i\right)^2}{m-1} = 1{,}20;\ \sigma_j = \sqrt{D_j} = 1{,}10;\ \nu_j = \frac{\sigma_j}{R_{\text{гр}j}} \cdot 100\ \% = 28{,}83\%.$$

Думки експертів узгоджені, ν < 33 % . У разі ν > 33 % думки неузгоджені, застосований коефіцієнт конкордації Кендалла для визначення узгодженості думок експертів за усіма параметрами:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3-n)-m\sum_{j=1}^{m} T_j} = 0{,}78.$$

Маємо $W = 0{,}78$ – узгодженість думок експертів висока. Визначення вагових коефіцієнтів:

$$w_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^{n} C_j} = 0{,}15;\ C_i = 1 - \frac{R_{ij}-1}{n} = 0{,}44.$$

Таблиця 3. Визначення вагових коефіцієнтів для рішення «продовження польоту з використанням резервної ІНС»

Експерти	Точність ІНС	Пріоритет місії	Погодні умови	Запас енергії/ палива	Збереження БпЛА
1	2	2	5	3	4
2	2	1	5	3	4
3	1	2	3	4	5
4	2	2	3	3	5
5	2	1	3	4	5
Прийняття рішення «продовження польоту з використанням резервної ІНС»					
R_{cp}	1,8	1,6	3,8	3,4	4,6
D_i	0,20	0,30	1,20	0,30	0,30
σ_j	0,45	0,55	1,10	0,55	0,55
ν_i, %	24,85	34,23	28,83	16,11	11,91
C	0,84	0,88	0,44	0,52	0,28
w_i	0,28	0,30	0,15	0,18	0,09
Прийняття рішення «повернення на точку зльоту»					
R_{cp}	1,6	4,8	3,4	2,8	1,4
D_i	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30
σ_j	0,55	0,45	0,55	0,45	0,55
ν_i, %	34,23	9,32	16,11	15,97	39,12
C	0,88	0,24	0,52	0,64	0,92
w_i	0,28	0,08	0,16	0,20	0,29
Прийняття рішення «аварійна посадка на найближчу точку»					
R_{cp}	2,6	4,8	1,6	2,8	1,6
D_i	0,30	0,20	0,18	0,20	0,30
σ_j	0,55	0,45	0,42	0,45	0,55
ν_i, %	21,07	9,32	26,15	15,97	34,23
C	0,68	0,24	0,88	0,64	0,88
w_i	0,20	0,07	0,27	0,19	0,27

Отримання вагових коефіцієнтів значущості впливу факторів β (β_1 точність ІНС, β_2 пріоритет місії, β_3 погодні умови, β_4 запас енергії/палива, β_5 збереження БПЛА), застосовані в матриці прийняття рішень. За допомогою критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності Вальда (В) і Лапласа(Л) знайдені оптимальні рішення (таблиця 4). За критерієм Вальда оптимальне

рішення - аварійна посадка на найближчу точку, за критерієм Лапласа - повернення на точку зльоту.

Таблиця 4. Прийняття рішень в умовах невизначеності.

Альтернативні рішення	Фактори					Критерії	
	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	В	Л
Продовження польоту з використанням резервної ІНС	0,28	0,3	0,15	0,18	0,09	0,09	0,11
Повернення на точку зльоту	0,28	0,08	0,16	0,2	0,29	0,08	0,12
Аварійна посадка на найближчу точку	0,2	0,07	0,27	0,19	0,27	0,07	0,11

Висновки. В роботі розглянуто використання семантично-когнітивного моделювання прийняття рішень в аварійній ситуації "втрата GPS". Використання такого моделювання в системі підтримки прийняття рішень дозволить своєчасно та ефективно приймати рішення під час аварійних ситуацій.

Список літератури

1. Automated Systems in the Aviation and Aerospace Industries Chapter 14. Modeling With Colored Petri Nets: Specification, Verification, and Performance Evaluation of Systems / Dmitry A. Zaitsev, Tatiana R. Shmeleva. - International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania. 2019. - P. 378- 404
2. Research Anthology on Decision Support Systems and Decision Management in Healthcare, Business, and Engineering Chapter 24 Intelligent Expert Decision Support Systems: Methodologies, Applications, and Challenges /Abdel-Badeeh M. Salem, Tetiana Shmelova – USA: IGI-Global Publ, 2021. – P. 510-531.
3. Methods and Applications of Geospatial Technology in Sustainable Urbanism. Chapter 15: Unmanned Aerial Vehicles for Smart Cities: Estimations of Urban Locality for Optimization Flights / Shmelova T., Lazorenko V., Burlaka O. // Ed. José António Tenedório, Rossana Estanqueiro and Cristina Delgado USA, Pennsylvania, 2021.– P. 444-477
4. Shmelova, T., Kucherov, D., Simchenko, S. Organization of Group Flight Using Heterogeneous UAVs for Multi-purpose Target Tasks. In 2024 IEEE 7th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2024 - Proceedings. Institute of Electrical and Electronics Engineers October, pp. 169–174, 2024 DOI: 10.1109/APUAVD64488.2024.10765885

УДК 629.7.08, 004.056.2

О.Р. Іващук, PhD
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз відхилення літаків в повітряному просторі Туреччини

У дослідженні аналізується відхилення траєкторії літаків від центру маршруту на основі даних ADS-B, отриманих у лютому 2025 року. Використовуючи статистичні методи аналізу та програмні бібліотеки Python, було оброблено понад 7 мільйонів значень, що дозволило визначити рівень відповідності встановленим мінімумам ешелонування. Результати показали, що лише 25,5% відхилень знаходяться в межах допустимого діапазону, що може мати значний вплив на безпеку повітряного руху.

Глобальний інформаційний збій

Попри напруженість у геополітичній сфері авіація як галузь за останнє століття зросла небувалими темпами. Це добре видно по кількості пасажирів, перевезених щороку: у 1960 році їх було лише 106 мільйонів, а у 2019 році—4,49 мільярда. Звісно, пандемія COVID-19 серйозно вплинула на авіацію, скоротивши кількість пасажирів у 2020 році до 1,78 мільярда та зменшивши пасажирські доходи з 800 до 350 мільярдів доларів. Однак, згідно з даними IATA[1], до 2023 року авіація майже повністю оговталася від наслідків пандемії, а доходи досягли 908 мільярдів доларів. Це свідчить про те, що у майбутньому ми можемо очікувати ще більшого зростання галузі. Водночас обмеженість доступного повітряного простору може спричинити ризики зіткнень літаків у повітрі.

За останні десятиліття авіація зробила значний крок у забезпеченні безпеки польотів. Наприклад, 2023 рік став рекордним за рівнем безпеки: із 37,7 мільйона рейсів було зафіксовано лише одну катастрофу із 72 загиблими та 30 випадків без фатальних наслідків. На жаль, у 2024 році ситуація з аваріями погіршилася.

Не сприяє покращенню ситуації з безпекою польотів і той факт що кількість конфліктів у світі виросла в два рази порівняно з 2020 роком, а про геополітику взагалі краще не згадувати. Згідно з правилами ІКАО[2], держави-члени зобов'язані закрити будь-який повітряний простір над своєю територією, у якому не може бути гарантована безпека повітряного руху , крім того самі авіакомпанії оцінюють ризики щодо використання того чи іншого маршруту . З початком Російсько-Української війна , Україна закрила свій повітряний простір, Західні країни ввели санкції проти Росії як агресора і заборонили польоти над своєю територією для російських авіакомпаній, Росія ввела аналогічні санкції проти Заходу обмеживши польоти західних авіакомпаній над своєю територією[3]. Це змусило авіакомпанії перебудовувати маршрути, збільшуючи тривалість польотів.

На тлі глобального зростання авіаперевезень, обмежений повітряний простір створює загрозу зіткнень літаків у районах пере направлення повітряних потоків. Одним із перспективних рішень є використання концепції вільного повітряного простору (FRA), яка дає змогу пілотам вибирати оптимальні

маршрути. Однак її впровадження потребує складних прогнозних моделей для оцінки ризиків.

Найнебезпечнішою ситуацією в авіації є зіткнення літаків у повітрі. Для розрахунку ризику зіткнення використовують моделі ризику в більшості випадків вони використовують ймовірності вертикального або горизонтального перекриття[4,5]. Ці ймовірності можна розрахувати знаючи відхилення літака від центру маршруту. Мета дослідження визначити відхилення літака від центру маршруту і зробити аналіз отриманих даних.

Для отримання даних використовувалась інформація від системи спостереження ADS-B яка передає данні стосовно місцеположення літака на всі доступні наземні і повітряні радіо приймачі . Для аналізу цих даних використовувались бібліотеки[6] написані на мові програмування Python .Дані записувалися в період з 16/02/25 по 25/02/25 в результаті було отримано інформацію про більше ніж 2 тисячі унікальних польотів де різні типи літаків виконували різні рейси. Для того щоб розуміти чи є отримане значення відхилення літака безпечним ми використаємо встановлені мінімуми ешелонування які основані на точності радіонавігаційних засобів ,а точніше на здатності літака витримувати задані межі маршруту протягом 95% польоту. Найбільш поширеними навігаційними характеристиками на даний момент є: RNAV 10 ,RNAV 5,RNP 4,RNP 1[7] , де значення серед них всіх було обрано саме RNAV 10, яке відповідає морським милям і відповідно 18.52 км.

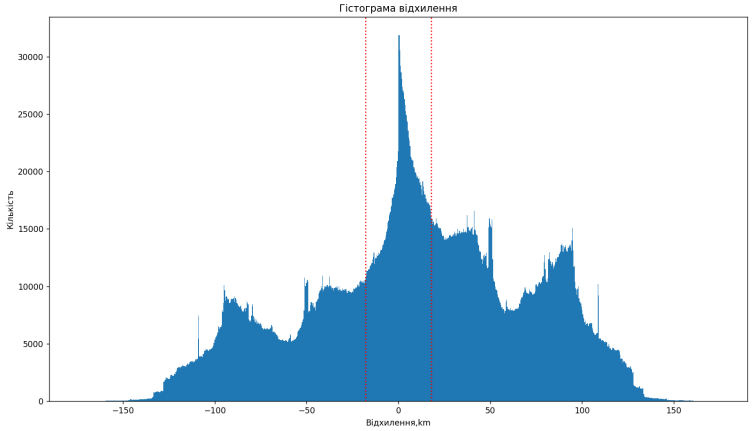


Рис 1. Результати відхилення літака від центру маршруту

Було виявлено що майже 3/4 відхилень виходять за межі встановленого мінімуму (Рис.1) . Зазвичай розподіл відхилень маршруту відповідає стандартному Гаусівському розподілу де в межах 2σ від центру находиться 95% процентів всіх значень вибірки і в більшості попередніх досліджень цей процент відповідав мінімумам горизонтального ешелонування.

Для перевірки відповідності даних до нормального закону розподілу був використаний критерій узгодженості Андерсона — Дарлінга (1)

$$A^2 = -n - 2\sum_{\{i=1\}}^{n}\{\frac{(2i-1)}{n}\ln F(X\_i) + ln(1 - F(X_i))(1 - \frac{(2i-1)}{n}), \quad (1)$$

,де A^2- статистика тесту Андерсона-Дарлінга, n- розмір вибірки, F(X_i)-теоретична функція розподілу для впорядкованих значень вибірки .

Отримане значення 0.5738,означає що дані відповідають нормальному розподілу. А значить більшість літаків виконують з середнім відхиленням більше 50 км.

Висновок.

В ходу дослідження було записано понад 7361575 значень з яких тільки 1878901 тобто 25,5% процентів находяться в межах дозволеного мінімуму ешелонування тобто 18 кілометрів від центру маршруту. Виявлено що в межах досліджуваної вибірки рейсів більшість літаків в середньому мають відхилення 50 км від центру маршруту. Отримані дані слугують основою для подальших досліджень щодо покращення системи навігації та мінімізації ризиків в авіації.

Список літератури

1. Annual Review 2023. IATA (2023).
2. Air traffic management, Procedures for Air Navigation Services, Doc. 4444, ICAO (2016).
3. Ostroumov, I., Ivashchuk, O., Kuzmenko, N.: Preliminary estimation of war impact in Ukraine on the global air transportation. In: 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), pp. 281–284. IEEE, Ruzomberok, Slovakia (2022). doi:10.1109/ACIT54803.2022.9913092.
4. The Longitudinal Reich Collision Risk Model .SASP-WG/WHL/20-IP/10,ICAO (2012)
5. Aldis, G., Barry, S.: Fast evaluation of the Anderson-Hsu collision risk for a crossing track scenario. In: Proceedings of the ICAO SASP-WGH-27 Meeting, Oklahoma City, OK, USA (2015)
6. The OpenSky Network. https://opensky-network.org, last accessed 2025/01/15.
7. Performance-Based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. ICAO (2008).

UDC 621.396.1

O.M. Ishchenko, PhD
(State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine)

Method for investigating the impact of ionospheric, tropospheric, and time correction on the Global Navigation Satellite System

Data from the navigation receiver and the message structure of GPS satellites were examined. The influence of time, ionospheric and tropospheric corrections on the results of determining coordinates was investigated.

The accuracy of GPS positioning depends on a number of factors. The main sources of errors, that affect the accuracy of navigation calculations in the GPS are:

- Ionospheric signal delays. The ionosphere is an ionized atmospheric layer, which contains free electrons. It can cause a delay in the propagation of the satellite signal.
- Tropospheric signal delays. The troposphere is the lowest layer of the atmosphere from the Earth's surface (up to a height of 8-13 km.). It also causes a delay in the propagation of the radio signal from the satellite. The magnitude of the delay depends on meteorological parameters (pressure, temperature, humidity).
- Inaccurate time determination. Despite the accuracy of satellite time standards, there is some error in the time scale of the satellite equipment.
- Multipath signal propagation. It appears as a result of reflection of the satellite signal from large obstacles located in close proximity to the receiver [1].

Using the information processing software in Matlab environment, we can investigate these parameters. To solve the problem, we need to use the data shown in Fig. 1-5. As we can see, Message ID 7 is used to determine the coordinates of navigation satellites at a given time. Message ID 8 is used to correct the measured pseudoranges due to the passage of the satellite signal through the ionosphere. Message ID 43 is used to determine the coordinates of the receiver at a given time. Message type 101 is used to determine the current time. Messages ID 243 and 270 are used to compare the data generated by the receiver and obtained using the program in Matlab.

Structure: **Message ID: 7**
Log Type: Asynch

Field#	Field type	Data Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	header	Log header		H	0
2	PRN	Satellite PRN number	Ulong	4	H
3	tow	Time stamp of subframe 0 (seconds)	Double	8	H+4
4	health	Health status. A 6-bit health code as defined in ICD-GPS-200[8]	Ulong	4	H+12
5	IODE1	Issue of ephemeris data 1	Ulong	4	H+16
6	IODE2	Issue of ephemeris data 2	Ulong	4	H+20
7	week	GPS week number	Ulong	4	H+24
8	z week	Z-count week number. This is the week number from subframe 1 of the ephemeris. The "toe week" (field #7) is derived from this to account for rollover.	Ulong	4	H+28
9	toe	Reference time for ephemeris, seconds	Double	8	H+32
10	A	Semi-major axis, meters	Double	8	H+40
11	ΔN	Mean motion difference, radians/second	Double	8	H+48
12	M_0	Mean anomaly of reference time, radians	Double	8	H+56
13	ecc	Eccentricity, dimensionless	Double	8	H+64
14	ω	Argument of perigee, radians	Double	8	H+72
15	cuc	Argument of latitude (amplitude of cosine, radians)	Double	8	H+80
16	cus	Argument of latitude (amplitude of sine, radians)	Double	8	H+88
17	crc	Orbit radius (amplitude of cosine, meters)	Double	8	H+96
18	crs	Orbit radius (amplitude of sine, meters)	Double	8	H+104
19	cic	Inclination (amplitude of cosine, radians)	Double	8	H+112
20	cis	Inclination (amplitude of sine, radians)	Double	8	H+120
21	i_0	Inclination angle at reference time, radians	Double	8	H+128
22	$\dot{i}$	Rate of inclination angle, radians/second	Double	8	H+136
23	ω_0	Right ascension, radians	Double	8	H+144
24	$\dot{\omega}$	Rate of right ascension, radians/second	Double	8	H+152
25	iode	Issue of data clock	Ulong	4	H+160
26	toc	SV clock correction term, seconds	Double	8	H+164
27	tgd	Estimated group delay difference, seconds	Double	8	H+172
28	a_{f0}	Clock aging parameter, seconds (s)	Double	8	H+180
29	a_{f1}	Clock aging parameter, (s/s)	Double	8	H+188
30	a_{f2}	Clock aging parameter, (s/s/s)	Double	8	H+196
31	AS	Anti-spoofing on: 0 = FALSE 1 = TRUE	Enum	4	H+204
32	N	Corrected mean motion, radians/second	Double	8	H+208

Fig. 1. Message ID:7 (ephemeris)

Structure: **Message ID: 8**
Log Type: Asynch

Field #	Field type	Data Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	header	Log header		H	0
2	a0	Alpha parameter constant term	Double	8	H
3	a1	Alpha parameter 1st order term	Double	8	H+8
4	a2	Alpha parameter 2nd order term	Double	8	H+16
5	a3	Alpha parameter 3rd order term	Double	8	H+24
6	b0	Beta parameter constant term	Double	8	H+32
7	b1	Beta parameter 1st order term	Double	8	H+40
8	b2	Beta parameter 2nd order term	Double	8	H+48
9	b3	Beta parameter 3rd order term	Double	8	H+56
10	utc wn	UTC reference week number	Ulong	4	H+64
11	tot	Reference time of UTC parameters	Ulong	4	H+68
12	a0	2nd alpha parameter constant term	Double	8	H+72
13	a1	2nd alpha parameter 1st order term	Double	8	H+80
14	wn lsf	Future week number	Ulong	4	H+88
15	dn	Day number	Ulong	4	H+92
16	deltat ls	Delta time due to leap seconds	Long	4	H+96
17	deltat lsf	Future delta time due to leap seconds	Long	4	H+100
18	Reserved		Ulong	4	H+104
19	xxxx	32-bit CRC (ASCII and Binary only)	Hex	4	H+108
20	[CR][LF]	Sentence terminator (ASCII only)	-	-	-

Fig. 2. Message ID:8 (ionospheric correction)

Structure: **Message ID: 43**
Log Type: Synch

Field #	Field type	Data Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	header	Log header		H	0
2	# obs	Number of observations with information to follow.[8]	Long	4	H
3	PRN	GPS satellite PRN number of range measurement.	UShort	2	H+4
4	Reserved		UShort	2	H+6
5	psr	Pseudorange measurement (m).	Double	8	H+8
6	psr std	Pseudorange measurement standard deviation (m).	Float	4	H+16
7	adr	Carrier phase, in cycles (accumulated Doppler range).	Double	8	H+20
8	adr std	Estimated carrier phase standard deviation (cycles).	Float	4	H+28
9	dopp	Instantaneous carrier Doppler frequency (Hz).	Float	4	H+32
10	C/N_0	Carrier to noise density ratio $C/N_0 = 10[\log_{10}(S/N_0)]$ (dB-Hz)	Float	4	H+36
11	locktime	Number of seconds of continuous tracking (no cycle slipping).	Float	4	H+40
12	ch-tr-status	Tracking status (see *Channel Tracking Status on Page 185* and the example in *Table 56*).	ULong	4	H+44
13...	Next PRN offset = H + 4 + (#obs x 44)				
variable	xxxx	32-bit CRC (ASCII and Binary only)	Hex	4	H+4+ (#obs x 44)
variable	[CR][LF]	Sentence terminator (ASCII only)	-	-	-

Fig. 3. Message ID:43 (satellite range data)

Structure: Message ID: 101
Log Type: Synch

Field #	Field type	Data Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	header	Log header		H	0
2	clock status	Clock model status (not including current measurement data), see *Table 42 on Page 134*	Enum	4	H
3	offset	Receiver clock offset, in seconds from GPS time. A positive offset implies that the receiver clock is ahead of GPS time. To derive GPS time, use the following formula: GPS time = receiver time - offset	Double	8	H+4
4	offset std	Receiver clock offset standard deviation.	Double	8	H+12
5	utc offset	This field represents the offset of GPS time from UTC time, computed using almanac parameters. UTC time is GPS time plus the current UTC offset plus the receiver clock offset. UTC time = GPS time + offset + UTC offset	Double	8	H+20
6	utc year	UTC year	Ulong	4	H+28
7	utc month	UTC month (0-12)	Uchar	1	H+32
8	utc day	UTC day (0-31)	Uchar	1	H+33
9	utc hour	UTC hour (0-23)	Uchar	1	H+34
10	utc min	UTC minute (0-59)	Uchar	1	H+35
11	utc millisec	UTC millisecond (0-59999)	Ulong	4	H+36
12	utc status	UTC status 0 = Invalid 1 = Valid	Enum	4	H+40
13	xxxx	32-bit CRC (ASCII and Binary only)	Hex	4	H+44
14	[CR][LF]	Sentence terminator (ASCII only)	-	-	-

Fig. 4. Message ID:101 (time data)

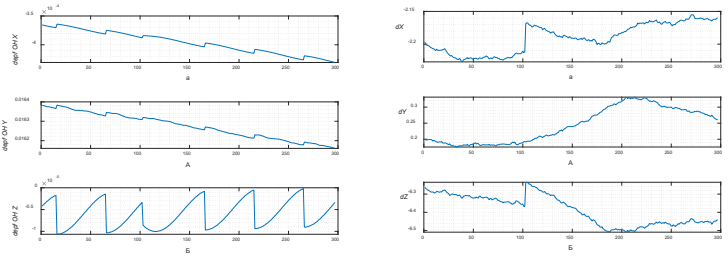
Structure: Message ID: 270
Log Type: Synch

Field #	Field type	Data Description	Format	Binary Bytes	Binary Offset
1	header	Log header		H	0
2	Reserved		Double	8	H
3	#sat	Number of satellites with Cartesian information to follow	Ulong	4	H+8
4	prn	Satellite PRN number	Ulong	4	H+12
5	x	Satellite X coordinates (ECEF, m)	Double	8	H+16
6	y	Satellite Y coordinates (ECEF, m)	Double	8	H+24
7	z	Satellite Z coordinates (ECEF, m)	Double	8	H+32
8	clk corr	Satellite clock correction (m)	Double	8	H+40
9	ion corr	Ionospheric correction (m)	Double	8	H+48
10	trop corr	Tropospheric correction (m)	Double	8	H+56
11	Reserved		Double	8	H+64
12			Double	8	H+72
13	Next satellite offset = H + 12 + (#sat x 68)				
variable	xxxx	32-bit CRC (ASCII and Binary only)	Hex	4	H+12+ (#sat x 68)
variable	[CR][LF]	Sentence terminator (ASCII only)	-	-	-

Fig. 5. Message ID:270 (satellite coordinates data)

The data obtained as a result of processing by the software complex are calculated. And similar data recorded by a certified navigation station of high accuracy class are referenced. Decoding and distribution of data from a single binary record file is performed by the software complex automatically. This is possible due to the fact that each type of data contains a unique number for its identification (Message ID). Using this information, the software complex distributes data from a common record file, which can be generally represented as the separation of data necessary for navigation calculations and data necessary for comparison.

The calculation of the ephemeris of navigation satellites and the determination of the user's coordinates are performed for a given time interval. The research methodology consists of calculating the ephemeris of several navigation satellites and comparing them with the station's recording data, determining the coordinates according to the GPS data by separate and joint processing with subsequent comparison with the data of the recording file [2,3].



a b

Fig. 6. The difference between measured and calculated ephemeris (a) and coordinates (b) of satellite №30

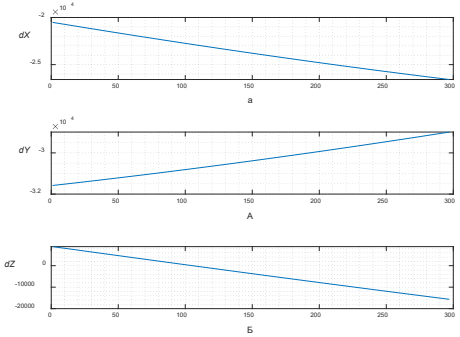


Fig. 7. The difference between the calculated and measured coordinates of satellite №30 without time corrections

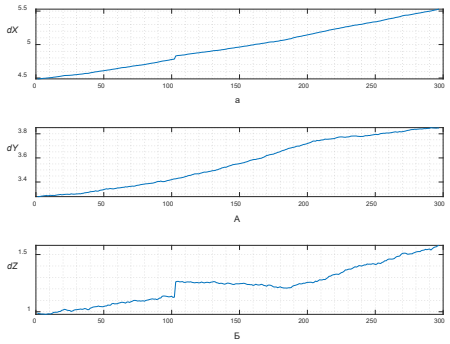


Fig. 8. The difference between the calculated and measured coordinates of satellite №30 without tropospheric corrections

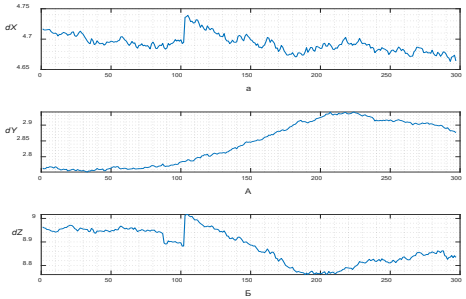


Fig. 9. The difference between the calculated and measured coordinates of satellite №30 without ionospheric corrections

From Fig. 6-9 we can conclude that the values of the maximum and minimum discrepancy between the calculated and settled coordinates for the experimentally obtained sample show the limits within which the estimated parameter changed. The maximum demonstrates the upper limit reached by the coordinate determination error.

Using the graphs, you can determine the time of the maximum and analyze the nature of its occurrence. This can be either an instantaneous sharp deterioration in the determination of coordinates with a subsequent rapid return to the normal level or a gradual increase in the error, which ended with its maximum and further decrease. After assessing the moment of maximum occurrence for several parameters, it is advisable to compare them with each other. If all the maxima occurred at the same time and were instantaneous in nature, this most likely indicates a short-term failure in navigation calculations. The smallest value of the minimum is 0.

References

1. Літнарович Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Модель пункту GPS спостережень. Частина 6 [Текст] // МЕГУ. - 2009. - 104 с.

2. Pogurelskiy, O., Konin, V., Prykhodko, I., Maliutenko, T., Sushych, O., Ishchenko, O. (2024). Simulation of the Functional and Performance Behavior of Multi-GNSS Constellation. In: Ostroumov, I., Zaliskyi, M. (eds) Proceedings of the 2nd International Workshop on Advances in Civil Aviation Systems Development. ACASD 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 992. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-60196-5_11

3. Ishchenko O. Dilution of precision for MULTI-GNSS // Flight. Modern problems of science: abstracts of the XXIV International scientific-practical conference of applicants for higher education and young scientists. - National Aviation University. - Kyiv, 2024.

УДК 629.7:681.518

О.В. Шостак, Ю.А. Авер'янова, д.т.н., проф., Є.А. Знаковська, к.т.н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Дослідження використання графу знань для вдосконаленої інформаційної підтримки польотів повітряних суден

В роботі розглядається можливість використання графу знань в авіації для вибору, підбору та надання релевантної інформації учасникам повітряного руху з загального інформаційного простору. Інформація може використовуватися як для планування польоту так і для генерації нових знань - оперативної підтримки прийняття рішення або коригування траєкторії польоту. Увага приділяється метеорологічній інформації та оперативним даним про небезпечні явища погоди за маршрутом польоту як ключової компоненти загального інформаційного простору під час обслуговування повітряного руху в процесі виконання польоту та авіаційних завдань.

Метеорологічне забезпечення аеронавігації та джерела інформації. Метеорологічне обслуговування аеронавігації включає забезпечення повітряного руху інформацією [1], до якої відносяться дані регулярних та спеціальних метеорологічних спостережень, прогнози погоди, повідомлення з повітряного судна, дані спостереження за вулканічним попелом та тропічними циклонами. Спеціальні авіаційні зведення складаються за наявності значних змін у поточній погодній ситуації. Інформація про наявність або прогноз певних умов на маршруті також може надаватися як попередження у форматі SIGMET або AIRMET. Під час планування польотів також використовується кліматологічна інформація. Важливо зазначити, що деякі з продуктів використовуються лише пілотами під час підготовки до польоту та не впливають на прийняття рішень диспетчером управління повітряним рухом (УПР). Також важливим є той факт, що прогностична інформація має ймовірнісний характер та певні часові й просторові обмеження.

Існують також компоненти глобальної системи спостережень, які дозволяють отримувати поточну інформацію про деякі елементи стану атмосфери в автоматичному режимі. Така система відома як система AMDAR (Aviation Meteorological Data Relay) [2]. Перевага системи полягає в використанні літаків, як платформи для розміщення датчиків вимірювання параметрів атмосфери (зазвичай це температура, іноді, вологість та турбулентність). Надалі інформація автоматично передається до наземних центрів, або поширюється між учасниками повітряного руху. Існують також альтернативні джерела метеорологічної інформації, які доступні через Інтернет і можуть бути використані також для потреб авіації [3, 4].

Аналіз інформації та продуктів центрів спостереження та прогнозування погоди показує, що, незважаючи на дійсно великий обсяг даних, надана інформація часто має часові або просторові обмеження. Це особливо важливо для явищ, які характеризуються значною мінливістю, наприклад, явища, що пов’язані із вітром, або залежать від напрямку та сили вітру. Наприклад, хмара вулканічного попелу може переноситися вітром. Таким чином, зміни напрямку

вітру можуть впливати на положення, швидкість і напрямок руху хмари вулканічного попелу. Це, у свою чергу, свідчить про важливість одержання оперативної метеорологічної інформації для прийняття рішень під час планування та виконання польотів повітряних суден для можливого коригування маршруту польоту з метою уникнення потенційно небезпечних зон.

Підхід до розширеного моніторингу та забезпечення погоди. Відповідно до вимог новітніх авіаційних концепцій [5-8], вдосконалена система метеорологічного обслуговування може бути представлена за допомогою діаграми, яка зображена на рис.1.

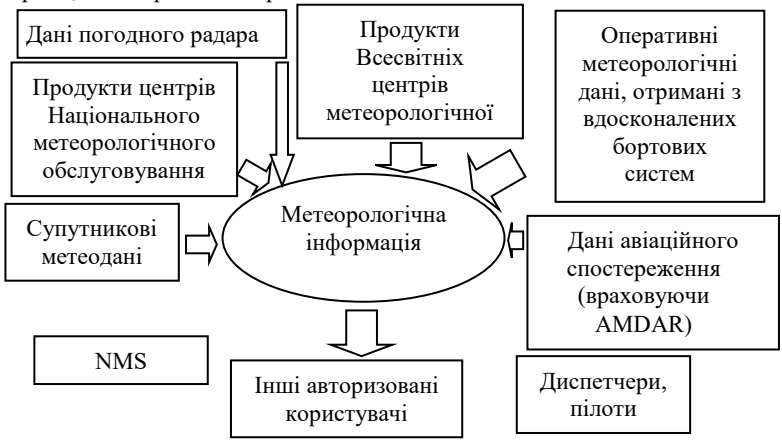


Рис. 1. Загальна архітектура спільного інформаційного простору для метеорологічного обслуговування аеронавігації

Як видно з рис. 1., створюється інформаційне середовище або інформаційний простір, де збираються метеорологічні дані з різних джерел та різного характеру, наприклад, загальна метеорологічна інформація, оперативні інформація для певного регіону польоту, прогностична інформація тощо. Авторизований користувач може завчасно отримати інформацію про метеорологічні умови, а також метеорологічні прогнози та попередження для підготовки до польоту. Оперативна метеорологічна інформація оновлюється з визначеним інтервалом і може бути доступною для авторизованих користувачів. Особливістю інформаційного середовища з рівним доступом для всіх учасників повітряного руху є забезпечення однакової поінформованості про обстановку в зоні конкретного польоту.

Розглянутий підхід може сприяти частковій автоматизації управління повітряним рухом (УПР) і навігації повітряних суден (ПС). Існують деякі дослідження, присвячені дослідженню використання штучного інтелекту для забезпечення однакової обізнаності в поточній ситуації усіх учасників повітряного руху [9,10] та можливості підвищення автоматизації в управлінні повітряним рухом. Враховуючи можливість використання спільного інформаційного простору, представленого на рис.1, розроблено підхід до

використання графа знань для одержання необхідної інформації для планування та можливого коригування траєкторії польоту ПС та запобігання інформаційного перевантаження.

Граф аеронавігаційних знань та алгоритм прийняття рішень для корекції траєкторії польоту.

Процес планування польоту та виконання місії може буди достатньо успішним за умови повної, надійної та точної інформації наявної на момент планування. В реальній ситуації політ ПС відбувається в доволі динамічному середовищі. Одним з факторів, що викликають непередбачені зміни, які можуть вплинути на політ є атмосферні явища. Звичайно, погода не є єдиним непередбачуваним фактором, що впливають на політ ПС. Розглянутий в даній роботі підхід можна використовувати для розуміння та представлення будь-якої інформації, необхідної для управління та навігації літака.

Дослідження має на меті продемонструвати, як нові знання про поточний стан об'єкта (стан атмосфери в нашому випадку) можуть стати джерелом нових знань про майбутній стан системи (у нашому випадку це літак і його майбутня траєкторія польоту). В свою чергу, нова інформація може бути використана для прийняття рішень під час польоту або оперативної корекції траєкторії польоту в тому числі в автоматичному режимі. З цією метою ми розглянули граф знань (KG), щоб дослідити зв'язок між ПС, потенційно небезпечними подіями, інформація про які могла бути отримана вже в процесі польоту, обміном оперативною інформацією та одержанням і вибором інформації для покращення процесу прийняття рішення для уникнення небезпечних наслідків.

В графі знань одиницею виміру є так звана «сутність», з англійською «entity». Сутності прийнято поділяти на різні категорії. Обов'язковим в графі знань є зв'язки між сутностями та інформація про них. В авіації прикладами сутностей графа знань може бути тип ПС, завдання, яке виконується, обладнання на борту, траєкторія польоту, інші ПС в пов'язаному авіаційному просторі, небезпеки, які впливають на політ ПС і є причиною можливої зміни траєкторії ПС чи певного маневру.

На рис. 2 показана загальна архітектура використання графа знань для реалізації автоматизації при прийнятті рішень або корекції траєкторії польоту на основі бази даних метеорологічної інформації.

Для прийняття рішення або оперативної корекції траєкторії за небезпечних погодних умов в процесі польоту створюється база даних, яка використовується як основа при побудові графа знань. Це представлено як перший блок, оточений пунктирною лінією на рис. 2. На цьому етапі:

- визначено джерела інформації,
- встановлено відповідність відомих небезпек, пов'язаних з погодою, з їхнім впливом на льотно-технічні характеристики чи можливості літака,
- визначено авторизованих користувачів інформації.

Наступним кроком є ідентифікація оперативних метеорологічних даних, які можуть істотно вплинути на навігацію та траєкторію польоту літака. Також проводиться порівняння інформації з різних оперативних джерел. Проводиться оцінка можливих наслідків та їх тяжкості. Це схематично показано як другий блок, оточений пунктирною лінією на рис.2.

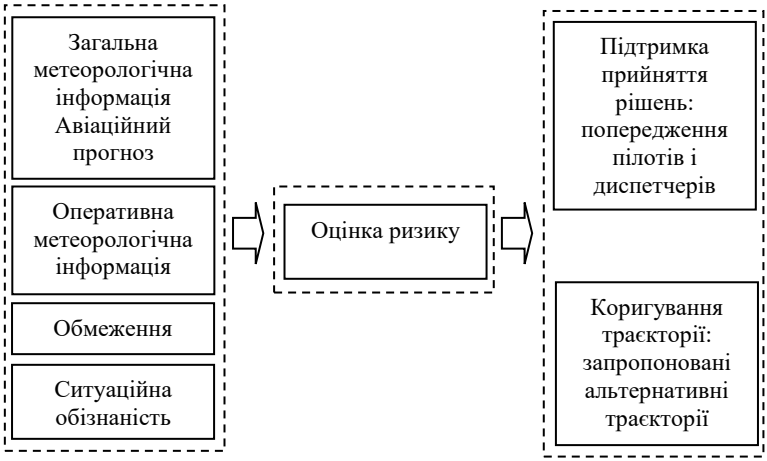


Рис. 2. Загальна архітектура використання графу знань при прийнятті рішень або корекції траєкторії польоту

Наступний етап - це злиття всіх знань про стан об'єкта. Перевірка коректності та авторизації джерел інформації, а також аналіз можливих помилок або протиріч.

На цьому етапі відбувається збір параметрів для генерації нових знань (підтримка прийняття рішень або пропозиції щодо корекції польоту) або формуються альтернативи траєкторії. Загалом це можна представити як набір параметрів (1). Ці параметри є основою для прийняття рішень і, якщо потрібно, для подальшого коригування траєкторії польоту. У формулі (1) D відповідає Рішенню, а C відповідає Корекції

$$D \text{ і } C = (T, F, \text{E}, C, I, W, Wop), \quad (1)$$

де:

T – сукупність характеристик ПС;

F – параметри польоту;

E – набір параметрів, що визначають обладнання літака для моніторингу погоди;

C – набір обмежень (включаючи метеорологічні умови для конкретних типів повітряних суден, обмеження зони та інші);

I – параметри, що відображають інтенсивність повітряного руху в районі, що розглядається;

W – сукупність параметрів загальної метеорологічної інформації (включає прогнози, попередження, поточну погоду в аеропорту призначення та альтернативних аеропортах та інше);

Wop – набір параметрів, що характеризують оперативні погодні умови, виявлені бортовими системами або отримані з інших літальних апаратів, які виконують політ у прилеглій зоні.

Ці нові знання можуть бути використані як основа для підтримки прийняття рішень або коригування траєкторії руху. Третій блок рис. 1, відображає застосування KG.

Рекомендації, які дає система підтримки прийняття рішень або результати коригування траєкторії в польоті, спрямовані в першу чергу на реалізацію превентивних заходів і вибір оптимальної стратегії. По-друге, вони спрямовані на зменшення наслідків несприятливих умов під час польоту, які можуть призвести до збільшення часу польоту, втоми пілота та диспетчера, робочого навантаження, зменшення інтервалів між сусідніми літаками, зниження ефективності польоту.

Висновок

У цій роботі аналізується загальна архітектура бази знань метеорологічних умов необхідних для обслуговування повітряного руху. В запропонованій архітектурі передбачається створення спільного для учасників повітряного руху інфопростору. Метеорологічні дані різного походження збираються в інфопросторі та можуть використовуватися надалі на вимогу або автоматично в системі автоматизації прийняття рішень або корекції траєкторії польоту.

Досліджується можливість використання графу знань в авіації для вибору, підбору та надання релевантної інформації учасникам повітряного руху з загального інформаційного простору. Показано, як нові знання про поточний стан об'єкту можуть генерувати нові знання про майбутній стан системи з урахуванням потенційних ризиків, на прикладі метеорологічних ризиків безпеці польотів ПС.

Список літератури

1. Annex 3 to ICAO Convention.
2. AMDAR observing system. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://public.wmo.int/en/programmes/global-observing-system/amdar-observing-system
3. Aviation Weather Center. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://aviationweather.gov/
4. AI Situational Awareness Foundation for Advance Automation. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://aisa-project.eu/
5. Global TBO Concept. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: www.icao.int.
6. Info-Centric National Airspace System. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ang/icn
7. Initial Concept of Operations for and Info-Centric National Airspace System. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ang/icn/delivering#conops
8. Trajectory Based Operations (TBO). TBO Overview. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.faa.gov/air_traffic/technology/tbo
9. AI Situational Awareness Foundation for Advance Automation. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: //aisa-project.eu/
10. M. Schrefl, B. Neumayr, S. Gruber, M. Hartmann, I. Tukarić, T. Radišić, Creating an ATC knowledge graph in support of the artificial situational awareness system. Transportation Research Procedia,V. 64 (2022), 328-336.

УДК 62.629

М.М. Селіванова, А.А. Михайлюк, Г.Ф. Аргунов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Перспективи використання електричного повітряного судна

Міжнародна авіаційна спільнота намагається зменшити вплив авіації на навколишнє середовище. В статті проаналізовано розвиток та використання електричних літаків, їх переваги та недоліки. Проведено аналіз сучасних електролітаків та порівняння їх із звичайними літаками. Запропоновано галузі використання електролітаків де будуть використані їх переваги, зокрема під час початкового навчання.

Авіація, як і більшість видів транспорту помітно впливає на навколишнє середовище. Вона сприяє глобалізації, але водночас є джерелом забруднення та змін клімату, зокрема: викиди парникових газів, забруднення повітря, шумовий вплив, викиди під час наземного обслуговування. Одним із засобів зменшення впливу авіації на навколишнє середовище є використання літаків з електричними двигунами.

Розвиток електричних літаків почався ще у XX столітті, але активне просування і практичне застосування — це вже явище XXI століття (рис. 1).

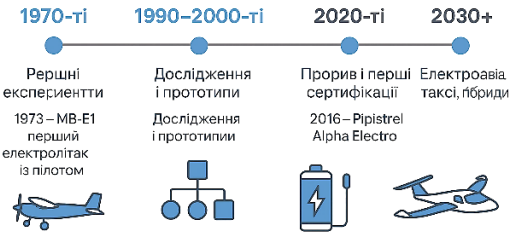


Рис. 1 . Розвиток електролітаків

На сьогоднішній день електролітаки набувають все більшої популярності як екологічна альтернатива традиційним літакам з двигунами внутрішнього згоряння.

Електричне повітряне судно (ЕПС) — це літальний апарат, у якому силова установка базується на використанні одного або кількох електродвигунів, що живляться від бортових акумуляторних батарей або інших джерел електроенергії. Такі повітряні судна зазвичай належать до категорії легких літальних апаратів і розробляються переважно для короткотермінових польотів, навчальних завдань, патрулювання або приватного використання.

Електролітаки мають потенціал значно зменшити вплив на клімат порівняно з традиційними літаками на викопному паливі. Дослідження Чалмерського технологічного університету показало, що двомісний електролітак може знизити викиди парникових газів до 60% за умови використання «зеленої» електроенергії. Однак виробництво акумуляторів для

таких літаків може збільшити дефіцит мінеральних ресурсів на 50% через використання рідкісних металів.

Були проаналізовані електролітаки, які можуть використовуватися в різних галузях економіки, зокрема (табл. 1):

eFlyer 800 — це двомоторний електричний літак компанії Bye Aerospace у 2021 року. Восьмимісний, повністю електричний літак був розроблений, щоб задовольнити попит на регіональні повністю електричні літаки зі збільшеною пасажиромісткістю та зниженими експлуатаційними витратами. Повітряне судно має великий потенціал у комерційних перевезеннях, а також у навчальних цілях, оскільки він поєднує високу економічну ефективність, екологічність та надійність.

eCaravan — це варіант регіонального літака Cessna Caravan, розроблений компанією Aviation LLC в партнерстві з Honeywell. Заміна турбовентиляторного двигуна на два електричних дозволяє значно знизити витрати на паливо і зменшити експлуатаційні витрати. Завдяки використанню електричних двигунів знижується рівень шумового забруднення і не створюється викиди CO2 під час польоту. Літак орієнтований на регіональні перевезення і для компаній, які працюють у сегменті малих авіаперевезень.

Pipistrel Velis Electro — розроблений таким чином, щоб бути простим в експлуатації та обслуговуванні. Потужність електричного двигуна Pipistrel E-811 – 57,6 кВт. Силовий агрегат має повністю рідинне охолодження, його можна заряджати через бортовий зарядний порт за допомогою зовнішнього зарядного пристрою та продемонстрував високий рівень безпеки. Це перший у світі повністю електричний літак який сертифіковано Європейським агентством з авіаційної безпеки (EASA) і якості навчально-тренувального літака.

Таблиця 1

Порівняння використання електро та звичайних літаків

	Літаки з ДВЗ	Електролітак
Витрати палива на 100 км	Для літака з витратою пального 5 літрів на 100 км при ціні пального 1,5 євро за літр, витрати складатимуть 7,5 євро на 100 км.	Якщо електролітак споживає 20 кВт·год на 100 км, а вартість електроенергії становить 0,10 євро за кВт·год. Тоді витрати складатимуть 2 євро на 100 км.
Витрати на обслуговування	Традиційні двигуни мають багато рухомих частин, що потребують регулярного обслуговування та заміни деталей, заміна мастила, фільтрів, свічок запалювання, що може бути дороговартісним.	Електродвигуни мають менше рухомих частин і, відповідно, потребують менше обслуговування. Однак акумуляторні батареї мають обмежений ресурс і потребують заміни після певної кількості циклів зарядки-розрядки, що може бути суттєвою статтею витрат.
Викиди CO_2	Високі (залежать від літака)	Низькі, майже нульові
Шум	Високий	Низький
Вартість льотної години	Близько 200 $ (для Cessna 172)	Близько 50 $ (напр., Pipistrel Velis Electro)

Aeroprakt-20e — це легкий електричний літак, розроблений українською компанією Aeroprakt. Цей літак є одним із перших електричних апаратів у класі ультралегких літаків. Aeroprakt-20e не має викидів CO2 під час польоту. Має низькі витрати на технічне обслуговування завдяки простій конструкції електричних двигунів і відсутності потреби у використанні пального. Aeroprakt-20e розроблений, зокрема, для навчальних центрів, де необхідні невеликі літаки для первинної підготовки пілотів.

Впровадження електричних літальних апаратів відповідає вимогам сучасної екологічної політики. Всі електролітаки представляють собою різні варіанти, кожен з яких має свої характеристики та перспективи використання (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняння основних характеристик електричних літаків

Характеристики	***eFlyer 800***	***eCaravan***	***Aeroprakt-20e***
Розробник	Bye Aerospace	Aviation LLC, Honeywell	Aeroprakt
Тип літака	Двомоторний електричний літак	Електричний варіант Cessna Caravan	Легкий електричний літак
Місткість	До 8 пасажирів	До 9 пасажирів	2 пасажири
Максимальна дальність польоту	До 800 км	До 800 км	До 300 км
Максимальна швидкість	320 км/год	285 км/год	160 км/год
Екологічність	Нульові викиди CO2, низький рівень шуму	Нульові викиди CO2, низький рівень шуму	Нульові викиди CO2, низький рівень шуму
Вартість експлуатації	Низькі витрати на паливо та обслуговування	Низькі витрати на паливо та обслуговування	Низькі витрати на паливо та обслуговування
Основне призначення	Комерційні перевезення, підготовка пілотів	Регіональні перевезення, комерційне використання	Підготовка пілотів, короткі польоти

У сфері дозвілля електролітаки вже демонструють високу ефективність, а саме використання у польотах-екскурсіях, аероклубах, навчанні пілотів. Зменшення шуму та викидів робить такі польоти екологічно безпечнішими. Легка експлуатація та низька вартість дозволяють клубам та школам зменшити вартість послуг.

У комерційній діяльності електролітаки особливо перспективні: у короткомагістральних маршрутах (острівні перевезення, міжміські лінії до 200 км), вантажних доставках малої ваги в межах обмеженого регіону, туристичних турах, де важливе значення має екологічний імідж компанії.

Переваги:

- Відсутність викидів CO_2 — відповідає сучасним екологічним нормам;

- Низький рівень шуму — ідеально для польотів над містом та зонами відпочинку;
- Простота керування — електродвигуни забезпечують миттєвий крутний момент і стабільність польоту.

Недоліки:

- Обмежена дальність польоту (до 250–300 км у більшості моделей), що зменшує потенціал для середньомагістральних перевезень;
- Тривалий час зарядки — може обмежувати інтенсивне використання в комерційних умовах;
- Відсутність універсальної інфраструктури, особливо у країнах, де розвиток електромобільності тільки починається;

Навчання для приватних пілотів на електричних літаках має значний потенціал для підвищення ефективності та зниження витрат у підготовці авіаційних кадрів. Електричні літаки, завдяки простоті в обслуговуванні, низьким експлуатаційним витратам та екологічності, забезпечують доступне середовище для навчання, особливо на етапі початкової підготовки. Використання таких літаків також дозволяє студентам зосередитися на основах пілотування, мінімізуючи вплив шумового та екологічного забруднення. Для отримання ліцензії приват-пілота необхідно налітати 40 годин. Більшість польотів триває не більше двох годин, тому усувається одна з найбільших проблем електролітаків – мала тривалість польоту. Вартість підготовки приватного пілота на електролітаках включає:

- Теорія: курси наземної підготовки, що охоплюють аеродинаміку, метеорологію, навігацію та інші дисципліни;
- Практика: польоти з інструктором та самостійно. Для електролітаків витрати на паливо замінюються витратами на електроенергію, які зазвичай нижчі;
- Оренда: електролітаки можуть мати нижчі експлуатаційні витрати, що може зменшити загальну вартість оренди;
- Медичний сертифікат: обов'язковий медичний огляд для отримання допуску до польотів;
- Екзаменаційні збори: плата за складання теорії та практики для отримання ліцензії.

Переваги:

- Екологічність: значно менший вплив на довкілля завдяки відсутності викидів CO_2 та зниженню шумового забруднення;
- Низькі експлуатаційні витрати: електродвигуни мають менше рухомих частин, що знижує витрати на обслуговування та ремонт;
- Зниження вартості пального: електроенергія дешевша за авіаційне паливо.

Недоліки:

- Обмежена дальність польоту: обмежена тривалість навчальних польотів;
- Час зарядки акумуляторів знижує ефективність використання літака протягом дня;

- Інфраструктурні вимоги: наявність зарядних станцій та відповідної інфраструктури на аеродромах.

Собівартість експлуатації електролітаків:

- Економія на паливі до 70% на користь електролітака;
- Експлуатаційні витрати електролітаків нижчі на 30–50% у порівнянні з традиційними;
- Навчання дешевше, але залежить від наявності інфраструктури.

Наразі розвиток екологічно безпечної авіації не закінчується електричними літаками. Електрифікація авіації дозволяє знайти нові компонування двигунів для літаків. Одним із напрямків передбачає використання водневого силового агрегату, які активно розробляє корпорація Airbus в своєму проєкті електричних літаків ZEROe. Використовують також інші альтернативні види палива: авіакомпанія Virgin Atlantic здійснила перший трансатлантичний політ на екологічно чистому паливі із лондонського аеропорту "Хітроу" до Нью-Йорка, літак працював на суміші відпрацьованої кулінарної олії, тваринних жирів та іншого нетрадиційного палива.

Висновок

З огляду на глобальні тенденції до зменшення викидів та переходу на відновлювані джерела енергії, електролітаки стають все більш популярними. Очікується, що в майбутньому вони відіграватимуть важливу роль у регіональних перевезеннях та навчанні пілотів. Хоча електролітаки мають вищу початкову вартість через акумуляторні технології, їхня експлуатаційна собівартість значно нижча завдяки економії на паливі та техобслуговуванні. У контексті навчання пілотів та коротких рейсів — це вигідне рішення, яке буде ще більш актуальним у найближчі роки.

Прогнози показують, що до 2027 року електролітаки можуть скласти до 25% парку малої авіації у розвинутих країнах.

Список літератури

1. Електроенергетика, дослідження Чалмерського технологічного університету.URL:https://www.chalmers.se/en/departments/e2/research/electric-power-engineering/
2. Електролітак eFlyer 800. URL: https://ecotechnica.com.ua/uk/transport/pershi-elektrolitaky-eflyer-800
3. Найбільший у світі електролітак eCaravan. URL: https://ecotechnica.com.ua/uk/transport/samyj-velykyi-v-sviti-elektrolitak
4. Електролітак Aeroprakt-20e. URL: https://shpalta.media/2022/02/08/elektrolitak-aeroprakt-20e-ukrainskogo-virobnictva
5. Прогнози використання електролітаків до 2027 року. URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2840052-vi-nicogo-ne-culi-pro-elektrolitaki-ih-ricnij-rinok-moze-sagnuti-2-milardiv-pasaziriv.html

УДК 623.746-519: 629.7.063.6

Н.С. Кукса, д.т.н., професор В.П. Харченко, к.т.н., Л.В. Благая
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

М’які паливні баки, їх переваги та застосування в БПЛА

В даній роботі розглянуто особливості застосування м’яких паливних баки, їх переваги та застосування в БПЛА для зменшення ваги та збільшення дальності польоту

Паливна система є критично важливим елементом будь-якого безпілотного літального апарату (далі – БПЛА), оскільки вона забезпечує його енергією для польоту та безпосередньо впливає на його здатність виконувати польоти, успішно завершуючи поставлені завдання. Ключовими характеристиками, що визначають ефективність БПЛА в польоті, є тип палива, тип силової установки (турбореактивні двигуни та двигуни внутрішнього згоряння або електродвигуни), відмінності у керуванні БПЛА із зазначеними силовими агрегатами, а також особливості будови паливно баку.

В сфері безпілотної авіації залишається актуальною задача зниження ваги конструкції БПЛА та підвищення безпеки їх експлуатації. Виходячи з того, що більшу частину ваги конструкції БПЛА складають паливні баки, одним з найважливіших факторів, що визначають досконаліть конструкції, є створення принципово нових технологій їх виготовлення, що дозволяють істотно (не менше 20%) знизити масу баків і вартість їх виготовлення [1]. Практика зарубіжних розробок і проведені дослідження показали, що найбільш ефективно проблема вдосконалення конструкції баків може бути вирішена створенням технології виготовлення баків із застосуванням сучасних гнучких композиційних та полімерних матеріалів.

Сучасні матеріали, такі як композити (вуглеволокно, скловолокно, кевлар) та полімери високої міцності, значно легші за традиційні матеріали (наприклад, алюмінієві сплави). Зменшення маси паливних баків безпосередньо призводить до збільшення корисного навантаження, дальності та тривалості польоту БПЛА. Це особливо важливо для місій розвідки, спостереження, доставки та інших завдань, де ці параметри є критичними. Легші баки сприяють кращому балансуванню БПЛА та зменшують інерцію, що позитивно впливає на його маневреність та керованість. Сучасні матеріали мають високу міцність та стійкість до ударів і вібрацій, що знижує ризик пошкодження паливних баків під час польоту або посадки.

Паливна система є критично важливим елементом будь-якого БПЛА, оскільки вона забезпечує його енергією для польоту та безпосередньо впливає на його здатність виконувати польоти, успішно завершуючи поставлені завдання [3].

Основною функцією паливної системи є зберігання, подача та контроль палива, необхідного для роботи двигуна (або паливних елементів), який створює тягу для підйому в повітря та підтримання польоту.

Об'єм паливних баків та ефективність використання палива двигуном

безпосередньо визначають максимальну дальність та тривалість польоту БПЛА. Це є ключовими параметрами для більшості місій, включаючи розвідку, спостереження, доставку вантажів тощо. Ефективна паливна система може дозволити БПЛА нести більше корисного навантаження, оскільки менша маса палива потрібна для виконання певної місії.

Ключовими характеристиками, що визначають ефективність БПЛА в польоті, є тип палива, тип силової установки (турбореактивні двигуни та двигуни внутрішнього згоряння або електродвигуни), відмінності у керуванні БПЛА із зазначеними силовими агрегатами, а також особливості будови паливно баку [5].

Для виготовлення паливних баків БПЛА використовується широкий спектр матеріалів, вибір яких залежить від розміру, призначення, бюджету БПЛА та вимог до його льотних характеристик.

Паливні баки для БПЛА можуть виготовлятися з різних матеріалів, включаючи композитні та полімерні матеріали, а також метал. Перші два види матеріалів, з яких виготовлені паливні баки мають переваги в легкості та стійкості до корозії, тоді як металеві відзначаються високою міцністю. Вибір матеріалу залежить від вимог до ваги, міцності та специфіки експлуатації БПЛА.

За конструкцією баки можуть бути жорсткими або м'якими (гнучкими – баки-мішки) і розташовуватися в різних частинах БПЛА, наприклад, у крилах або фюзеляжі. Важливим є забезпечення балансування літального апарату під час витрачання палива.

М'які паливні баки в БПЛА використовуються для зменшення ваги, збільшення дальності польоту та підвищення безпеки у разі пошкодження. Зазвичай виготовляються з високоміцних, еластичних полімерних тканин з покриттям, наприклад, поліуретану, неопрену або спеціалізованих композитних тканин на основі поліестеру або поліаміду [2, 4, 6, 7]. Ці матеріали є стійкими до авіаційного палива (бензину, дизелю, гасу). Перевагами використання саме м'яких паливних баків є: гнучкість і легкість, самозатягувальна структура, форма, що змінюється, висока ударостійкість.

За інтеграцією в БПЛА паливні баки можуть бути конформними так як за своєю конструкцією можуть інтегруватися в структуру крил, фюзеляжу або інших елементів БПЛА, максимально використовуючи доступний простір та мінімізуючи аеродинамічний опір.

Було проведено експериментальне дослідження використання м'якого баку замість штатного твердого паливного баку при тестуванні турбореактивного двигуна з типом палива – керосин та тягою двигуна 10 кг на спеціальному стенді і отримано дані, що представлено в табл.1. На основі отриманих даних зроблено висновки, що для польоту БПЛА літакового типу з розмахом крил 1.8 метрів і турбореактивним двигуном на дистанцію 60-70 км з часом польоту 20 хв, потрібно 7 літрів керосину, з урахуванням часу на розігрів та виведення турбіни на робочі оберти. Штатне місце для паливного баку (твердого) розраховане на 2л. Такого баку вистачить на 8 хв польоту. Якщо встановити м'який бак, можна досягти вмісту баку 6 літрів, що є значною перевагою м'якого баку, він автоматично адаптується під форму

фюзеляжу та внутрішнього середовища, наприклад розташування шпангоутів. Таким чином, за рахунок встановлення м'якого баку, можна досягти збільшення часу польоту та відповідно дальності польоту.

Таблиця 1.

Витрата палива при різних обертах двигуна

Дросельна заслінка, %	Оберти/хвилина	Тяга, кг	Витрата палива, мл/хв
	керосин		
0	50000	0,00	45
5	55000	0,75	49
10	62900	0,85	60
15	68500	1,05	69
20	76700	1,35	78
25	80800	1,70	91
30	86000	2,30	106
35	91100	2,50	113
40	94400	2,75	117
45	98600	3,05	125
50	103500	3,30	132
55	109700	3,75	143
60	116000	4,20	154
65	123700	4,80	166
70	128700	5,25	175
75	138300	6,25	198
80	147500	7,30	220
85	155400	8,10	242
90	160000	9,25	258
95	160000	9,70	276
100	160000	9,90	282

Після проведених розрахунків на прикладі БПЛА Predator 1.8 з урахуванням розглянутого вище алгоритму було розраховано максимальний час польоту за формулою (1) за різних швидкостей і дані занесено да табл.2.

$$T_{\max} = \frac{m_{заг}}{Q_N}, \qquad (1)$$

де $T_{\max}$ – максимальний час польоту;

$m_{заг}$ – загальна маса палива;

Q_N – норма витрати палива.

Проведено розрахунок часу польоту для борту з баком 6 л та 8 л пального:

$$T_{\max} = \frac{4{,}32кг}{0{,}34кг/хв} = 12{,}71хв \qquad T_{\max} = \frac{5{,}76кг}{0{,}34кг/хв} = 16{,}94хв$$

Таблиця 2.

Дальність польоту в залежності від часу польоту та об'єму баку

Швидкість, км/год	Бак 6 л	Бак 8 л
	Час польоту 12,71 хв	Час польоту 16,94 хв
150	31,78 км	42,35 км
200	42,38 км	56,47 км
250	52,97 км	70,59 км
350	74,16 км	98,15 км
450	95,36 км	125,71 км
500	105,95 км	141,17 км
600	127,14 км	169,41 км

Висновок

Використання м'якого паливного баку в БПЛА призвело до зменшення ваги та збільшення дальності польоту, що підтверджено отриманими в роботі даними. Тому саме м'які паливні баки маючи значні переваги над твердими та набувають широкого застосування в БПЛА через свої беззаперечні переваги: гнучкість і легкість, самозатягувальну структуру, форму, що змінюється з витратою палива та високу ударостійкість. А розвиток технологій створення сучасних матеріалів, з яких виготовляють м'які паливні баки, надає впевненості в збільшенні їх терміну служби, який на сьогодні є досить обмеженим через руйнуватися під дією агресивних компонентів та втратою еластичності через чутливість до хімічного складу пального.

Список літератури

1. Шевцов О., Шевцов В. (2021). Проблемні питання та шляхи їх вирішення при проектуванні композиційних паливних баків. System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics, 28(1), 56-64. https://doi.org/10.15421/472106 Режим доступу: https://rocketsdesign.dp.ua/index.php/journal/article/view/20
2. Manko T., Khoroshilov V., Litot O., & Murashko V. (2024). Analysis of modern technologies for the manufacture of cryogenic structures of rocket and space technology from polymer composite materials. System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics, 35(2), 49-56. https://doi.org/10.15421/472413 Режим доступу: https://www.rocketsdesign.dp.ua/index.php/journal/article/view/190
3. https://nm2.univd.edu.ua/download/149624
4. https://www.muginuav.com/product-tag/fuel-tank/
5. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment / Reg Austin. This edition first published 2010. – 365 p.
6. https://sat.net.ua/zapushheno-pershyj-u-sviti-vodnevyj-dron-iz-dalnistyu-polotu-100-km/#google_vignette
7. https://reibert.info/lots/bak-palivniy-dlya-bpla-gerber.1434645

УДК 004.942 (043.2)

М.С. Любарець
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Автоматизація прийняття рішення щодо складу комісії з розслідування авіаційної події: пріоритизація залучень експертів

Запропоновано сучасний підхід для визначення пріоритетності відділів, представники яких залучатимуться до складу комісії з розслідування авіаційної події, що дозволить зменшити час на формування складу комісії, заздалегідь спланувати розподіл ресурсів та розпочати розслідування якнайскоріше. Представлені результати математичного моделювання в залежності від тексту повідомлення про настання авіаційної події.

В Україні єдиним уповноваженим державним органом з розслідування авіаційних подій (АП) і інцидентів є Національне бюро розслідувань на транспорті (НБРТ) [1]. В НБРТ надходить повідомлення про настання АП. Після аналізу контексту повідомлення, доцільності залучення НБРТ до розслідування, визначення класу АП, директор НБРТ видає наказ про створення комісії з розслідування, яка складається з голови комісії та експертів-розслідувачів. Основні відділи, представники яких приймають участь в розслідуваннях АП – відділ польотної експлуатації (FO), відділ інженерно-технічної експлуатації (EO); сектор аеронавігації та аеропортів (ANS). Автоматичне визначення складу комісії дозволить зменшити навантаження на керівний персонал НБРТ, забезпечивши можливість фокусування на найбільш критичні та пріоритетні задачі.

Мета дослідження – автоматизувати розрахунок визначення пріоритетності відділів, з яких формується комісія з розслідування АП. Дане дослідження є складовою задачі автоматичного визначення складу комісії. Результати дослідження будуть використані при автоматизації прийняття рішення щодо складу комісії з розслідування АП, як окремого модуля АСРАП [2,3,4].

В даній роботі використано анонімізовані дані щодо розслідувань АП та інцидентів, які проводились НБРТ за період з 2020 по 2024 роки. Показники, що аналізувались: дата старту розслідування (видання наказу), склад комісії, належність експерта до певного відділу на момент старту розслідування у вигляді таблиці, текст повідомлення про настання АП. За допомогою дати старту розслідування, використовуючи перелік звітів НБРТ, що розміщено на офіційному сайті [1] у відкритому доступі, - можливо однозначно ідентифікувати кожен елемент таблиці анонімізованих даних з відкритими даними, а саме з текстом повідомлення про настання АП.

Для формування масивів тегів (термінів), які містяться в текстах повідомлень про настання АП, характерних для кожного відділу, застосуємо метод TF IDF [5], який використовується для визначення важливості терміна (тега) у певній категорії (відділі FO, EO або ANS) відносно загального набору повідомлень (корпусу документів). Як результат застосування методу, зменшується вага термінів, що часто зустрічаються в усіх відділах, і підвищується

вага термінів, характерних для конкретного відділу. Визначимо множину повідомлень про АП як таку, що асоціюється з одним із відділів $C \in \{FO, EO, ANS\}$. Формула розрахунку TF IDF має вигляд (1).

$$TF\_IDF_{t,C} = TF_{t,C} * IDF_t \quad (1)$$

де $TF_{t,C} = \frac{f_{t,C}}{\sum_{t_i} f_{t_i,C}}$ – нормована частота терміна t в усіх документах категорії C; $IDF_t = \log(\frac{N}{df_t})$ – обернена частота документів; t – окремий термін (тег); $f_{t,C}$ - кількість входжень терміна t у всіх документах відділу C; df_t - кількість відділів, в яких зустрічається термін t; N=3 - загальна кількість категорій.

Таким чином, значення TF_IDF є максимальним для тегів, які часто асоціюються з певним відділом, але майже не трапляються в інших. Введемо порогове значення $\alpha = 0.2$. Якщо значення $TF\_IDF_i < \alpha$, такий тег t_i додається до масиву загальних термінів, які можуть відноситись до будь-якого відділу. В результаті обчислень сформовано масиви тегів, які представлено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Масиви тегів, характерних для певного відділу

Загальні терміни (підходять для будь-якого відділу)	**Польотна експлуатація (FO)**	**Відділ інженерно-технічної експлуатації (EO)**	**Сектор аеронавігації та аеропортів (ANS)**
екіпаж	TCAS	вібрація	АДВ
літак	пілот	шасі	диспетчер
доповів	різке	скло	аеродром
огляд	зближення	відмова	птах
…	…	…	…

При визначенні рівня залученості того чи іншого відділу до розслідування АП на основі тексту повідомлення, очевидна присутність невизначеності та неоднозначності: неможливо чітко визначити, експертів якого відділу, в якому відсотковому складі буде включено в склад комісії з розслідування. Виходячи із вищезазначеного, для розрахунку часток залучення певного відділу в склад комісії доцільно використати метод нечіткої логіки [6].

Побудуємо модель $F(W)$, на вхід якої подається текст повідомлення про настання АП, на виході якої отримуємо імовірні відсотки залучення відділів FO, EO, ANS. Позначимо всі слова із повідомлення як множину W. Для кожного відділу знайдемо перетин тегів цього відділу з W. Визначимо кількість тегів в повідомленні, які належать до певного масиву тегів кожного відділу.

Функції належності для кожного відділу мають вигляд (2,3,4)

$$\mu_{FO} = \frac{C_{FO} + \beta * C_{GEN}}{C_{TOTAL}} \quad (2)$$

$$\mu_{EO} = \frac{C_{EO} + \beta * C_{GEN}}{C_{TOTAL}} \quad (3)$$

$$\mu_{ANS} = \frac{C_{ANS} + \beta * C_{GEN}}{C_{TOTAL}} \quad (4)$$

де $C_{TOTAL} = C_{FO} + C_{EO} + C_{ANS} + C_{GEN}$; C_{FO} – кількість тегів, що збігаються з масивом FO; C_{EO} – кількість тегів, що збігаються з масивом EO; C_{ANS} – кількість тегів, що збігаються з масивом ANS; C_{GEN} – кількість загальних тегів; β- коефіцієнт впливу загальних тегів.

Таким чином, модель F має вигляд (5)

$$F(W) = \{\mu_{FO\_norm}, \mu_{EO\_norm}, \mu_{ANS\_norm}\} \quad (5)$$

де $\mu_{FO\_norm}, \mu_{EO\_norm}, \mu_{ANS\_norm}$ - нормалізовані значення відповідних функцій належності. Нормалізація дозволяє інтерпретувати функції належності як частки участі відділів в комісії з розслідування АП.

Результати представлено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Пріоритетність відділів в складі комісії з розслідування АП

Текст повідомлення про настання АП	**Розрахункові значення**			**Історичні значення**
	FO	**EO**	**ANS**	
1 червня 2023 року, вдень, о 14:18 UTC, під час виконання рейсу UNO-050 за маршрутом Бамако-Тімбукту на літаку SAAB-340B UR-ELZ, що експлуатується ПрАТ «Міжнародна акціонерна авіаційна компанія «УРГА», з метою перевезення пасажирів за завданням місії ООН в Республіці Малі, після приземлення на аеродромі Тімбукту, повітряне судно викотилося вправо за межі ЗПС, пробігло вздовж злітно-посадкової смуги близько 311 метрів та повернулося на смугу. На борту повітряного судна перебували 3 члена екіпажу та 27 пасажирів. Внаслідок інциденту особи, які перебували на борту тілесних ушкоджень не отримали, літак не пошкоджено.	0.26	0.17	0.58	Склад комісії (7): ANS -2, EO -1, FO-1, інші відділи – 3. Пріоритетність: 1 - ANS, 2,3 – FO, EO.
	Пріоритетність: 1 – ANS, 2 – EO, 3 – FO.			
Після виконання посадки на аеродромі Гао, під час зарулювання вертольоту на стоянку, вертоліт потрапив в умови пилової бурі та перекинувся на лівий борт. Внаслідок події вертоліт зазнав значних пошкоджень. Двоє пасажирів вертольоту під час евакуації зазнали серйозних тілесних ушкоджень.	0.21	0.24	0.55	Склад комісії (7): ANS -2, EO -1, FO-1, інші відділи – 3. Пріоритетність: 1 - ANS, 2,3 – FO, EO.
	Пріоритетність: 1 – ANS, 2 – EO, 3 – FO.			

Близько 05:00 UTC під час виконання навчально-тренувальних польотів на аеродромі “Хмельницький” на літаку Aero AT-3 R100 UR-CSB сталася аварія. Під час виконання вимушеної посадки, літак приземлився за 300 метрів до злітно-посадкової смуги та скапотував. На борту літака перебували пілот-інструктор та пілот-студент. Внаслідок аварії пілот-інструктор отримав травми, повітряне судно зруйноване.	0.23 0.23 0.54 Пріоритетність: 1-ANS, 2,3-EO, FO	Склад комісії (5): ANS-1,EO-0,FO-2, інші відділи-2. Пріоритетність: 1-FO, 2-ANS.

Для оцінки ефективності моделі було проведено тестування на анотованій вибірці з 52 реальних повідомлень про настання АП, для яких попередньо визначено склад комісії вручну. Порівняння результатів автоматичного розрахунку з очікуваними значеннями дозволило оцінити точність запропонованого методу, яка складає 81%. Результат свідчить про достатньо високу прогностичну здатність моделі при мінімальних обчислювальних витратах. Ефективність моделі зростає пропорційно кількості специфічних для кожного відділу тегів. Похибка моделі спричинена наступними факторами:

- Відсутністю даних щодо належності експерта до певного відділу в певний період часу, так як експерти можуть бути переведеними в інші відділи;
- Відсутністю даних щодо зайнятості або фізичної присутності експерта на момент старту розслідування, так як експерти можуть бути відсутніми по причині хвороби або відпустки. Також у випадках, коли експерт вже включений в склад інших комісій (веде паралельні розслідування) – він ймовірно не буде призначений в склад комісії поточного розслідування;
- Відсутністю даних щодо рангу експерта – зваженого показника, який враховує такі характеристики як досвід, вік, участь в попередніх розслідуваннях і інших.

Для підвищення якості функціонування моделі можливо розглянути корекцію масивів тегів, а саме:

- Додавання в масив тегів всіх словоформ певного терміну, наприклад, якщо в масиві присутнє слово «літак», додати всі його можливі відмінки, а також термін в множині;
- Як альтернатива словоформам терміну, можливо застосувати лематизацію [7], яка забезпечить точніше нормалізоване представлення текстових даних для подальшої обробки;
- Ручне коригування масивів тегів експертами НБРТ.

Висновок

Запропонований метод для визначення пріоритетності відділів у складі комісії з розслідування АП ґрунтується на аналізі текстового повідомлення з

використанням тематичних тегів та принципів зваженої нечіткої логіки. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінювати ймовірну залученість кожного з профільних відділів (FO, EO, ANS) залежно від змістовного наповнення повідомлення, забезпечуючи адаптивність до різної довжини та структури тексту.

Результати експериментальної перевірки підтвердили практичну ефективність методу. Метод може бути використаний як складова частина автоматизованої системи розслідування авіаційних подій та інцидентів.

Список літератури

1. Сайт Національного бюро розслідувань на транспорті [електронний ресурс], https://nbaai.gov.ua
2. M. Liubarets and I.V. Ostroumov, "Automated data processing of aviation occurrences reporting," in Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings of the 1st International Workshop on Algorithms of Data Processing 2024 (ADP 2024), vol. 3895, 2025, pp. 120-131.
3. M. Liubarets and I.V. Ostroumov, "Automation of aviation safety events investigation," in CEUR Workshop Proceedings of the Third International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks 2024 (CH&CMiGIN 2024), vol. 3925, 2025, pp. 120-130.
4. M. Liubarets & I. Ostroumov, Automated management system for accident investigation support in civil aviation, WDA'25: International Workshop on Data Analytics, January 6, 2025, Kyiv, Ukraine
5. Qaiser, S., & Ali, R. (2018). Text mining: use of TF-IDF to examine the relevance of words to documents. International journal of computer applications, 181(1), 25-29
6. Граф, М. С., Свінцицька, О. М., & Артамонов, Є. Б. (2024). Нечітке моделювання для аналізу та прогнозування в складних інформаційних системах. Технічна інженерія, (1(93), 139–146. https://doi.org/10.26642/ten-2024-1(93)-139-146
7. Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). Introduction to information retrieval. Cambridge University Press

УДК 004.42-681.2-5

Б.В. Блажей, В.Ю. Ларін, д.т.н., проф.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Метод корекції недостовірних показань GNSS-приймача за допомогою алгоритма

У цій статті розглядається критична вразливість недорогих систем автопілота БПЛА — надмірна залежність від даних GNSS, які можуть бути суттєво порушені зовнішніми перешкодами або навмисним спуфінгом. Запропоновано новий метод компенсації хибних даних GNSS шляхом заміни їх скоригованими сигналами, отриманими з інерціальної навігаційної системи (INS) у поєднанні з високоточною барометричною альтиметрією.

Безпека є однією з основоположних засад сучасних технологій БПЛА. Одне з найпоширеніших і найзручніших ПЗ для автопілотів — Ardupilot, який здатен працювати на широкому спектрі апаратного забезпечення — від майже «голого» чипа STM32 із сенсорами MPU-6000 від InvenSense і BMP280 від Bosch до 64-бітного ARM Cortex-A72 із зовнішніми AHRS (системами визначення просторового положення), такими як Vectornav чи InertialLabs. Ця гнучкість і доступність дозволяє практично кожному створити БПЛА, не заглиблюючись у ПЗ, що потенційно становить ризик у перенасиченому повітряному просторі та густонаселених районах.

У цій статті автори демонструють, як безпека може бути поставлена під загрозу і який можливий шлях її забезпечення для запобігання випадковому чи навмисному втручанню в роботу БПЛА на базі Ardupilot.

Запропонований підхід інтегрує дані про кутові швидкості та прискорення інерціального блоку за допомогою розширеного фільтра Калмана (EKF3), генеруючи точні навігаційні параметри, які імітують стандартний вихід GNSS, забезпечуючи надійну навігацію. Це дослідження сприяє підвищенню безпеки та надійності експлуатації БПЛА в умовах завад GNSS.

Особливістю програмної реалізації, яка відповідає за обробку навігаційних даних в Ardupilot, є те, що пріоритетним джерелом для визначення навігаційних параметрів виступає приймач сигналів GNSS. Водночас відомо, що приймачі GNSS чутливі до різного роду зовнішніх перешкод. Такі впливи призводять до викривлення сигналів, що надходять до приймача, а отже — до помилкового визначення навігаційних параметрів [1].

Позначимо вектор координат місцезнаходження літального апарата в навігаційній системі NED (північ — схід — вниз) як P_N^{sat}, P_E^{sat}, P_D^{sat}, де третій параметр $P_D^{sat} = h^{sat}$ — висота польоту. Вектор оновлюється з кроком kk. Спрощений математичний опис процесу визначення координат виглядає так:

$$\begin{bmatrix} P_N^{sat} \\ P_E^{sat} \\ h^{sat} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} P_N^{sat} \\ P_E^{sat} \\ h^{sat} \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \varepsilon_N^{sat} \\ \varepsilon_E^{sat} \\ \varepsilon_h^{sat} \end{bmatrix} (1)$$

Тут другий доданок — вектор похибок для кожного з параметрів, типовий для супутникових сигналів - ε_N^{sat} , ε_E^{sat} , ε_h^{sat}.

Корекція викривлень у навігаційних параметрах виконується в коді автопілота за допомогою алгоритму типу фільтра Калмана. Реалізація Extended Kalman Filter (EKF) [3] у варіанті «strapdown» здійснює об'єднання даних з таких джерел:

- тривимірна швидкість з GNSS;
- двовимірне положення з GNSS;
- висота з GNSS із компенсацією по барометричному датчику;
- тривимірне магнітне поле;
- вимірювання дальності лазером (якщо доступні);
- справжня повітряна швидкість (якщо доступна);
- оптичний потік від наземних сенсорів (якщо доступні);
- дельта-кути IMU та дельта-прискорення (без компенсації прецесії чи скулінгу).

Однак у алгоритмі EKF, вбудованому в Ardupilot, спостерігається надмірна довіра до джерела GNSS без перевірки достовірності даних, що робить систему вразливою до завад або зловмисного спуфінгу. Це унеможливлює виявлення і відхилення хибних сигналів GNSS, навіть коли їх легко візуально ідентифікувати як сплески вимірювання[2].

Особливо небезпечними є адитивні випадкові перешкоди, які викривлюють висоту польоту. Наприклад, хибний сигнал може подвоїти значення висоти, що призводить до:

$$\begin{bmatrix} P_N^{sat} \\ P_E^{sat} \\ h^{sat} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} P_N^{sat} \\ P_E^{sat} \\ h^{sat} \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \varepsilon_N^{false} \\ \varepsilon_E^{false} \\ \varepsilon_h^{false} \end{bmatrix} (2)$$

Де ε_N^{false}, ε_E^{false}, ε_h^{false}, - компоненти випадкової векторної похибки whose magnitude may be an order of magnitude greater than the magnitude ε_N^{sat} , ε_E^{sat} , ε_h^{sat}.

Виходячи з цього, запишемо це як наступне:

$$\begin{gathered} \varepsilon_N^{false} \gg \varepsilon_N^{sat}, \\ \varepsilon_E^{false} \gg \varepsilon_E^{sat}, \quad (3) \\ \varepsilon_h^{false} \gg \varepsilon_h^{sat}. \end{gathered}$$

Тривалий вплив таких перешкод викликає помилки в розрахунках навігаційного рішення автопілота. Система буде вважати, що літальний апарат знаходиться на правильній висоті, тоді як фактично він може знизитися до небезпечного рівня, що загрожує зіткненням із землею, деревами чи іншими перешкодами [4].

Щоб запобігти цьому, необхідно передати до автопілота сигнал із

зовнішнього джерела так, щоб він був ідентифікований як GNSS-сигнал, але з коректними даними. Тобто — вставити між GNSS-приймачем та автопілотом пристрій, який емітує коректний, очищений від перешкод сигнал GNSS.

Автори пропонують використовувати комбінований навігаційний блок INS-BU як таке джерело. Цей пристрій має розширену версію фільтра EKF3, що дозволяє ігнорувати хибні GNSS-сигнали і натомість використовувати високоточний барометр для визначення висоти.

У такому випадку на виході INS-BU подаються дані про висоту, без уточнення, з якого саме сенсора вони отримані. Отже, коли INS-BU під'єднується до Ardupilot, його сигнали розпізнаються як звичайні GNSS-дані. Запишемо формулу (1) з урахуванням змін:

$$\begin{bmatrix} P_N^{sat} \\ P_E^{sat} \\ h^{sat} \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} P_N^{sat} \\ P_E^{sat} \\ h^{sat} \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \varepsilon_N^{ins} \\ \varepsilon_E^{ins} \\ \varepsilon_h^{baro} \end{bmatrix} (4)$$

Тут помилки визначення координат позначено як ε_N^{ins}, ε_E^{ins}, а висоти — як ε_h^{baro}, оскільки вони походять з інерціального блоку та барометричного альтиметра відповідно.

Висновок

Бюджетні автопілоти, як показано на прикладі автопілота на базі Ardupilot, які випускаються у великій кількості та мають широке розповсюдження, мають суттєвий недолік — значну залежність у формуванні керуючих дій від показань приймача сигналів GNSS, що не може бути усунене лише шляхом зміни його внутрішніх параметрів. Ігнорування цього факту може призвести до інцидентів і аварій, оскільки саме такі автопілоти широко використовуються операторами безпілотних літальних апаратів.

У роботі запропоновано метод компенсації хибних показань приймача сигналів GNSS шляхом заміни сигналу вбудованого приймача сигналами так званого "зовнішнього" приймача GNSS. Насправді ж, правильні сигнали генеруються інерціальною вимірювальною системою (INS) та барометричним висотоміром.

Результати математичного моделювання та натурних експериментів чітко демонструють формування адекватного навігаційного рішення за умови виконання критерію переходу на альтернативне джерело даних, на відміну від рішення, отриманого з істотно викривлених даних вбудованої моделі приймача сигналів GNSS.

Список літератури

1. Blazhei, B., Larin, V., Kuzmenko, N. Software detection and denying false GNSS data on open-source UAV autopilot. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. Vol. 3732. pp. 186-196.

2. Priseborough. (n.d.). GitHub - priseborough/InertialNav: Inertial Navigation Filter. GitHub. https://github.com/priseborough/InertialNav

3. Extended Kalman Filter (EKF) - Copter documentation. (n.d.). https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm-navigation-extended-kalman-filter-overview.html

4. Б.В. Блажей, В.Ю. Ларін. Використання зовнішньої інерційної навігаційної системи для забезпечення польоту БпЛА в умовах завад сигналу GNSS. *Proceedings THE ELEVENTH WORLD CONGRESS "AVIATION IN THE XXI - st CENTURY" "Safety in Aviation and Space Technologies"*. 2024. pp. 2.2.1-2.2.4

УДК 625.717.2(043.2)

Т.Ф. Шмельова, д.т.н, І.С. Мар'єнков, аспірант
(Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Україна)

Експертна оцінка ефективності методів виявлення сторонніх предметів на злітно-посадковій смузі

Представлено результати аналізу ефективності методів виявлення сторонніх предметів на злітно-посадкових смугах. Розглянуто шість основних підходів, що застосовуються як у практиці виявлення сторонніх предметів, так і в системах оцінки технічного стану покриття ЗПС. Запропоновано інтеграцію процесів оцінки стану ЗПС і виявлення сторонніх предметів у межах єдиної системи моніторингу на основі дистанційних безконтактних технологій.

В світовій авіаційній галузі згідно оновленої статистики IATA за останні 5 років спостерігається збільшення інцидентів (рис.1). За 2024 рік відбулося 46 інцидентів (7 з них зі смертельними наслідками), що є більшим ніж в 2023 році (42 – загальна кількість, 1 – зі смертельними наслідками). Щороку фіксуються інциденти причиною яких є сторонні уламки на злітно-посадковій смузі, згідно остаточною версією розслідування таких подій [1]. Однак є ще більша кількість випадків, де сторонні уламки не вказані безпосередньо, але можуть бути однією з кількох причин, що призвели до інциденту.

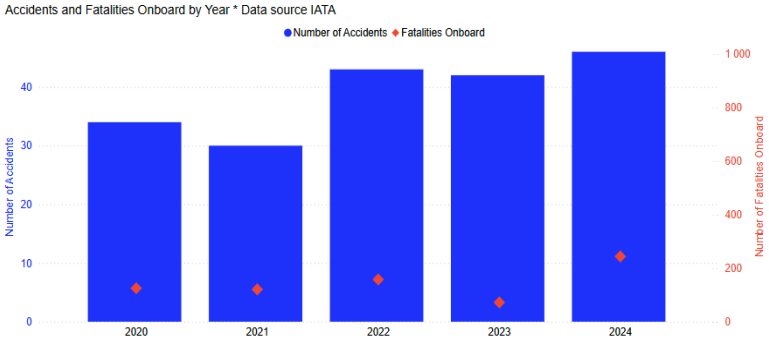


Рис. 1. Кількість інцидентів за 2020-2025 роки

За оцінками [2, 4], щорічні світові збитки авіаційної галузі від сторонніх предметів на злітно-посадкових смугах можуть сягати до 19 млрд доларів США. Водночас інші дослідники [3, 4] наводять нижчу оцінку — близько 4 млрд доларів.

Своєчасне виявлення та усунення сторонніх предметів зі злітно-посадкових смуг є надзвичайно важливим для безпечної та безперебійної роботи авіаційної інфраструктури, зменшення ризику інцидентів, а також запобігання фінансовим втратам і пошкодженням авіатехніки.

У попередньому дослідженні [5] було здійснено системний аналіз ефективності різних методів ідентифікації якості злітно-посадкових смуг з

використанням підходу експертної оцінки. Дослідження охоплювало порівняльну характеристику шести основних методів — від візуального огляду до застосування безпілотних літальних апаратів — за п’ятьма критеріями: точність та надійність, швидкість проведення оцінки, доступність і вартість, універсальність, безконтактність і безпека. За результатами експертного опитування було встановлено, що найбільш ефективними в контексті оцінки експлуатаційного стану покриття ЗПС є безконтактні методи моніторингу, зокрема авіаційна зйомка за допомогою БПЛА. Ці методи забезпечують високу точність виявлення дефектів, дозволяють проводити оцінку в стислі терміни без зупинки аеропортових операцій, та характеризуються універсальністю застосування в різних погодних умовах і на різних типах покриття [5].

У межах цього дослідження пропонується поширити аналіз ефективності вказаних методів на сферу виявлення сторонніх предметів на злітно-посадкових смугах.

Методи виявлення сторонніх предметів на злітно-посадкових смугах мають багато спільного з методами оцінки якості ЗПС, описаними в попередньому дослідженні [5]. Зокрема, обидві групи методів спрямовані на забезпечення безпеки польотів шляхом своєчасного виявлення потенційних загроз на поверхні ЗПС, а також використовують подібні підходи щодо технологій, принципів оцінки та критеріїв ефективності.

Для аналізу ефективності методів виявлення сторонніх предметів на злітно-посадкових смугах застосовано діаграму типу "Spider", яка базується на полярних координатах. Такий підхід дає змогу здійснювати комплексну оцінку за кількома критеріями одночасно, враховуючи взаємозалежності між ними [6, 7].

У дослідженні розглянуто шість методів: візуальний огляд, оптичні методи вимірювання, лазерне профілювання, інфрачервоне та ультразвукове дослідження, георадарна діагностика, авіаційний моніторинг із використанням безпілотних літальних апаратів. Кожен метод оцінювався за п’ятьма критеріями: точність та надійність, швидкість проведення, доступність і вартість, універсальність, безконтактність і безпека (рис. 2).

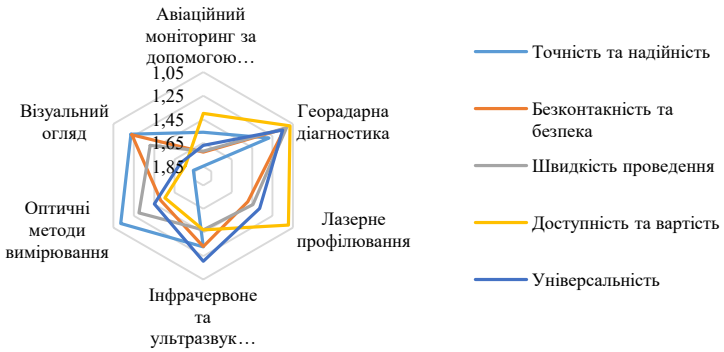


Рис. 2. Spider діаграма

На діаграмі (рис.2) кожний критерій відображено у вигляді осі, що радіально відходить від центру кола. Найвищі значення критеріїв розміщено ближче до центру, що відповідає вищій ефективності. Після нанесення значень було побудовано полігони, які утворюють замкнені лінії — павутини, що ілюструють профіль кожного методу.

Згідно з принципом інтерпретації діаграми "Spider", метод, полігон якого охоплює найменшу площу, вважається найефективнішим. Аналіз діаграми свідчить про перевагу авіаційного моніторингу за допомогою БПЛА. Цей метод демонструє високі показники за критеріями точності, безпеки, швидкості та універсальності, що підтверджує його доцільність у контексті сучасних вимог до аеропортової інфраструктури.

Висновок

Ураховуючи спільність технологічної бази та критеріїв ефективності, доцільним є створення інтегрованої системи моніторингу, яка поєднувала б функції оперативного виявлення сторонніх об'єктів та оцінки технічного стану покриття ЗПС. Така система, реалізована на основі дистанційних безконтактних технологій, зокрема з використанням БПЛА, дозволила б оптимізувати ресурси, знизити ризики для персоналу та підвищити загальний рівень авіаційної безпеки.

Список літератури

1. IATA Annual Safety Report – 2024. https://www.iata.org/contentassets/a8e49941e8824a058fee3f5ae0c005d9/safety-report-executive-summary-and-safety-overview-2024_final.pdf
2. Bachtel, B. (1998). Foreign object debris and damage prevention. Aero Magazine, Issue 1. https://boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_01/textonly/s01txt.html
3. Fechushak, J.C. (2010). Eliminating FOD by raising the bar & changing a culture. 31st NAFPI Conference, St. Louis, MO, United States.
4. Foreign Object Debris Detection (2023). https://doi.org/10.21949/1528220
5. Мар'єнков І.С. Оцінка ефективності ідентифікації якості злітно-посадкової смуги методом експертної оцінки / І.С. Мар'єнков, Т.Ф. Шмельова // Тези доповідей: XXV Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки», Київ, 1-4 квітня 2025 р.: матеріали конф. – Київ.: ДУ «КАІ», 2025.
6. Шмельова Т.Ф., Остроумов І.В. Теорія прийняття рішень: лабораторний практикум для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 272 «Авіаційний транспорт», ОПП «Системи аеронавігаційного обслуговування». – К.: ДУ «КАІ», 2024. – 36 с
7. Abdel-Badeeh M. Salem, Shmelova T. Research Anthology on Decision Support Systems and Decision Management in Healthcare, Business, and Engineering Chapter 24. Intelligent Expert Decision Support Systems: Methodologies, Applications, and Challenges. International Publisher of Progressive Information Science and Technology Research, USA, Pennsylvania, 2021. – P. 510-531.

УДК 629.7.072:623.466(043.2)

Д.О. Маршалок, асп., О.Є. Луппо, доц., канд.пед.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Кількісний аналіз помилок прогнозування траєкторії у PMS та їх вплив на виявлення конфліктів

Запропоновано адаптивний алгоритм корекції буферів безпеки, який дозволяє знизити ймовірність невиявлених конфліктів на 37% без збільшення кількості помилкових попереджень. Розроблено математичну модель для кількісної оцінки каскадних ефектів різних типів помилок та їх впливу на точність виявлення потенційних конфліктів між повітряними суднами.

Системи точкового злиття (Point Merge Systems, PMS) активно впроваджуються в сучасну практику організації повітряного руху як ефективний метод упорядкування прибуваючих повітряних суден (ПС) [1]. Концепція базується на використанні попередньо визначених маршрутів з точками послідовного влиття у спільний потік. Ключовим елементом забезпечення безпеки та ефективності PMS є точне прогнозування траєкторій руху ПС. Проте у реальних уфмовах неминуче виникають помилки прогнозування, що зумовлені обмеженою точністю навігаційних систем, недосконалістю математичних моделей характеристик ПС, непередбачуваними змінами погодних умов та людським фактором [2]. Ці початкові помилки можуть мати каскадний ефект, накопичуючись та трансформуючись при проходженні через алгоритми PMS, що потенційно призводить до проблем з виявленням конфліктів – як хибних тривог, так і небезпечних невиявлених зближень [3].

У таблиці 1. Класифікуємо типи помилок:

За геометричними ознаками	**За джерелами походження**
Латеральні	Системні
Поздовжні	Випадкові
Вертикальні	Операційні

Таблиця. 1. Класифікація помилок прогнозування траєкторій

Початкові помилки поширюються через PMS шляхом послідовних трансформацій, які можна представити як систему перетворень має вигляд:

$$E_{out} = F(E_{in}S,T,C) \quad (1)$$

Де E_{in} – вектор початкових помилок, E_{out} – вектор результуючих помилок, S – структура PMS, T – топологія повітряного простору, C – умови експлуатації.

Розглядаємо модель поширення помилок у дискретному часовому просторі, де кожен крок відповідає оновленню прогнозу траєкторії. В цій моделі вектор помилок на наступному кроці залежить від поточного вектора помилок, управляючих впливів та випадкових збурень. Для перевірки розробленої моделі з

геометрією (Рис. 1) було проведено моделювання з використанням наступних параметрів:

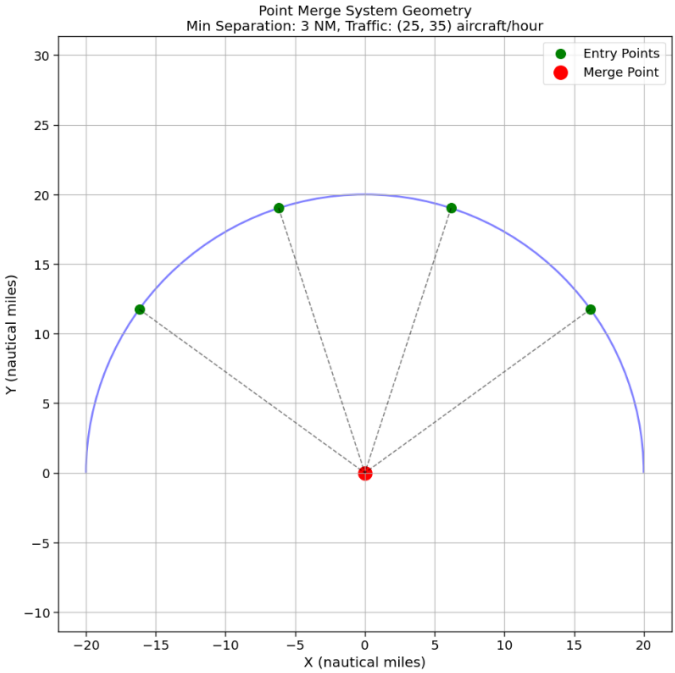


Рисунок 1. Геометрія PMS

Таблиця 2.

Параметри моделювання PMS

Параметр	**Значення**
Кількість вхідних точок	4 штуки
Радіус дуги секвенування (Sequence Leg)	20 морських миль
Мінімальні інтервали між ПС	3 морських миль
Швидкість ПС на дузі	250-300 вузлів
Висота Інтенсивність потоку	25-35 ПС/годину
Горизонт прогнозування	10-20 хвилин

Таблиця 3.

Характеристики вхідних помилок

Параметр	**Середнє значення**	**Стандартне відхилення**
Латеральна помилка	0 метрів	250 метрів
Поздовжня помилка	0 метрів	500 метрів
Вертикальна помилка	0 метрів	100 метрів
Швидкісна помилка	0 вузлів	10 вузлів

На рис. 2 демонструє "ефект посилення" - типи помилок не просто додаються, а взаємно підсилюють один одного, створюючи синергетичний ефект. Моделювання показало, що латеральні помилки мають найбільший вплив на точність виявлення конфліктів. На рис. 2 продемонстровано залежність ймовірності хибних тривог від величини стандартного відхилення латеральних помилок при різних інтенсивностях потоку.

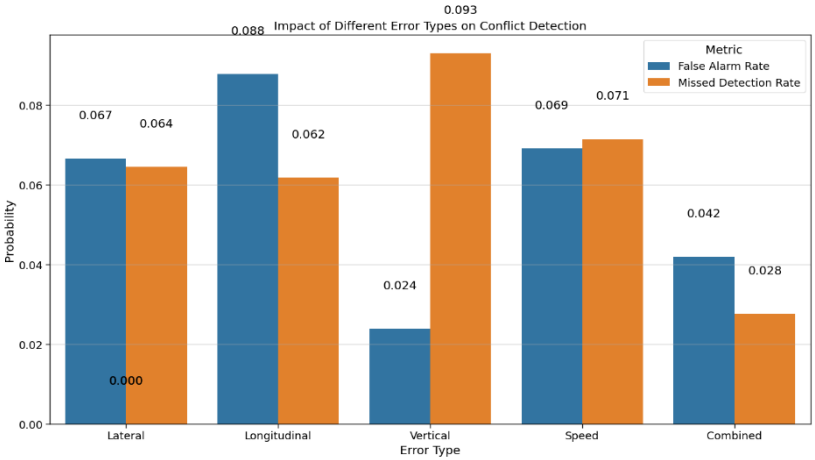


Рис.2 Порівняння типів помилок

На рис. 3 відображено результати після застосування оптимізованих коефіцієнтів до адаптивного алгоритму корекції буферів безпеки.

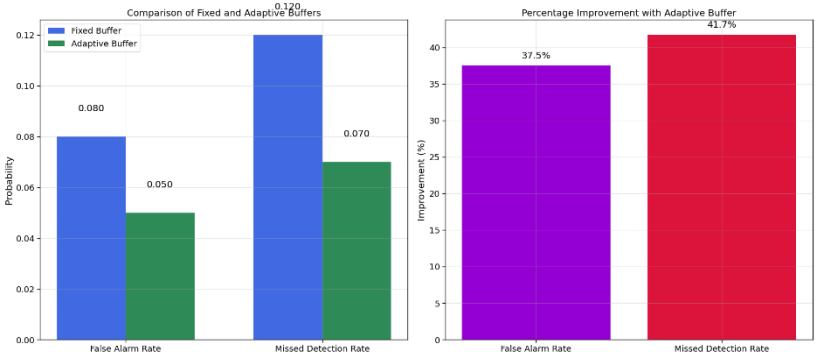


Рис. 3 Оптимізація коефіцієнтів адаптивного буфера

Аналіз отриманих результатів показав наступні закономірності:

- При збільшенні стандартного відхилення латеральних помилок з 50 м до 250 м ймовірність хибних тривог зростає з 0.02 до 0.14.

- Поздовжні помилки призводять до часових розбіжностей, що критично впливає на точність розрахунків часу прибуття до точки злиття, збільшуючи ймовірність пропуску конфліктів до 0.21 при максимальних значеннях.
- Спостерігається кумулятивний ефект різних типів помилок, що перевищує суму окремих впливів до 25%.

Висновок

Розроблено математичну модель поширення помилок прогнозування траєкторій у системах об'єднання точок, що дозволяє кількісно оцінювати їх вплив на точність виявлення конфліктів.

На основі проведеного аналізу запропоновано адаптивний алгоритм корекції буферів безпеки, що дозволяє динамічно регулювати параметри виявлення конфліктів залежно від оціненої невизначеності прогнозу траєкторій.

Список літератури

1. Boursier, L., Favennec, B., Hoffman, E., Trzmiel, A., Vergne, F., & Zeghal, K. (2020). "Merging arrival flows without heading instructions", 7th USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar, Barcelona, Spain.
2. Reynolds, T. G., & Hansman, R. J. (2021). "Analysis of separation management approaches in terminal airspace", Journal of Aircraft, vol. 58(1), pp. 155-171.
3. Скворцов Д. В., Захаров В. М. (2022). "Аналіз стійкості алгоритмів виявлення конфліктів до помилок прогнозування траєкторій", Системи управління, навігації та зв'язку, том 63(1), с. 84-92.
4. Prandini, M., Hu, J., Lygeros, J., & Sastry, S. (2020). "A probabilistic approach to aircraft conflict detection", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 21(11), pp. 4735-4746.
5. Kozak, V., Kondratyuk, V., & Alekseev, O. (2023). "Optimization models for point merge system in high-density terminal areas", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 148, pp. 103978.
6. European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL) (2024). "Point merge implementation: A quick reference guide", Edition 2.4, Brussels, Belgium.
7. Білецький В. С., Кравченко І. В. (2022). "Моделювання помилок прогнозування траєкторій повітряних суден в умовах невизначеності", Наукоємні технології, том 15(3), с. 227-236.
8. International Civil Aviation Organization (ICAO) (2021). "Performance-based Navigation (PBN) Manual", Doc 9613, Fourth Edition.Калькулятор магнітного поля Землі [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml.

УДК 621.391.825:629.056.8

О.П. Сушич, к.т.н., І.А. Приходько
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оцінка ефективності роботи багатосистемних приймачів супутникової навігації в складній сигнально-завадовій обстановці

Наведено результати експериментального дослідження оцінки роботи багатосистемних приймачів супутникової навігації у складній сигнально-завадовій обстановці в робочому діапазоні частот однієї або декількох систем супутникової навігації.

Сучасна концепція розвитку аеронавігаційної системи передбачає застосування Глобальної навігаційної супутникової системи як основної навігаційної системи для пілотованої авіації і для безпілотних авіаційних систем як цивільного так і військового призначення.

Не зважаючи на всі переваги, слід зазначити, що Глобальна навігаційна супутникова система залишається досить вразливою щодо впливу завад – навіть за допомогою малопотужних постановників завад можливо повністю «заглушити» супутникові навігаційні приймачі. При цьому найпростіші «глушилки» знаходяться у вільному продажу, і це є дуже серйозною проблемою, оскільки застосування подібних пристроїв призводить до ненавмисного переривання сигналів Глобальної супутникової навігаційної системи. Застосування спуфінгу сигналів Глобальної навігаційної супутникової системи може привести до потенційного ризику для безпеки цивільної авіації. При цьому слід зазначити, що завада у вигляді спуфінгу вважається більш небезпечною ніж просте «глушіння» приймачів супутникової навігації. [1].

Характерною особливістю систем супутникової навігації є те, що вони взаємодіють з слабкими за рівнем сигналами, наприклад, згідно з інтерфейсним контрольним документом GPS, мінімальний рівень сигналу GPS L1 C/A, що досягає поверхні землі, не повинен опускатися нижче -160.0 dBW [2]. Через це найпростіші малопотужні «глушилки» знижують точність позиціонування шляхом погіршення співвідношення сигналу до шуму сигналів Глобальної супутникової навігаційної системи, що подібно прийому ослаблених і спотворених сигналів.

До основних найбільш поширених жерел завад, що погіршують або унеможливлюють роботу приймачів супутникової навігації слід віднести:

- застосування радіосистем цивільного або військового призначення, що створюють навмисні завади (джамінг, меаконінг, спуфінг);

- застосування радіосистем цивільного або військового призначення з порушенням вимог електромагнітної сумісності, що створюють ненавмисні завади.

Враховуючи вищезгадане, питання завадостійкості приймачів супутникової навігації набуває виключно важливого значення з точки зору забезпечення безпеки польотів літаків та безпілотних авіаційних систем цивільного призначення.

Відповідно до вимог Стандартів та рекомендованої практики ICAO застосування Глобальної навігаційної супутникової системи вимагає підтримання в зоні польотів пілотованої та безпілотної авіації необхідного рівня навігаційних характеристик. Основні напрямки спрямовані на мінімізацію впливу завад на роботу апаратури супутникової навігації та підтримання необхідного рівня навігаційних характеристик передбачають:

- забезпечення електромагнітної сумісності відповідно до вимог Міжнародного союзу електрозв'язку [3];
- регулювання авіаційного спектру частот відповідно до вимог Міжнародної організації цивільної авіації [4];
- розпізнавання та визначення місцеположення джерел завад з подальшим усуненням дії завад або мінімізацією рівня їх впливу;
- комплексування інформації від різних бортових навігаційних засобів для мінімізації впливу дії завад на бортову навігаційну апаратуру;
- розробку апаратно-програмних рішень в апаратурі супутникової навігації для зниження впливу навмисних та ненавмисних завад.

Одним з поширених варіантів мінімізації впливу навмисних та ненавмисних завад для Глобальної навігаційної супутникової системи є розробка обладнання супутникової навігації з можливістю роботи за сигналами декількох супутникових навігаційних сузір'їв з використання кількох робочих частот.

При проведенні експериментів, в якості постановника завад, використовувалась найбільш поширена малопотужна «глушилка» що генерує безперервний вузькосмуговий сигнал завади у цивільному діапазоні L1/E1.

Приймальне обладнання супутникової навігації складалось з багатосистемних приймачів супутникової навігації NovAtel (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) та багатосистемної, широкосмугової антени [5, 6].

Якщо завад немає, приймачі супутникової навігації функціонують у звичайному режимі, використовуючи у навігаційних обчисленнях всі доступні навігаційні супутники. Типова робота приймачів за відсутності впливу завад показана на рис. 1.

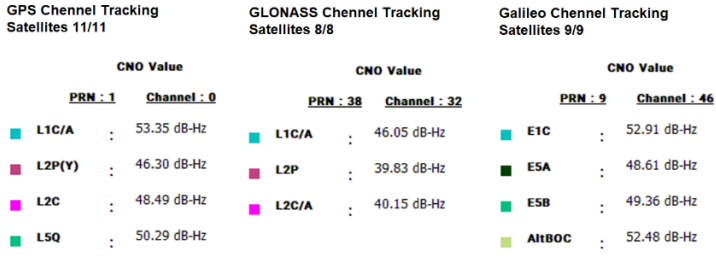


Рис. 1. Типова робота приймачів за відсутності впливу завади

Вплив завади в діапазоні L1/E1 доволі помітно погіршує роботу приймача, зменшуючи кількість навігаційних супутників, що використовуються у навігаційних вимірюваннях. Залежно від потужності джерела завад і його відстані

до антени, приймач залучає супутники, які працюють на частотах поза діапазоном дії завади, а також ті супутники в охопленому завадою діапазоні, для яких співвідношення сигналу до шуму залишається доволі високим. На рис. 2 показано типовий приклад роботи приймачів у складній сигнально-завадовій обстановці.

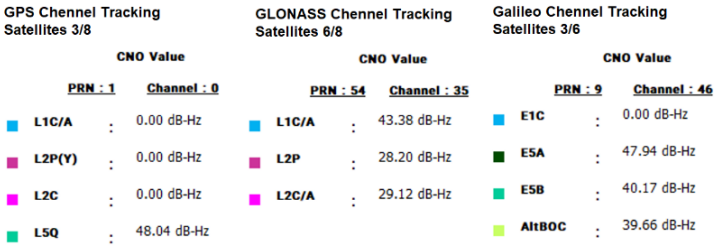


Рис. 2. Типовий приклад роботи приймачів за умови дії завади діапазоні L1/E1

Коли в діапазоні декількох систем супутникової навігації діє малопотужна широкосмугова завада, співвідношення сигналу до шуму у каналах приймачів поступово знижується для всіх супутникових навігаційних систем і для всіх використовуваних частот, що в результаті призводить до зменшення точності визначення місцеположення.

Подальше підвищення потужності широкосмугової завади призводить до того, що приймачі супутникової навігації втрачають можливість визначати координати до припинення дії завади. Приклад роботи у складній сигнально-завадовій обстановці за умови дії широкосмугової завади на кількість видимих (SVv) та використовуваних (SVu) навігаційних супутників багатосистемних приймачів супутникової навігації наведено на рис. 3.

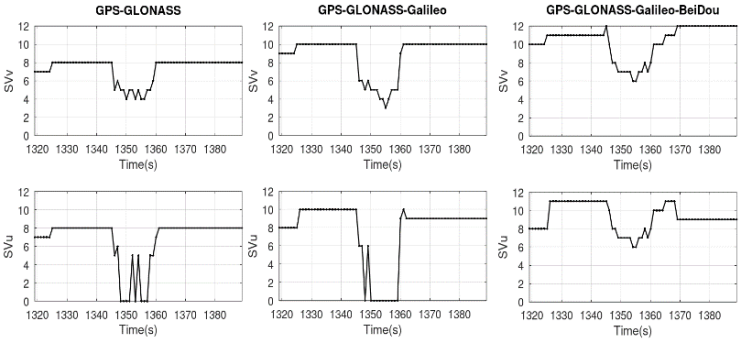


Рис. 3. Вплив широкосмугової завади на кількість видимих (SVv) та використовуваних (SVu) навігаційних супутників

На рисунку показано, що в момент впливу широкосмугової завади всі приймачі, крім чотирьох-системного з підтримкою GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou втрачають супутники і перестають визначати координати.

Навігаційний приймач, що підтримує GPS, GLONASS, Galileo та BeiDou, продемонстрував значно стабільнішу роботу: він залишався працездатним під час впливу широкосмугової завади, хоча точність позиціонування істотно знижувалася.

Висновок

Основи конструкції та функціонування приймачів супутникової навігації є однаковими. Вплив навмисних завад знижує співвідношення сигналу до шуму для сигналів, які приймають ці приймачі, через що вони не здатні «захопити» слабкі сигнали навігаційних супутників, і це призводить до погіршення або неможливості визначення позиції.

Навіть найпростіші малопотужні генератори завад у діапазоні L1/E1 можуть суттєво погіршити точність визначення координат і призвести до повної втрати «захоплення» супутникові« сигналів у сегменті одночастотної споживчої апаратури, до якого належить значна частина приймачів супутникової навігації.

Під впливом широкосмугових завад у діапазоні декількох систем супутникової навігації переваги багатосистемних приймачів стають менш відчутними, оскільки такі завади порушують сигнали на всіх частотах усіх систем супутникової навігації. Однак використання декількох навігаційних сузір'їв суттєво підвищує доступність і надійність позиціонування, особливо за умов гранично допустимого співвідношення сигналу до шуму.

Слабка потужність сигналів навігаційних супутникових систем у разі наявності навмисних завад робить цивільні приймачі особливо вразливими до такого впливу.

Список літератури

1. GNSS and EO Market Report [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.euspa.europa.eu/eu-space-programme/eu-space-market-and-users/gnss-and-eo-market-report.
2. Interface Control Documents [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200N.pdf.
3. International Telecommunication Union [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.itu.int/en/Pages/default.aspx.
4. International Civil Aviation Organization [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.icao.int/Pages/default.aspx.
5. GNSS Receivers [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://novatel.com/products/receivers.
6. High Precision GPS & GNSS Antennas [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://novatel.com/products/gps-gnss-antennas/high-precision-gnss-gps-antennas.

УДК 656.7.071.1:004.85:533.6.072(043.2)

А.І. Іванів, аспр., О.Є. Луппо, к.пед.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування алгоритмів Gradient Boosting для автоматизованої оцінки навичок авіадиспетчерів у тренажерах

У роботі досліджується застосування алгоритмів GBDT та XGBoost для автоматизованої оцінки навичок авіадиспетчерів у тренажерах. Розглянуто переваги інтерпретованих моделей SHAP і LIME для підвищення прозорості, точності та об'єктивності процесу оцінювання.

Машинне навчання в контексті автоматизації навичок авіадиспетчерів у тренажерах дозволяє обробляти великі обсяги даних, генерованих тренажерами, та створювати автоматизовані системи оцінювання, що значно підвищують об'єктивність і точність тренувань. Одним з ключових напрямів автоматизації оцінювання навичок авіадиспетчерів у тренажерах з використання алгоритмів машинного навчання є **Gradient-Boosted Decision Trees (GBDT)** та його популярної реалізації **XGBoost**.[2] Ці моделі дозволяють ефективно обробляти великі обсяги даних, що генеруються під час симуляцій, та здійснювати точну і об'єктивну оцінку дій диспетчерів.

GBDT — це метод ансамблевого навчання, який поєднує кілька слабких моделей, зазвичай дерев рішень, поступово вдосконалюючи їх через бустинг. Головна ідея — кожне наступне дерево навчається на помилках попереднього, що забезпечує високу точність моделі навіть у разі складних, нелінійних взаємозв'язків між ознаками.[5]

У контексті тренажерних систем GBDT дозволяє аналізувати параметри, такі як:

- Швидкість прийняття рішень**;**
- Точність дій**;**
- Кількість та характер помилок**;**
- Ефективність керування повітряним трафіком**.**

В основі GBDT лежить об'єднання декількох слабких моделей (наприклад, дерев рішень), щоб створити сильну модель, що забезпечує високу точність прогнозування.

GBDT використовує алгоритм boosting, який навчає моделі поступово, з кожним наступним етапом коригуючи помилки попередніх моделей, що дозволяє системі навчатися з помилок і покращувати точність кожної наступної моделі [6]. Важливими особливостями GBDT є:

- гнучкість у роботі з нелінійними зв'язками, адже алгоритм дозволяє обробляти складні, взаємозалежні дані, що характерно для завдань авіадиспетчерів.

- важливість ключових факторів, оскільки GBDT дозволяє ідентифікувати найважливіші змінні, що впливають на результат оцінювання, такі як точність рішень, швидкість реакції, ефективність управління повітряним трафіком.

Однією з найефективніших реалізацій GBDT є XGBoost (eXtreme Gradient Boosting), своєю високою продуктивністю та можливістю працювати з великими та складними наборами даних.[1]

Основними перевагами XGBoost у контексті оцінювання авіадиспетчерів є:

- **Висока точність моделі**: у тестах точність перевищувала 85%, а при оптимальних параметрах сягала 92,40%.
- **Гнучкість конфігурації**: модель чутлива до налаштування гіперпараметрів (наприклад, глибини дерева, швидкості навчання, мінімальної ваги), що дозволяє адаптувати її під конкретні завдання.
- **Стійкість до шуму та перенавчання**: завдяки вбудованим методам регуляризації, що робить його надійним для оцінки складних сценаріїв поведінки авіадиспетчерів.
- **Інтерпретованість моделей**: у поєднанні з SHAP та LIME XGBoost дозволяє пояснювати, як конкретні ознаки (наприклад, швидкість реакції чи кількість помилок) вплинули на результат оцінювання.[3]
- **Паралельна обробка та оптимізація пам'яті**, що забезпечує ефективну роботу моделі при великих обсягах тренажерних даних.
- **XGBoost** використовує паралельні обчислення та оптимізацію пам'яті, що робить його швидшим за інші реалізації GBDT [4].

Модель XGBoost також дозволяє формувати інтерпретовану оцінку завдяки інструментам:

• **SHAP (SHapley Additive exPlanations)** — заснований на теорії ігор метод, який дозволяє аналізувати внесок кожної ознаки в результат прогнозу. SHAP забезпечує як глобальні, так і локальні пояснення. Ключовими аспектами SHAP є локальне і глобальне пояснення та інтуїтивна візуалізація. SHAP може пояснити як окремі прогнози (локальне пояснення), так і надати загальну картину важливості ознак для всіх прогнозів моделі (глобальне пояснення). Це дозволяє детально аналізувати навички авіадиспетчера на основі окремих дій та загальної ефективності. Водночас SHAP забезпечує візуалізацію впливу кожної ознаки на результат. Наприклад, можна побачити, як швидкість реакції авіадиспетчера або правильність прийняття рішень впливають на загальну оцінку навичок.[3]

• **LIME (Local Interpretable Model-Agnostic Explanations)** — створює інтерпретовані локальні моделі для пояснення окремих прогнозів навіть у випадку "чорних скриньок", таких як XGBoost. Ключовими аспектами LIME є локальне пояснення та агностичність до моделі. Насамперед LIME дозволяє пояснити, чому модель зробила конкретний прогноз для окремого випадку, створюючи лінійну модель, яка є інтерпретованою та пояснює результат на основі локальної області навколо цього прогнозу. Також LIME може працювати з будь-якою моделлю машинного навчання, не обмежуючись лише певними алгоритмами, що дозволяє використовувати LIME для пояснення результатів навіть найбільш складних моделей. Водночас LIME дозволяє побачити, які фактори вплинули на конкретне рішення моделі для окремого диспетчера. Наприклад, при оцінці конкретного диспетчера можна виявити, що погана реакція на певну ситуацію вплинула на зниження загального результату, що дозволяє детальніше розібрати помилки та

підвищити ефективність тренувань.[5]

Обидва методи пояснення дозволяють визначити, які саме дії диспетчера вплинули на результат оцінки, що є вкрай важливим для зворотного зв'язку під час тренувань. Наприклад, вони можуть показати, що швидке, але неточне рішення призвело до зниження оцінки, або навпаки — що висока точність при повільній реакції була все ще позитивно оцінена.

Таким чином, інтеграція XGBoost з SHAP і LIME створює прозору та об'єктивну систему автоматизованого оцінювання, яка підвищує довіру до результатів як з боку інструкторів, так і з боку самих авіадиспетчерів. Це дозволяє системам тренажерного навчання не лише фіксувати помилки, а й формувати індивідуальні рекомендації для підвищення професійного рівня.[4]

Висновок

Таким чином застосування алгоритмів GBDT та XGBoost у системах тренажерного навчання авіадиспетчерів дозволяє значно підвищити точність і об'єктивність оцінювання навичок. Завдяки поєднанню з інтерпретованими моделями SHAP і LIME, такі системи стають не лише високоефективними, а й прозорими для користувачів. Це сприяє покращенню якості підготовки авіадиспетчерів, забезпечуючи надійний зворотний зв'язок і можливість персоналізованого вдосконалення професійних навичок.

Список літератури

1. Gu X., Han Y., Yu J. A Novel Lane-Changing Decision Model for Autonomous Vehicles Based on Deep Autoencoder Network and XGBoost. *IEEE Access.* 2020. № 8. P. 9846–9863.
2. Liang W., Luo S., Zhao G., Wu H. Predicting Hard Rock Pillar Stability Using GBDT, XGBoost, and LightGBM Algorithms. *Mathematics*. 2020. № 8. 765.
3. Lundberg S.M., Erion G., Chen H., DeGrave A., Prutkin J.M., Nair B., Katz R., Himmelfarb J., Bansal N., Lee S.-I. Explainable AI for Trees. *Local Explanations to Global Understanding.* 2019. 1905.04610.
4. Pinto Neto E. C., Baum D. M., Almeida Jr., Camargo Jr., Cugnasca P. S. Deep Learning in Air Traffic Management (ATM): A Survey on Applications, Opportunities, and Open Challenges. *Aerospace*. 2023. № 10(4). P. 358. https://doi.org/10.3390/aerospace10040358
5. Ribeiro M. T., Singh S., Guestrin C. Why Should I Trust You?: Explaining the Predictions of Any Classifier. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.* San Francisco, CA, USA, 13–17 August 2016. P. 1135–1144.
6. Weitering H. Beyond Automation: How Artificial Intelligence Is Transforming Aviation. Aviation International News. URL: https://www.ainonline.com/news-article/2023-07-13/beyond-automation-how-artificial-intelligence-transforming-aviation (дата звернення: 11.09.2024).
7. Xie Y., Pongsakornsathien N., Gardi A., Sabatini R. Explanation of Machine-Learning Solutions in Air-Traffic Management. Aerospace. 2021. № 8(8). P. 224. https://doi.org/10.3390/aerospace8080224

UDC 621.396.96

V.P. Kharchenko, D.Sc. (Tech.), Professor, A.O. Mavrenkova
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Analysis of the impact of air target characteristic fluctuations on surveillance radar parameters using mathematical modeling

The paper presents the results of a study on the impact of air target fluctuations on the parameters of surveillance radar systems using mathematical modeling in the integrated Python IDLE development environment. The research focused on analyzing how the required probability of detection influences the radar detectability factor, wavelength, antenna gain and detection range of a pulsed radar, considering fluctuations in the radar cross-section (RCS) of targets based on Swerling models.

Surveillance radar systems play a crucial role in ensuring airspace security and managing air traffic. One of the least controllable factors affecting radar performance is the fluctuation of target characteristics, which is caused by variations in radar cross section, target orientation in space and atmospheric conditions. These phenomena complicate target identification and can negatively impact the probability of correct detection and/or result in false alarms [1].

The relevance of studying target fluctuations stems from the need to enhance the accuracy and reliability of surveillance radar systems, especially in the context of increasing air traffic intensity, the development of unmanned aerial vehicle technologies and low-observable ("stealth") technologies. Traditional radar design approaches often rely on simplified target models with static parameters, which do not account for the dynamic nature of real-world conditions, resulting in insufficient adaptability of radar systems to the variable characteristics of reflected signals [2, 3]. This necessitates the development of new analytical and modeling methods that take into account fluctuation processes and their impact on key radar parameters such as detectability factor, detection range, probability of correct detection and others.

Mathematical modeling is one of the most promising tools for studying the impact of airborne target fluctuations on radar performance. It not only allows for a theoretical description of signal behavior under various scenarios, but also enables numerical analysis without the need for costly experiments with real targets. The use of such models makes it possible to assess how RCS variations – caused, for example, by target maneuvering or atmospheric turbulence – affect detection probability and tracking stability. Furthermore, mathematical modeling provides opportunities for optimizing signal processing algorithms, which is critically important for modern adaptive radar systems.

The objective of this presentation is to report interim results of the study on the influence of target characteristic fluctuations on radar parameters using mathematical modeling methods. The initial stage of the research focuses primarily on Swerling models, which describe RCS fluctuation behavior of airborne objects. The study analyzes how the requirements for the probability of correct detection affect the detectability factor, transmitted wavelength, antenna gain and the operational range of a pulsed radar system.

The mathematical modeling was conducted in the integrated development environment Python IDLE, using the Python programming language, and applying the key mathematical relationships presented in [1-3].

The value of the probability of correct detection (P_{CD}) was defined within the range of 0.8 to 0.95, which corresponds to the requirements for modern long-range surveillance radars. The probability of false alarm (P_{FA}) in the calculations was assumed to be a constant value, introduced as a multiplier α :

$$\alpha = \lg\left(\frac{0,7}{P_{FA}}\right), \tag{1}$$

and since modern radar systems typically require the P_{FA} value to be no greater than 10^{-6}, it was assumed that the corresponding multiplier α equals 6,0.

Additionally, the calculations used a multiplier β , defined as:

$$\beta = \frac{N^{1-\gamma}}{1+2\sum_{i=1}^{(N-1)/2}\exp(-5,56\frac{i^2}{N^2})}, \tag{2}$$

where N – is the number of pulses in a burst, determined by the following formula:

$$N = \frac{\Theta_a F_n}{6\omega\cos\varepsilon}, \tag{2}$$

where Θ_a – the half-power beamwidth of the antenna directional pattern in the horizontal plane, degrees; F_n – pulse repetition frequency, Hz; ω – antenna rotation speed, revolutions per minute; ε – elevation angle of the target, degrees;

γ – coefficient that characterizes the type of integrator used in the system, where:

$$\gamma = \begin{cases} 1 - \textit{coherent integrator}; \\ 2/3 - \textit{conventional (classical) integrator}; \\ 1/2 - \textit{integrator based on a cathode-ray tube display}. \end{cases}$$

The detection range of a pulsed radar system with a transmitting and receiving antenna is given by:

$$R_o = \sqrt[4]{\frac{P_{TR}\tau_I G^2 \sigma_T \lambda^2}{(4\pi)^3 k T_N m_p K_{RBW} L}}, \tag{3}$$

where P_{TR} – transmitter pulse power, W; τ_I – pulse duration, s; G – antenna gain; σ_T – RCS of the target, m^2; λ – wavelength, m; k – Boltzmann constant ($1,38\cdot10^{-23}$ W/Hz/ ^{0}K); T_N – system noise temperature, ^{0}K; m_p – detectability factor;

K_{RBW} – bandwidth correction factor (receiver bandwidth mismatch); L – generalized loss factor.

The detectability factor depends on the RCS fluctuation model of the target:

- **model 0** (non-fluctuating target):

$$m_p^{(0)} = \frac{(1+2e^{-\frac{N}{3}})}{\sqrt[6]{\lg\frac{1}{P_{CD}}}}\alpha\beta; \tag{4}$$

- **model 1** (slowly fluctuating target – RCS varies from scan to scan according to the Rayleigh distribution):

$$m_p^{(1)} = \frac{\frac{2}{3}(1+\frac{2}{3}e^{-\frac{N}{3}})}{\lg\frac{1}{P_{CD}}}\alpha\beta; \tag{5}$$

- **model 2** (rapidly fluctuating target – RCS varies from pulse to pulse according to the Rayleigh distribution):

$$m_p^{(2)} = \frac{\alpha\beta}{\left(\lg\frac{1}{P_{CD}}\right)^{(\frac{1}{6}+e^{-\frac{N}{3}})}}; \tag{6}$$

- **model 3** (slowly fluctuating target – RCS varies from scan to scan according to the χ^2 (chi-squared) distribution):

$$m_p^{(3)} = \frac{\frac{3}{4}(1+\frac{2}{3}e^{-\frac{N}{3}})}{\sqrt[3]{l\left(g\frac{1}{P_{CD}}\right)^2}}\alpha\beta; \tag{7}$$

- **model 4** (rapidly fluctuating target – RCS varies from pulse to pulse according to the χ^2 distribution):

$$m_p^{(4)} = \frac{\alpha\beta}{\left(\lg\frac{1}{P_{CD}}\right)^{(\frac{1}{6}+\frac{2}{3}e^{-\frac{N}{3}})}}. \tag{8}$$

The gain of the transmitting-receiving antenna (G) and the effective antenna area (S_{ae}) are related by the following expressions:

$$G = \frac{4\pi S_{ae}}{\lambda^2},\ S_{ae} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi}, \tag{8}$$

which illustrate the ambiguous influence of the wavelength λ on the detection range R_o (see formula (3).

Based on the results of experiments conducted using mathematical models, the following graphical dependencies were obtained.

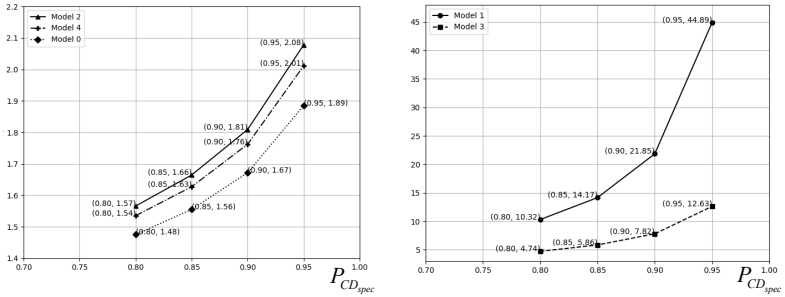


Figure 1. Graphical dependencies of the detectability factor (m_p) on the specified probability of detection ($P_{CD_{spec}}$) for different target RCS fluctuation models

The graphical dependencies presented in figure 1 confirm that RCS fluctuations of the target negatively affect the detectability factor by increasing its value, which, under otherwise unchanged conditions, leads to a reduction in radar detection range (see formula (3). The graphs also show that RCS fluctuations from pulse to pulse (model 2 and model 4), known as fast fluctuations following the Rayleigh distribution, approach the characteristics of a non-fluctuating target (model 0) and have significantly less impact on detectability compared to slow fluctuations from scan to scan following the χ^2 distribution (model 1 and model 3).

It is also evident that stricter requirements for achieving a higher probability of detection ($P_{CD_{spec}}$) necessitate an increase in the detectability factor, which, under otherwise unchanged conditions, again leads to a reduction in detection range (see formula (3). To compensate for this negative effect, it is necessary to influence other radar parameters that determine the detection range, in particular: increasing transmitter power, reducing system losses, improving antenna gain, etc. However, this requires a complex compromise search, as these parameters are often interrelated.

Using the developed mathematical model, additional parameters such as antenna gain *G*, wavelength of the transmitted signal λ and radar detection range R_o were also studied (figure 2).

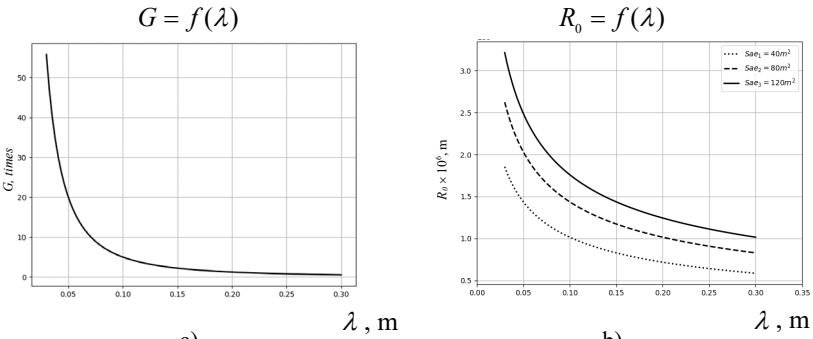


Figure 2.

The graphs presented in figure 2 are consistent with well-known theoretical principles, which emphasize the need to consider the interdependencies (correlations) between radar parameters. According to formula (3) in its current form, an increase in the wavelength λ should lead to a corresponding increase in radar detection range R_o, assuming all other parameters remain constant. However, taking into account the relationship between the wavelength λ and the antenna gain G (see formula (8), it becomes evident that doubling λ results in a fourfold decrease in G. Consequently, increasing λ leads to a decrease in R_o, under otherwise unchanged conditions (figure 2a). Conversely, increasing the effective antenna area S_{ae}, under otherwise unchanged conditions, increases the radar detection range (figure 2b).

Thus, the developed mathematical model can serve as a foundation for further investigation of target characteristics with different structural designs under various operational conditions and their impact on radar parameters. In future research, it is planned to refine the mathematical models and present simulation results for complex targets.

References

1. M. Skolnik, «Introduction to Radar Systems: Third Edition», Tata McGraw-Hill Edition, New York, 2001.

3. Теоретические основы радиолокации: Методические указания по выбору параметров радиолокационных систем. / Составитель В.П. Харченко – Киев: КИИГА, 1990 – 56 с.

2. Косенко Г.Г., Харченко В.П. Теоретические основы радиолокации: Конспект лекций. – К.: КМУГА, 1996. – 96 с.

УДК 629.7.054.07:623.746.-519

М.К. Турчина, Л.В. Благая, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Порівняльна оцінка та вибір оптимального датчику тиску для БПЛА

В даній роботі розглянуто порівняльну оцінку та вибір на основі методу аналізу ієрархій датчиків тиску, що можуть застосовуватись у БПЛА

У пілотованій авіації датчики тиску є критично важливими для безпеки та точності навігації. Вони використовуються для вимірювання висоти, швидкості та тиску повітря, допомагаючи пілоту приймати рішення під час польоту.

Типи датчиків: Барометричні датчики, датчики динамічного тиску, датчики статичного тиску. Барометричні датчики вимірюють атмосферний тиск для визначення висоти. Датчики динамічного тиску вимірюють тиск повітря від руху літака для визначення швидкості.

Інтеграція: Дані інтегруються з GPS та інерціальними навігаційними системами (INS) для точної навігації.

У безпілотній авіації датчики тиску є основою автономної навігації та стабілізації польоту через відсутність пілота для візуального контролю.

Типи датчиків: Барометричні датчики, датчики тиску для вимірювання висоти. Аналогічно пілотованій авіації, але з акцентом на автономність. Датчики комбінуються з GPS та акселерометрами для підвищення точності.

Автономність: Системи повністю автономні та стійкі до збоїв, адже людське втручання неможливе.

Датчики тиску в БПЛА використовуються для автономного визначення висоти та тиску, на відміну від пілотованої авіації, де вони доповнюють дії пілота. У безпілотниках застосовуються барометричні датчики, які вимірюють статичний тиск, а іноді комбінуються з датчиками температури для підвищення точності.

У цій роботі розглядаються три датчики тиску (рис.1-3): MPL115A2 (Adafruit 992), GY-BMP280-5 та GY-63 (MS5611), дані про які занесено до табл.1.



Рис. 1
MPL115A2 - Adafruit 992



Рис. 2
GY-BMP280-5

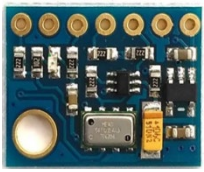


Рис. 3
GY-63 (MS5611)

Таблиця 1.

Характеристики датчиків тиску

Характеристика	MPL115A2 (Adafruit 992)[1]	GY-BMP280-5[2]	GY-63 (MS5611)[3]
Діапазон тиску	500–1150 hPa	300–1100 hPa	10–1200 hPa
Точність	±1.5 hPa	±0.03 hPa	±0.01 hPa
Роздільна здатність	1.5 hPa	0.01 hPa	0.012 hPa
Інтерфейс	I2C	I2C, SPI	I2C, SPI
Живлення	3–5 В	3.3–5 В	3.3–5 В
Енергоспоживання	1 мА	2.7 мкА (1 Гц)	1.2 мА
Розмір	5.0 x 3.0 x 1.2 мм	15 x 12 x 2 мм	19 x 13 x 3 мм
Вага	~0.5 г	~1 г	~1.5 г
Ціна	≈400 грн	≈80 грн	≈400 грн

Порівняльна оцінка

Критерії оцінювання обрано з урахуванням їхньої важливості для БПЛА і дані занесено до табл.2. Сума ваг дорівнює 1:

- Діапазон тиску: 0.15
- Точність: 0.25
- Роздільна здатність: 0.15
- Енергоспоживання: 0.15
- Розмір: 0.10
- Вага: 0.05
- Ціна: 0.15

Кожен модуль оцінено за шкалою від 1 до 5 для кожного критерію, де 5 — найкращий показник, а 1 — найгірший.

Загальна оцінка для кожного модуля розрахована шляхом множення оцінок на ваги та підсумовування.

MPL115A2

- Діапазон: 4 × 0.15 = 0.6
- Точність: 2 × 0.25 = 0.5
- Роздільна здатність: 2 × 0.15 = 0.3
- Енергоспоживання: 3 × 0.15 = 0.45
- Розмір: 5 × 0.10 = 0.5
- Вага: 5 × 0.05 = 0.25
- Ціна: 3 × 0.15 = 0.45

Загальна оцінка: 0.6 + 0.5 + 0.3 + 0.45 + 0.5 + 0.25 + 0.45 = 3.05

GY-BMP280-5

- Діапазон: 3 × 0.15 = 0.45
- Точність: 4 × 0.25 = 1.0
- Роздільна здатність: 4 × 0.15 = 0.6
- Енергоспоживання: 5 × 0.15 = 0.75
- Розмір: 3 × 0.10 = 0.3
- Вага: 3 × 0.05 = 0.15
- Ціна: 5 × 0.15 = 0.75

Загальна оцінка: 0.45 + 1.0 + 0.6 + 0.75 + 0.3 + 0.15 + 0.75 = 4.0

GY-63 (MS5611)

- Діапазон: 5 × 0.15 = 0.75
- Точність: 5 × 0.25 = 1.25
- Роздільна здатність: 5 × 0.15 = 0.75
- Енергоспоживання: 2 × 0.15 = 0.3
- Розмір: 2 × 0.10 = 0.2
- Вага: 2 × 0.05 = 0.1
- Ціна: 3 × 0.15 = 0.45

Загальна оцінка: 0.75 + 1.25 + 0.75 + 0.3 + 0.2 + 0.1 + 0.45 = 3.8

Результати:

MPL115A2 - Adafruit 992: 3.05
GY-BMP280-5: 4.0
GY-63 (MS5611): 3.08

Таблиця 2.

Оцінка модулів за кожним з критеріїв

Критерій	MPL115A2	GY-BMP280-5	GY-63 (MS5611)
Діапазон тиску	4 (500–1150 hPa)	3 (300–1100 hPa)	5 (10–1200 hPa)
Точність	2 (±1.5 hPa)	4 (±0.03 hPa)	5 (±0.01 hPa)
Роздільна здатність	2 (1.5 hPa)	4 (0.01 hPa)	5 (0.012 hPa)
Енергоспоживання	3 (1 мА)	5 (2.7 мкА)	2 (1.2 мА)
Розмір	5 (5.0x3.0x1.2 мм)	3 (15x12x2 мм)	2 (19x13x3 мм)
Вага	5 (~0.5 г)	3 (~1 г)	2 (~1.5 г)
Ціна	3 (400 грн)	5 (80 грн)	3 (400 грн)

Висновок

У ході роботи було проаналізовано принципи дії датчиків тиску в пілотованій та безпілотній авіації. У пілотованій авіації датчики тиску

(барометричні, датчики динамічного та статичного тиску) відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки та точності навігації, доповнюючи дії пілота. Натомість у безпілотній авіації акцент робиться на автономність, де барометричні датчики комбінуються з GPS та акселерометрами для стабілізації польоту та визначення висоти без участі людини.

Виконано порівняльну оцінку датчиків тиску для БПЛА: MPL115A2 (Adafruit 992), GY-BMP280-5 та GY-63 (MS5611):

GY-BMP280-5 отримав найвищу загальну оцінку – **4.0**. Цей датчик вирізняється оптимальним поєднанням високої точності (±0.03 hPa), низького енергоспоживання (2.7 мкА), компактних розмірів та доступної ціни (≈80 грн). Він є ідеальним вибором для більшості застосувань БПЛА, де важливий баланс між продуктивністю та вартістю.

GY-63 (MS5611) посів друге місце з оцінкою **3.8**. Завдяки найширшому діапазону тиску (10–1200 hPa), високій точності (±0.01 hPa) та роздільній здатності (0.012 hPa), цей датчик підходить для високоточних проєктів, де ціна (≈400 грн) та енергоспоживання (1.2 мА) менш критичні.

MPL115A2 (Adafruit 992) отримав найнижчу оцінку – **3.05**. Незважаючи на компактність (5.0 x 3.0 x 1.2 мм) та малу вагу (~0.5 г), його обмежена точність (±1.5 hPa) і роздільна здатність (1.5 hPa) роблять його менш конкурентоспроможним, хоча він може бути використаний у бюджетних проєктах із низькими вимогами до точності.

Список літератури

1. https://www.adafruit.com/product/992
2. https://flymod.net/item/gy_bmp280_5
3. https://aikmotorc.com.ua/ua/p2424596596-barometr-readytosky-datchike.html

УДК 656.7.022-047.44(043.2)

Т.Ф. Шмельова, д.т.н., професор
В.О. Кучменко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування регресійної моделі для аналізу і управління авіаційним трафіком

Авторами запропоновано підхід до прогнозування та управління інтенсивністю авіаційного трафіку на основі кореляційно-регресійного аналізу. Запропонована модель дозволяє виявити динаміку зміни інтенсивності польотів. На основі отриманих результатів наведено приклад регулювання навантаження на повітряний простір для забезпечення ефективності його використання та дотримання безпеки польотів. Додатково запропоновано математичну модель оптимального розподілу повітряних суден за маршрутами з урахуванням пасажиромісткості, собівартості та попиту. Результати можуть бути застосовані для підтримки управлінських рішень в авіакомпаніях та аеронавігаційних службах.

Постановка проблеми. В авіаційній галузі прогнозування та точність прогностичних моделей мають важливе значення для ефективного функціонування систем повітряного транспорту. Надійне прогнозування комерційних перевезень є необхідним для стратегічного планування діяльності авіапідприємств, аеропортів, аеронавігаційних служб та інших учасників авіаційної галузі.

У сучасних умовах авіакомпанії при відкритті нових повітряних ліній, при зміні попиту за маршрутами авіаперевезень зіштовхуються з проблемами визначення потрібного складу повітряного парку, перерозподілу наявних повітряних суден для оптимізації майбутнього попиту на авіаційні перевезення при умові мінімізації видатків авіапідприємства.

У контексті сталого росту навантаження на повітряний простір, питання прогнозування інтенсивності авіаційного руху набуває стратегічного значення. Точне прогнозування дозволяє не лише планувати ресурси, а і запобігати перенавантаження системи, що є важливим для забезпечення безпеки польотів і стабільного функціонування авіаційної галузі.

В документі ICAO DOC 8991 «Manual on Air Traffic Forecasting» зазначено що одним із найпоширеніших та ефективних підходів до прогнозування в авіації є регресійний аналіз, який ґрунтується на обробці статистичних даних [1]. При побудові регресійних моделей для прогнозування в авіаційній сфері аналізуються чинники, які прямо або опосередковано впливають на досліджуваний показник (інтенсивність польотів/попит на авіаційні перевезення, тощо) і, в залежності від ступеня тісноти між незалежними чинниками і досліджуваним явищем, обираються в якості вихідних даних для розробки відповідних моделей прогнозування [4].

До основних вимог при створенні достовірних регресійних моделей належать точність вихідних даних, їх надійність, а також адекватність вибраної математичної моделі [3].

Математичним апаратом, який доцільно використовувати для розрахунку оптимального складу повітряного парку авіакомпанії, для управління попитом є кореляційно-регресійний аналіз [2], для розподілу ПС за встановленими напрямками авіаперевезень – транспортна модель [3; 4].

Метою публікації є аналіз прогнозування інтенсивності перевезень, управління майбутнім трафіком, визначення оптимального складу повітряного парку авіакомпанії для мінімізації вартості виконання авіаперевезень за умови максимального задоволення попиту на транспортування з урахуванням пасажиромісткості літаків та собівартості перельоту за певним маршрутом за допомогою методів комбінаторики, лінійного програмування (транспортної задачі) та регресійного аналізу у середовищі MS Excel.

Основна частина. Для створення моделі використані дані міжнародної організації Eurocontrol [5]. Аналіз базується на щомісячних показниках кількості комерційних авіарейсів, що здійснювалися в повітряному просторі Німеччини протягом трирічного періоду – від 01.01.2022 по 31.12.2024.

У процесі моделювання застосовано кореляційно-регресійний підхід [3]. З метою усунення впливу короткострокових коливань, зокрема сезонних змін та інших нерегулярних чинників, які можуть спотворювати реальну динаміку, вхідні дані були агреговані за півріччями. Це дозволило виявити більш стійкі та узагальнені тенденції у зміні кількості авіарейсів.

На основі проведеного кореляційно-регресійного аналізу була сформована модель, за допомогою якої визначено прогнозні значення обсягів польотів на наступні чотири півріччя (табл. 1), (рис. 1).

Таблиця 1.

Прогнозування інтенсивності польотів на 2025-2026 рік

Рік	X, півріччя	Y, кількість польотів	Прогнозування, Y’
2022	1	632,718	668,234
	2	754,117	698,718
2023	3	697,329	729,203
	4	809,616	759,687
2024	5	741,92	790,172
	6	830,971	820,657
2025	7		851,141
	8		881,626
2026	9		912,110
	10		942,595

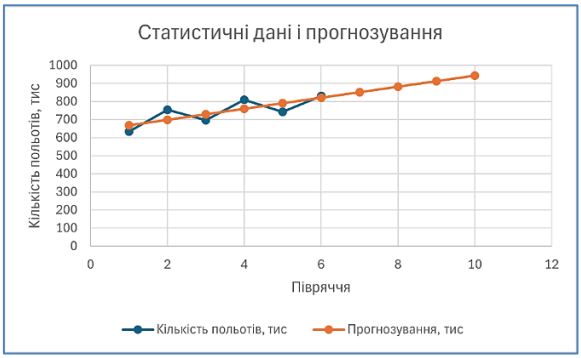


Рис. 1. Прогнозування інтенсивності польотів на 2025-2026 рік

Прогнозні показники були зіставлені з фактичними статистичними даними за аналогічний період, що дало змогу оцінити точність побудованої моделі. Для цього використовувалися такі метрики, як MAE, MSE, R^2, MRAE. Аналіз метрик підтвердив, що модель забезпечує задовільний рівень точності для оперативного прогнозування, однак для стратегічного прогнозування необхідне доопрацювання моделі.

Модель може слугувати інструментом для прийняття управлінських рішень щодо регулювання інтенсивності авіаційного руху з метою досягнення бажаного навантаження на повітряний простір. Наприклад, згідно з отриманими даними, за період 2026 року в повітряному просторі передбачається 1 мільйон 850 тисяч польотів (табл. 2), (рис. 2). Водночас, з урахуванням безпеки польотів і ефективного використання повітряного простору, встановлено, що допустиме навантаження не має перевищувати 1 мільйон 520 тисяч польотів. З метою поступового досягнення цільового рівня, доцільно сформувати відповідну математичну залежність, яка дозволить коригувати кількість польотів таким чином, щоб поступово привести їх до необхідного рівня.

Таблиця 2.

Управління інтенсивністю польотів

				Управління (-)		Управління (+)	
Період	X	Y	Y'(N)	Y"(-)		Y" (+)	
I-е півріччя 2022	1	632,7	668,1				
II-е півріччя 2022	2	754,1	698,5				
I-е півріччя 2023	3	697,3	728,9				
II-е півріччя 2023	4	809,6	759,3				
I-е півріччя 2024	5	741,9	789,7				
II-е півріччя 2024	6	830,9	820,1	820,1	830,6	830,9	830,6
I-е півріччя 2025	7		850,5	810,0	810,4	880,0	880,4
II-е півріччя 2025	8		880,9	790,0	790,2	930,0	930,2
I-е півріччя 2026	9		911,3	770,0	770,0	980,0	980,0
II-е півріччя 2026	10		941,7	750,0	749,8	1030,0	1029,8
Коефіцієнт кореляції	r	0,78		-0,99		1,0	
Коефіцієнти регресії	b_0	637,7		950,7		531,75	
	b_1	30,4		-20,2		49,2	

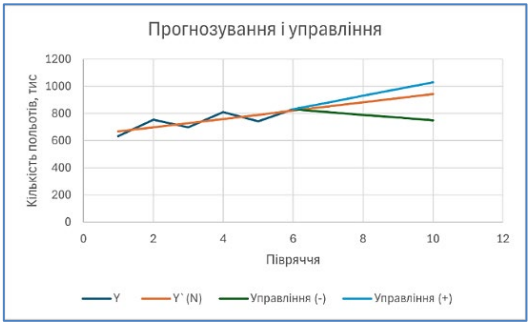


Рис. 2. Прогнозування і управління інтенсивністю польотів

Ефективність авіаперевезень E (1) у разі різної кількості повітряних суден n_i різних типів m_j, максимального попиту і мінімальної вартості авіаперевезень (2) визначається за допомогою прийняття рішень в умовах невизначеності [2]:

$$E = maxmin(y_i - y_{oi}) \tag{1}$$

$$E = max\left\{\min\left(\sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l} c_{jk}x_{jk} \sum_{j=1}^{m}\sum_{k=1}^{l} c_{jk}x_{jk} - f(x_{jl})\right)\right. \tag{2}$$

за обмеженнями:

$$y_i - y_{oi} \le 0; \sum_{j=1}^{m} x_{jk} = a_j, j = \overline{1,m}; \sum_{k=1}^{l} x_{jk} = b_k, k = \overline{1,l};$$

$$x_{jk} \ge 0, j = \overline{1,m}, k = \overline{1,l}$$

де y_i, y_{oi} – відповідно фактична та очікувана мінімальні вартості перевезень; c_{jk} – собівартість перельоту на j-му типі ПС до k-го пункту призначення; a_j – загальна кількість повітряних суден n_i типу m_j; b_k – попит на пасажиропотоки до k-го пункту призначення; x_{jk} – кількість літаків n_i типу m_j, яку необхідно виділити на k-ту повітряну лінію.

Оптимальний розподіл повітряних суден за маршрутами з мінімальною вартістю перевезень за умов виконання обмежень на отримані обсяги пасажиропотоків та комбінації різної кількості різних типів повітряних суден визначаються за допомогою методів оптимізації (лінійне програмування) і комбінаторики [2; 3; 4].

Висновки

У межах дослідження побудовано кореляційно-регресійну модель, яка дозволяє з достатньою точністю прогнозувати інтенсивність авіаційного трафіку в короткостроковій перспективі. Проведене порівняння прогнозних та фактичних даних дозволило зробити висновок про адекватність моделі для прийняття оперативних рішень. На основі аналізу запропоновано підхід до регулювання кількості польотів з урахуванням допустимого навантаження на

повітряний простір.

Крім того, запропоновано математичну модель оптимального розподілу повітряних суден, яка враховує собівартість, попит та доступний авіапарк, що може бути використано для зниження вартості перевезень та підвищення операційної ефективності авіапідприємств.

Подальші дослідження передбачають інтеграцію до моделі додаткових факторів, зокрема інформації про польоти безпілотних літальних апаратів, а також порівняння лінійної моделі з альтернативними методами прогнозування для пошуку оптимального балансу між складністю моделі і надійності отриманих результатів, та її інтерпретованістю.

Список літератури

1. ICAO. Manual on Air Traffic Forecasting (Doc 8991 AT/722/3). URL: https://www.icao.int/MID/Documents/2014/Aviation%20Data%20Analyses%20Seminar/8991Forecastingen.pdf (дата відвідування: 19.03.2025).
2. Шмельова Т. Ф. Сікірда Ю. В. Модель оптимізації транспортних потоків з урахуванням методів комбінаторики та регресійного аналізу. *АВІА-2017 : XIII міжнар. наук.-техн. конф., Київ, 19-21 квітня 2017 р.: тези доповідей*. К. : Національний авіаційний університет, 2017. С. 30.19-30.23.
3. Теорія прийняття рішень: Лабораторний практикум для здобувачів вищої освіти ОС «Бакалавр» спеціальності 272 «Авіаційний транспорт», ОПП «Системи аеронавігаційного обслуговування» / уклад.: Т. Ф. Шмельова, І. В. Остроумов. К.: ДУ «КАІ», 2025. 40 с.
4. Ефективність авіаційних систем: Методичні рекомендації до виконання домашнього завдання для здобувачів вищої освіти ОС «Магістр» спеціальності 272 «Авіаційний транспорт» / уклад.: Т. Ф. Шмельова. К.: ДУ «КАІ», 2025. 40 с.
5. Петрик В. Л. Аналіз стану світового ринку цивільної авіації та прогноз його розвитку в умовах нестабільного попиту на авіаперевезення. *Бізнес Інформ.* 2020. №3. С. 112-119. https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-3-112-119
6. Соколова О. Є., Чередніченко К. В. Методи та моделі короткострокового прогнозування Європейського ринку авіаційних перевезень / Methods and models of short-term forecasting of the European air transport market. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2023. Том 34 (73). № 1. С. 306-317.
7. Commercial flights by reporting country and type of schedule - monthly data (source: Eurocontrol). URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/product/page/AVIA_TF_CM (дата відвідування: 19.03.2025).

UDC 629.7.08:004.925.8:621.7.044

Y.A. Znakovska, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
V.O. Kharchenko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Analysis of the effectiveness of modern 3D scanners for monitoring the technical condition of aircraft in various operational conditions

This paper presents a systematic analysis of modern 3D scanning devices applied for monitoring the technical condition of aviation equipment under varying environmental conditions. A comparative evaluation is conducted among laser scanners, structured light scanners, and photogrammetric approaches. In addition, the influences of external factors (temperature, humidity, illumination, and vibrations) on device accuracy and data acquisition speed are assessed, allowing for the determination of optimal technological solutions for specific field applications. The obtained results offer a basis for developing unified protocols in the diagnosis and wear-prediction of aviation components.

Ensuring the operational integrity of aviation equipment is paramount for flight safety. Over recent decades, traditional inspection methods based on manual CAD modeling have been progressively replaced by more advanced approaches. In particular, the adoption of 3D scanning technologies now permits rapid and highly accurate capture of the geometric details of structural components, thereby facilitating the prompt detection of defects, wear, and deformation.

Despite the clear advantages, the efficiency of individual 3D scanning methods can vary significantly under real-world operating conditions. Environmental factors such as temperature fluctuations, vibrations, variations in illumination, and humidity can adversely affect measurement accuracy. In this study, we compare three major 3D scanning techniques and propose recommendations for optimal device selection depending on the operational circumstances.

Three primary types of 3D scanners were selected for this study:

- Laser 3D Scanners. These devices offer exceptionally high accuracy (with deviations ranging between 10–30 μm) under ideal conditions; however, they are sensitive to vibrations and extreme temperatures.
- Structured Light Scanners. Noted for their high scanning speed and reasonable accuracy (50–100 μm) even for objects with complex geometry, provided that the illumination parameters are optimally adjusted.
- Photogrammetric Systems. These systems reconstruct 3D models from digital images. Their accuracy largely depends on image quality and can be less stable under rapidly changing conditions.

The experimental analysis incorporated both laboratory and field trials simulating conditions that closely resemble actual operational environments:

- Temperature: ranging from –20°C to +40°C.
- Illumination: from low indoor settings to intense outdoor sunlight.
- Humidity: both standard and elevated humidity levels were tested.
- Vibrations: dynamic loads that typically occur during aircraft operation were simulated.

Data were acquired using a custom protocol that sequentially tested each scanner type. The acquired point clouds were statistically processed and compared based on key metrics: accuracy, scanning speed, and operational robustness. Furthermore, each device underwent a calibration protocol designed to maximize measurement accuracy under different environmental conditions.

The comparative analysis yielded the following insights (Table 1):

- Laser 3D Scanners. These devices achieved the highest accuracy in laboratory conditions. However, when exposed to vibrations or extreme temperatures, the deviation increased significantly—indicating the need for additional correction algorithms.

- Structured Light Scanners. These scanners demonstrated an optimal balance between speed and accuracy. With proper illumination settings, they provided stable data even in field conditions.

- Photogrammetric Systems. Although capable of generating 3D models under adverse conditions, they require extensive post-processing and calibration to meet high-precision standards.

Table 1

The table below summarizes the main performance indicators

Feature (Criterion)	Laser Scanners	Structured Light Scanners	Photogrammetric Systems
Accuracy	10–30 μm	50–100 μm	0.1–0.3 mm
Scanning Speed (Time)	Medium	High	Depends on conditions
Mobility (Portability)	Medium	Low	High
Light Dependence	Insensitive	Sensitive	Sensitive
Resistance to External Influences (Vibrations)	Low	Moderate	High
Data Processing Speed	Medium	High	High
Automation Potential	High	Very High	Moderate
Cost	High	Medium	Low
Typical Applications	Detailed inspection of small components	Large surfaces in controlled environments	Large objects, field conditions

The results suggest that under real operating conditions, structured light scanners emerge as the most adaptable solution for monitoring the technical condition of aviation equipment. While laser scanners offer superior accuracy in controlled settings, their performance degrades under adverse external influences. Photogrammetric systems, although useful when specialized equipment is unavailable,

necessitate additional calibration and processing to reach comparable levels of reliability.

Regardless of the scanner type, proper calibration and standardization are critical in ensuring high-quality data. The integration of automated data analysis using machine learning techniques presents a promising avenue for developing predictive models of component wear. Such protocols could lead to the standardization of 3D scanning procedures, thereby facilitating their incorporation into regulated diagnostic processes within the aviation industry.

Conclusion

This study provides a comprehensive analysis of modern 3D scanning devices for monitoring the technical condition of aviation equipment under varying environmental conditions. The key conclusions are:

- Laser Scanners offer the highest accuracy under controlled conditions but are vulnerable to environmental disturbance when deployed in the field.
- Structured Light Scanners exhibit the best overall performance with respect to speed, robustness, and automation potential, making them most suitable for in-field applications.
- Photogrammetric Systems are beneficial in scenarios with limited access to specialized equipment; however, they require significant post-processing.
- The integration of machine learning algorithms with 3D scanning data holds considerable promise for the automation of wear prediction and maintenance scheduling.

The findings provide a foundation for developing standardized calibration protocols and hybrid monitoring systems to enhance the effectiveness of aviation maintenance practices.

References

1. Kurc, K., Burghardt, A., Gierlak, P., Muszyńska, M., Szybicki, D., Ornat, A., & Uliasz, M. (2022). Application of a 3D Scanner in Robotic Measurement of Aviation Components. Electronics, 11(19), 3216. – Access mode: https://doi.org/10.3390/electronics11193216 (date of access: 15.04.2025).
2. International Civil Aviation Organization (ICAO). (2021). 3D Laser Scanning & Analyzing in Aviation Safety Investigations. CIAS Report. – Access mode: https://www.icao.int/safety/airnavigation/AIG/New%20technologies/3D_Laser_Scanning_and_Analyzing_In_Aviation_Safety_Investigations_CIAS-Romania.pdf
3. SCANTECH. (2024). 3D Scanning Solutions for Aviation: Enhancing Design, Manufacturing, and Maintenance Precision. Retrieved September 19, 2024. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.3d-scantech.com/3d-scanning-solutions-for-aviation/ (date of access: 15.04.2025).
4. Li, J., Wang, Y., Qu, L., Wang, M., Lv, G., & Su, P. (2024). Study on Dynamic Scanning Trajectory of Large Aerospace Parts Based on 3D Scanning. Aerospace, 11(7), 515. - Access mode: https://doi.org/10.3390/aerospace11070515 (date of access: 15.04.2025).
5. 3D Scanning in Aerospace & Aviation. - [Electronic resource]. - Access mode: https://indicatetechnologies.com/pages/3d-scanning-aerospace (15.04.2025).

УДК 004.8:681.7

В.Ю. Ларін, д.т.н., К.Д. Іванов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування штучних нейронних мереж для виявлення безпілотників-камікадзе у режимі реального часу

Розглянуто застосування нейронних мереж для виявлення безпілотників-камікадзе за допомогою тепловізійної камери. Описано методику навчання моделі та проаналізовано результати експериментів.

Штучні нейронні мережі – це комп'ютерні моделі, що імітують роботу людського мозку, здатні навчатися на основі вхідних даних та виявляти складні закономірності. Завдяки своїм властивостям, вони отримують все більше застосувань не лише в сучасній авіації, але й у багатьох інших галузях, зокрема в безпеці, медицині та промисловості.

Сьогодні нейромережі все частіше використовуються в сучасній авіації, зокрема для автоматизації управління, аналізу даних із сенсорів та підвищення безпеки польотів. У контексті безпеки нейромережі стають ключовим інструментом для протидії сучасним загрозам, таким як безпілотники-камікадзе.

Мій проект вирішує нетривіальну задачу – детекцію безпілотників-камікадзе в реальному часі. Ці безпілотники становлять серйозну загрозу через свою малу помітність, високу швидкість та здатність завдавати точкових ударів. Виявлення таких об'єктів є одним з найважливіших етапів у боротьбі з ними, особливо на захищених ділянках, таких як аеродроми, стратегічні об'єкти тощо. Наприклад, на аеродромах своєчасна детекція дозволяє запобігти пошкодженню літаків, інфраструктури та забезпечити безпеку авіаційних операцій. Під час бойових дій швидке реагування на наближення безпілотників може врятувати життя та захистити техніку.

У рамках проекту для збору даних використовувалася тепловізійна камера з роздільною здатністю 640×512 пікселів. Цей пристрій забезпечує високу чіткість зображень, що робить його оптимальним для цілодобового моніторингу повітряного простору, зокрема в задачах виявлення безпілотників-камікадзе, де важливі стабільність і точність.

Для навчання нейромережі було зібрано набір даних, що включає понад 10 тисяч зображень, отриманих за допомогою цієї камери. Зображення охоплюють різні сценарії: безпілотники-камікадзе фіксувалися на відстанях від 10 до 50 метрів, що забезпечило варіативність даних, необхідну для створення моделі, яка ефективно працює в реальних умовах.

Процес навчання нейромережі включав аналіз ключових показників, які дозволяють оцінити її точність, повноту, здатність до локалізації об'єктів (дронів) та загальну якість детекції.

Втрата рамок (box_loss) - Показник, що відображає точність визначення координат обмежувальних рамок навколо об'єктів. У даній роботі вона

характеризує, наскільки точно модель локалізує безпілотники на тепловізійних зображеннях.

Втрата класифікації (cls_loss) - Метрика, що оцінює помилки моделі при визначенні класів об’єктів на зображенні. У контексті детекції безпілотників-камікадзе вона показує, наскільки точно нейромережа розпізнає ціль як дрон, а не інший об’єкт.

Точність (Precision) - Показує, наскільки часто модель помиляється, коли вважає, що знайшла дрон. Інакше кажучи, з усіх об’єктів, які система позначила як дрони, скільки справді були такими. Висока точність означає низький рівень хибно позитивних спрацювань (тобто, коли дрона не було, але модель його "побачила").

$$\text{Точність} = \frac{(\text{Правильно знайдені детекції})}{(\text{Усі знайдені детекції})}$$

Повнота (Recall) - Відображає здатність моделі виявити усі наявні дрони. Тобто з усіх справжніх цілей у кадрі, скільки модель змогла знайти. Висока повнота свідчить про мінімальну кількість пропущених об'єктів.

$$\text{Повнота} = \frac{(\text{Правильно знайдені детекції})}{(\text{Усі справжні детекції (знайдені} + \text{пропущені))}}$$

IoU (Intersection over Union) - Метрика просторової точності локалізації, що визначається як відношення площі перетину передбаченої рамки та реальної до площі їх об'єднання. Значення від 0 до 1.

$$\text{IoU} = \frac{(\text{Площа перетину рамок})}{(\text{Площа об’єднання рамок})}$$

Середня точність (mean Average Precision, mAP) - Це комплексна метрика, яка враховує як точність, так і повноту при різних порогах IoU. Найчастіше застосовуються дві форми:

mAP@50 - середня точність при мінімальному перекритті рамок 50%. Базова метрика, що показує, наскільки добре модель загалом виявляє об’єкти.

mAP@50–95 - суворіший варіант, який оцінює якість локалізації при різних рівнях точності від 50% до 95% з кроком 5%. Дає змогу точніше оцінити, наскільки впевнено й стабільно модель працює.

Результати експериментів, відображені на графіках (Рис.1), демонструють високу ефективність моделі. Графіки втрат показують поступове зниження як на тренувальному, так і на валідаційному наборах даних. Це свідчить про стабільне навчання моделі та її адаптацію до даних. Метрики точність і повнота зростали протягом тренування, досягаючи високих значень, що вказує на здатність моделі правильно ідентифікувати безпілотники, мінімізуючи помилкові спрацьовування. Показники mAP50 та mAP50-95, які оцінюють середню точність виявлення, також стабільно зростали, підтверджуючи ефективність моделі в реальних умовах. Такі результати дозволяють використовувати розроблену систему для детекції

безпілотників-камікадзе в реальному часі, що критично важливо для бойових операцій та захисту інфраструктури.

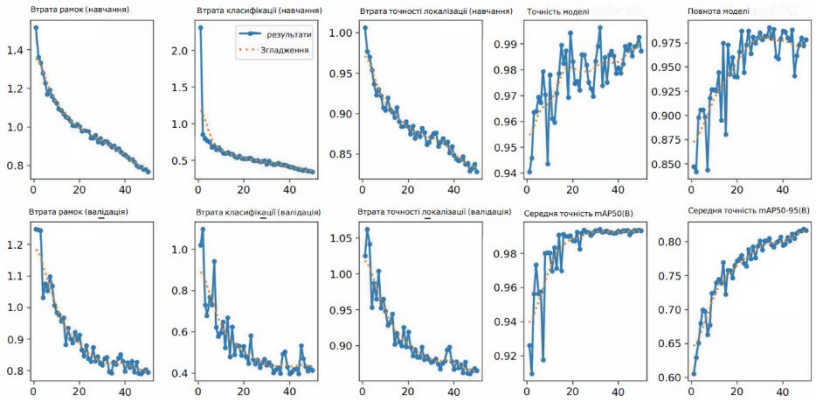


Рис. 1. Динаміка основних метрик на тренувальному та валідаційному наборах залежно від кількості епох навчання

Для оцінки працездатності алгоритму було проведено тестування в реальних умовах. У ході тестування алгоритм стабільно виявляв цілі на дистанції до 40 метрів. Незалежно від зовнішніх умов, система демонструвала надійну роботу, забезпечуючи своєчасне виявлення об’єктів. Важливо відзначити, що протягом усього періоду тестування не було зафіксовано жодного помилкового спрацьовування, що підкреслює високу точність алгоритму та його здатність уникати хибно-позитивних результатів.

Результати тестів (Рис. 2) свідчать про готовність алгоритму до використання в реальних сценаріях. Його стабільна робота на вказаній дальності та відсутність помилок роблять його ефективним інструментом для забезпечення безпеки в зонах, де потрібне надійне виявлення загроз.

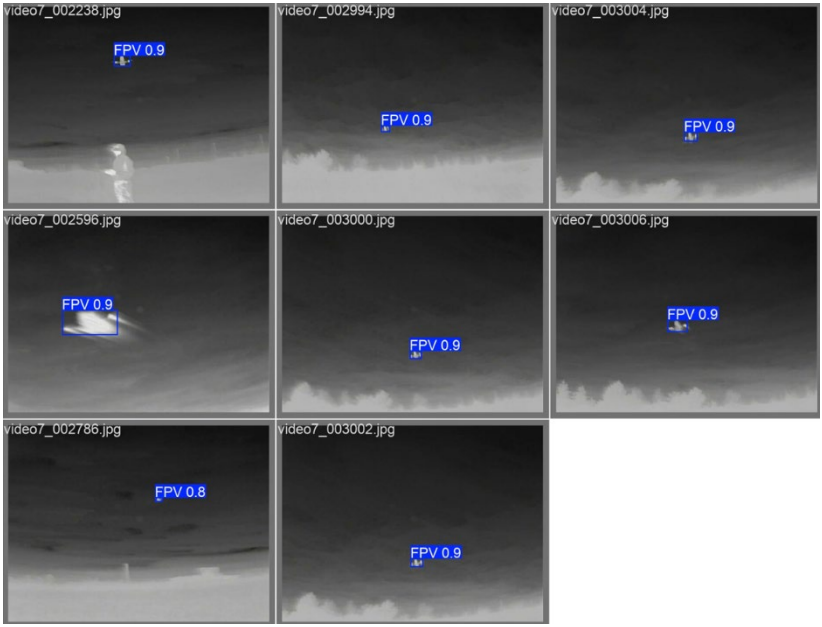


Рис. 2. Результати тестування моделі

Висновок

Таким чином, запропоноване застосування штучних нейронних мереж для виявлення безпілотників-камікадзе в реальному часі за допомогою тепловізійної камери забезпечує високу точність і стабільність детекції на дальності до 40 метрів без хибно-позитивних спрацьовувань. Запропонований підхід є доцільним для використання на стратегічних об’єктах, а також у бойових умовах для оперативного реагування на загрози.

Список літератури

1. Svanström, F., Englund, C., & Alonso-Fernandez, F. (2020). "Real-Time Drone Detection and Tracking With Visible, Thermal and Acoustic Sensors." https://arxiv.org/abs/2007.07396

2. Wang, Y., Chen, Y., Choi, J., & Kuo, C.-C. J. (2018). "Towards Visible and Thermal Drone Monitoring with Convolutional Neural Networks. https://arxiv.org/abs/1812.08333

UDC 629.735.018.7.015.3.025.1

Ю.В. Грищенко, д.т.н., О.О. Чужа, к.т.н., Т.С. Соломаха, Д.Ю. Іващенко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Питання безпеки польоту під час заходу на посадку повітряного судна

Розглянуто питання психофізіологічного навантаження на екіпаж під час стандартного заходу на посадку. Показано важливість своєчасної діагностики авіоніки. Подано методику розрахунку безвідмовності важливих приладів при посадці.

Вступ

Існує великий спектр технічних систем, відмова яких може спричинити загрозу для життя людей або значні економічні та моральні втрати. До таких систем належать сучасні літаки, космічна техніка та інші високотехнологічні об'єкти. Надійність цих систем має ключове значення при оцінці якості їх функціонування. Підтримання високого рівня надійності рівнозначне забезпеченню якості загалом, оскільки саме це дозволяє повністю реалізувати їх технічні, економічні та експлуатаційні переваги.

Сучасні повітряні судна розглядаються як складні цифрові електронні системи. У літаках попередніх поколінь, які поєднували аналогові та цифрові компоненти, частіше виникали відмови. З переходом на цифрові технології ця проблема зменшилась, завдяки підвищеній надійності електронних компонентів.

Однак на зміну технічним відмовам прийшли нові проблеми — збої в роботі авіоніки. Наразі для оцінки надійності електронних систем найчастіше застосовуються дві моделі: експоненціальна та дифузійно-немонотонна.

Дослідження змін інтегро-диференційованого динамічного стереотипу (ІДДС) пілота показали, що відмова в польоті (ФН) має суттєвий негативний вплив на якість техніки пілотування. Це проявляється у збільшенні амплітуди параметрів польоту, що іноді виходить за межі, встановлені в інструкції з експлуатації. Стрес, що викликають відмови, може також призвести до помилкових дій з боку екіпажу. Експерименти проводились на етапах заходу на посадку — від кінця третього та четвертого розвороту до приземлення, коли пілоти мають точно тримати курс і глісаду, орієнтуючись на наземні радіоелектронні системи. У таких умовах керування літаком характеризується ергодичністю та стаціонарністю змін параметрів. На комплексних тренажерах літаків (КТЛ) можна моделювати відмови, які задаються інструктором, у кількості від двох до п'яти одночасно. В результаті досліджень було визначено, що 70% пілотів не чинять ефективного опору таким відмовам, а надмірна психофізіологічна напруга призводить до збільшення амплітуди параметрів польоту (ЗАППІС), що часто залишається непоміченим оператором. Це підкреслює небезпеку такого явища та його потенційний внесок у виникнення льотних інцидентів.

Постановка проблеми

Безпека польотів тісно пов'язана з ризиками, що можуть виникати під час керування повітряним судном через нештатні ситуації. Політ на низьких висотах є особливо небезпечним, оскільки вимагає від пілота максимальної точності та безперервної концентрації. На рисунку 1 представлено схему, яка ілюструє можливі ризики під час заходу на посадку літака, а також деякі способи їх уникнення.

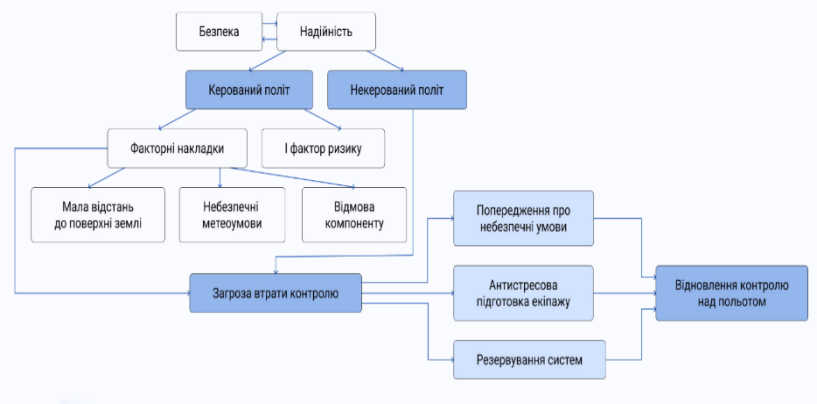


Рис. 1. Система попередження екіпажу про дію ФН під час заходу на посадку повітряного судна.

Як видно з наведеної схеми, в умовах складної метеорологічної обстановки навіть одинична відмова одного з висотомірних приладів може спричинити негативний вплив на пілота, аналогічний дії відмови в польоті (ФН). У сучасних повітряних суднах найпоширенішими типами висотомірів є барометричні та радіовисотоміри. Барометричні висотоміри не залежать від зовнішніх сигналів, що забезпечує їхню високу стабільність, і вимірюють висоту над рівнем моря — стандартний параметр для визначення ешелонів польоту.

Радіовисотоміри, у свою чергу, відзначаються високою точністю, особливо під час польотів на малих висотах. Вони стійкі до змін погодних умов і ефективно працюють у складі систем попередження про небезпечне зближення із земною поверхнею, що значно підвищує рівень авіаційної безпеки.

Вкрай важливо своєчасно інформувати екіпаж про потенційні негативні наслідки ФН. Для підвищення ефективності дій у подібних ситуаціях з екіпажами необхідно проводити спеціальну антистресову підготовку. Також має неухильно дотримуватись принцип резервування систем — як один із ключових засобів забезпечення надійності.

У цій роботі буде представлено методику розрахунку надійності радіовисотоміра, що широко застосовується на борту повітряних суден.

Вирішення проблеми

Для ілюстрації підходу до оцінки надійності розглянемо приклад розрахунку безвідмовності індикатора висоти УВ-5М, який є частиною радіовисотоміра РВ-5М. Враховуючи особливості елементної бази приладу, для моделювання процесу відмов застосуємо експоненційний закон розподілу. Згідно з електричною схемою, індикатор УВ-5М складається з семи функціональних блоків:

Відповідно до електричної схеми УВ-5М ділиться на сім блоків:

- модулятор — блок 1;
- підсилювач змінного струму — блок 2;
- двигун-генератор і потенціометр зворотного зв'язку — блок 3;
- пристрій установки видачі сигналу небезпечної висоти та його світлової індикації - блок 4;
- схема індикації сигналу «Відмова» — блок 5;
- ланцюг формування сигналу «Контроль» — блок 6;
- джерело живлення — блок 7.

Результати розрахунків у Mathcad ймовірності безвідмовної роботи блоків представлені на рис. 1-3.

БЛОК 1

$Np1 := 3$

$\lambda p1 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Np1$

$Nк1 := 3$

$\lambda к1 := 0.014 \cdot 10^{-6} \cdot Nк1$

$Nд1 := 4$

$\lambda д1 := 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot Nд1$

$Nтр1 := 1$

$\lambda тр1 := 0.020 \cdot 10^{-6} \cdot Nтр1$

$Nм1 := 1$

$\lambda м1 := 0.024 \cdot 10^{-6} \cdot Nм1$

$\lambda 1 := \lambda p1 + \lambda к1 + \lambda д1 + \lambda тр1 + \lambda м1 = 1.64 \times 10^{-7}$

$t := 10000$

$R1(t) := \exp(-\lambda 1 \cdot t)$

$R1(t) = 0.998361344$

БЛОК 2

$Np2 := 7$

$\lambda p2 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Np2$

$Nк2 := 3$

$\lambda к2 := 0.014 \cdot 10^{-6} \cdot Nк2$

$Nд2 := 2$

$\lambda д2 := 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot Nд2$

$Nт2 := 3$

$\lambda т2 := 0.060 \cdot 10^{-6} \cdot Nт2$

$Nм2 := 1$

$\lambda м2 := 0.024 \cdot 10^{-6} \cdot Nм2$

$\lambda 2 := \lambda p2 + \lambda к2 + \lambda д2 + \lambda т2 + \lambda м2 = 3.4 \times 10^{-7}$

$t := 10000$

$R2(t) := \exp(-\lambda 2 \cdot t)$

$R2(t) = 0.99660577$

БЛОК 3

$Np3 := 7$

$\lambda p3 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Np3$

$\lambda 3 := \lambda p3 = 7 \times 10^{-8}$

$t := 10000$

$R3(t) := \exp(-\lambda 3 \cdot t)$

$R3(t) = 0.99930024$

Рис. 1. Результати розрахунків у Mathcad ймовірності безвідмовної роботи блоків 1-3.

БЛОК 4

$Np4 := 2$

$\lambda p4 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Np4$

$Nд4 := 1$

$\lambda д4 := 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot Nд4$

$Nл4 := 1$

$\lambda л4 := 1.3 \cdot 10^{-6} \cdot Nл4$

$Nмп4 := 1$

$\lambda мп4 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Nл4$

$\lambda 4 := \lambda p4 + \lambda д4 + \lambda л4 + \lambda мп4 = 1.342 \times 10^{-6}$

$t := 10000$

$R4(t) := \exp(-\lambda 4 \cdot t)$

$R4(t) = 0.98666965$

БЛОК 5

$Np5 := 2$

$\lambda p5 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Np5$

$Nд5 := 1$

$\lambda д5 := 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot Nд5$

$Nт5 := 1$

$\lambda т5 := 0.06 \cdot 10^{-6} \cdot Nт5$

$Nрл5 := 1$

$\lambda рл5 := 0.06 \cdot 10^{-6} \cdot Nрл5$

$\lambda 5 := \lambda p5 + \lambda д5 + \lambda т5 + \lambda рл5 = 1.52 \times 10^{-7}$

$t := 10000$

$R5(t) := \exp(-\lambda 5 \cdot t)$

$R5(t) = 0.99848115$

БЛОК 6

$Nмп6 := 1$

$\lambda мп6 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Nмп6$

$Nэ6 := 1$

$\lambda э6 := 0.002 \cdot 10^{-6} \cdot Nэ6$

$Nд6 := 1$

$\lambda д6 := 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot Nд6$

$\lambda 6 := \lambda мп6 + \lambda э6 + \lambda д6 = 2.4 \times 10^{-8}$

$t := 10000$

$R6(t) := \exp(-\lambda 6 \cdot t)$

$R6(t) = 0.99976003$

Рис. 1. Результати розрахунків у Mathcad ймовірності безвідмовної роботи блоків 4-6.

БЛОК 7

$Nтр7 := 1$

$\lambda тр7 := 0.020 \cdot 10^{-6} \cdot Nтр7$

$Nд7 := 6$

$\lambda д7 := 0.012 \cdot 10^{-6} \cdot Nд7$

$Nст7 := 6$

$\lambda ст7 := 0.004 \cdot 10^{-6} \cdot Nст7$

$Np7 := 2$

$\lambda p7 := 0.010 \cdot 10^{-6} \cdot Np7$

$Nк7 := 3$

$\lambda к7 := 0.014 \cdot 10^{-6} \cdot Nк7$

$\lambda 7 := \lambda тр7 + \lambda д7 + \lambda ст7 + \lambda p7 + \lambda к7 = 1.78 \times 10^{-7}$

$t := 10000$

$R7(t) := \exp(-\lambda 7 \cdot t)$

$R7(t) = 0.99822158$

Рис. 1. Результати розрахунків у Mathcad ймовірності безвідмовної роботи блоку 7.

Для порівняння знайдених результатів внаслідок проведених обчислень було побудовано діаграму для порівняння надійності кожного з блоків та зміни з часом *R(t)*, який показано на Рис. 4.

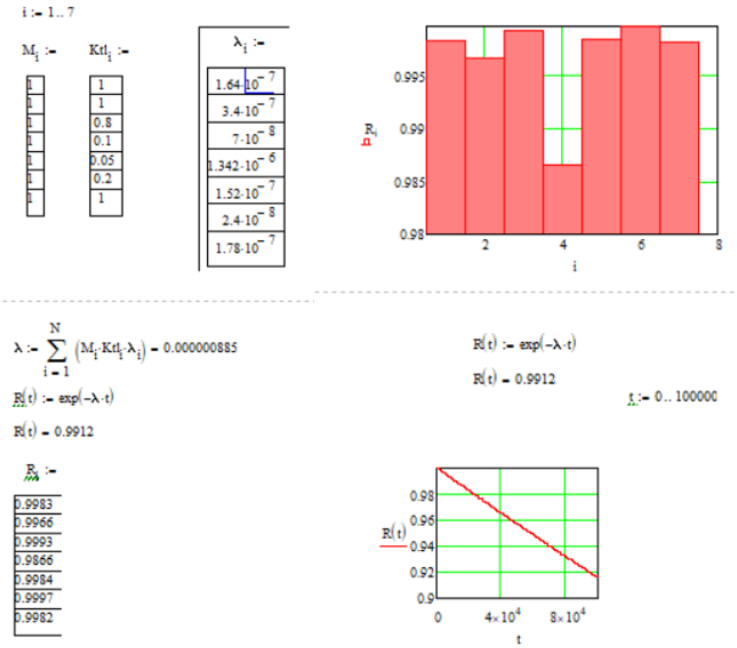


Рис.4. Порівняння надійності кожного з блоків та зміни з часом *R(t)*.

Ми можемо зробити висновок що блок номер чотири найменш надійний і потребує щоквартальної перевірки.

Висновок

Результати роботи показали, що необхідно своєчасно проводити діагностику важливих систем пілотування та навігації. Що стосується польоту при заході на посадку або на малій висоті, то за поганих метеоумов достатньо відмови або збою одного приладу, щоб викликати стан стресу у непідготовленого до цього пілота.

Список літератури

1. Hryshchenko Y.V., Chuzha O.O., Solomakha T.S. Spectral analysis of autocorrelation functions of rolland pitch angles // Electronics and Control Systems, Kyiv, NAU, 2024. N 2(80): P. 100-104.

UDC 621.378.525:535.8

O.Ye. Volkov, PhD, Senior Researcher,
V.M. Zemlianskyi, D.Sc., Prof., M.O. Gusiev
(Institute of Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine)

Multi-wave LDA for diagnostics of aerodynamic flows in a wide dynamic range of speeds

The paper substantiates the principle of constructing a multi-wave LDA, in which the sensitivity can be discretely changed while maintaining the parameters of the probing and reception geometry of scattered radiation unchanged.

The differential scheme of a laser Doppler anemometer (LDA) with two probing beams at one wavelength λ is widely used in aerodynamic studies of both subsonic and supersonic high-speed flows [1, 2]. In the work [3], the general properties of the manifestation of phase and polarization effects of scattering arising during two-beam laser probing of particles moving with a flow, as well as the dependence of the parameters of the Doppler signal of differential LDA (isolated by the method of photoswitching scattered beams) on the polarization-phase characteristics of interfering scattered waves were systematically investigated. The sensitivity of the LDA $S_x \left[\frac{Hz}{m/s}\right]$ depends significantly on the angle γ between the probing beams. Therefore, when it is necessary to study the velocity field of subsonic flows and ensure a relatively high sensitivity S_x, then in this case, as a rule, the option of constructing an LDA with relatively large angles γ between the probing beams is used. When studying the velocity field of supersonic and hypersonic flows, LDAs with relatively low sensitivity S_x, are used, in which the angle between the probing beams γ is units of degrees.

Further developments of laser Doppler anemometry methods based on multi-wave flow probing were first proposed by V. Zemlianskyi and M. Gusiev [4, 5]. The author's developments of multi-wave LDA (MLDA) have world priority and are protected by patents for inventions [6, 7, 8, 9].

In this paper, the principle of constructing an MLDA is theoretically substantiated, in which the sensitivity can be discretely changed while maintaining constant parameters of geometric probing ($\gamma_i = const$) and reception of scattered radiation.

The laser multi-wave Doppler anemometer (see fig. 1) includes: 3 single-mode lasers 1, 2 and 3, emitting beams 4, 5 and 6 respectively at wavelengths λ_1, λ_2, λ_3, an optical unit for forming parallel beams 42, consisting of selective beam splitters and mirrors, as well as three frequency shift devices connected to a high-frequency generator 20; a sensor 43, which includes a diaphragm 30 and an objective 31; a receiving unit 44, which includes a multi-wave mixer 37, a diaphragm 38, a bandpass filter 39, a photodetector 40, a digital Doppler processor meter 41; an optical time delay unit 45, which includes three delay lines and two phase regulators; an optical-mechanical control unit 47, which includes an optical-mechanical device (OMD)

containing a delay line, as well as an OMD control unit, the output of which is connected to the second output of the measuring device 41.

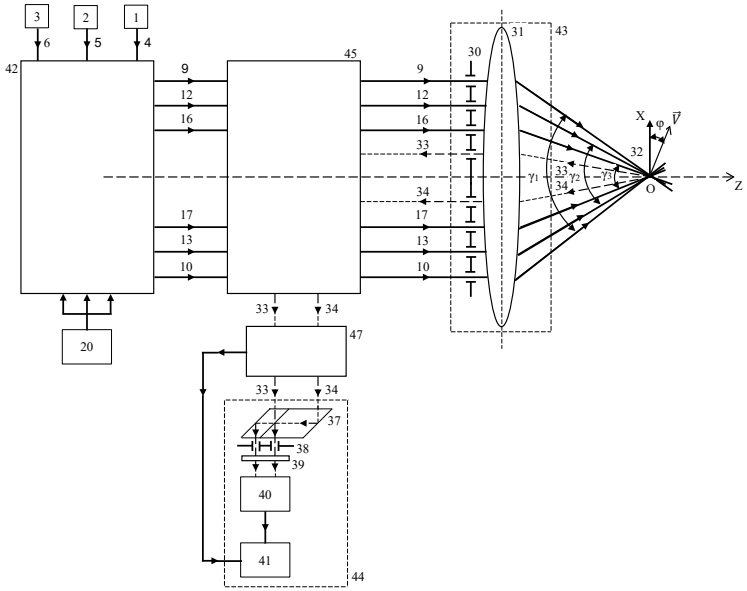


Fig. 1. Laser multi-wave Doppler anemometer

Let us consider the features of the MLDA operation (fig. 1). Laser 1 emits, for example, a vertically polarized beam 4 at a wavelength of λ_1, which in block 42 is divided by a selective beam splitter into two beams 9 and 10 of equal intensity. Beam 10, after reflection from the selective mirror at a wavelength of λ_1, propagates, like beam 9, parallel and symmetrically relative to the optical axis *OZ*.

The second laser 2 emits a vertically polarized beam 5 at a wavelength λ_2, which in block 42 is divided by a selective beam splitter into two beams 12 and 13 of equal intensity. Beam 13, after reflection from the selective mirror at a wavelength λ_2, propagates, like beam 11, parallel and symmetrically relative to the optical axis of the *OZ* circuit.

The third laser 3 emits a vertically polarized beam 6 at a wavelength of λ_3, which in block 42 is divided by a selective beam splitter into two beams 16 and 17 of equal intensity. Beam 17, after reflection from the selective mirror at a wavelength of λ_3, like beam 16, propagates parallel and symmetrically relative to the optical axis of the *OZ* scheme. Beams 9 and 10, 12 and 13, 16 and 17 propagate in the *OXZ* plane.

Beams 10, 13 and 17, after passing the corresponding frequency shift devices installed in block 42, are shifted in frequency by the same fixed frequency Ω_m. Parallel beams 10, 13 and 17, after passing the delay lines installed in block 45, as well as beams 9 and 12, after passing the phase regulators and beam 16, after passing the holes of the aperture diaphragm 30, are focused by objective 31 in the measurement

zone 32. Moreover, beams 9 and 10 at wavelength λ_1 (fig. 1) intersect at an angle γ_1, beams 12 and 13 at wavelength λ_2 – at an angle γ_2 and beams 16 and 17 at wavelength λ_3 – at an angle γ_3. Each pair of beams 9 and 10, 12 and 13, 16 and 17 have matched polarizations, however, in the measurement zone 32, these pairs of beams do not interfere when superimposed, since the delay lines for beams 10, 13 and 17, respectively, create such a time delay τ_i at which the modulus of the complex degree of temporal coherence:

- for bundles 9 and 10 – $|\dot{\gamma}_{12}(\tau_i)| = 0$,
- for bundles 12 and 13 – $|\dot{\gamma}_{22}(\tau_i)| = 0$,
- for bundles 16 and 17 – $|\dot{\gamma}_{32}(\tau_i)| = 0$.

Beams 33 and 34 scattered by moving microparticles, respectively, at wavelengths λ_1, λ_2, λ_3 are collected at an angle α by objective 31 within two symmetrically located openings of diaphragm 30 (fig. 1). Moreover, beam 33, after reflection from multi-wave mirror, is directed to one input of multi-wave mixer 37, to the second input of which scattered beam 34 is directed. It should be noted that on the path of scattered beams 33 and 34 there is an OMD located in block 47, with the help of which the delay line can be installed either on the path of scattered beam 33 or on the path of scattered beam 34. Let, for example, the speed mode of flight of the aerodynamic flow be in the region of subsonic speeds. In this case, the signal from the first output of the control unit 46 goes to the control input of the OMD device, which is triggered and sets the delay line on the path of the scattered beam 33. At the output of the mixer 37, spatially combined beams 33 and 34 are formed, which then pass through the diaphragm 38, the bandpass filter 39 and are then directed to the photocathode of the photodetector 40. As a result of optical mixing of the scattered beams 33 and 34, taking into account the time delay τ_{3i} of the scattered beam 33 by such a value at which $|\dot{\gamma}_t(\tau_{3i})| = 1$, a superposition of three useful high-frequency signals corresponding to wavelengths λ_1, λ_2, λ_3, is formed at the output of the photodetector at frequencies equal to:

$$\omega_{\lambda_1} = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_1}\sin\left(\frac{\gamma_1+\alpha}{4}\right)\cos\left(\frac{\gamma_1-\alpha}{4}\right)V_x, \qquad (1)$$

$$\omega_{\lambda_2} = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_2}\sin\left(\frac{\gamma_2+\alpha}{4}\right)\cos\left(\frac{\gamma_2-\alpha}{4}\right)V_x, \qquad (2)$$

$$\omega_{\lambda_3} = \Omega_M + \frac{8\pi}{\lambda_3}\sin\left(\frac{\gamma_3+\alpha}{4}\right)\cos\left(\frac{\gamma_3-\alpha}{4}\right)V_x, \qquad (3)$$

where α - the angle of reception of scattered radiation between beams 33 and 34, V_x - the horizontal projection of the velocity, $V_x = V\cos\varphi$.

In this case, high-frequency interference signals are automatically suppressed due to the corresponding manifestation of coherence effects.

These three useful signals have the same frequencies

$$\omega_{\lambda_1} = \omega_{\lambda_2} = \omega_{\lambda_3}, \qquad (4)$$

if the geometry of the probing and scattered beams is selected according to the relationship:

$$a_i = Ftg\left\{arcsin\left[\frac{\lambda_i}{\lambda_1}\sin\left(arctg\frac{b}{F}\right)\right] - \left(\frac{\lambda_1-\lambda_i}{\lambda_1}\right)\times\sin\left(arctg\frac{a_1}{F}\right)\right\}, \qquad (5)$$

where F - the focal length of the lens, b - the distance from the optical axis OZ to the scattered beams 33 and 34, a_i - the distance from the optical axis of the OZ scheme to the probing beams at wavelength λ_i (i = 1, 2, 3).

To ensure effective reception of scattered radiation at wavelengths λ_1, λ_2 and λ_3, it is necessary to ensure the phase synchronism of three useful high-frequency signals, which is achieved using phase regulators installed in block 45. Then the useful total signal from the output of photodetector 40 is fed to the input of meter 41, which provides information about the module and sign of the velocity projection $\pm V_x$.

For the case where the delay line is located in the path of the scattered beam 33, the MLDA has a relatively high sensitivity:

$$S_x\left[\frac{Hz}{m/s}\right] = \frac{4}{\lambda_1} sin\left(\frac{\gamma_1 + \alpha}{4}\right) cos\left(\frac{\gamma_1 - \alpha}{4}\right), \qquad (6)$$

which is an order of magnitude greater than in the second variant of the delay line location [7], therefore, the MLDA can be effectively used in this operating mode to measure very low velocities of aerodynamic flows.

If the delay line, after the control signal from the control unit 46 arrives at the input of the OMD, is located on the path of the scattered beam 34, then in this case the MLDA has a relatively low sensitivity:

$$S_x\left[\frac{Hz}{m/s}\right] = \frac{4}{\lambda_1} cos\left(\frac{\gamma_1 + \alpha}{4}\right) sin\left(\frac{\gamma_1 - \alpha}{4}\right), \qquad (7)$$

which corresponds to the diagnostic mode of an aerodynamic flow with a relatively high speed, for example, with a hypersonic speed. When switching from the MLDA operating mode with high sensitivity (6) to the operating mode in which the sensitivity is relatively low and is determined by expression (7), the control unit 47 also outputs a signal to the second input of the frequency meter 41, with the help of which the proportionality coefficient $S_x\left[\frac{Hz}{m/s}\right]$ is changed, i.e. the sensitivity of the MLDA is changed.

Conclusion

Achieving high sensitivity, which can be discretely changed in the MLDA while maintaining a high signal-to-noise ratio and velocity measurement accuracy, is ensured by in-phase reception of useful high-frequency signals (1), (2) and (3) while maintaining constant parameters of the probing and reception geometry of scattered radiation in accordance with the calculated parameters a_1, a_2 and a_3 of the MLDA (see expression (5)). The proposed MLDA, adaptable in sensitivity to the speed mode, can be used, for example, in the JF22 wind tunnel (China), which allows testing the behavior of objects in air flows at speeds up to 30 Mach.

References

1. Laser anemometry, remote sensing spectrometry and interferometry / V. P. Klochkov et al. ; ed. M. S. Soskin. Kyiv: Nauk. Dumka, 1985. 759 p.
2. Laser Doppler Anemometry (LDA). URL: https://www.dantecdynamics.com/solutions/fluid-mechanics/laser-doppler-anemometry-lda/ (date of access: 07.04.2025).

3. Zemlianskyi V. Measurements of flow velocity using the laser Doppler method (calculation of the parameters of the LDA Doppler signal taking into account the polarization-phase scattering effects). Kyiv: Higher School, 1987. 177 p.

4. Doppler method of electromagnetic multi-wave probing and in-phase reception: pat. UA107289C2 Ukraine: G01P3/36. № a201311573 ; appl. 01.10.2013 ; publ. 10.12.2014, Bull. № 23/2014. 6 p.

5. Diploma for the discovery of "Regularity of manifestation of independence of frequency of Doppler signal from wavelength of EM radiation (Zemlianskyi effect)", May 29, 2017. Ukraine, Dnipro.

6. Multiwavelength laser Doppler anemometer: pat. UA102646C2 Ukraine: G01P3/00, G01P3/36. No. a201206636 ; appl. 05.31.2012 ; publ. 07.25.2013, Bull. No. 14/2013. 6 p.

7. Multiwavelength laser Doppler anemometer: pat. UA108843C2 Ukraine: G01P3/36. No. a201111749 ; appl. 05.10.2011 ; publ. 06/25/2015, Bull. No. 12/2015. 6 p.

8. Two-wave laser Doppler anemometer: pat. UA111504C2 Ukraine: G01P3/36, G01P5/01. No. a201404090; appl. 04/16/2014; publ. 05/10/2016, Bull. No. 9/2016. 6 p.

9. Two-wave laser Doppler anemometer: pat. UA111533C2 Ukraine: G01P3/36. No. a201410959; appl. 07/10/2014; publ. 05/10/2016, Bull. No. 9/2016. 6 p.

УДК 629.735.015.2

А.С. Довгалюк, Д.В. Смолич, к.т.н., Т.С. Соломаха
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Імітаційне моделювання електродистанційної системи керування механізацією крила магістрального літака

У статті досліджується імітаційне моделювання електродистанційної системи керування механізацією крила магістрального літака. Розроблено функціональний макет на базі мікроконтролера ATmega 2560. Реалізовано алгоритми плавного позиціонування виконавчих органів із врахуванням змін вхідних сигналів. Проведено тестування для оцінки точності, стабільності та адаптивності системи до змін зовнішніх умов. Отримані результати дозволяють вдосконалити алгоритми керування та підвищити надійність системи в реальному часі.

Вступ.

Система керування польотом забезпечує просторове положення та рух літака на всіх етапах польоту. Існують три основні типи: неавтоматичні, напівавтоматичні та автоматичні. *Неавтоматична система* передбачає повний контроль пілотом із застосуванням м'язової сили. Вона вимагає високої кваліфікації та значних фізичних зусиль. *Напівавтоматична система* доповнена підсилювачами та автоматичними пристроями, що полегшують керування, підвищують стійкість і знижують ризик помилок, залишаючи пілотові основний контроль. *Автоматична система* виконує керування без участі пілота — від зльоту до посадки, з можливістю ручного втручання. Сучасні системи можуть включати штучний інтелект, що адаптує керування до змін умов.

Вимоги до системи включають точність, надійність, мінімальні люфти, відсутність резонансів, зручність для пілота, ергономіку, ремонтопридатність, захист від зовнішніх факторів, наявність резервування та інтеграцію з іншими системами.

Система керування виконує ключові функції:

- ручне та автоматичне пілотування;
- стабілізацію режимів польоту;
- реалізацію керованості та стійкості;
- забезпечення потрібного зусилля для відхилення органів управління;
- підвищення безпеки завдяки попередженню та корекції небезпечних режимів.

Для зміни траєкторії руху літака в польоті потрібно змінювати відповідні аеродинамічні сили та моменти, що на нього діють. Процес зміни сил і моментів, що діють на літак, створених відхиленням органів управління в польоті, називається *процесом управління*.

Механізація та аеродинамічні елементи крила магістрального літака.

Управління просторовим положенням літака відносно трьох осей обертання – поздовжньої, поперечної та вертикальної, здійснюється за допомогою елеронів, керма висоти та керма напрямку відповідно, які, в сукупності, складають основну (первинну) систему керування. До допоміжної, або ж вторинної, системи керування належать інтерцептори (спойлери), закрилки, передкрилки, відхильні щитки, тримери й сервокомпенсатори основних органів керування.

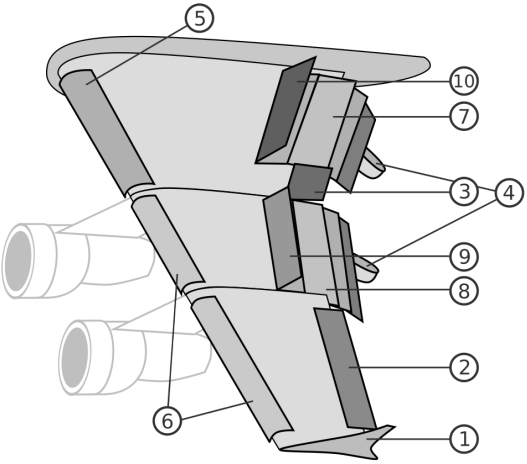


Рис. 1. Механізація та аеродинамічні елементи крила магістрального літака 1 – аеродинамічна закінцівка типу «Sharklet», 2 – элерон, 3 – флаперон, 4 – обтічники приводів закрилків, 5 – передкрилок Крюгера, 6 – передкрилки, 7,8 – закрилки Фаулера, 9, 10 – інтерцептори (спойлери),

Теоретичні основи та практичні аспекти програмно-апаратної реалізації електродистанційної системи управління.

Для виготовлення функціональної моделі-макету ЕДСУ у якості виконавчих пристроїв використаємо сервоприводи SG90, функцію джойстика виконуватиме модуль KY-203, панелі управління положенням спойлерів та закрилків реалізуємо за допомогою сенсорних модулів TTP224 (HW138), а управління кермом напрямку здійснюватимемо за допомогою потенціометра. Функцію інформаційно-обчислювального зв'язного пристрою покладемо на мікроконтролер ATmega 2560, інтегрований в плату Arduino Mega (рис.2.).

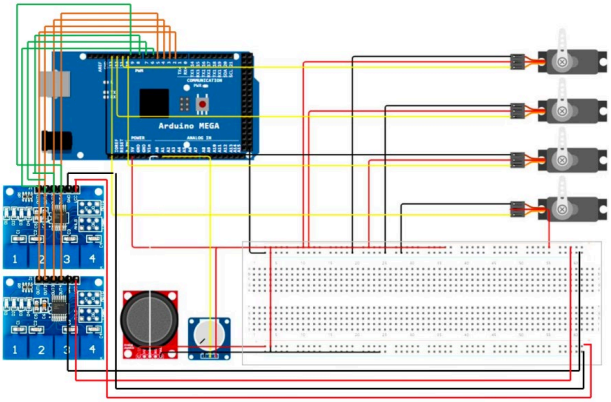


Рис. 2. Схема розпінування (з'єднань) електронних компонентів

Структура та опис програмного коду.

Програмний код, реалізований на платформі Arduino, призначений для управління електродистанційною системою керування авіаційними поверхнями, що включає елерони, закрилки, спойлери та руль напрямку. Система використовує сервоприводи для зміни положень цих елементів управління відповідно до показників, що надходять з джойстика, потенціометра та кнопок типу TTP224. Програма забезпечує точне і плавне переміщення механізмів, що дозволяє ефективно моделювати реальні умови управління авіаційними поверхнями.

Початково, для управління сервоприводами, використовується бібліотека `Servo.h`, що забезпечує можливість змінювати кути обертання серво. У коді визначено чотири сервоприводи: для елеронів, закрилків, спойлерів та керма напрямку, що під'єднуються до відповідних пінів Arduino. Для введення команд з джойстика та потенціометра використовуються аналогові входи, а для керування закрилками і спойлерами — чотири сенсорні модулі TTP224. Кожен елемент управління має своє початкове положення, яке встановлюється в функції `setup()`. Зокрема, елерони знаходяться у нейтральному положенні, закрилки і спойлери знаходяться в позиціях, що визначені в масивах `flapAngles` та `spoilerAngles`, а кермо напрямку займає середнє положення.

Для забезпечення плавного руху елементів керування реалізовано функцію `smoothMove()`, яка дозволяє сервоприводу поступово змінювати свій кут, зменшуючи швидкість зміни позиції. Це досягається шляхом поступового переходу від поточного кута до цільового з періодичними затримками, що забезпечують плавність руху.

У функції `loop()` відбувається основне управління системою. Управління елеронами здійснюється шляхом зчитування значення з осі X джойстика, яке мапується на діапазон кутів від 0 до 120 градусів. Управління рулями напрямку базується на зчитуванні показників потенціометра, що

дозволяє коригувати кут руля у межах від -30 до +30 градусів від нейтрального положення, забезпечуючи таким чином точну настройку напрямку польоту. Керування закрилками та спойлерами реалізовано через кнопки TTP224. При натисканні кнопки для закрилків або спойлерів відповідний сервопривід плавно переміщається в позицію, визначену масивами `flapAngles` або `spoilerAngles`.

Цикл програми виконується з періодичним затриманням у 50 мілісекунд, що дозволяє стабілізувати роботу системи перед наступним циклом.

Експериментальне тестування системи. Оцінка ефективності та стабільності роботи.

Для перевірки працездатності розробленої електродистанційної системи було проведено експериментальне тестування на функціональному макеті.

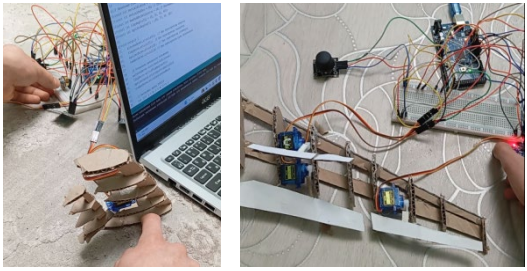


Рис. 3. Тестування імітаційної моделі

У ході випробувань симулювались команди керування за допомогою джойстика, потенціометра та сенсорних панелей, що відповідали стандартним режимам роботи авіаційних органів управління.

Під час експерименту оцінювалася точність відпрацювання команд, швидкість реакції виконавчих механізмів та плавність переміщення аеродинамічних елементів. За результатами тестування встановлено, що всі керовані поверхні функціонують стабільно, точно відтворюючи динаміку, задану оператором. Відгук системи на команди управління був оперативним і відповідним до заданих параметрів, що свідчить про ефективність реалізованих алгоритмів та надійність апаратної складової системи.

Висновок.

У межах проведеного дослідження було успішно реалізовано імітаційне моделювання електродистанційної системи керування механізацією крила повітряного судна з використанням мікроконтролера ATmega 2560 та низки керуючих та виконавчих елементів. Створений макет дозволив відтворити функції системи управління первинними та вторинними

аеродинамічними поверхнями , зокрема, елеронами, закрилками, спойлерами та кермом напрямку.

Проведене експериментальне тестування підтвердило працездатність системи, її здатність до стабільного функціонування та точного відпрацювання керуючих сигналів, заданих оператором. Встановлено, що всі органи управління демонструють динамічну відповідність очікуваним параметрам, забезпечуючи плавність і коректність відхилень у заданих діапазонах.

Загальні результати роботи засвідчують ефективність використання імітаційного підходу для аналізу й оптимізації алгоритмів управління в електродистанційних системах. Отримані дані можуть бути основою для подальшого розширення функціоналу системи, інтеграції з адаптивними алгоритмами та використання у навчальних, дослідницьких або дослідно-конструкторських цілях.

Список літератури

1. Агеєв В.М. Приладові комплекси ЛА та їх проектування: навчальний посібник. – Машинобудування, 1990. – 94 с.

2. Котиленкова О.М. Застосування та принцип роботи електродистанційних систем управління повітряних суден цивільної авіації. – СПбГУА, 2024.

УДК 629.7.01:62.551

Н.В. Білак, к.т.н, О.О. Абрамович, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Параметричний синтез оптимального регулятора для об'єкту із запізненням методом Хука-Дживса

У роботі продемонстровано процедуру визначення параметрів динамічної настройки пропорційно-інтегрального регулятора для об'єкта управління першого порядку із запізненням при відпрацювання заданого сигналу за інтегральним критерієм

Вступ. Питанню регулювання об'єктів з запізненням присвячено значну кількість наукових робіт. Підвищений інтерес до цієї проблеми регулювання таких об'єктів цілком виправданий, оскільки наявність в контурі регулювання чистого запізнювання істотно ускладнює завдання побудови ефективних систем автоматичного керування (САК). Досягнення класичної САК та методи оптимального параметричного синтезу дозволяють створювати високоефективну систему автоматичного керування в умовах змінних режимів роботи об'єкта. Метою роботи є визначення параметрів динамічної настройки пропорційно-інтегрального регулятора для відпрацювання заданого сигналу динамічним об'єктом першого порядку із запізненням за інтегральним критерієм при наявності обмежень на керування.

Задачі оптимізації системи керування Вирішення задачі оптимального у певному сенсі функціонування системи керування включає в себе попередній опис декларованих цілей керування та апріорних відомостей про систему – її структуру, динаміку об'єкта та керуючих ланок, алгоритми роботи тощо.

Характерною особливістю більшості реальних динамічних об'єктів є наявність значних запізнень в каналах управління та вимірювання, що пояснюється кінцевою швидкістю розповсюдження сигналів інформації в об'єктах (транспортне запізнення). Тому інформація про процес надходить до регулятора пізніше, ніж це потрібно, що може привести до нестійкості. Задача ще більше ускладнюється, якщо величина запізнення велика і змінюється з часом. В багатьох процесах спостерігається запізнення, яким не можна нехтувати. Розв'язання задачі оптимізації дає такі налаштування регуляторів САК, при яких буде досягатись мінімальне значення критерію оптимізації. Синтезована таким чином система – оптимальна.

Для оцінювання якості керування в числовій процедурі оптимізації часто використовується інтегральний критерій як реакція системи на одиничну ступінчату дію по каналу регулюючого органу. Для оцінки якості коливальних процесів застосовують квадратичний інтегральний критерій:

$$I = \int_{t_n}^{t_k} (e(t))^2 dt, \tag{1}$$

де t_k-t_n – інтервал часу; $e(t)$ – сигнал розузгодженності системи.

Часто до підінтегрального виразу додають час, тоді квадратичний критерій (1) матиме вигляд

$$I = \int_{t_n}^{t_k} (e(t))^2 t^i dt \to \min_K, \tag{2}$$

де i=0, 1, 2….

Вибір критерію у кожному конкретному випадку потребує математичного моделювання через врахування особливостей самого об'єкта. Процедуру оптимізації можна виконувати за допомогою методу оптимального параметричного синтезу (ОПС). Він призначений для пошуку оптимальних за обраним показником якості параметрів налаштувань регулюючих пристроїв в САК. Підхід, заснований на використанні ОПС, є універсальним. Він може використовувати будь який опис системи: лінійний, нелінійний, безперервний, дискретний, будь яку комбінацію диференціальних, різницевих, алгебраїчних або логічних рівнянь. Метод ОПС дозволяє виконати синтез та аналіз як лінійних так і нелінійних систем для широкого класу об'єктів управління: одномірних, багатомірних, стаціонарних, нестаціонарних, квазістаціонарних, детермінованих та стохастичних.

Загальний порядок оптимального параметричного синтезу САК з використанням генетичного алгоритму наступний:

1) визначення початкового вектору налаштувань регулятора за апріорною інформацією про об'єкт керування;

2) визначення структури та параметрів критерія оптимізації;

3) застосування процедури оптимізації з обраним алгоритмом.

Математична постановка задачі ОПС САК по інтегральному критерію включає формулювання цілі, визначення обмежень та використання методів оптимізації. ОПС САУ полягає у виборі таких значень параметрів регулятора, які мінімізують заданий інтегральний критерій.

Основні елементи математичної постановки задачі оптимального параметричного синтезу САУ по інтегральному критерію є:

- цільова функція (інтегральний критерій), яка відображає якість управління системи.
- математична модель системи, яка описує динаміку системи управління.
- параметри регулятора, які підлягають оптимізації.
- обмеження, що встановлюються на значення параметрів регулятора або інші обмеження, які повинні бути враховані під час оптимізації.
- методи оптимізації для пошуку оптимальних значень параметрів регулятора, які мінімізують інтегральний критерій.
- аналіз результатів та коригування, коли оцінюються результати оптимізації, враховуючи значення інтегрального критерію та вимоги до системи управління.

Структурна схема методу моделювання та оптимізації одноконтурної САУ зображена на рис.1. Необхідно визначити параметри динамічного налаштування пропорційно-інтегрального регулятора для відпрацювання заданого сигналу при наявності обмежень на керування.

Моделюючи процес, знаходимо сигнал розбалансу e(t) і використовуємо його для знаходження інтегрального критерію оптимізації.

Математична постановка задачі ОПС: необхідно визначити параметри динамічної настройки пропорційно-інтегрального регулятора для

відпрацювання заданого сигналу при наявності обмежень на керування.

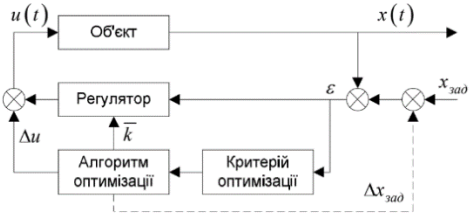


Рис. 1 Структурна схема метода моделювання та оптимізації одноконтурної САК

Вихідні дані задачі.

Передавальна функція об'єкту $$W_{об} = \frac{Y(p)}{U(p)} = \frac{2 * e^{-30*p}}{100 * p + 1}$$

Інтегральний критерій має вигляд $$I = \int_{t_H}^{t_K} e^2 * t^{\alpha} * dt \to \min_{K_p, T_u}$$

Передавальна функція регулятора $$W_p = K_p\left(1 + \frac{1}{T_u * p}\right), \bar{k} = [\begin{matrix} K_p \\ T_u \end{matrix}]$$

Обмеження на керування $$u_{min} \le u \le u_{max}$$

де $W_{об}$ – передавальна функція об'єкту управління із запізненням; $\bar{k}$ – вектор параметрів регулятора, що обирається за результатами параметричного синтезу.

Для рішення цієї оптимізаційної задачі використовують методи нульового порядку - метод Хука-Дживса.

Метод оптимізації Хука-Дживса. Є одним з простих та ефективних методів безумовної оптимізації. Цей метод належить до класу методів перебору, де пошук оптимального розв'язку здійснюється шляхом ітеративного оновлення варіантів розв'язків. Основна ідея методу Хука-Дживса полягає в пошуку оптимального розв'язку шляхом послідовного вдосконалення пробних точок. Основні кроки методу включають:

1.Пошук: починаючи з початкової точки, метод починає шукати найкращий розв'язок шляхом оцінки значень функції цілі в околі поточної точки.

2.Експлорація: метод Хука-Дживса розширює пошук, здійснюючи обстеження в нову область шляхом випробування нової точки, що віддалена від поточної точки.

3.Вдосконалення: якщо випробувана точка має краще значення цільової функції, метод зміщується у напрямку цієї точки та продовжує експлорацію в новому напрямку.

4.Зменшення кроку: поступово зменшується крок експлорації, щоб забезпечити збіжність до оптимального розв'язку.

5.Процес продовжується до досягнення критерію зупинки, такого як досягнення певного числа ітерацій, заданої точності або задоволення інших зупинних умов.

Метод Хука-Дживса має просту реалізацію і не вимагає похідних функції, що робить його використання широко поширеним в багатьох областях. Однак, він може мати обмежену ефективність в складних оптимізаційних задачах зі складними локальними мінімумами або коли простір пошуку має великі розміри.

Результати рішення задачі параметричного синтезу пропорційно-інтегрального регулятора для об'єкта першого порядку із запізненням. Для знаходження параметрів *Kp* і *Tu* регулятора системи (рис.1) методом Хука-Дживса подається збурення $\Delta x_{зад}$. Сигнал розбалансу поступає на блок, що обчислює критерій оптимізації та передає одержану величину на блок, що реалізує алгоритм оптимізації. Останній коректує параметри налаштування регулятора $\bar{k}$. Потім подається нове збурення і дії повторюються. Оптимізація продовжується доти, доки зміна значення критерію оптимальності не стає меншою за задану точність, тобто $\left|I^{(k)} - I^{(k-1)}\right| < \varepsilon$, що свідчить про досягнення екстремуму.

Процес пошуку оптимальних налаштувань регулятора методом Хука-Дживса було реалізовано з використанням програмного пакету MATLAB. Початкові значення параметрів настройки регулятора одержані інженерною методикою: $K_p=2$, $T_u=50$. У дослідженнях прийнято наступні кроки зміни параметрів $K_{pp}=0.1$, $T_{up}=2$. За похибку числової оптимізації було взято $\varepsilon=0.0001$. Умова припинення ітераційного процесу: $\|\Delta I\| \leq \varepsilon$.

Передавальна функція замкненої системи з початковими параметрами регулятора $K_p=2$, $T_u=50$:

$$W_z = \frac{-0.02s^2 + 0.001333s}{s^3 + 0.03667s^2 + 0.002533s + 5.333e-05}$$

Перехідна характеристика початкової передавальної функції надана на рис.2. Початковий критерій оптимальності: *I=0.1878*. Запас по амплітуді, запас по фазі надано на рис.3 та є критичного значення.

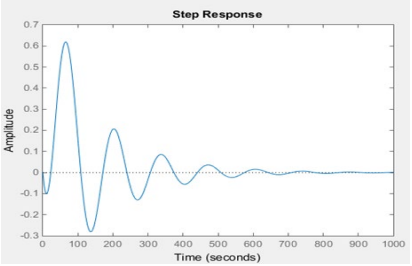


Рис.2 Перехідна характеристика передавальної функції W_z.

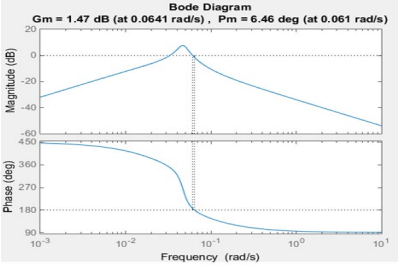


Рис.3. ЛАЧХ та ЛФЧХ початкової замкненої системи

З графіку видно що час перехідного процесу становить 620 секунд і частота коливань занадто велика.

Далі відбувалась покрокова зміна параметрів *Kp* та *Tu*. Після кожної зміни параметрів визначається передавальна функція та критерій оптимальності, який порівнюється з попереднім критерієм. Потім виконується порівняння

критеріїв для оптимального налаштування регулятора, а також порівнюється різниця між критеріями для визначення похибки. Ітераційний процес відбувається до того часу, поки критерій оптимальності не стане менший або рівний похибці. Ітераційний процес було завершено після 14-ти кроків-ітерацій, було отримано наступні оптимальні налаштування регулятора: K_p=0.8, T_u=106, критерії оптимальності набув значення $I_{14} = 0.1184$. Передавальна функція замкненої системи при кінцевих оптимальних налаштуваннях:

$$W_{z0} = \frac{-0.02s^2 + 0.001333s}{s^3 + 0.06067s^2 + 0.001582s + 1.006e-05}$$

При виконанні дослідження будувалися графіки перехідних характеристик замкненої системи на кожній ітерації процесу оптимізації. На рис.4 зображено перехідну характеристику після закінчення ітераційного процесу оптимізації. Графіки свідчать про зменшення частоти коливань та часу перехідного процесу до 520 секунд. Запаси стійкості за амплітудою та фазою замкненої системи з оптимальним ПІ-регулятором значно збільшилися (рис.5)

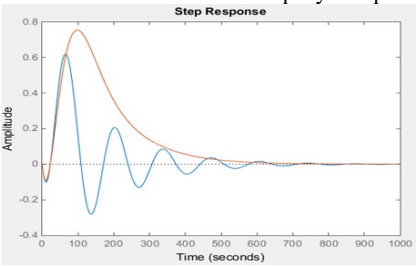


Рис.4 Перехідні характеристики передавальних функцій ітераційного процесу.

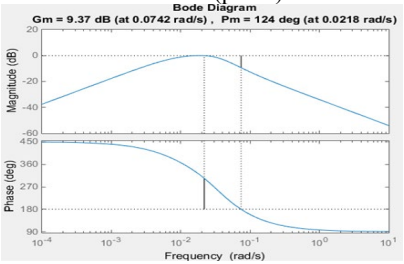


Рис.5. ЛАЧХ та ЛФЧХ замкненої системи з оптимальним ПІ-регулятором

Висновки. У роботі було проведено розв'язання задачі оптимального параметричного синтезу регулятора методом Хука-Дживса для управління динамічним об'єктом із запізненням за мінімумом інтегральної квадратичної помилки.. Простота реалізації ітераційної процедури методу дає змогу зважувати результати кожної ітерації та наочно демонструвати результати досліджень.

Список літератури

1. Спецрозділи математики: навч. посібник / Н.В. Білак, О.А. Сущенко, А.М. Кліпа. – К.: НАУ, 2018. – 280 с.

2. Сучасна теорія управління. Частина 2. Прикладні аспекти сучасної теорії управління: підручник / Ю. М. Ковриго, О. В. Степанець, Т. Г. Баган, О. С. Бунке. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 155 с.

3. Методи моделювання та оптимізація систем та процесів: лабораторний практикум / уклад. : О.М. Тачиніна, Н.В. Білак, О.І. Лисенко, Ю.В. Мельник. – К.: НАУ, 2022. – 52 с.

UDC 629.7.058.45(043.2)

М.П. Дивнич, к.т.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості формування сигналу в лазерному допплерівському вимірювачі швидкості, промені якого ортогонально поляризовані

Проведений аналіз процесу формування допплерівського сигналу вимірювача швидкості, що має лінійні взаємно ортогональні поляризації лазерних променів. Встановлено, що допплерівські сигнали, які утворюються під час прийому випромінювання в напрямках симетричних відносно площині лазерних променів мають однакову амплітуду та протилежні за фазою. За рахунок цього змінна (допплерівська) складова сигналу дорівнює нулю. Якщо прийом випромінювання здійснювати в межах однієї половини діафрагми, то можна отримати допплерівський сигнал з високою глибиною модуляції та відношенням сигнал/завада.

Лазерні допплерівські вимірювачі швидкості (ЛДВШ) використовуються під час дослідження моделей літальних апаратів у аеродинамічних тубах [1].

Найбільшого застосування отримали ЛДВШ диференціального типу, в яких зона вимірювання швидкості формується двома лазерними променями, що мають лінійний стан поляризації з коливання електричного вектора в напрямку, який перпендикулярний площині променів [2]. В зоні вимірювання утворюється інтерференційна картина період якої дорівнює:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2\sin(\gamma/2)}.$$

де: λ - довжина хвилі лазерних променів; γ - кут між променями.

В тому випадку коли два лазерних променя мають лінійний взаємно ортогональний стан поляризації, то вони не інтерферують і змінна складова сигналу на виході фотоприймача ЛДВШ (допплерівський сигнал) буде дорівнювати нулю. Цей факт підтверджений експериментально [2]. Але відомо, що під час перетинання мікрочастинкою зони вимірювання відбувається розсіяння лазерного випромінювання та зміна його стану поляризації і фази. Тоді виникає питання чому амплітуда допплерівського сигналу в такому випадку дорівнює нулю?

Для того, щоб дати відповідь на нього потрібно визначити характеристики допплерівських сигналів, що будуть під час прийому розсіяного випромінювання в межах двох отворів діафрагми, які розташовані симетрично відносно площини, яка утворена лазерними променями (рис. 1). Розмір отворів такий, що стан поляризації розсіяного випромінювання та фаза не змінюються. Положення отворів на діафрагмі задається двома кутами ε та α. Лазерні промені розповсюджуються в напрямку осей Oz_1 та Oz_2 під кутом γ а електричні вектори розташовані вздовж осей та Ox_1 Ox_2 (рис.2). Центр приймальної діафрагми знаходиться на бісектрисі кута γ

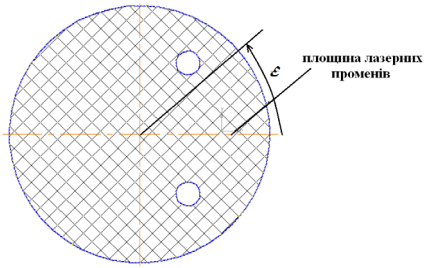


Рис. 1. Форма приймальної діафрагми.

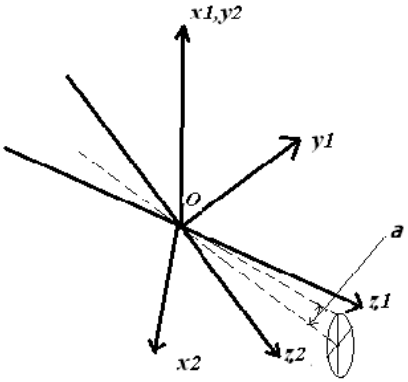


Рис. 2. Геометрія лазерних променів в ЛДВШ з лінійними взаємно ортогональними поляризаціями лазерних променів.

Щоб визначити складові розсіяних хвиль необхідно знайти кути, під якими вони розповсюджуються. Для розсіяної хвилі від першого променя кути дорівнюють:

$$\theta_1 = Arctq(\frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{z_1}), \varphi_1 = Arctq(\frac{y_1}{x_1}). \quad (1)$$

де:

$$x_1 = r_i(tq\alpha\cos\varepsilon\cos\theta_0 + \sin\theta_0)\cos\varphi_0 - r_i tq\alpha\sin\varepsilon\sin\varphi_0,$$
$$y_1 = r_i(tq\alpha\cos\varepsilon\cos\theta_0 + \sin\theta_0)\sin\varphi_0 + r_i tq\alpha\sin\varepsilon\cos\varphi_0,$$
$$z_1 = r_i(\cos\theta_0 - tq\alpha\cos\varepsilon\sin\theta_0).$$

r_1 - відстань між зоною вимірювання та отвором діафрагми; θ_0 та φ_0 кути під якими розташований центр діафрагми.

Для розсіяної хвилі від другого променя кути θ_2 та φ_2 розраховуються за формулами (1), але при цьому:

$$x_2 = y_1\cos\gamma + z_1\sin\gamma, y_2 = -x_1\sin\xi, z_2 = -y_1\sin\gamma + z_1\cos\gamma.$$

Складові розсіяних хвиль від двох лазерних променів будуть дорівнювати:

$$\dot{E}_{\varphi_1} = \frac{E_{10}e^{-jk_c r_i}}{k_c r_i} E_1(\theta_1)\sin\varphi_1 e^{-j\delta_1^{''}} e^{-j\nu_1 t}, \dot{E}_{\theta 1} = \frac{E_{10}e^{-k_c r_i}}{k_c r_i} E_2(\theta_1)\cos\varphi_1 e^{-j\delta_2^{''}} e^{-j\nu_2 t}.$$

$$\dot{E}_{\varphi_2} = \frac{E_{20}e^{-jk_c r_i}}{k_c r_i} E_1(\theta_2)\sin\varphi_2 e^{-j\delta_1^{''}} e^{-j\nu_2 t}, \dot{E}_{\theta_2} = \frac{E_{20}e^{-k_c r_i}}{k_c r_i} E_2(\theta_2)\cos\varphi_2 e^{-j\delta_2^{''}} e^{-j\nu_2 t}.$$

де: E_{10}, E_{20} - модулі напруженості електричного поля лазерних променів,

$E_1(\theta_1), E_2(\theta_1), E_1(\theta_2), E_2(\theta_2)$ - модулі безрозмірних комплексних амплітуд;

$\delta_1^{'}, \delta_2^{'}$ та $\delta_1^{''}, \delta_2^{''}$ - початкові фази складових розсіяних хвиль, які дорівнюють:

$$\delta_1^{'} = Arctq\frac{\mathrm{Im}\,E_1(\theta_1)}{\mathrm{Re}\,E_1(\theta_1)}, \delta_1^{''} = Arctq\frac{\mathrm{Im}\,E_1(\theta_2)}{\mathrm{Re}\,E_1(\theta_2)}, \delta_2^{'} = Arctq\frac{\mathrm{Im}\,E_2(\theta_1)}{\mathrm{Re}\,E_2(\theta_1)}, \delta_1^{''} = Arctq\frac{\mathrm{Im}\,E_2(\theta_2)}{\mathrm{Re}\,E_2(\theta_2)}.$$

Модулі напруженості електричного поля лазерного променя пов'язаний з його потужністю наступним чином:

$$E_{i0} = \sqrt{\frac{P_i}{\pi R_i^2 C}} e^{\frac{-(x_i^2+y_i^2)}{2R_i}}, C = \sqrt{\frac{\varepsilon\varepsilon_0}{\mu\mu_0}}.$$

де: P_i - потужність лазерного променя у зоні вимірювання; R_i - радіус лазерного променя; $i = 1,2$; x_i, y_i - координати мікрочастинки відносно центра лазерного променя; $\varepsilon, \varepsilon_0$ та μ, μ_0 - відносна та абсолютна діелектрична і магнітна проникності середовища потоку відповідно.

Для розрахунку амплітуди та фази допплерівського сигналу потрібно привести складові розсіяного випромінювання до однієї системи координат за допомогою матриці приведення:

$$\begin{bmatrix} \dot{E}_{\varphi 3}^{np} \\ \dot{E}_{\theta 3}^{np} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{22} b_{23} \\ b_{32} b_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_{\varphi 2} \\ \dot{E}_{\theta 2} \end{bmatrix}.$$

Були визначені елементи матриці приведення, які дорівнюють:

$$b_{22} = c_{21}d_{12} + c_{23}d_{32,} b_{32} = c_{32}d_{22} + c_{33}d_{33,}$$

$$b_{23} = c_{21}d_{13} + c_{23}d_{33,} b_{33} = c_{32}d_{23} + c_{33}d.$$

де:

$$c_{21} = \cos\theta_1 \sin\varphi_1 + \sin\theta_1 \sin\gamma, c_{32} = -\sin\varphi_1,$$

$$c_{23} = -\cos\theta_1 \sin\varphi_1 \sin\gamma - \sin\varphi_1 \cos\gamma, c_{33} = \cos\varphi_1 \sin\gamma.$$

$$d_{12} = \cos\theta_2 \cos\varphi_2, d_{22} = \cos\theta_2 \sin\varphi_2, d_{32} = -\sin\theta_2,$$

$$d_{13} = -\sin\theta_2, d_{23} = \cos\varphi_2, d_{33} = \sin\varphi_2,$$

Подальший аналіз показав, що розсіяне випромінювання, яке приймається в площині, що утворена лазерними променями має лінійний взаємно ортогональний стан поляризації і амплітуда допплерівського сигналу буде дорівнювати нулю. При прийомі випромінювання в інших напрямках дві розсіяні хвилі мають еліптичний стан поляризації, який залежить від кутів прийому. За цих обставин амплітуда допплерівського сигналу повинна

відрізнятись від нуля. Тоді чому експериментальні данні показують, що сигнал на виході фотоприймача не містить змінну допплерівську складову?

Як показав аналіз в двох напрямках приймання симетричних відносно площині, що утворена лазерними променями формуються два допплерівських сигнали, що мають однакову амплітуду, але протилежні за фазою:

$$U_{d1} = U_{d2} = k[\sqrt{E_{\varphi 1}^2 E_{\varphi 3}^2 + E_{\theta 1}^2 E_{\theta 3}^2 + 2E_{\varphi 1}^2 E_{\varphi 3}^2 E_{\theta 1}^2 E_{\theta 3}^2 \cos(\Delta_{1i} - \Delta_{2i})}]\cos(\omega_d + \varphi_{d1,2}),$$

$$\varphi_{d1} = \varphi_{d2} + 180^0.$$

Таким чином, якщо приймати розсіяне випромінювання в області діафрагми, що розташована, як показано на рис. 2, то змінна складова сигналу на виході фотоприймача буде дорівнювати нулю за рахунок формування сигналів з однаковою амплітудою та протилежною за фазою.

Якщо здійснювати прийом випромінювання в межах однієї половини діафрагми ($\varepsilon = 0 - 180^0$) то можна отримати сигнал із задовільними характеристиками. Так, на рис. 3 представлені розрахунки залежності параметрів допплерівського сигналу від кута γ між лазерними променями у випадку, коли розсіяне випромінювання приймається тільки в одній половині діафрагми.

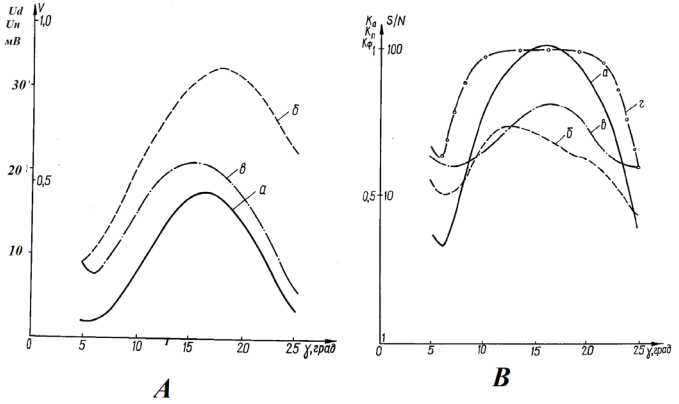


Рис. 3. Залежності параметрів допплерівського сигналу від кута γ :

A – амплітуди допплерівського сигналу $U_d = f_1(\gamma)$ (а), постійної складової $U_н = f_2(\gamma)$ (б), коефіцієнта глибини модуляції $V = f_3(\gamma)$ (в).

B – відношення сигнал/завада $S/N = f_4(\gamma)$ (а), коефіцієнта поляризаційного узгодження [3] $k_n = f_5(\gamma)$ (б), коефіцієнта амплітудного узгодження [4] $k_a = f_6(\gamma)$ (в), коефіцієнта фазового узгодження [5] $k_ф = f_7(\gamma)$.

Як видно з отриманих результатів при певних кутах γ за рахунок зміни поляризації та фази розсіяного випромінювання утворюється

допплерівський сигнал, що має коефіцієнт глибини модуляції $V > 0,5$ та відношення сигнал/завада $S / N = f_4(\gamma)$.

Висновки

Практичне значення даного результату полягає в наступному. Сигнал на виході фотоприймача ЛДВШ має низькочастотну та змінну допплерівську складову рис. 4. Наявність низькочастотної складової в сигналі затрудняє визначення його частоти що знижує точність вимірювання швидкості.

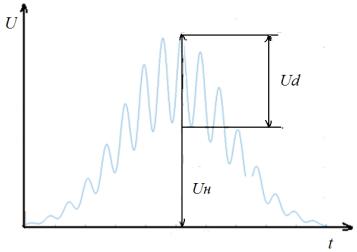


Рис. 4. Форма сигналу на виході фотоприймача ЛДВШ:
U_d - високочастотна допплерівська складова; $U_н$ - низькочастотна.

Якщо розсіяне випромінювання приймати окремо в двох зонах діафрагми, та направляти на різні фотоприймачі, то можна отримати два сигнали, що знаходяться у протифазі. Далі ці сигнали необхідно подати на диференційний підсилювач. Тоді на виході підсилювача буде сигнал, що не містить тільки змінну складову. Таким чином буде відбуватись компенсація постійної складової сигналу. Це дозволить зменшити похибку вимірювання швидкості потоку, що обтікає модель літального апарату.

Список літератури

1. W. Merzkirch, D. Rockwell, C. Tropea Laser Doppler Anemometry for Fluid Dynamics/W. Merzkirch - Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2010.- 274 p.

2. Albrecht H.-E., Borys M., Damaschke N., Tropea C. Laser Doppler and phase Doppler measurement techniques/ Albrecht H.-E.- Springer-Vertlag Berlin Heidelberg, 2004. – 740 p.

3. Дивнич М.П., Тимченко О.М. Дослідження характеристик сигналу лазерного вимірювача швидкості з прийманням розсіяного випромінювання вперед/М.П. Дивнич О.М. Тимченко// Електроніка та системи управління. 2009. - №1(19). - С. 20-25.

4. Дивнич В.М. Підвищення глибини модуляції сигналу лазерного допплерівського анемометра узгодженням розсіяних хвиль за інтенсивністю/В.М. Дивнич // Вісник НТТУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2017. – Вип. 54(2). – С.40–44.

5. Azarskov V., Dyvnych V. Modeling of a signal generated by microparticles moving in the aerodynamic flow/V. Azarskov, V. Dyvnych//Mathematical modeling and computing. - 2019. - v.6.- № 2 - PP. 173 – 178.

УДК 625.735.(043.2)

М. К. Філяшкін, к.т.н., проф. (НАУ, Україна)

Дозаправлення у повітрі безпілотних літальних апаратів

Розглядається автономна дозаправка у польоті середніх і великогабаритних безпілотних літаків. Аналізуються проблеми, що виникають на етапі стикування заправних пристроїв системи шлангової дозаправки. Запропонована технологія дозаправлення, що гарантує виконання завдань високоточного автономного стикування з усуванням ефектів спливу конуса та биття шлангу через його провисання після вдалого контактування.

З моменту своєї появи безпілотні літальні апарати (БПЛА), особливо військові, пройшли шлях від первісного напівлітак до багатофункціональної системи, яка об'єднує розвідку і спостереження, оцінку поля бою та ідентифікацію цілей, радіорелейний зв'язок, атаку наземних цілей тощо. Технології штучного інтелекту, низька вартість, висока мобільність, прихованість роблять БПЛА потенційно революційним новим типом ВПС, який стає основою повітряної бойової системи.

Однак існуючі моделі БПЛА зазвичай обмежені за навантаженням і паливною ємністю, що, як підкреслюється в проекті агентства перспективного планування оборони США "Joint Unmanned Aerial Vehicle", часто призводять до недостатнього часу безпечного польоту при виконанні покладених на них завдань повітряної підтримки. Тому в технологіях повітряної підтримки ключовим компонентом стає процедура автономної дозаправки БПЛА у польоті (рис. 1).

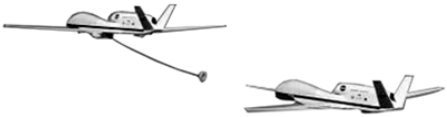


Рис. 1. Дозаправлення БПЛА у польоті

Розробкою систем автономної дозаправки БПЛА займаються провідні дослідницькі інститути США та Європи. Перші випробування таких систем було проведено у 2013 році. Під час випробувань було проведено дозаправку у польоті безпілотного літака ВМС США X-47B. БПЛА стикувався з танкером Omega K-707 під час польоту над узбережжям Меріленда та отримав від нього понад 4000 фунтів палива. А 2015 року Американська компанія Boeing передала на випробування Військово-морським силам США передсерійний зразок дрону-заправника MQ-25 Stingray.

Згідно з оцінками можливостей БПЛА, проведеними Центром льотних досліджень НАСА, дозаправка БПЛА в повітрі може збільшити їх ефективну тривалість польоту на 50…80%, що одночасно дозволить підвищити можливості вирішення покладених на них бойових місій та покращить безпеку польоту. Ось чому дослідження технологій дозаправки БПЛА у повітрі має велике практичне значення.

Аналіз методів дозаправки у повітрі показує, що серед існуючих систем система шлангової дозаправки типу «probe-and-drogue system» має цілу низку переваг: малі розміри, компактність і простота конструкції, низька вартість ви-

робництва – що визначає саме її вибір для автоматизованої системи дозаправлення в повітрі середніх і великогабаритних БПЛА.

У роботі було проаналізовано траєкторії зближення БПЛА із танкером. Щоб не потрапити в супутній слід танкера або вихідний потік його двигунів, траєкторія зближення БПЛА-реципієнта повинна збігатися з продовженням випущеного шланга (рис. 2). Для безпілотної автономної дозаправки в повітрі траєкторію зближення пропонується формувати лазерним променем гіростабілізованої оптико-електронної системи танкера, в якому утримуються БПЛА-реципієнт і активно керований конус-датчик (drogue) системи дозаправки.

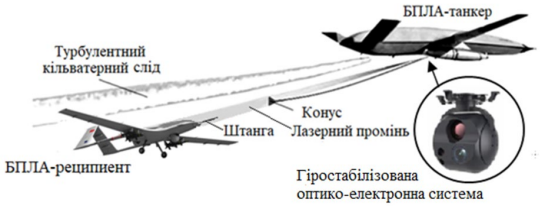


Рис. 2. Формування траєкторії зближення

Активно керований конус-датчик, оснащений авіонікою, системою наведення за лазерним лучом, датчиками наближення типу парктронік та аеродинамічними рулями (рис. 3), перетворюється у невеликий керований БПЛА.

Система управління конусом, використовуючи власні органи управління, може здійснювати стабілізацію пристрою стикування в повітрі, паруючи турбулентні збурення, а також в автоматичному режимі наводити за лазерним променем конус на штангу (probe) БПЛА-реципієнта.

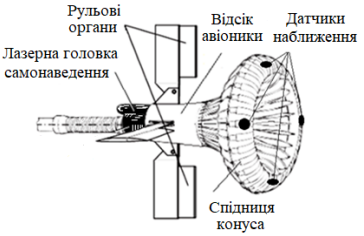


Рис. 3. Активно керований конус

Але існують і недоліки система шлангової дозаправки. Рух конуса-датчика системи дозаправки чутливий до атмосферної турбулентності, супутнього сліду танкера, а також до хвилі ущільнення перед носовою частиною БПЛА-реципієнта (рис. 4, *а*), яка викликає так званий ефект «спливу конуса».



а *б*

Рис. 4. Проблеми етапу стикування

Істотною проблемою етапу стикування також є провисання шланга з

наступними його коливаннями (биттям шланга) (рис. 4 *б*), що виникають відразу після контакту, і можуть викликати ефект «хлиста».

Повідомляється, що дослідницький центр NASA Драйден у рамках програми випробувань автономної дозаправки БПЛА досяг успіху лише у двох із шести стикувальних спроб, а літак-заправник серії КС-130 Корпусу морської піхоти США зазнав 2,5% невдалих місій. Причому основною причиною невдач після успішного стикування є саме сильні биття паливного шланга (рис. 5), довжина якого після зчеплення конуса зі штангою БПЛА-реципієнта, який наближається до БПЛА-танкера, стає більшою ніж дистанція між ними навіть при екстреному гальмуванні БПЛА-реципієнта.



Рис. 5. Ефект биття паливного шланга

Биття, що виникають після сильного удару штанги в конус при стикуванні на великих швидкостях зближення, створюють по-перше сильне провисання шланга через істотне зменшення дистанції на етапі гальмування і вирівнювання швидкостей літака, що заправляється, і танкера. По-друге, биття провислого шланга створюють екстремальні навантаження натягу в шлангу, які можуть розчепити конус і штангу, і навіть розірвати шланг - знаменитий ефект «хлиста».

Для придушення ефекту биття використовується система підмотування паливного шланга з підмотувальним барабаном (ПБ), що відновлює потрібний натяг шланга, довжина якого повинна відповідати дистанції між БПЛА-реципієнтом і танкером.

У існуючій системі швидкість обертання ПБ регулюється за рахунок зміни положення лопаток повітряної турбіни приводу. Їх крок автоматично збільшується на режимі випуску-прибирання та зменшується на режимі стабілізації положення випущеного шланга, підтягуючи шланг у разі його провисання. Однак істотна інерційність такої системи не в змозі своєчасно підмотати паливний шланг і згладити його биття.

Для збільшення регульованої швидкості підмотування шланга пропонується в першу чергу удосконалити систему приводу ПБ, замінивши повітряну турбіну на електропривід і доповнивши привід системою підпружинування (рис. 6). Система підпружинування відносно проста, але вона не може регулювати прискорення підмотування. Навпаки, електропривод може контролювати прискорення намотування котушки.



Рис. 6. Доробка приводу ПБ

По-друге, необхідно реалізувати таке управління швидкістю на етапі

зближення, щоб у момент стикування вона перевищувала швидкість дрона-заправника на 1,5...2 м/с. При меншій швидкості зближення на малих відстанях до конуса суттєво збільшується так званий «сплив» стикувального пристрою, викликаний хвилею ущільнення носової частини БПЛА, що істотно впливає на процес стикування. Крім того, при меншій швидкості стикування замок може не спрацювати. Великі швидкості зближення, як уже розглядалося, викликають биття шланга.

Питання управління швидкість зближення на етапі стикування розглядалися в роботах [1], а ось питаннями екстреного гальмування дрона-реципієнта після вдалої стикування з одночасною підмоткою паливного шланга приділялося набагато менше уваги.

В першу чергу необхідно визначити довжину паливного шланга, яку необхідно підмотати відразу після стикування і отримати залежність цієї довжини від способів гальмування та інерційно-масових характеристик БПЛА. По-друге, необхідно знати залежність зміни швидкості зближення від часу при екстреному вирівнюванні швидкостей танкера і БПЛА-реципієнта, яку можна отримати шляхом моделювання процесу екстреного гальмування з випуском гальмівних щитків.

При моделюванні процесу екстреного гальмування з випуском гальмівних щитків використовувалася спрощена математична модель управління швидкостю польоту (1), в якій була враховувана динаміка випуску щитків, а також динаміка і обмеження щодо дроселювання двигуна БПЛА.

$$\Delta\dot{V} + \left(a_x^V + \Delta\delta_{\text{г.щ.}}\right)\Delta V + a_x^{\theta}\Delta\theta + a_x^{\alpha}\Delta\alpha = a_x^{\delta_p}\Delta\delta_p + \Delta\dot{W}_x \qquad (1)$$

Складовими $\Delta\theta, \Delta\alpha$ в рівнянні (1) можна знехтувати, вважаючи їх збуреннями, а при формуванні коефіцієнта a_x^V враховувалася його зміна при випуску гальмівних щитків $\delta_{\text{г.щ.}}$, що збільшує лобовий опір десь у чотири рази.

Результати моделювання (рис. 7) показують, що після контактування на швидкості 1,4 м/сек дистанція L між заправником і БПЛА-реципієнтом за час вирівнювання швидкостей зменшується на 4,3 м. При контактуванні на швидкості 2,2 м/сек, дистанція зменшується майже вдвічі.

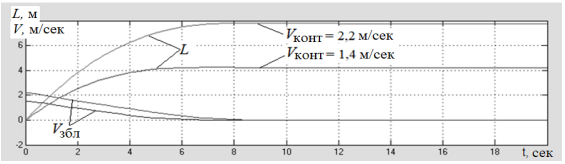


Рис. 7. Результати моделювання процесу екстреного гальмування

Враховуючи ідентичність тягових і аеродинамічних характеристик БПЛА, що заправляються, а також незмінність штатної висоти і швидкості дозаправки можна отримати залежність величини провисання паливного шланга L від швидкості, на якій відбулося контактування $V_{\text{конт}}$. Швидкість контактування визначається за величиною навантаження, що виникає в момент удару штанги в конус. Перевантаження фіксується МЕМС акселерометром системи активного керування конусом, встановленим у відсіку авіоніки.

Система підмотування паливного шланга, зменшуючи довжину випу-

щеного шлангу на величину відповідну швидкості контактування, відновлює потрібний натяг шлангу, уникаючи його биття.

Інший підхід уникання биття паливного шлангу передбачає кардинальну зміну технології зближення та стиковки. БПЛА-реципиент, використовуючи систему міжлітакової навігації та наведення по лазерному лучу, наближається до танкера на дистанцію випущеного шланга і вирівнюючи швидкості польоту та стабілізуючи дистанцію створює с танкером пару. Після заняття реципиентом свого міста в строю танкер починає випуск (до випуск) конуса зі шлангом. При цьому система управління конусом утримує його у лазерному проміні, тобто наводить на штангу реципиента.

При наближенні конуса до носової частини БПЛА-реципиента поле швидкості навколо нього істотно змінюється і конус опиняється в області змінних швидкостей і тисків повітря - в області носової хвилі, що призводить до виникнення аеродинамічних сил, які проявляються у вигляді ефекту «спливу» та пригальмовування конуса. Тому швидкість випуску конуса повинна перевищувати оптимальну швидкість контактування (1,5…2 м/сек) на величину пригальмовування, яка створюється носовою хвилею реципиента, а в закон управління поздовжнього каналу системи управління конусом додається поступово зростаюча складова $X_{\text{сп}}$ компенсації ефекту «спливу»:

$$\delta_{\text{в}} = K_{n_y}\Delta n_y + K_{\varphi}\Delta\varphi + \frac{K_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}}p+1}X_{\text{сп}},$$

тут – $\Delta\varphi$ похибка системи наведення у вертикальній площині; $T_{\text{сп}}$ – стала часу аперіодичної ланки, яка забезпечує поступово зростання складової компенсації ефекту «спливу» до рівня $X_{\text{сп}}$.

Похибка статичного контуру управління компенсується на останньому етапі зближення швидкодіючим контуром зміни кутового положення БПЛА за інформацією від датчиків парктроніка (≈ 0,5 м до штанги) з одночасним введенням штаги реципієнта у спідницю-парашют конуса і далі ковзаючи алюмінієвими стійками в замок конуса.

Ознака спрацьовування замка конуса є сигналом стопорення приводу барабана паливного шланга, який миттєво зупиняється. Така технологія виключає ефект провисання шланга та його биття.

Висновки:

Пропонована технологія дозаправлення гарантує виконання завдань високоточного, безпечного та високоефективного автономного стикування.

Запропонована система стикування у змозі компенсувати ефект спливу конуса-датчика, а практично безінерційне контактування зменшить або навіть усуне ефект биття шлангу через його провисання після вдалого контактування.

Список літератури

1. Mykola Filyashkin. Automation of Docking of Remotely Controlled Refueling Devices in the Air// Electronics and Control Systems 2024. N 4(82): 48-53
2. M.K. Filyashkin Automated guidance system drogue to probe tanker during in-flight refueling. “Methods and Systems of Navigation and Motion Control”: international Conference, October, 18-20, 2016. – K.: «Osvita Ukrainy», 2016. – P186 - 189.

UDC 629.735.018.7:004.896:681.513.5:519.876.5

В.М. Синєглазов, д.т.н., проф., Д.В. Таранов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Гібридний підхід до динамічної перебудови формацій рою БПЛА на основі глобального планування та локального потенційного керування

У доповіді представлено гібридний підхід до перебудови формацій рою БПЛА, що поєднує глобальне планування та локальне потенційне керування. Реалізований алгоритм забезпечує безпечне маневрування, адаптацію до втрат агентів та зниження часу перебудови. Результати моделювання підтверджують ефективність методу в умовах змін місії та конфігурації рою..

Вступ

Рої безпілотних літальних апаратів (БПЛА) дедалі частіше використовуються у військових, комерційних і дослідницьких операціях завдяки здатності ефективно виконувати складні завдання, такі як моніторинг, розвідка та доставка вантажів [1, 2]. Ключовою умовою ефективного застосування роїв є їх здатність оперативно перебудовувати формацію в реальному часі відповідно до зміни умов місії чи навколишнього середовища.

Сучасні підходи до управління роями поділяють на децентралізовані (локальні рішення дронів) і централізовані (координація за допомогою лідерів) [3, 4]. Однак залишається актуальною проблема надійної реконфігурації, що включає мінімізацію ризику зіткнень, збереження стабільності та зменшення витрат енергії [5–7].

У цій роботі пропонується гібридний підхід, що поєднує централізоване глобальне планування з локальним потенційним керуванням. Така методологія дозволяє ефективно уникати зіткнень і оперативно адаптуватися до змін місії, забезпечуючи високі показники ефективності та надійності роїв БПЛА в реальних умовах.

Огляд літератури

Сучасні дослідження в галузі роїв безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зосереджені на розробці алгоритмів, які дозволяють їм ефективно виконувати місії в різних умовах. Значну увагу приділено типам формацій, їх адаптивності, а також алгоритмічним механізмам перебудови у разі зміни завдання чи появи перешкод.

В літературі широко описані такі формації як V-подібна [1], лінійна та трикутна [2], ієрархічна Leader-Follower [3], а також сітчаста топологія (Mesh) [4]. Кожна з цих формацій має певні переваги, що робить їх придатними для конкретних сценаріїв: V-подібна конфігурація ефективна в умовах обмеженого простору, лінійна формація зручна для патрулювання, трикутна — для щільного покриття території, ієрархічна — для легкого масштабування та стійкості, а сітчаста — для створення гнучкої комунікаційної інфраструктури.

Методи перебудови роїв умовно поділяються на три основні групи. Перший підхід, Leader-Follower, ґрунтується на централізованому керуванні, коли

кілька дронів (лідерів) координують рух решти апаратів. Цей метод є простим в реалізації, але його слабким місцем є залежність від наявності лідерів, тому розглядаються методи оперативної заміни лідерів, такі як ієрархічна база правил HBRB [3].

Другий підхід — адаптивні V-подібні формації, що здатні змінювати кут розкриття залежно від умов місії та перешкод. Для цього використовують комбінацію локальних правил керування, що відповідають за підтримку форми, орієнтацію та уникнення зіткнень [1].

Третя група методів — це гібридні алгоритми, які інтегрують предиктивне керування (MPC) з методами оптимізації, такими як Particle Swarm Optimization (PSO). Цей підхід дозволяє одночасно оптимізувати маршрут, топологію та уникати зіткнень, забезпечуючи високий рівень ефективності та безпеки [5].

Сучасні роботи підтверджують, що найбільш перспективними є саме гібридні підходи, які дозволяють поєднувати переваги централізованих і децентралізованих методів [4, 6]. Такі алгоритми забезпечують високу адаптивність рою, стійкість до втрат окремих апаратів та ефективне використання ресурсів під час виконання складних місій.

Таким чином, аналіз наукової літератури демонструє актуальність розробки та подальшого вдосконалення гібридних алгоритмів перебудови формацій рою дронів, що й обумовлює мету та завдання цього дослідження.

Постановка завдання

Завданням дослідження є розробка та реалізація алгоритмічного забезпечення для ефективної динамічної перебудови формацій рою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) відповідно до умов та вимог місії.

Для цього необхідно вирішити такі основні задачі:

$$\left\| x_i(t) - x_j(t) \right\| \geq \delta_{min}, \forall i \neq j, t \in [0, T], \tag{1}$$

Де δ_{min} − допустима відстань безпеки.

Мінімізація загальних витрат часу та енергії при перебудові формації, що можна формалізувати цільовою функцією:

$$J = \sum_{i=1}^{N} \int_0^T (\|\dot{x}_i(t)\|^2 + \rho \|\ddot{x}_i(t)\|^2)\, dt, \tag{2}$$

Де $\dot{x}_i$ — швидкість, $\ddot{x}_i$ — прискорення i-го БПЛА, $\rho > 0$ — коефіцієнт ваги динамічних витрат.

Забезпечення стійкості системи до втрати одного або кількох дронів шляхом автоматичного переназначення ролей і цільових позицій решти дронів.

Оперативна адаптація до різних типів формацій (ланцюгова, V-подібна, ієрархічна, сітчаста), що визначаються функціональною залежністю:

$$X^*(\theta) = \mathcal{F}(\theta), \tag{3}$$

де θ— параметри формації, F— функція формування цільових позицій.

Узгодження глобального планування та локального керування, яке реалізується за допомогою потенційних полів:

$$U_i(x_i) = \frac{1}{2}\alpha\|x_i - x_i^*\|^2 + \sum_{j\neq i}\psi\left(\|x_i - x_j\|\right), \quad (4)$$

де перший член відповідає за рух до цілі, другий— за уникнення зіткнень.

Отже, задача дослідження полягає у створенні алгоритмічного підходу, що ефективно поєднує глобальне планування формації та локальні потенційні методи керування, забезпечуючи високу швидкість перебудови, безпеку та стійкість до змін умов місії і середовища.

Реалізація

Запропонована гібридна методологія реалізована як взаємодія двох рівнів керування: глобального — для визначення цільової формації, та локального — для безпечного маневрування кожного БПЛА до призначеної точки. Такий підхід забезпечує як координованість дій рою на рівні всієї місії, так і адаптивність окремих агентів до локальних змін.

На глобальному рівні кожному дрону призначається цільова позиція x_i^*, що мінімізує наступний функціонал:

$$J = \sum_{i=1}^{N}\left\|x_i^* + x_i(0)\right\|_{W_1}^2 + \lambda\sum_{i<j}\left\|x_i^* - x_j^*\right\|_{W_2}^{-2}, \quad (5)$$

де J – цільова функція, значення якої необхідно мінімізувати. Ця функція представляє баланс між двома цілями: мінімізацією загального переміщення дронів та збереженням безпечної дистанції між ними в цільовій конфігурації; N – кількість безпілотних літальних апаратів (дронів) у роєвій системі; x_i^* – вектор цільових координат i-го дрона, що визначається глобальним оптимізатором на етапі перебудови рою; $x_i(0)$ – вектор початкових координат i-го дрона перед початком перебудови; $\left\|x_i^* - x_j^*\right\|_{W_2}^{-2}$ – зважений квадрат евклідової відстані між початковою та цільовою позицією i-го дрона, що відображає енерговитрати на рух; W_1і W_2 — позитивно-визначені вагові матриці, $\lambda > 0$ — коефіцієнт компромісу; перший доданок описує сумарний шлях до нової формації, а другий — штраф за потенційні конфлікти;. Перша сума відповідає за мінімізацію загального переміщення рою, друга — за дотримання безпечної густини конфігурації. Мінімізація виконується з використанням модифікованого алгоритму рою частинок (PSO), адаптованого до обмежень енерговитрат і зв'язності.

Після визначення x^*дрони переходять до локального етапу керування. Кожен дрон розраховує потенціальну функцію:

$$U_i(x_i) = \frac{1}{2}\alpha\|x_i - x_i^*\|^2 + \sum_{j\neq i}\psi\left(\|x_i - x_j\|\right), \quad (6)$$

Де $\alpha > 0$ — коефіцієнт зближення до цілі, а ψ функція відштовхування, що

різко зростає при зближенні до δ_{min} Наприклад:

$$\psi(r) = \begin{cases} \frac{1}{(r-\delta_{min})^2}, & r \le R_0 \\ 0, & r > R_0, \end{cases} \quad (7)$$

Де R_0 — радіус дії взаємодії. Керувальний сигнал визначається як градієнтний спуск потенціалу:

$$u_i = -k\nabla_{x_i} U_i\big(x_i(t)\big), \quad (8)$$

Де $k > 0$ — стала реакції. В дискретному часі динаміка агента описується:

$$v_i(t + \Delta t) = v_i(t) + u_i(t)\Delta t, \quad (9)$$

$$x_i(t + \Delta t) = x_i(t) + v_i(t)\Delta t, \quad (10)$$

Окрім базової динаміки, реалізовано подієвий механізм реагування. При виявленні відмови дрона, зменшення заряду або втрати зв'язку система ініціює новий цикл глобального планування, оновлюючи множину x^* відповідно до зміненого складу рою. У разі втрати лідера виконується призначення нового, а цільові позиції перерозподіляються.

Процес перебудови вважається завершеним, коли для кожного дрона виконується умова:

$$\|x_i(t) - x_i^*\| < \varepsilon \text{ та}$$
$$\|x_i - x_j\| \ge \delta_{min}, \quad (11)(12)$$

Де ε — допустима похибка позиціонування. Якщо ж досягнуто граничний час $\bar{t}$, а умови не виконані, система переходить у режим аварійної стабілізації.

Запропонований підхід реалізовано у симуляційному середовищі з дискретним керуванням, що дозволяє масштабувати його для різної кількості дронів із збереженням обчислювальної ефективності.

Висновки

У цій роботі представлено гібридний підхід до перебудови формацій рою безпілотних літальних апаратів, що поєднує централізоване планування цільових точок із локальним потенційним керуванням кожним агентом. Запропонована методологія забезпечує як безпечну динаміку перебудови, так і адаптивність до змін умов місії, навколишнього середовища та складу рою.

Сформульовано математичну постановку задачі перебудови, яка враховує обмеження на безпечні відстані між дронами, мінімізацію витрат енергії та часу, а також забезпечення стійкості до відмов. Реалізований підхід базується на оптимізації глобальної конфігурації із використанням модифікованого PSO-алгоритму та потенціальних функцій для локального керування.

Результати моделювання демонструють здатність системи перебудовуватись між різними формаціями з дотриманням вимог безпеки та

збіжності. Запропоноване рішення є масштабованим і може бути адаптоване до широкого кола сценаріїв, зокрема для застосування в умовах обмеженого простору, змінної геометрії місії або неповного складу рою.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні запропонованої моделі до випадків багаторівневих роїв із груповими лідерами, використанні нейромереж для динамічного прогнозування перешкод та експериментальній валідації алгоритмів на реальних автономних платформах.

Список літератури

1. Duy Nam Bui, Manh Duong Phung, Hung Pham Duy. (2024). Self Reconfigurable V Shape Formation of Multiple UAVs in Narrow Space Environments. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1–8.
2. Krzysztof Falkowski, Maciej Kurenda. (2024). Changing the Formations of Unmanned Aerial Vehicles. Applied Sciences, 14(22), 10424.
3. Haoran Zhang, Guangling Zhang, Ruohan Yang, Zhichao Feng, Wei He. (2023). Resilient Formation Reconfiguration for Leader–Follower Multi-UAVs. Applied Sciences, 13(13), 7385.
4. Allison Hudak, Scott James, Robert Raheb. (2025). Impact of Communication Path Loss to Unmanned Aircraft Swarm Coherency. AIAA Aviation Forum, 1–12.
5. Shuangyao Huang, Haibo Zhang, Zhiyi Huang. (2023). E2CoPre: Energy Efficient and Cooperative Collision Avoidance for UAV Swarms with Trajectory Prediction. IEEE Transactions on Robotics, Early Access, 1–17.
6. Dariusz Marek, Piotr Biernacki, Jakub Szyguła, Tomasz Grzywna. (2025). Collision Avoidance Mechanism for Swarms of Drones. Sensors, 25(4), 1141.
7. Haoran Zhao, Sentang Wu, Yongming Wen, Wenlei Liu, Xiongjun Wu. (2019). Modeling and Flight Experiments for Swarms of High-Dynamic UAVs. Sensors, 19(15), 3278.
8. Tagir Muslimov. (2023). Particle Swarm Optimization for Target Encirclement by a UAV Formation. Engineering Proceedings, 33(1), 15.
9. C. Gao, Y. Zhao, H. Li. (2022). Hybrid Swarm Intelligent Algorithm for Multi-UAV Formation Reconfiguration. Complex & Intelligent Systems, 9(5), 1929–1962.
10. Y. Ren, Z. Lin, F. Wang. (2022). Region-Based Shape Controller Switching for UAV Swarm Navigation. IEEE/RSJ IROS, 2331–2336.
11. T. Lin, J. Liu, S. Wang. (2022). Potential Field-Based MPC for UAV Swarm Path Optimization. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Early Access.
12. A. Chowdhury, S. Das, K. Das Sharma. (2018). Multi-Robot Virtual Structure Switching and Formation Changing Strategy. IEEE/RSJ IROS, 2347–2352.
13. H. Zhu, J. Hu, Y. Gao. (2019). Distributed Multi-Robot Formation Splitting and Merging in Dynamic Environments. IEEE ICRA, 6708–6714.
14. Q. Feng, Z. Qian, W. Zhang. (2022). Resilience Optimization for Multi-UAV Formation Reconfiguration via Enhanced Pigeon-Inspired Optimization. Chinese Journal of Aeronautics, 35, 110–123.

УДК 621.382 – 022.532

В.М. Синєглазов, д.т.н., проф., Р.С. Конюшенко
(Київський авіаційний інститут, Україна)

Застосування точного планування покриття у задачах моніторингу полів за допомогою безпілотників

Запропоновано метод планування маршруту для UAV-моніторингу полів з використанням бустрофедонної декомпозиції та параметрів фотозйомки. Розроблено підхід до побудови регулярної сітки та алгоритм відновлення місії після заміни акумулятора, що забезпечує ефективне покриття без повторів.

Вступ

Сучасне сільське господарство все активніше впроваджує цифрові технології, серед яких особливе місце посідають безпілотні літальні апарати (БПЛА). Їх застосування дозволяє здійснювати точний моніторинг стану рослин, структури ґрунтів, рівня зволоження та виявлення потенційних загроз (шкідники, бур'яни, захворювання) з повітря. Зібрані дані можуть бути використані для побудови моделей на основі штучного інтелекту, включно з глибокими нейронними мережами, що відкриває нові можливості в автоматизації агровиробництва.

Однак ефективне використання БПЛА в аграрному секторі потребує вирішення ряду інженерних і алгоритмічних задач. Серед них — оптимізація маршрутів обльоту для забезпечення повного покриття поля з урахуванням складної геометрії його меж, наявності перешкод і заборонених зон польоту. Окрему увагу слід приділити забезпеченню високої якості зібраних зображень — параметрів GSD, перекриття кадрів, фокусування камери, що є критично важливим для подальшої фотограмметричної обробки та точного аналізу.

Суттєвою проблемою також є обмежений ресурс акумулятора дрона, що унеможливлює виконання повної місії за один політ. Це зумовлює необхідність створення системи збереження прогресу місії з можливістю безпечного повернення до бази, заміни джерела живлення і відновлення польоту з місця зупинки без втрати зібраної інформації та повторного обльоту покритих зон[1].

У цьому контексті особливої актуальності набуває розробка енергоефективних, надійних та автоматизованих алгоритмів Coverage Path Planning (CPP) для сільськогосподарських полів, що здатні враховувати як фізичні обмеження дрона, так і специфіку аграрного середовища.

Постановка проблеми

У контексті сучасного точного землеробства ключовим інструментом для моніторингу стану посівів та збору даних є безпілотні літальні апарати (БПЛА). Застосування БПЛА дозволяє агрономам своєчасно отримувати актуальну інформацію про стан полів з високою просторовою роздільною здатністю, що, у свою чергу, створює умови для використання методів

штучного інтелекту, зокрема глибокого навчання, для аналізу отриманих зображень. Однак ефективне впровадження БПЛА в аграрному секторі стикається з рядом технічних і алгоритмічних викликів, які й становлять предмет дослідження.

Основна проблема полягає у забезпеченні повного та ефективного покриття площі сільськогосподарського поля. Обмежена ємність акумулятора БПЛА, що зумовлює необхідність переривання місії для заміни або підзарядки. Нерегулярна форма полів та наявність природних чи техногенних перешкод, які ускладнюють побудову стандартних маршрутів. Високі вимоги до якості фотограмметричних зображень, включаючи необхідний рівень перекриття знімків та задану роздільну здатність (GSD)[3]. Необхідність уникати заборонених зон польоту (NFZ), таких як дороги, електролінії або інфраструктурні об'єкти. Вимога до безперервності місії, зокрема — здатність дрона продовжити виконання завдання з місця зупинки після обслуговування або аварійного припинення польоту.

Таким чином, дослідження спрямоване на розв'язання задачі енергоефективного, безпечного і повного покриття нерегулярної площі сільськогосподарського призначення з можливістю гарантованого відновлення місії після зупинки, при одночасному дотриманні вимог до якості зібраних знімків.

Вирішення проблеми

Запропоноване рішення ґрунтується на використанні методу точної клітинної декомпозиції для побудови маршруту покриття. Серед різних варіантів точного покриття наприклад, трапецієподібної (див. рис.1) або клітинної декомпозиції, перевага надається бустрофедонному підходу (див. рис. 2), який дозволяє адаптуватися до складної топології сільськогосподарських полів при мінімізації кількості розворотів та маневрів дрона[6][7]. Це, у свою чергу, знижує витрати енергії, зменшує загальний час місії та дозволяє збільшити тривалість ефективного польоту на одному заряді[1].

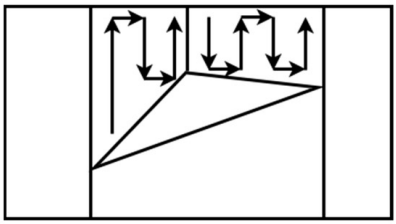


Рис 1. Трапецієподібна декомпозиція

Спочатку потрібно визначити геометричні межі поля, заборонені зони польоту (NFZ), початкову точка старту дрона, а також параметри місії — GSD, відсоток перекриття знімків, очікувана висота польоту. Ці параметри впливають на подальший вибір розміру клітин. Для побудови маршруту покриття використовується метод бустрофедонної декомпозиції, який є вдосконаленням традиційної трапецієподібної декомпозиції.

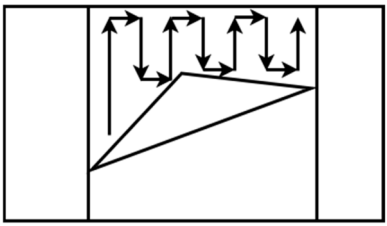


Рис 2. Бустрофедонна декомпозиція

У той час як трапецієподібна декомпозиція розбиває середовище на велику кількість опуклих клітин, що призводить до значного подовження маршруту (оскільки кожна клітина вимагає окремого проходження), бустрофедонна декомпозиція дозволяє створювати неопуклі клітини шляхом врахування критичних точок — вершин перешкод або меж зони. Це значно зменшує кількість клітин, а отже — скорочує довжину загального маршруту покриття, що підтверджено експериментально [4][5]. На відміну від сіткових методів або методів, що створюють перекриття, бустрофедонний підхід дозволяє гнучко адаптуватися до складної топології поля без втрати ефективності. Бустрофедонна декомпозиція підходить для багатокутних областей та вимагає апріорного знання середовища, що класифікує її як офлайн-метод[1][8]. Формування маршруту UAV виконується шляхом послідовного проходження набору точок k маршруту (waypoints) $\{w_1, w_2, \ldots, w_k\}$, кожна з яких містить координати (широта, довгота), висоту польоту та команду навігації (наприклад, зліт, зміна швидкості, переміщення у точку тощо). Оскільки кожна клітина сітки відповідає полю зору камери (див. рис.3) з урахуванням GSD, то центри цих клітин автоматично визначають координати потрібних точок маршруту.

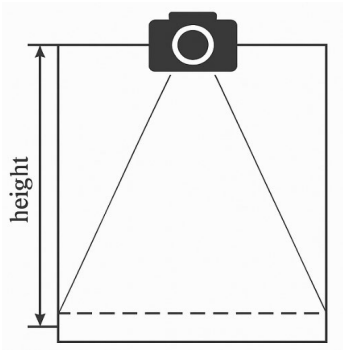


Рис 3. Зона охоплення

Таким чином, маршрут UAV можна представити у вигляді регулярного проходження по сітці[2] (див. рис. 4), в якій дрон, рухаючись від однієї точки до іншої, забезпечує безперервну зйомку території з дотриманням параметрів перекриття.

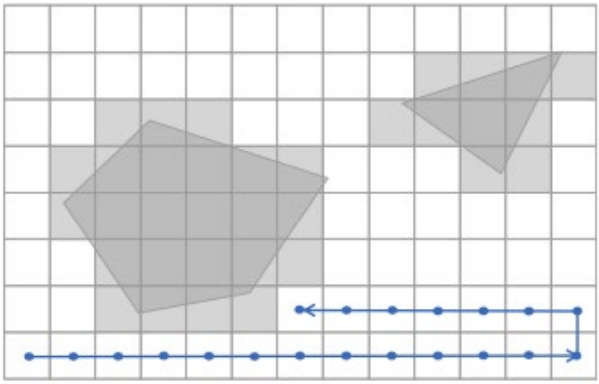


Рис 4. Клітинна сітка

Для реалізації запропонованого підходу використовується комбінація програмних інструментів та алгоритмів: ROS / PX4 Autopilot — для управління маршрутом та контролю польоту. Скрипти на Python або C++ — для генерації маршруту за алгоритмом декомпозиції. MAVLink — протокол комунікації між маршрутизатором місії та автопілотом дрона. Програмне забезпечення для фотограмметрії (Agisoft, Pix4D) — для обробки знімків після збору.

Висновок

У роботі представлено метод планування маршрутів для БПЛА з використанням бустрофедонної клітинної декомпозиції, адаптованої до задач точного моніторингу сільськогосподарських полів. Запропоновано підхід до формування регулярної сітки клітин на основі параметрів фотозйомки, включаючи GSD та перекриття. Описано алгоритм побудови набору навігаційних точок та реалізовано механізм збереження прогресу місії з можливістю її відновлення після заміни акумулятора. Результати демонструють потенціал запропонованої системи для підвищення ефективності польоту, зменшення дублювання маршрутів та забезпечення високої якості отриманих зображень.

Список літератури

1. Cabreira T.M., Brisolara L.B., Ferreira P.R. Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles. *Drones*. 2019. Vol. 3, No. 1..

2. Galceran, E.; Carreras, M. A survey on coverage path planning for robotics. Robot. Auton. Syst. 2013, 61, 1258–1276.

3. Kakaes, K.; Greenwood, F.; Lippincott, M.; Dosemagen, S.; Meier, P.; Wich, S. Drones and Aerial Observation: New Technologies for Property Rights, Human Rights, and Global Development: A Primer; New America: Washington, DC, USA, 2015; pp. 6–103.

4. Choset, H.; Pignon, P. Path Planning: The Boustrophedon Cellular Decomposition. In Proceedings of the International Conference on Field and Service Robotics, Canberra, Australia, 12 October 1997; pp. 1311–1320.

5. Choset, H.; Acar, E.; Rizzi, A.A.; Luntz, J. Exact cellular decompositions in terms of critical points of Morse functions. In Proceedings of the 2000 ICRA. Millennium Conference, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065), San Francisco, CA, USA, 24–28 April 2000; Volume 3, pp. 2270–2277.

6. Maza, I.; Ollero, A. Multiple UAV cooperative searching operation using polygon area decomposition and efficient coverage algorithms. In Distributed Autonomous Robotic Systems 6; Springer: Berlin, Germany, 2007; pp. 221–230.

7. Torres, M.; Pelta, D.A.; Verdegay, J.L.; Torres, J.C. Coverage path planning with unmanned aerial vehicles for 3D terrain reconstruction. Expert Syst. Appl. 2016, 55, 441–451.

8. Li, D.; Wang, X.; Sun, T. Energy-optimal coverage path planning on topographic map for environment survey with unmanned aerial vehicles. Electron. Lett. 2016, 52, 699–701.

УДК 629.3.025

О.А. Сущенко, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування робастного структурного синтезу для систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв

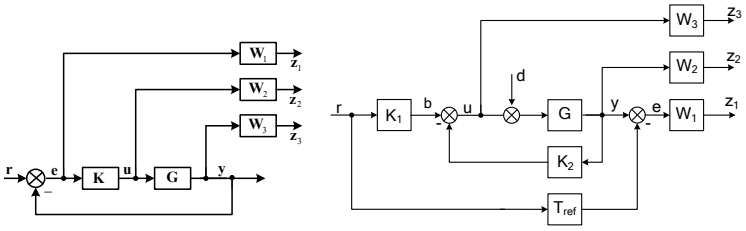
Розглянуто основні підходи до робастного структурного синтезу систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, що експлуатуються на рухомих об'єктах. Розглянуто формулювання проблеми оптимізації для систем з одним та двома ступенями вільності. Сформульована задача оптимізації з урахуванням безпосереднього введення функції чутливості зі збурення. Наведено результати моделювання синтезованої системи.

Вступ. Складність процесів управління, які супроводжують експлуатацію інформаційно-вимірювальних пристроїв, що функціонують на рухомих об'єктах широкого класу, постійно зростає. Вибір методу оптимізації системи стабілізації істотним чином залежить від її особливостей і умов експлуатації. Враховуючи ці обставини, проблему проєктування системи стабілізації доцільно вирішувати за допомогою робастного управління [1].

У сучасній теорії керування існує поняття систем управління з одним і двома ступенями вільності [2, 3]. У першому випадку управління здійснюється за сигналом похибки, який визначається різницею між еталонним і вихідним сигналами. У другому випадку управління здійснюється, як за еталонним сигналом, так і за сигналом зворотних зв’язків. Система з двома ступенями вільності забезпечує високу точність процесів управління. Регулятор такої системи містить дві складові [2]. Перша складова, включена у прямому зв’язку, забезпечує вимоги, що пред'являються до якості стеження, тобто мінімізує різницю між вихідним сигналом системи і еталонним сигналом. Друга складова забезпечує стійкість до збурень.

Структурний робастний синтез методом змішаної чутливості. Робастний структурний H_∞-синтез заснований на вирішенні двох рівнянь Ріккаті, перевірці низки умов і мінімізації H_∞-норми функції змішаної чутливості замкнутої системи управління. Ця система представляється вектором вихідних сигналів, які характеризують якість процесів управління, векторів вхідних впливів, завад вимірювань, а також вектором керуючих сигналів та вектором вимірюваних сигналів, який використовується для організації зворотних зв'язків [2]. Сучасний підхід до вирішення проблеми робастного структурного синтезу заснований на забезпеченні бажаних частотних характеристик системи, що здійснюється за допомогою формування розширеного об'єкта управління за рахунок введення вагових передаточних функцій [4].

Постановка проблеми структурного робастного синтезу методом змішаної чутливості для системи з одним і двома ступенями вільності представлена на рис. 1 [2, 3]



а *б*

Рис. 1. Структурний робастний синтез методом змішаної чутливості для системи с одним (*а*) та двома (б) степенями вільності

Для системи управління з одним ступенем вільності (рис. 1а) і структурою зовнішніх сигналів і сигналів, які характеризують якість управління, і відповідно, математичний опис узагальненого об'єкта, критерій оптимізації та постановка задачі-синтезу з урахуванням [3] можуть бути представлені в наступному вигляді

$$P=\begin{bmatrix} I & -G \\ 0 & I \\ 0 & G \\ I & -G \end{bmatrix},\quad J(G,K)=\left\|\begin{bmatrix} (I+GK)^{-1} \\ K(I+GK)^{-1} \\ GK(I+GK)^{-1} \end{bmatrix}\right\|_{\infty},\quad K_{\text{опт}}=\arg\inf_{K_{\text{опт}}\in K_{\text{доп}}} J(G,K). \quad (1)$$

Для системи стабілізації з двома ступенями вільності (рис. 1б) з попередніми векторами сигналів зовнішніх входів та якості управління та вектором вхідних сигналів $[\boldsymbol{\beta}\ y]^{\mathrm{T}}$ узагальнений об'єкт управління, критерій оптимізації та постановка задачі робастного структурного синтезу можуть бути представлені такими виразами

$$P=\begin{bmatrix} -T_{ref} & G \\ \mathbf{0} & I \\ \mathbf{0} & G \\ I & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix},\quad J=\left\|\begin{bmatrix} -T_{ref}+GK_1(I+GK_2)^{-1} \\ K_1(I+GK_2)^{-1} \\ GK_1(I+GK_2)^{-1} \end{bmatrix}\right\|_{\infty},\quad K_{\text{опт}}=\arg\inf_{K_{\text{опт}}\in K_{\text{доп}}} J(G,K). \quad (2)$$

До складу критеріїв якості (1), (2) входять функція чутливості за командним сигналом, функція чутливості за управлінням та комплементарна функція чутливості. Розглянута оптимізаційна задача є багатоцільовою , оскільки до складу критерію якості входять показники, що визначають точність, витрати на управління та робастність. Для робастного структурного синезу систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, що експлуатуються на рухомих об'єктах, на відміну від [2, 3] доцільно здійснювати безпосереднє введення в критерій оптимізації функції чутливості зовнішнього координатного обурення *d*. При цьому співвідношення між вхідними та вихідними сигналами набувають вигляду

$$z_1 = -W_1 T_{ref} r + W_1 G_d d + W_1 G u \; ; \; z_2 = W_2 u \; ; \; z_3 = W_3 G u \; ; \; y_1 = r \; ; \; y_2 = G u + G_d d \; , \tag{3}$$

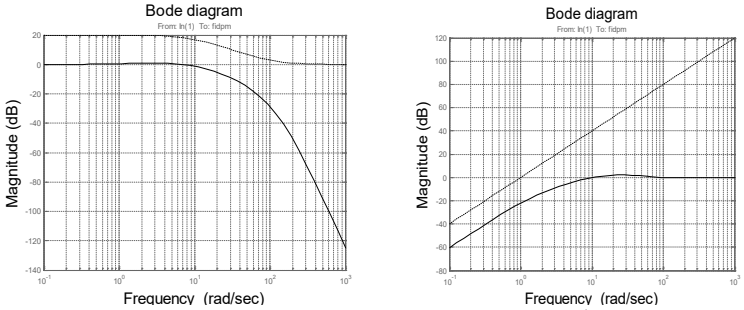
а узагальнена система та критерій оптимізації стають такими

$$P = \begin{bmatrix} -W_1 T_{ref} & W_1 G_d & W_1 G \\ 0 & 0 & W_2 \\ 0 & 0 & W_3 G \\ I & 0 & 0 \\ 0 & G_d & 0 \end{bmatrix}, \min_{\mathbf{K}_{\text{доп}}} \left\| \begin{matrix} -W_1 T_{ref} + & W_1 G_d (1+GK_2)^{-1} \\ +W_1 G K_1 (1+GK_2)^{-1} & \\ W_2 K_1 (1+GK_2)^{-1} & -W_2 K_2 G_d (1+GK_2)^{-1} \\ W_3 G K_1 (1+GK_2)^{-1} & W_3 G_d (1+GK_2)^{-1} \end{matrix} \right\|_\infty . \tag{4}$$

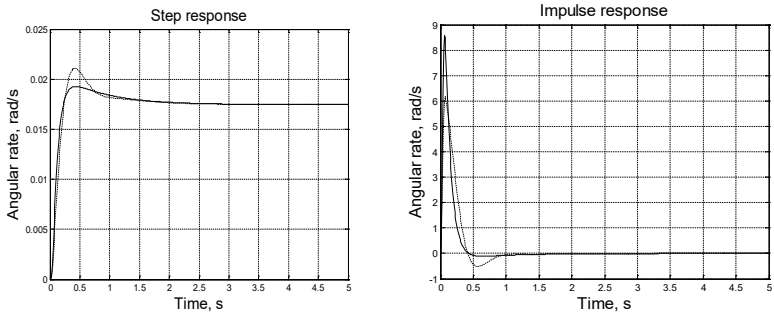
З урахуванням правил паралельних і послідовних з'єднань на підставі співвідношень (3) модель розширеного об'єкта у просторі станів набуває вигляду [5]

$$P = \begin{bmatrix} A_G & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B_{G_d} & B_G \\ 0 & A_{T_{ref}} & 0 & 0 & 0 & B_r & 0 & 0 \\ -B_{W_1} & 0 & A_{W_1} & 0 & 0 & B_{W_1} & 0 & -B_{W_1} D_G \\ 0 & 0 & 0 & A_{W_2} & 0 & 0 & 0 & B_{W_2} \\ B_{W_3} C_G & 0 & 0 & 0 & A_{W_3} & B_{W_3} & 0 & B_{W_3} D_G \\ -D_{W1} D_G & 0 & C_{W_1} & 0 & 0 & D_{W_1} & 0 & D_{W_1} D_G \\ 0 & 0 & 0 & C_{W_2} & 0 & 0 & 0 & D_{W_2} \\ D_{W_3} C_G & 0 & 0 & 0 & C_{W_3} & 0 & D_{G_d} & D_{W_3} D_G \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I & 0 & 0 \\ C_G & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D_{G_d} & D_G \end{bmatrix} 0 . \tag{5}$$

Результати моделювання системи, синтезованої на підставі критерію (4) та моделі розширеного об'єкта (5), представлені на рис. 2.



а *б*



в *г*

Рис. 2. Результати робастного структурного синтезу системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв

На рис. 2 представлені функція чутливості та ваговий коефіцієнт (2а); функція комплементарної чутливості та ваговий коефіцієнт (2б); реакція номінальної та збуреної системи на стрибкоподібний (2в) та імпульсний (2г) сигнали.

Висновок. Для системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв з двома ступенями вільності представлена постановка проблеми робастного структурного синтезу методом змішаної чутливості з урахуванням введення функції чутливості за збуренням безпосередньо в критерій оптимізації. Представлені результати моделювання синтезованої системи.

Список літератури

1. O. Sushchenko, A. Goncharenko, Design of robust systems for stabilization of unmanned aerial vehicle equipment, International Journal of Aerospace Engineering, 2016, ID:6054981, pp. 1–10.

2. S. Skogestad, I. Postlethwaite. Multivariable Feedback Control: Analysis and Design, New York: Jonh Wiley, 2005. – 592 p.

3. D. Gu, P. Petkov P, M. Konstantinov, Robust Control Design with MATLAB, London: Springer-Verlag, 2005. – 389 p.

4. Robust Control Toolbox User's guide, The Math Works, 2001. – 220 p.

5. O.A. Sushchenko, Robust control of angular motion of platform with payload based on Hinf synthesis, Journal of Automation and Information Sciences, vol. 48, issue 12, 2016, pp. 12–26.

UDC 629.735.4:004.9[004.89.027.44]

S.O. Dolhorukov, PhD, O.I. Pikova
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Automation of dynamic object stabilisers adjusting with deep reinforcement learning

This paper is devoted to improving the methodology for tuning stabilisers for dynamic objects by using deep reinforcement learning. The implementation of an automated stabiliser tuning process uses a reinforcement learning approach to find the optimal parameters that maximise the efficiency of the stabilisation system. The use of self-learning neural networks allows the optimal stabiliser parameters to be maintained in real time, maximising performance and ensuring the system's stability.

Introduction

As a type of unmanned aerial vehicle (UAV), quadrotor aircraft play a wide range of roles in agricultural crop protection, industrial surveillance, air transport and military fields due to their light weight, small scale, low cost and flexibility. Flight control systems are crucial for performing a variety of tasks efficiently. Therefore, many researchers are focusing on intelligent training technologies for unmanned aerial systems, which are receiving increasing attention [3, 7, 8].

Given that a quadrotor is a nonlinear, highly interconnected and complex system, and that external disturbances and model uncertainties are inevitable in the actual control process, this greatly complicates the design of the controller and stabilisation system. In order to cope with the above difficulties, various control system design strategies have been proposed.

The principle of a proportional-integral-derivative (PID) controller is a negative feedback to system error that has been successfully applied in a static environment. However, the PID gain is manually adjusted by trial and error, which requires serious professional experience. To deal with the nonlinearity and uncertainty of the model, a number of nonlinear control strategies have emerged, such as sliding mode control, backstepping, adaptive control, etc. Moreover, some studies combine these methods to increase the stability of control strategies. Nevertheless, a more complex model usually creates a more complex control strategy that is not easy to design and implement.

In this context, this research aims to study and develop new methods based on deep reinforcement learning to optimise the stabilisation of dynamic objects. The development of these methods is a key factor in increasing the adaptability of control systems to changing operating conditions, which is a critical aspect in today's rapidly evolving technological environment.

Consideration of this issue in the context of deep learning marks a shift from traditional methods of adjusting stabilisers to innovative ones based on the analysis of large amounts of data and the use of neural networks to ensure optimal parameters in real time.

Task statement of dynamic object stabilisers adjusting

Given the increasing complexity of technical systems and dynamic objects, where the requirements for accuracy and responsiveness of control systems are constantly growing, this paper identifies the existing challenge of improving and automating the stabiliser tuning process [2]. The challenge is to develop and implement a methodology based on deep reinforcement learning for efficient, optimised tuning of stabilisers for dynamic objects in real time. The following formula represents a standard formulation of the optimisation problem for reinforcement learning algorithms.

$$\min_{\theta} J(\theta) = E_{\pi_\theta}[\sum_{t=0}^{T} \gamma^t r(s_t, a_t)]$$

where:

θ - the strategy parameters that we want to optimise. $J(\theta)$ is the expected cumulative reward that we want to minimise. π_θ is a strategy that determines the probability of choosing action a in state s. γ is a discount factor that determines the importance of future rewards. $r(s,a)$ is the reward for performing action a in state s. T is the planning horizon, i.e. the number of steps we consider.

The goal is to find the parameters θ of the strategy π_θ that minimise the expected cumulative reward $J(\theta)$. In the context of this problem, the reward $r(s,a)$ can represent a measure of the stability of the dynamic object after the application of the stabiliser, and the states s and actions a can correspond to different configurations of the stabiliser and the dynamic object.

The primary task is to analyse and study the characteristics of dynamic systems, identify the main factors that affect their stability and efficiency [5]. Based on this analysis, it is necessary to develop mathematical models to represent systems and determine their key parameters.

Next, we need to determine the architecture and parameters of neural networks that will be used for deep reinforcement learning. Taking into account the peculiarities of dynamic objects, it is necessary to implement optimisation algorithms to effectively adjust the weights and hyperparameters of the networks.

In conclusion, the task is to develop and implement self-learning and adaptation algorithms that will allow the system to effectively implement the knowledge gained for continuous optimised adjustment of stabilisers in the face of changing object parameters. This approach opens up new horizons in the development of control systems designed to ensure not only high performance but also adaptability to a wide variety of operating conditions [1].

Adjustment component using reinforcement learning

In modern control systems, where dynamic objects exhibit great uncertainty and change over time, the introduction of a correction component based on reinforcement learning methods is critical to achieving optimal stabilisation parameters [7,8].

Methodology of using reinforcement learning is based on the idea of building an adaptive algorithm that can effectively adjust the stabiliser parameters in real time [3]. The use of agents that learn based on interaction with a dynamic object allows us to build tuning strategies that take into account uncertainty and dynamic changes in the system.

For a quadrotor control problem, the main goal is to find a suitable control strategy that can quickly and stably move the quadrotor from an initial state to a given state. Strategy gradient-based algorithms are best suited for solving such problems with continuous actions and states. In recent years, Deepmind has proposed two effective algorithms, DQN and DDPG. DQN is a method based on a value function, which is difficult to work with a large action space, especially in the case of a continuous action space. However, DDPG is based on a tuning model using reinforcement learning and actor and critic networks. In the action space aspect, the neural network is used to tune the strategy function and is directly related to the agent's actions, and can work with continuous action space and large action space. Based on the above reasons, in this paper, we choose the DDPG algorithm and its advanced algorithms to control the quadrotor.

The mathematical models of RL are based on the theory of Markov Decision Processes (MDP), which provides a theoretical framework for studying strategies and optimal policies under uncertainty. An agent is represented as a computational entity that interacts with its environment and aims to maximise its expected reward.

Reinforcement learning uses a Markov decision process (MDP) to model a controller, which can be described by five tuples {S, A, P, R, γ}, where S are states, A are actions, P is a probability function of transitioning to another state, R is a reward function, and γ is a discount factor. In this subsection, we define a state and an action for controlling a quadrotor. It is theorised that a state is a set of information that a quadcopter can receive. According to the quadrotor model the state in this case is a 12-dimensional vector:

$$S_t=[x, y, z, \phi, \theta, \psi, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{\phi}, \dot{\theta}, \dot{\psi}].$$

It is worth noting that the dimensionality of the state space is very small, which facilitates approximation and function learning. In addition, the small dimensionality of the state space reduces the complexity of network training and time consumption.

The quadcopter moves in the translational and rotational directions due to the lifting force of four propellers. In our scenario, the control commands are represented by the action $a = [r_1, r_2, r_3, r_4]$, where r_1, r_2, r_3, r_4 are the rotor speeds. In this paper, the same control law is applied to four rotors, and it is assumed that the action is $a = [r_1, r_2, r_3, r_4]$. Thus, the quadcopter can reach a given height without drifting.

Four networks are used in the DDPG algorithm, namely the actor network, the target actor network, the critic network, and the target critic network. The actor network determines the actions to be performed by the quadrotor, and the critic network updates the value of Q, which is used by the DDPG algorithm to further update the actor network. The input to the actor network is a state and the output is an action. The input to the critic network is the state along with the action, and the output is the value of Q.

If only one neural network algorithm is used, the learning process is very unstable, as the network parameters are frequently updated and used to calculate the gradient of the criticism network and the policy network. To overcome this bottleneck, the DDPG algorithm is used, which adds a target actor network and a target critic network, respectively. The structure of the DDPG implementation for quadrotor control is shown in Fig. 1.

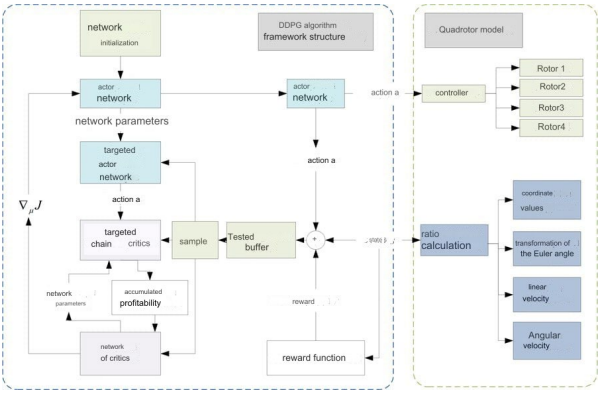


Fig. 1. Block diagram of automation of parameter setting

One of the main advantages of using reinforcement learning in the context of the adjustment component is adaptability to change. A stabiliser tuning system built on the basis of deep learning can effectively adapt to unpredictable changes in the object's dynamics, providing a high level of stability and control reliability.

Reinforcement learning component modelling and simulation

The agent was simulated using the TensorFlow package using the Python programming language. To build a dynamic model of a quadrotor with four rotors, the Newton-Euler method was used. In our project, the drone consists of 4 rotors. The agent controls the drone by setting the revolutions per second on each of its four rotors. Therefore, our action space has size 4.

The strategy network that implements our reinforcement learning algorithm determines the drone's state - parameters (x, y, z, ϕ, θ, ψ) and actions (4 rotor speed) - as we directly parameterise the strategy:

$$\pi_\theta (s,a)=P[a|s,\theta],$$

where s is the state, a is the action, and θ is the parameters of the network strategy model. The task of our software simulation is to take off vertically and then hover at an altitude of 50. In the Actor module of the strategy network, 3 hidden layers with 32, 64 and 32 hidden blocks, respectively, were used with the relu activation function. The output consists of 4 continuous actions (rotor speeds) with a sigmoidal activation function. The structure of the Critic network is very similar to the Deep-Q network. The Critical network takes both states and actions as input. The end result of this model is the Q value for any given pair (state, action). However, we also need to calculate the gradient of this Q value with respect to the corresponding action vector, which is necessary for training the actor model. The combined actor and critic models are our DDPG agent.

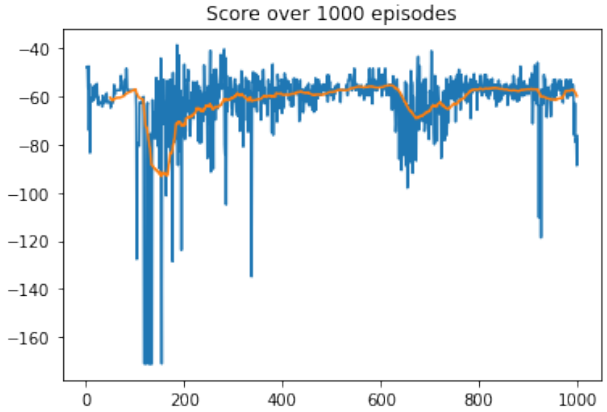


Fig. 2. Verification and efficiency of the reinforcement learning algorithm

The agent was trained and learned to take off vertically and hover to the target location within range. The best result was -1.773, with an average of -72.576 over the last 10 episodes and the worst recorded result of -171.133. It is clear that the agent tried different approaches before settling on a strategy in the last ten episodes, indicating that the agent has indeed gone through a learning curve.

This approach enables the correction system to interact with the uncertainty and dynamism of dynamic objects, which is a common feature of modern technological systems. Agents built on the basis of deep reinforcement learning can effectively adapt their strategies in accordance with changes in the environment, maintaining stability and optimality of the stabilisation process.

Conclusion

The advantages of using deep learning in the stabilisation of dynamic systems are obvious. The ability of deep learning algorithms to adapt to the nonlinearity and uncertainty of systems, along with their self-learning capability, allows for a high level of performance and stability.

The results obtained in this study demonstrate the potential of deep learning to optimise the parameters of stabilisers in real time.

However, it should be noted that the problem of insufficient interpretability of deep learning models remains important, especially in critical scenarios where understanding decision-making processes is key. Further research and development of methods for combining deep learning with expert systems can solve this problem and expand the scope of the presented system.

It is also important to consider the cost of implementing such systems in practice. Although deep learning shows impressive results, the costs of deployment and maintenance can be significant. A detailed economic analysis and optimisation of implementation processes will help make this technology more accessible to a wide range of industries.

References

1. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement Learning: An introduction. MIT Press.
2. Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., ... & Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. Nature, 529(7587), 484-489.
3. Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Rusu, A. A., Veness, J., Bellemare, M. G. & Hassabis, D. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. Nature, 518(7540), 529-533.
4. Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., ... & Wierstra, D. (2016). Continuous control with deep reinforcement learning. arXiv preprint arXiv:1509.02971.
5. Haarnoja, T., Zhou, A., Abbeel, P., & Levine, S. (2018). Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. arXiv preprint arXiv:1801.01290.
6. Schulman, J., Wolski, F., Dhariwal, P., Radford, A., & Klimov, O. (2017). Proximal policy optimisation
7. Liu, Anlin & Liu, Lei & Cao, Jinde & Alsaadi, Fawaz. Deep deterministic policy gradient with generalised integral compensator for height control of quadrotor. Journal of Applied Analysis and Computation Volume 12, Number 3, June 2022, 868-894.
8. Barros, G. M., & Colombini, E. L. (2020). Using soft actor-critic for low-level uav control. arXiv preprint arXiv:2010.02293.

УДК 639.21(045)

В.М. Синєглазов, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
Ю.А. Кот, аспірант
(КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна)

Підхід для оцінки ризиків в надзвичайних ситуаціях за допомогою байєсівської мережі

Пропонується підхід для оцінки ризиків пожежі, який побудовано на баєсівській мережі, що дозволяє автоматизовано аналізувати небезпеку в реальному часі, з урахуванням змінних вхідних факторів, неповноти даних та високої динаміки подій.

У першій половині 2024 року в Україні було зареєстровано понад 34 тисячі пожеж, що на 46,1% більше, ніж у аналогічному періоді минулого року. Внаслідок цих інцидентів загинуло понад 700 осіб, а загальні збитки перевищили 28 мільярдів гривень [1]. Для реагування на надзвичайні ситуації критично важливим є оперативне оцінювання ризиків та підтримка рішень на основі достовірних і гнучких моделей для своєчасного та ефективного реагування з метою мінімізації наслідків.

Оцінка ризиків у надзвичайних ситуаціях часто виконується вручну або з використанням статичних методів, які не здатні врахувати динаміку подій, просторові взаємозв'язки та неповноту вхідної інформації. Більшість класичних підходів надто спрощують ситуацію, або вимагають повного набору даних, що в умовах реальної пожежі часто недоступно [2].

Це створює проблему, яка полягає в тому, що рішення ухвалюються або із запізненням, або на базі інтуїтивних оцінок, що збільшує ризики для людей, інфраструктури та довкілля. Також, небезпечним є ігнорування похідних факторів ризику, які проявляються лише в поєднанні умов. У зв'язку з цим виникає потреба у динамічних, адаптивних моделях, здатних: враховувати причинно-наслідкові зв'язки між факторами, працювати з неповними або частково доступними даними та оновлювати оцінки ризику в режимі реального часу.

Сутність ризику для пожеж на об'єктах

У процесі прийняття рішень щодо реагування на пожежу недостатньо орієнтуватися лише на окремі фактори, такі як тип об'єкта, рівень задимленості або наявність вибухових речовин. Ці характеристики самі по собі не мають завершеного змісту для оцінки ситуації і не слугують вичерпним критерієм для прийняття рішень, якщо вони не пов'язані з оцінкою наслідків. Інформація про те, що об'єкт є складом або фабрикою, не вказує на рівень загрози поки не враховано додаткові обставини: наявність та кількість людей, вибухонебезпечних речовин, відстань до найближчого підрозділу ДСНС, стан евакуаційних виходів тощо.

Ризик у цьому контексті є похідною величиною, яка формується в результаті ланцюгової взаємодії факторів, а не оцінюється напряму. Наприклад, типовий ланцюг причинно-наслідковості може виглядати так:

Тип об'єкта → Ймовірність вибуху → Очікувані матеріальні збитки.

Кожна наступна ланка залежить не лише від попередньої, а й від супутніх умов — таких як площа приміщення, вентиляція, час прибуття рятувальників.

Таким чином, критично важливо розмежовувати:

1) вхідні фактори — це первинні ознаки обстановки, які система отримує із сенсорних даних або баз знань;
2) проміжні (похідні) змінні — це показники, які розраховуються на основі кількох факторів, зокрема ймовірність вибуху, швидкість поширення полум'я;
3) індикатори ризику — цільові оцінки, що описують потенційні наслідки: кількість можливих жертв, ступінь матеріальних втрат, екологічна шкода.

Ефективне реагування на надзвичайні ситуації потребує не лише оперативного збору даних, але й здатності інтерпретувати ці дані у контексті ризиків, що загрожують життю людей, матеріальним цінностям та довкіллю. Для своєчасної оцінки ризиків та ефективного реагування також важливо фокусувати увагу лише на індикаторах ризику ігноруючи базові фактори такі як тип приміщення.

Більшість класичних підходів до оцінки ризиків — як якісних, так і кількісних — не дозволяють здійснювати оновлення оцінок у режимі реального часу. Вони переважно оперують або фіксованими сценаріями, або повними наборами вхідних параметрів, що обмежує їх застосовність у ситуаціях із високою невизначеністю. У реальних умовах надзвичайних ситуацій інформація надходить частинами, може бути неповною, застарілою або суперечливою. Саме тому виникає потреба у використанні моделей, здатних працювати з імовірностями, враховувати причинно-наслідкові залежності між факторами та динамічно оновлювати оцінки ризику на основі нових спостережень.

Баєсівські мережі задовольняють окреслені вимоги. Вони являють собою графові моделі у формі спрямованого ациклічного графа, де вузли відповідають випадковим змінним, а дуги відображають умовні залежності. Така структура не лише допомагає моделювати складні залежності між змінними, а й дає змогу динамічно переоцінювати ймовірності наслідків при надходженні нових даних, спираючись на теорему Байєса.

У межах дослідження сформульовано задачу розроблення моделі оцінювання ризиків, що здатна визначати сукупність ризикових показників на основі множини вхідних чинників. Модель реалізовано у формі баєсівської мережі з урахуванням багаторівневої структури залежностей. Передбачається, що ця модель стане основою для ухвалення як оперативних, так і стратегічних рішень у протипожежному реагуванні, а також може бути інтегрована в автоматизовані системи управління надзвичайними ситуаціями.

Запропонований підхід

Ключовим етапом є створення структури баєсівської мережі, яка відображає логіку розвитку подій під час пожежі. Структура формується у вигляді спрямованого ациклічного графа, де вузли представляють змінні (фактори, ризики), а дуги — причинно-наслідкові залежності між ними. Усі вузли моделі підлягають дискретизації, тобто мають набір типових категорій (наприклад: низький, середній, високий ризик). Це дозволяє адаптувати модель до роботи з нечіткими вхідними даними.

Побудова моделі базується на спрощеному сценарії пожеж, що наведено на рис. 1. Вузол “тип об’єкта” безпосередньо впливає на ймовірність вибуху і кількість людей, а вони, своєю чергою, визначають рівень матеріальних збитків і людських втрат. Відстань до пожежної частини впливає на затримку прибуття для реагування, що посилює ризики при швидкому поширенні вогню.

Кожна дуга в моделі відповідає не просто кореляції, а причинному зв’язку між змінними, наприклад:

1) “тип об’єкта → наявність вибухових речовин” — описує чи можливо під час пожежі займання вибухонебезпечних речовин якщо вони є на даному типі об‘єктів;
2) “ймовірність вибуху → ризик матеріальних збитків” — описує зростання наслідків через детонацію;
3) “кількість людей → ризик жертв” — наявність та кількості людей в будівлі впливає на ризик людських жертв.

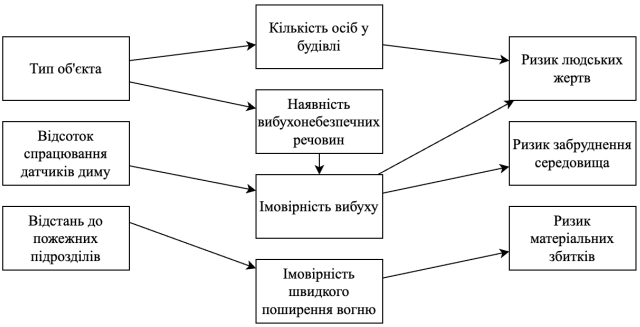


Рис 1. Структура баєсової мережі

Завдяки такій структурі мережа не лише формалізує логіку поширення загроз, а й дозволяє здійснювати гнучкий аналіз при частковій або поступовій зміні інформації — що критично важливо для динамічних надзвичайних ситуацій.

Робота моделі починається з введення вхідних даних — таких як тип об’єкта, відстань до пожежної частини, стан пожежної сигналізації, наявність вибухонебезпечних речовин. Ці дані використовуються для ініціалізації вузлів

без батьків у графі, тобто тих, що не залежать від інших факторів. Кожен із цих вузлів має задану апріорну ймовірність, яка відображає можливі варіанти значень у ситуаціях з неповною інформацією. Далі активується механізм поширення ймовірностей. Кожна зміна значення вхідного вузла автоматично призводить до оновлення умовних розподілів у всіх пов'язаних з ним вузлах відповідно до таблиць умовних ймовірностей. Завдяки цьому модель динамічно перебудовує оцінку ситуації, навіть якщо відомо лише частину інформації.

Особливістю підходу є те, що ключові ризики — такі як людські втрати, матеріальні збитки чи екологічна шкода — не задаються явно, а виводяться як висновок на основі причинно-наслідкових ланцюгів. Таким чином, оцінка не ґрунтується на окремих індикаторах, а враховує взаємозалежності, що значно підвищує точність і достовірність результату.

Після внесення нової інформації система оновлює весь набір ймовірностей, перераховуючи значення всіх пов'язаних вузлів. Це дозволяє працювати з частковими даними, поступово нарощуючи точність оцінки по мірі надходження нової інформації що дозволяє також оновлювати реагування на ситуацію

Висновки

У роботі запропоновано модель оцінки ризиків пожежі на основі баєсівських мереж, що дозволяє враховувати причинно-наслідкові зв'язки між факторами, працювати з неповною інформацією та оновлювати оцінки в реальному часі. Це забезпечує більш точну та адаптивну підтримку рішень у динамічних умовах надзвичайних ситуацій.

Структура моделі охоплює вхідні параметри, похідні змінні та ключові ризики — людські втрати, матеріальні збитки та екологічні наслідки. Завдяки механізму поширення ймовірностей, зміна будь-якого фактору миттєво впливає на всі пов'язані оцінки, що підвищує оперативність реагування.

Модель має потенціал для інтеграції в автоматизовані системи управління, диспетчерські платформи та ситуаційні центри. Подальший розвиток можливий за рахунок включення геоданих, сценарного моделювання та розширення класифікатора ризиків.

Список літератури

1. Institute of Public Administration and Research in Civil Protection. (2024). Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for the first 5 months of 2024 (17 p.). State Emergency Service of Ukraine. https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/6/0/1/analitychna-dovidka-pro-pojeji-052024.pdf

2. Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. In European Journal of Operational Research (Vol. 253, Issue 1, pp. 1–13). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023

UDC 621.548:711.4(043.2)

М.І. Бондаренко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання вертикальних гібридних роторів для ефективної вітроенергетики в міській забудові

.Дана доповідь присвячена використанню гібридного ротора вітроенергетичної установки у міській забудові. Було досліджено вихідні характеристики експериментальної (ВЕУ) та перевірено її можливості при різних швидкостях вітру.

Переваги вертикальних гібридних роторів в міській забудові.

Зростаюча потреба в екологічно чистих джерелах енергії стимулює активний розвиток вітроенергетики. Традиційні горизонтальні вітротурбіни мають певні обмеження, особливо в умовах міської забудови та при слабких вітрах. Вітрові потоки навколо міст є менш прогнозованими, більш хаотичними і сповненим турбулентрості це робить горизонтальні вітрогенератори менш ефективними в міській забудові.

Вітрогенератори з вертикальною віссю є більш привабливими і краще підходять для використання в міській забудові. Вертикальні гібридні ротори поєднують переваги різних типів роторів. Запуск при малих вітрах, і набір обертів при середніх і великих вітрах. [Рис. 2]

1. Їх найкраще встановлювати на дахах багатоповерхівок. Де швидкість вітру стабільна і завжди є вітер.

2. Цей тип вітрогенераторів є всенаправленим, він не вимагає орієнтації лопатей на зустрічний вітер як це завжди відбувається у вітряках горизонтального типу.

3. Вони можуть бути меншими при однаковій потужності. Таким чином їх ремонт коштуватиме не так дорого.

4. Вертикальні вітротурбіни виграють завдяки простій конструкції та низькому тертю.

5. Можуть вловлювати дуже слабкі вітри. Це дозволяє їм працювати в оточенні будівель незалежно від характеристик і напрямку вітру.

6. На виході вони менше спотворюють вітрові потоки що дозволяє їх ставити щільнішими рядами. [Рис. 1]

7. Вони не потребують додаткового обладнання: яке визначає напрямок вітру і корегує положення вітряка відповідно з ним.

8. Більш стійкі до турбулентності ніж звичайні горизонтальні.

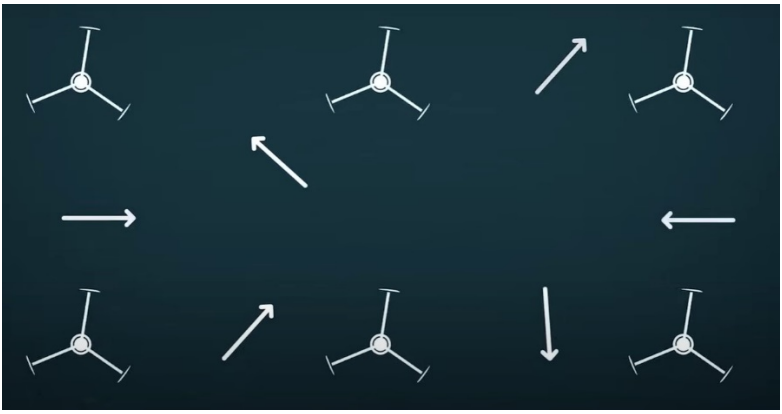


Рис. 1 Встановлення щільними рядами.

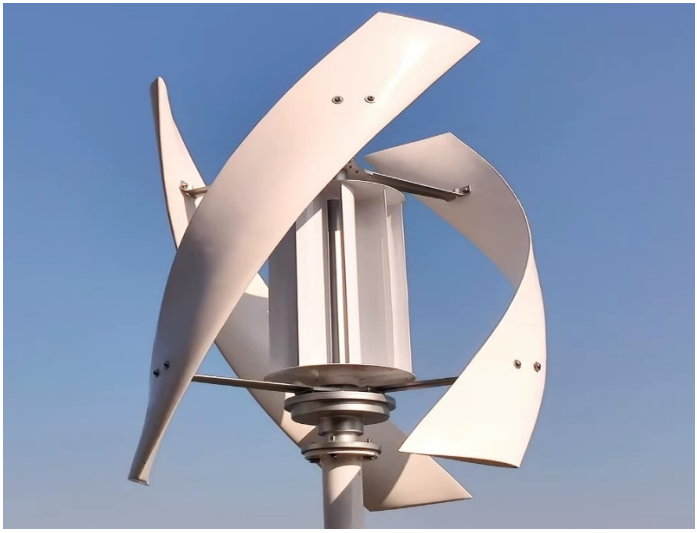


Рис. 2 Гібридний вітрогенератор.

Висновок

1. При проведенні експерименту на 8 поверсі даху, середня швидкість вітру: від 2,5 — до 3,5 м/с на малій експериментальній вітроенергетичній установці отримали 15 — 20 Вт. потужності при 12 В. З цього можна зробити висновок: Хоч знята потужність зовсім маленька але навіть її вистачить щоб освітити східну клітку одного підїзду в багатоповерхівці, провівши окрему

проводку і замінивши звичайні лампи на світлодіодні стрічки які споживають зовсім маленький струм. Багато від цього користі чи мало покаже час. Якщо застосовувати це в довгостроковій перспективі тоді витрати по виготовленню, установці налагоджуванні та обслуговуванню цієї установки себе оправдають.
2. Вертикальні гібридні ротори мають значний потенціал для розвитку вітроенергетики в умовах міської забудови та при слабких вітрах.
3. Подальші дослідження та розробки в цій галузі дозволять зробити вітроенергетику більш доступною та ефективною.

Список літератури

1. Галась М.И. О целесообразности создания вертикально-осевих ветроелектрических установок мегаватного класса / М.И. Галась, Ю.П. Дымковец, Н.А. Акаев, И.Ю. Костюков // Энергетическое строительство. 1991. - № 3 С. 33-37.
2. Горелов Д.Н. Проблеми аэродинамики ветроколеса Дарье / Д.Н. Горелов // Теплофизика и аэродинамика . 2003. - Т. 10, - № 1 . С. 47 -51.
3. Горелов Д.Н. Экспериментальная оценка предельной мощности ветроколеса с вертикальной осью вращения. Д.Н. Горелов, Н.Ю. Кузьменко // Теплофизика и аэромеханика. - 2001. - Т.8, - № 2. С. 329-334.
4. Синеглазов В. М. Синергетичний підхід до побудови вітроенергетичних установок з комбінованим ротором. / В. М. Синеглазов — К.: ФОП Самченко А.М., 2023. - 172 с. 16 — 36.

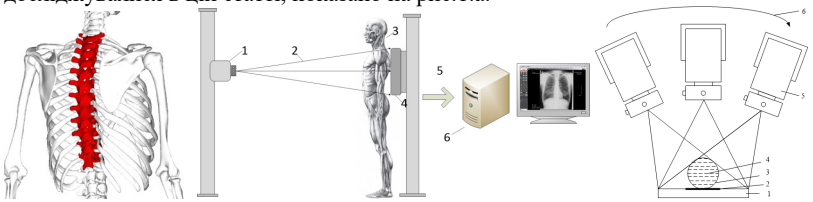
УДК 681.5

О.С. Мірошниченко[1], к.т.н., С.І. Мірошниченко[1,2], д.т.н., Ю.В. Хобта[2]
([1]Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна
[2]«Науково-виробниче об'єднання Телеоптика», Україна)

Порівняння контрасту зображень хребта при рентгенівському томосинтезі та рентгенографії

Військові дії призвели до значного поширення травм хребта через великі навантаження. Рентгенівські методи діагностики дають найкращі результати для діагностики кісткової тканини. Мобільний цифровий рентгенівський томосинтез дозволяє отримувати необхідний рівень діагностичної чутливості. У цій статті було проаналізовано контрасти рентгенографічних і зображень томосинтезу грудного відділу хребта для одних і тих же випадків.

Хребет - це складний об'єкт, який складається з 32-33 хребців, послідовно з'єднаних один з одним у вертикальному положенні. Хребці поділяються на окремі категорії: 7 шийних, 12 грудних, 5 поперекових, 5 хребців, що зрослися в крижі, і куприка, що складаються з 5-6 хребців. В цілому хребетний стовп виконує функцію опори і захисту спинного мозку і бере участь в рухах тулуба і голови. Положення грудних хребців (Т1-Т12), зображення яких досліджувалися в цій статті, показано на рис.1.а.



а б в

Рис. 1. а – схематичне положення грудних хребців людини [1]; б – схема отримання цифрового рентгенівського зображення; в – схема отримання отримання проекцій при процедурі рентгенівського томосинтезу.

Найпоширенішим методом діагностики є цифрова рентгенографія (DR) - метод отримання рентгенівських діагностичних зображень, які представляють собою рентгенівську тінь об'єкта на приймачі. На рис.1.б представлена модель отримання рентгенографічного зображення. Таким чином рентгенівське зображення це – суперпозиція усіх структур об'єкту по ходу рентгенівського променя. Через це при накладенні зображень тканин з різною щільністю один на одного їх контраст стає недостатнім для гарантованої постановки правильного діагнозу. За даними різних досліджень, діагностична чутливість цифрової рентгенографії в діагностиці різних захворювань хребта в середньому становить 53-64% [2-4]. Новітні алгоритми покращення зображення підвищують ефективність діагностики, але не можуть повністю усунути ефект накладання

різних тканин одна на одну в нетривіальних випадках. Мобільні рентгенодіагностичні комплекси вітчизняного виробництва активно використовуються в прифронтових шпиталях, а також в цілях розмінування. Не останнім чинником, що вплинув на великий попит цих систем, це можливість працювати з автономними джерелами електроенергії.

Комп'ютерна томографія вважається золотим стандартом для діагностики кісткових структур. Проте це обладнання вимагає значних енерговитрат, що унеможливлює використання автономних батарей, а також вимагає високоточного механічного позиціонування, що вкрай проблематично на пересувних стабпунктах.

Цифровий рентгенівський томосинтез (DT), хоча і не набув ще значного поширення в клінічній практиці, але показав себе, як вкрай ефективний метод підчас пандемії COVID-19. На підставі наших попередніх досліджень після вивчення 34 випадків патологій легень та навколишніх тканин ми виявили, що при використанні методу томосинтезу контраст патологій на зрізі, сфокусованому на відповідну глибину, збільшується в 2-9 разів, порівняно з використанням рентгенографії [5]. Крім того, отримана якість зображень томосинтезу відповідає вимогам до якості зображень комп'ютерної томографії [6].

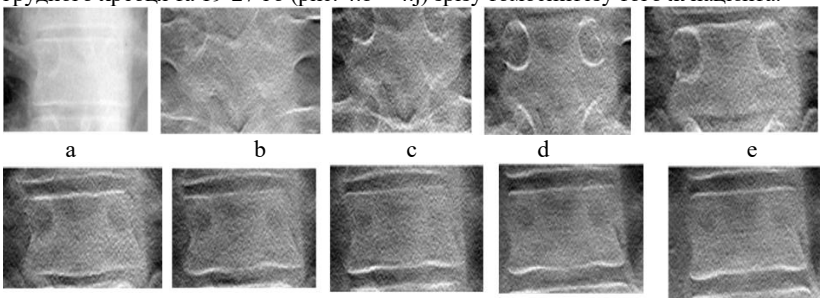
Ідейним попередником цифрового томосинтезу була лінійна томографія. Ідея цього методу полягала в отриманні зображення одного зрізу внутрішніх органів пацієнта за один огляд. При цьому було отримано мало додаткової інформації порівняно з рентгенографією, але дозове навантаження зросло в десятки разів. З появою комп'ютерної томографії використання лінійної томографії стало рідкісним.

Розробка цифрових динамічних рентгенівських приймачів у 2000-х роках дозволила робити цифрові рентгенівські відео. Спочатку цей режим використовувався при рентгеноскопії. Швидкий розвиток обчислювальної техніки для обробки великих масивів даних дозволив розробити алгоритми реконструкції нового методу цифрового рентгенівського томосинтезу.

Діагностична процедура на цифровій рентгенівській системі томосинтезу проводиться наступним чином. Імпульсна рентгенівська трубка рухається в сумарному куті сканування до 50^{o} і робить до 150 імпульсів протягом 3-6 секунд (рис.1.в). Одночасно цифровий динамічний рентгенівський приймач реєструє та передає на обробку до комп'ютеру таку ж кількість зображень (проекцій). Передача даних здійснюється через Ethernet або Wi-Fi. Алгоритми реконструкції обчислюють до 300 зрізів, які паралельні приймачу. Таким чином, томосинтез дає змогу отримати зображення внутрішніх структур пацієнта в поперечному перерізі, що дозволяє уникнути накладання рентгенівських тіней різних органів і тканин [7]. Вся інформація зберігається у форматі DICOM-3, відповідно до правил обробки персональних даних.

Ми вивчили 34 клінічних випадки та порівняли, відповідно, контрасти кожного грудного хребця з навколишніми тканинами фронтальних рентгенівських знімків та зображень зрізів томосинтезу у фокусі. Усі зображення були оброблені в програмному забезпеченні ImageJ з відкритим кодом.

Для прикладу на рис.4 наведено рентгенівське зображення (рис.2.a) 10-го грудного хребця та 19-27-го (рис. 4.b – 4.j) зрізу томосинтезу того ж пацієнта.



a b c d e

f g h i j

Рис. 2. a – рентгенографічне зображення 10-го грудного хребця людини; b-j – 19-27 зрізи томосинтезу.

У таблиці 1 наведено отримані результати розрахунку середніх контрастів, їх розкид, співвідношення, а також відносну кількість випадків із використаної вибірки зображень, для яких контраст перевищує 5% та 10%.

Таблиця 1.

Результати розрахунку контрастів рентгенівських та зображень томосинтезу грудних хребців одних випадків та їх відношення

Хребець	**Контраст DR**	**Контраст DT**	**Відношення контрасту**		**DR, %**	**DT %**
1	2	3	4		5	6
Th1	0,14 (0,07÷0,24)	0,38 (0,17÷0,89)	2,92	>5% >10%	100% 70%	100% 100%
Th 2	0,17 (0,07÷0,29)	0,30 (0,19÷0,76)	1,98	>5% >10%	100% 67%	100% 100%
Th 3	0,15 (0,06÷0,21)	0,21 (0,11÷0,41)	1,26	>5% >10%	100% 71%	100% 100%
Th 4	0,08 (0,04÷0,13)	0,17 (0,12÷0,30)	2,59	>5% >10%	76% 9%	100% 100%
Th 5	0,07 (0,04÷0,12)	0,22 (0,11÷0,62)	3,65	>5% >10%	69% 9%	100% 100%
Th 6	0,05 (0,03÷0,13)	0,17 (0,09÷0,30)	3,49	>5% >10%	23% 13%	100% 88%
Th 7	0,06 (0,03÷0,15)	0,17 (0,10÷0,39)	2,41	>5% >10%	46% 13%	100% 100%
Th 8	0,07 (0,04÷0,18)	0,17 (0,06÷0,44)	2,49	>5% >10%	31% 19%	100% 80%
Th 9	0,05 (0,03÷0,08)	0,14 (0,09÷0,22)	2,94	>5% >10%	32% 0%	100% 81%
Th 10	0,05 (0,03÷0,08)	0,14 (0,08÷0,27)	2,72	>5% >10%	30% 0%	100% 79%

Хребець	Контраст DR	Контраст DT	Відношення контрасту		DR, %	DT %
1	2	3	4		5	6
Th 11	0,04 (0,02÷0,07)	0,16 (0,08÷0,32)	4,19	>5% >10%	23% 0%	100% 90%
Th 12	0,04 (0,01÷0,04)	0,16 (0,09÷0,21)	4,86	>5% >10%	0% 0%	100% 81%

Помічено, що в залежності від розташування хребця ефективність використання знімків томосинтезу порівняно з рентгенографією різна.

У першому стовпчику таблиці 2 вказано номер грудного хребця, зображення якого було оброблено. У другій і третій колонках наведені середні значення контрасту, а в дужках — їх поширення відповідних хребців на навколишні тканини. У четвертій колонці представлено відношення середнього контрасту томосинтезу до рентгенографії. П'ятий і шостий стовпці показують відносну кількість випадків рентгенографії та томосинтезу, для яких контраст хребця перевищує 5% і 10%.

При рентгенографії спостерігається низька контрастність хребців Th4 - Th12, зображення яких перетинається з аортою і особливо кишковим трактом. Тоді як на контраст зображення томосинтезу найбільше впливає близькість до аорти (хребці Th4 - Th10).

Відповідно до досягнутих результатів контрастність зрізів томосинтезу від 1,26 до 4,86 разів перевищує контрастність рентгенівських знімків тих же пацієнтів. Причому у всіх випадках всіх грудних хребців контрастність зображень томосинтезу більше 5% - що означає високу ймовірність постановки правильного діагнозу.. Для рентгенографії середній контраст у всіх випадках більше 10% тільки для хребців Th1 – Th3. Випадків з контрастом 10% для хребців Th9 – Th12 для рентгенографії немає. Крім того, для хребця Th12 контраст не досягає 5% в жодному з випадків рентгенографії. При цьому контрастність 10% для 6-12 хребців для томосинтезу досягається більш ніж у 79% випадків.

Висновок

Таким чином запропоноване використання мобільного цифрового томосинтезу в прифронтових шпиталях значно підвищить якість діагностики пошкоджень хребта. Згідно і спостереженнями, які було проведено нашими іншими дослідженнями те саме стосується і діагностики осколкових уражень кінцівок.

Список літератури

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Thoracic_vertebrael
2. Wagner S, Stäbler A, Sittek H, Bonel H, Laeverenz G, Reiser MF, Baur-Melnyk A. Diagnosis of osteoporosis: visual assessment on conventional versus digital radiographs. Osteoporos Int. 2005 Dec;16(12):1815-22. doi: 10.1007/s00198-005-1937-x. Epub 2005 Jun 25. PMID: 15981020.

3. Adiotomre E, Summers L, Allison A, Walters SJ, Digby M, Broadley P, Lang I, Morrison G, Bishop N, Arundel P, Offiah AC. Diagnostic accuracy of DXA compared to conventional spine radiographs for the detection of vertebral fractures in children. Eur Radiol. 2017 May;27(5):2188-2199. doi: 10.1007/s00330-016-4556-3. Epub 2016 Sep 21. PMID: 27655305; PMCID: PMC5374187.

4. Ronaldo c. Da Costa, Steven DE Decker, Melisa J. Lewis, Holger Volk. Diagnostic Imaging in Intervertebral Disc Disease. Sec. Veterinary Neurology and Neurosurgery Volume 7 – 2020 https://doi.org/10.3389/fvets.2020.588338.

5. O. Miroshnychenko, S. Miroshnychenko, A. Nevgasymyi and Y. Khobta, Contrasts Comparison of Same Cases of Chest Pathologies for Radiography and Tomosynthesis, 2020 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ISETC50328.2020.9301081.

6. O. Miroshnychenko, S. Miroshnychenko, Y. Khobta and A. Nevgasymyi, "Assessment of Compliance Digital X-ray Tomosynthesis Images of Chest with the Requirements for the Tomographic Images Quality," 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 401-404, doi: 10.1109/ELNANO54667.2022.9927068.

7. K Baratella, Elisa, Emilio Quaia, Filippo Crimì, Pierluca Minelli, Vincenzo Cioffi, Barbara Ruaro, and Maria Assunta Cova. 2023. "Digital Tomosynthesis as a Problem-Solving Technique to Confirm or Exclude Pulmonary Lesions in Hidden Areas of the Chest" Diagnostics 13, no. 6: 1010. https://doi.org/10.3390/diagnostics13061010.

УДК 629.735.07 (045)

А.О. Плуговий, Аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інтелектуальна система управління підтримкою льотної придатності повітряних суден на основі технологій Інтернету речей

У статті розглядається підхід до управління льотною придатністю повітряних суден із застосуванням IoT. Запропоновано архітектуру системи моніторингу технічного стану, використано алгоритми прогнозної діагностики та модель надійності з експоненційним розподілом. Отримані результати свідчать про підвищення ефективності обслуговування, зниження витрат і оптимізацію ремонтних процесів.

Вступ

Сучасна авіаційна галузь стикається з необхідністю забезпечення високої надійності повітряних суден при збереженні конкурентоспроможності. Традиційні підходи до технічного обслуговування часто базуються на фіксованих інтервалах, що може призводити до як надмірного технічного обслуговування, так і до непередбачених відмов. Використання технологій Інтернету речей дозволяє створити динамічну систему моніторингу, де датчики та пристрої зв'язку збирають інформацію про технічний стан у режимі реального часу. Це дає змогу прогнозувати можливі відмови, своєчасно реагувати на зміну стану агрегатів та оптимізувати графіки обслуговування.

Архітектура системи IoT для підтримки льотної придатності

Запропонована система складається з кількох основних компонентів:

- **Сенсорна мережа.** Різноманітні датчики, вбудовані у повітряні судна, збирають інформацію про температурний режим, вібрації, тиск та інші критичні параметри.
- **Комунікаційна інфраструктура.** Застосування бездротових технологій дозволяє передавати дані від сенсорів до центрального серверу або хмарного середовища.
- **Аналітичний модуль.** Алгоритми обробки даних здійснюють аналіз зібраної інформації, виявляючи аномалії та прогнозуючи відмови.
- **Інтерфейс управління.** Оператори отримують доступ до результатів аналізу, що дозволяє приймати оперативні рішення щодо проведення ремонтних робіт або профілактики.

Математичне обґрунтування прогнозної діагностики

Одним із ключових завдань системи є оцінка ймовірності відмов компонентів повітряного судна. Для цього застосовують моделі надійності, серед яких популярним є експоненційний закон розподілу відмов.

Нехай λ — середня інтенсивність відмов (відмови на одиницю часу). Тоді функція надійності *R(t)*, що визначає ймовірність безвідмовної роботи протягом часу *t*, задається виразом:

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Цей підхід дозволяє розрахувати час, протягом якого система з високою ймовірністю продовжуватиме працювати без збоїв. Наприклад, якщо інтенсивність відмов становить λ=0.0005 (відмов на годину), то через 1000 годин роботи ймовірність безвідмовного функціонування дорівнюватиме:

$$R(1000) = e^{-0.0005 \times 1000} = e^{-0.5} \approx 0.6065$$

Таким чином, з приблизно 60% ймовірністю даний агрегат працюватиме без збоїв протягом 1000 годин.

Крім того, для оцінки ефективності системи можна ввести функцію витрат *C(t)*, що включає витрати на профілактичне обслуговування та потенційні витрати, пов'язані з відмовами. Припустимо, що витрати на профілактичний ремонт визначаються як C_p, а витрати у разі відмови — як C_f. Тоді середньоекономічні витрати за певний період можна приблизно оцінити за наступною формулою:

$$C(t) = C_p \cdot \frac{t}{T_p} + C_f \cdot (1 - R(t))$$

де T_p — оптимальний інтервал між профілактичними ремонтами. Такий підхід дозволяє оптимізувати графік обслуговування шляхом мінімізації загальних витрат.

Переваги інтеграції IoT у системи підтримки льотної придатності

Впровадження IoT технологій дає змогу:

- **Підвищити безпеку польотів.** Своєчасний моніторинг та раннє виявлення відхилень від норми дозволяють уникнути серйозних аварійних ситуацій.
- **Знизити експлуатаційні витрати.** Оптимізація графіка технічного обслуговування дозволяє зменшити кількість непередбачених ремонтів та пов'язаних з ними витрат.
- **Покращити управління ресурсами.** Централізований збір даних дозволяє ефективно розподіляти ресурси між різними підрозділами обслуговування.
- **Підвищити оперативність прийняття рішень.** Завдяки аналітичним модулям, що працюють у режимі реального часу, оператори отримують актуальні дані для прийняття рішень щодо профілактики та ремонту.

Виклики та перспективи впровадження

Попри значні переваги, існують певні виклики, пов'язані з інтеграцією IoT у систему підтримки льотної придатності:

- **Забезпечення безпеки даних.** Передача та зберігання великої кількості даних потребують високих стандартів кібербезпеки.

- **Сумісність обладнання.** Різні типи датчиків та систем потребують інтеграції у єдину платформу, що може бути технічно складним завданням.
- **Інвестиційні витрати.** Первинне впровадження IoT технологій може вимагати значних капіталовкладень, проте у довгостроковій перспективі це дозволяє знизити експлуатаційні витрати.

Перспективними напрямками подальших досліджень є розробка більш адаптивних алгоритмів прогнозної діагностики, інтеграція технологій штучного інтелекту для аналізу великих даних, а також розробка стандартів взаємодії різних компонентів IoT мережі.

Висновки

Запропонована модель управління підтримкою льотної придатності повітряних суден із використанням технологій Інтернету речей демонструє високий потенціал для підвищення безпеки польотів та оптимізації технічного обслуговування. Завдяки застосуванню математичних моделей надійності, таких як експоненційний закон розподілу відмов, а також використанню функцій витрат, можливо розробити ефективну стратегію профілактичного обслуговування. Подальші дослідження у напрямку інтеграції штучного інтелекту та удосконалення IoT інфраструктури сприятимуть розвитку сучасних систем підтримки льотної придатності та зниженню експлуатаційних ризиків.

Список літератури

1. Smith, J., et al. "IoT Applications in Aircraft Maintenance." *IEEE Access*, vol. 8, 2020. IEEE, 2020.
2. Doe, A. "Reliability Engineering and Maintenance Management in Aviation." *Journal of Aviation Technology*, vol. 15, no. 3, 2019, pp. 345–358. Aviation Press, 2019.
3. Коваль, П. "Технології Інтернету речей в авіації." *Авіаційний вісник*, № 4, 2021, с. 56–62. Київ: Видавництво НАУ, 2021.
4. Wikipedia contributors. "Експоненційний розподіл." *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, Wikimedia Foundation, n.d., https://uk.wikipedia.org/wiki/Експоненційний_розподіл. Accessed 23 Mar. 2025.
5. Petrenko, O. "Прогнозна діагностика у системах підтримки льотної придатності." *Proceedings of the International Conference on Aviation Maintenance*, 2022, pp. 78–85. Харків: Видавництво ХАІ, 2022.

УДК 004.896

С.В. Федорченко,
В.П. Квасніков, д.т.н., проф.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Зір роботів

У роботі розглядається поняття машинного зору як ключового елементу робототехнічних систем. Проаналізовано базові принципи його роботи, актуальні технології та галузі застосування. Також визначено основні виклики, що постають при реалізації цієї технології, і перспективи її подальшого розвитку в контексті глобальних тенденцій автоматизації та штучного інтелекту.

1. Поняття та роль зору в робототехніці.

Машинний зір, або зір роботів, — це галузь, що об’єднує апаратні засоби (камери, сенсори) та програмне забезпечення (алгоритми обробки зображень), з метою надання роботизованим системам здатності до сприйняття навколишнього середовища [1, 2]. На відміну від біологічного зору, системи машинного зору функціонують на основі попередньо заданих алгоритмів і моделей навчання, що дозволяє досягати високої точності в розпізнаванні об'єктів, орієнтації у просторі, прийнятті рішень тощо. Машинний зір є необхідним компонентом автономних систем і має фундаментальне значення для їх ефективного функціонування.

2. Принципи функціонування систем машинного зору

Процес обробки візуальної інформації робототехнічною системою складається з кількох етапів. Спочатку відбувається захоплення зображення за допомогою сенсорів або камер. Далі дані обробляються — зображення очищується, підвищується його якість. Наступний крок — виявлення ознак (країв, текстур, кольору) та класифікація об'єктів. Завдяки впровадженню методів глибокого навчання, таких як згорткові нейронні мережі (CNN), досягається висока ефективність у розпізнаванні навіть складних образів [1, 3, 4]. Для просторової орієнтації все частіше застосовуються алгоритми SLAM, що забезпечують побудову карти середовища в реальному часі [2].

3. Сучасні технології та інструменти

До провідних технологій, що використовуються у системах машинного зору, належать:

- алгоритми глибокого навчання (CNN, GAN, RNN) [1];
- обчислювальні платформи з високопродуктивними графічними процесорами;
- апаратні засоби для тривимірного зору (стереокамери, TOF-сенсори);
- бібліотеки програмного забезпечення, такі як OpenCV, TensorFlow, PyTorch [1, 2].

- Ці технології забезпечують високу точність в обробці зображень та адаптивність до змін середовища. Удосконалення моделей дозволяє системам працювати в умовах низької освітленості, шумів та інших ускладнень [3, 5].

4. Галузі застосування

- **Промисловість:** автоматизований контроль якості, сортування, складання деталей [5, 6].
- **Транспорт:** автономне управління транспортними засобами, аналіз дорожньої ситуації [3].
- **Медицина:** діагностика захворювань за зображеннями, підтримка хірургічних втручань [6].
- **Сільське господарство:** моніторинг посівів, виявлення шкідників, точне землеробство [7].
- **Безпека:** відеоспостереження, біометрична ідентифікація, прогнозування поведінки [4, 8].
- **Наука та освіта:** автоматизовані лабораторії, візуальні навчальні інструменти.

5. Проблеми та виклики

Серед основних проблем впровадження машинного зору можна виокремити:

- потребу у великих обсягах навчальних даних [1];
- високу вартість апаратного забезпечення;
- обмеження при роботі в складних або динамічних середовищах;
- ризики щодо приватності, пов'язані з біометричними технологіями [8];
- відсутність універсальних стандартів якості та етичного регулювання.
- Вирішення цих проблем потребує міждисциплінарного підходу та активної взаємодії між дослідниками, інженерами й законодавцями.

6. Перспективи розвитку

Очікується, що найближчим часом машинний зір стане ще більш точним, швидким і енергоефективним. Активно досліджуються моделі трансформерів у комп'ютерному баченні, розвиток квантових обчислень для обробки зображень, мультисенсорна інтеграція [2, 7]. Також зростає інтерес до етичних аспектів — розробки прозорих алгоритмів і пояснюваних моделей. У майбутньому системи зору роботів здатні стати повноцінними учасниками технологічної екосистеми, з якими можлива ефективна взаємодія на рівні людина–машина [8].

Висновок

Зір роботів є ключовою технологією в сучасній автоматизації та штучному інтелекті, що відкриває нові можливості в різних сферах діяльності. Подальший розвиток цієї технології сприятиме підвищенню ефективності та безпеки в багатьох галузях.

Список літератури

1. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
2. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer, 2022.
3. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement. arXiv preprint arXiv:1804.02767, 2018.
4. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
5. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016.
6. Морозов В.О., Кравченко І.О. Основи комп'ютерного зору: Навчальний посібник. Київ: НАУ, 2020.
7. Пономаренко О.В., Іваненко Ю.М. Машинний зір та штучний інтелект у робототехніці. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019.
8. Сидоренко М.П., Бондаренко Т.А. Нейронні мережі та їх застосування в комп'ютерному зорі. Харків: ХНУРЕ, 2021.

УДК 629.7.054

А.В. Авагян, к.т.н., Р.Л. Пантєєв, д.т.н. Ф.Й. Яновський
(Державний Університет "Київський авіаційний інститут")

Класифікація та системи керування актуаторами в біонічних протезах

У роботі розглянуто основні типи актуаторів, які застосовуються в біонічних протезах, зокрема пневматичні, гідравлічні, електричні приводи, а також системи на основі інтелектуальних матеріалів, таких як сплави з пам'яттю форми (SMA) та електроактивні полімери (EAP). Окрема увага приділена перспективним напрямам, включаючи штучні м'язи на базі наноматеріалів і гнучкі текстильні структури. Представлено порівняльний аналіз цих технологій за ключовими технічними характеристиками. Також висвітлено системи керування актуаторами, серед яких провідне місце займають методи електроміографії (EMG) та електроенцефалографії (EEG), що забезпечують інтерфейс між користувачем і протезом. Доповненням до цього слугують механічні сенсори, які формують зворотний зв'язок і підвищують точність та природність рухів. Розглянуті технології становлять основу для створення інтелектуальних, адаптивних та біосумісних протезів нового покоління.

У сучасних біонічних протезах застосовується широкий спектр актуаторів, які класифікуються за принципом дії, конструктивними особливостями та відповідністю до функціональних потреб користувача. Найбільш поширеними є пневматичні, гідравлічні, електричні актуатори, а також ті, що базуються на розумних матеріалах і інноваційних технологіях.

Пневматичні актуатори функціонують на основі стисненого повітря, яке приводить у рух поршні або гнучкі елементи. Вони вирізняються м'якістю та плавністю рухів, що робить їх безпечними для користувача, особливо в експериментальних або дитячих моделях протезів. Проте ці системи мають обмежену точність і вимагають компресорів або балонів, що ускладнює їх мініатюризацію.

Гідравлічні актуатори діють за схожим принципом, але замість повітря використовують рідину під тиском. Їхньою головною перевагою є здатність створювати велику силу в компактному об'ємі, що робить їх незамінними в тяжких або спеціалізованих протезах, наприклад, у військовій сфері. Водночас гідравліка потребує складного технічного обслуговування і є менш зручною в щоденному використанні через ризик витоків.

Найбільш універсальними та поширеними в біоніці є електричні актуатори, зокрема серводвигуни, безколекторні та крокові двигуни. Вони забезпечують високу точність, швидкодію, легку інтеграцію з електронікою та можливість програмного керування. Наприклад, у складних протезах руки кожен палець може керуватися окремим електроприводом, що дозволяє реалізувати широкий діапазон жестів.

Окрім класичних типів, у біонічних системах усе частіше застосовуються актуатори, побудовані на основі інтелектуальних матеріалів. Одним із таких є сплави з пам'яттю форми (SMA), які змінюють свою геометрію під впливом температури. Вони ідеально підходять для мікроприводів завдяки

високій щільності енергії, але мають повільну реакцію та труднощі з охолодженням. Іншим перспективним напрямом є використання електроактивних полімерів (EAP), здатних до еластичних деформацій під впливом електричного струму. Вони дозволяють створювати м'які протези, схожі на справжні м'язи, хоча наразі ще мають низьку надійність та потребують високої напруги.

У перспективі активно досліджуються інноваційні типи приводів: це штучні м'язи на основі вуглецевих нанотрубок, гнучкі текстильні приводи, гідрогелеві системи, які реагують на вологість або температуру. Ці технології орієнтовані на створення легких, адаптивних та біосумісних протезів майбутнього, хоча переважно ще не вийшли за межі лабораторій.

Нижче наведено порівняльну таблицю 1, яка узагальнює основні властивості найбільш популярних типів актуаторів, що використовуються у біонічних системах.

Тип актуатора	Сила	Точність	Швидкодія	Розміри/маса	Енергоефективність	Надійність	Біосумісність / Придатність
Пневматичний	Середня	Низька	Висока	Великі	Середня	Середня	Висока (безпечні, м'які)
Гідравлічний	Висока	Середня	Середня	Великі	Висока	Низька	Низька (ризик витоку)
Електричний	Висока	Висока	Висока	Компактні	Висока	Висока	Висока (широко застосовуються)
SMA (сплави з пам'яттю форми)	Середня	Середня	Низька	Дуже малі	Середня	Середня	Висока (мікроприводи)
EAP (електроактивні полімери)	Низька	Середня	Середня	Малі	Низька	Низька	Висока (м'які, еластичні)
Інноваційні (текстильні, наном'язи)	Висока	Середня/висока	Висока	Дуже малі	Висока (перспективна)	Поки що невизначено	Висока (гнучкі, легкі)

Таблиця 1. Порівняльний аналіз основних типів актуаторів, що застосовуються в біонічних протезах

Керування актуаторами є критичним елементом у функціонуванні біонічних протезів, оскільки саме воно забезпечує точність, адаптивність і природність рухів. Основними засобами керування виступають біоелектричні сигнали, зчитувані з м'язів або мозку, а також механічні сенсори, що забезпечують зворотний зв'язок.

Найпоширенішим методом є електроміографія (EMG) — зчитування електричної активності м'язів за допомогою електродів на поверхні шкіри. Одноканальні EMG-системи дозволяють фіксувати загальний рівень активності, тоді як багатоканальні забезпечують точніше керування напрямком і силою рухів. Цей метод відзначається високою швидкістю реакції та доступністю, хоча й може втрачати точність при м'язовій втомі або зміні умов зчитування.

Іншим підходом є електроенцефалографія (EEG) — технологія зчитування сигналів мозкової активності. Вона дозволяє керувати протезом за допомогою думки через спеціальні шоломи або імплантати. Хоча EEG-сигнали менш точні за EMG, цей напрям активно розвивається як основа для нейроінтерфейсів майбутнього.

Для підвищення точності та природності рухів використовуються також механічні сенсори — тиску, положення, натягу. Вони забезпечують тактильний зворотний зв'язок, дозволяючи протезу реагувати на контакт з об'єктами та регулювати силу захоплення. Така сенсорна інтеграція значно покращує взаємодію користувача з протезом і наближає її до природного сприйняття.

На Рис.1 можна побачити різницю двух між EEG і EMG сигалів



Рис.1 EEG і EMG сигнали

Висновок

Біонічні протези з актуаторами відіграють ключову роль у відновленні рухових функцій після ампутацій, забезпечуючи точні й адаптивні рухи, максимально наближені до природних. Різні типи актуаторів — від пневматичних до інноваційних матеріалів — мають свої переваги й недоліки, що впливають на вибір системи. Основу ефективного керування складають технології EMG та EEG, доповнені механічними сенсорами і сучасними алгоритмами регулювання, зокрема адаптивними системами й машинним навчанням.

Попри прогрес, залишаються виклики: висока вартість, обмежена автономність, складнощі з біозворотним зв'язком і необхідність індивідуальної адаптації.

Перспективи розвитку пов'язані з мініатюризацією, здешевленням, покращенням нейроінтерфейсів і впровадженням штучного інтелекту, що відкриває шлях до створення інтелектуальних, біосумісних і природно інтегрованих протезів нового покоління.

Список літератури

1. Pons, J. L., Torras, C., 2010. *Neurorehabilitation Technologies*
2. Vukobratovic M., Stepanenko, J, 2013. *Biped Locomotion: Dynamics, Stability, Control and Application*
3. Біонічний протез руки. Що варто знати [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://protezhub.com/blog/bionichnyy-protez-ruky-shcho-varto-znaty

УДК 629.735.07 (045)

Р.М. Салімов, к.т.н., І.В. Морозова, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Проблеми та можливості прогностичного технічного обслуговування АТ на основі використання технологій інтернету речей

У статті розглянуто актуальні проблеми та перспективи впровадження прогностичного технічного обслуговування (ПТО) авіаційної техніки (АТ) на основі Інтернету речей (IoT). Розглянуто основні підходи до прогнозування відмов, математичні моделі оцінювання технічного стану, а також обґрунтовано доцільність використання сенсорних мереж для підвищення ефективності обслуговування. В якості інструментів аналізу наведено модель пропорційних ризиків Кокса та марковські моделі, які дозволяють здійснювати глибокий аналіз і прогнозування залишкового ресурсу. Окреслено переваги та виклики впровадження таких систем у сфері авіаційної безпеки.

1. Вступ

Зростаючі вимоги до безпеки польотів та ефективності обслуговування авіаційної техніки сприяють впровадженню інноваційних підходів у технічне обслуговування. Одним із перспективних напрямів є **прогностичне технічне обслуговування (ПТО)**, що ґрунтується на аналізі поточних даних про стан обладнання та прогнозуванні майбутніх відмов. У поєднанні з технологіями **Інтернету речей (IoT)**, що забезпечують збирання великого обсягу телеметричних даних у реальному часі, ПТО дозволяє суттєво оптимізувати технічні процеси та зменшити витрати на обслуговування.

2. Проблематика впровадження ПТО в авіації

Попри численні переваги, впровадження ПТО на базі IoT в авіаційній галузі пов’язане з низкою викликів:

- **Висока складність інтеграції** сенсорних систем у наявну авіаційну інфраструктуру;
- **Обмеження в обробці даних** у реальному часі через обсяг та швидкість потоків інформації;
- **Стандарти безпеки** в авіації, що вимагають високого ступеня надійності та сертифікації всіх рішень;
- **Низький рівень інтероперабельності** між пристроями різних виробників;
- **Сумнівна довіра до автоматичних прогнозів**, особливо у випадку критичних систем.

Водночас переваги використання IoT у ПТО є суттєвими: підвищення точності діагностики, зменшення кількості незапланованих ремонтів, продовження ресурсу компонентів та економія експлуатаційних витрат.

3. Аналітичні моделі прогнозування

Для реалізації ефективного ПТО доцільно використовувати математичні моделі, що дозволяють оцінити залишковий ресурс системи та ймовірність її відмови. Однією з таких моделей є:

3.1. Модель пропорційних ризиків Кокса

Ця модель використовується для аналізу часу до настання події (наприклад, відмови) з урахуванням впливу декількох змінних. Функція ризику визначається як:

$$h(t) = h_0(t) \cdot e^{(b_1X_1 + b_2X_2 + \cdots + b_pX_p)} \quad (1)$$

де:

$h(t)$ — функція ризику у момент часу t;

$h_0(t)$ — базова функція ризику;

$X_1, X_2, \ldots, X_p$ — коваріати (вхідні параметри: температура, вібрація, тиск тощо);

$b_1, b_2, \ldots, b_p$ — коефіцієнти моделі.

У наведеній моделі зміна будь-якого параметра, наприклад вібраційного навантаження, прямо впливає на інтенсивність відмови, що дозволяє будувати точні залежності та персоналізувати графіки технічного обслуговування.

Модель Кокса дозволяє оцінити вплив кожної змінної на ризик відмови та використовується для прогнозування часу до відмови на основі характеристик об'єкта.

3.2. Марковські моделі

Марковські ланцюги застосовуються для моделювання систем, які переходять між різними станами з певними ймовірностями. У контексті ПТО, станами можуть бути рівні зносу або пошкодження компонента. Ймовірності переходу між станами використовуються для прогнозування майбутнього стану системи та планування обслуговування.

Наприклад, якщо система має три стани: "справний", "погіршений" та "несправний", то матриця ймовірностей переходу може виглядати так:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix} \quad (2)$$

де p_{ij} — ймовірність переходу зі стану i до стану j.

Ці моделі дозволяють визначати ймовірність знаходження системи у певному технічному стані через заданий проміжок часу, що сприяє обґрунтованому прийняттю рішень про технічне обслуговування.

3.3. Приховані марковські моделі (HMM)

Ці моделі є розширенням звичайних марковських моделей і використовуються, коли справжні стани системи не можуть бути безпосередньо спостережені, але є доступними деякі спостережувані сигнали, пов'язані з цими станами.

HMM складається з:

— Кінцевої множини станів;
— Матричних ймовірностей переходу між станами;
— Множини спостережень, які залежать від прихованих станів;
— Ймовірностей спостережень у кожному стані.

HMM широко застосовуються для аналізу та прогнозування в ПТО, особливо коли необхідно інтерпретувати складні патерни в даних сенсорів для визначення поточного стану обладнання та прогнозування майбутніх відмов.

Використання цих моделей у поєднанні з даними, отриманими від IoT-сенсорів, дозволяє більш точно оцінювати стан компонентів та прогнозувати їхній залишковий ресурс, що сприяє ефективному плануванню технічного обслуговування та зниженню експлуатаційних витрат.

4. Приклади застосування та порівняння підходів

Сучасні авіаційні компанії вже успішно впроваджують прогностичне технічне обслуговування з використанням технологій Інтернету речей. Наприклад, компанія Airbus застосовує систему AIRMAN, що дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану літаків у реальному часі та прогнозувати потенційні несправності. Boeing, у свою чергу, використовує систему AHM (Airplane Health Management), яка на основі телеметричних даних і прогнозних алгоритмів забезпечує раннє виявлення критичних збоїв.

Використання таких систем дозволяє скоротити кількість непланових відмов на 20–30 %, зменшити витрати на технічне обслуговування і підвищити загальну надійність авіаційної техніки.

Таблиця1

Порівняльна таблиця основних підходів, що використовуються в сучасних системах ПТО:

Тип моделі	Переваги	Недоліки
Лінійна регресія	Простота, прозорість результатів	Обмежена здатність враховувати складні взаємозв’язки
Модель Кокса	Оцінка впливу кожної змінної на ризик	Вимагає ретельної підготовки даних
Нейронні мережі	Висока точність, здатність до самонавчання	«Чорний ящик», потреба у великій кількості даних
Марковські моделі	Врахування історії станів системи	Складність побудови та калібрування

5. Висновки

У статті було розглянуто актуальні проблеми та перспективи впровадження прогностичного технічного обслуговування (ПТО) в авіаційній галузі на основі використання технологій Інтернету речей. Показано, що традиційні підходи до обслуговування не завжди відповідають сучасним вимогам до безпеки, ефективності та економічної доцільності експлуатації повітряних суден.

Застосування IoT-технологій дозволяє перейти від реактивного та планового обслуговування до передиктивного, що базується на реальному технічному стані та прогнозах розвитку несправностей. Аналіз математичних моделей, зокрема моделі Кокса та марковських процесів, показав їхню ефективність у задачах оцінки залишкового ресурсу та ймовірностей відмов.

Важливим доповненням є аналіз прикладів практичного впровадження ПТО провідними авіаційними компаніями, такими як Airbus та Boeing. Це демонструє не лише технічну реалізованість підходу, а й його позитивний економічний ефект. Наведене порівняння моделей дозволяє оцінити їхні сильні та слабкі сторони, що є підгрунтям для подальшого вдосконалення алгоритмів прогнозування.

Отже, впровадження ПТО на основі IoT має високий потенціал для підвищення надійності авіаційної техніки, зниження витрат і забезпечення безпеки польотів. Подальші дослідження мають бути зосереджені на інтеграції різних моделей прогнозування, розширенні баз даних для навчання систем та удосконаленні аналітичних механізмів прийняття рішень.

Список літератури

1. Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001
2. Wang, P., & Yu, M. (2017). Predictive maintenance for aircraft systems using machine learning and IoT. *Journal of Aerospace Engineering*, 31(5), 04018065.
3. Zheng, Y., Peng, Y., & Kang, D. (2020). A Markov Decision Process Approach for Predictive Maintenance of Degrading Systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 198, 106848. https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.106848
4. Інтернет-ресурс: “Основи експоненційного закону розподілу відмов”. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/327638639

UDC 612.233+612.176:577.151.6

О.М. Ключко, PhD, доцент
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Електронна експертна інформаційна система ідентифікації хімічних речовин для моніторингу довкілля

Описано оригінальну електронну експертну систему для ідентифікації хімічних речовин. Інформаційна технологія дозволяє розрізняти хімічні речовини, заносити інформацію у пам'ять, візуалізувати її, повідомляти про шкідливу дію. Система має практичну цінність для моніторингу, ідентифікації шкідливих речовин у мирний час, умовах війни, повоєнний період. Описані винайдені нові методи якісного,й кількісного аналізу органічних сполук

Створення електронної експертної системи для ідентифікації хімречовин - потужного інструменту для застосування у різних галузях сучасного життя. Експертні системи є потужним інструментом у практиці сучасного життя, тому розробці нових їх аналогів завжди приділяється велика увага [1–7]. В комп'ютерних науках експертні системи вивчають зазвичай, разом із базами знань, як моделі поведінки експертів із використанням процедур логічного висновку та прийняття рішень у певній галузі знань. Бази знань, отже, розглядаються як сукупність фактів і правил логічного висновку в певній об'єктній області будь-якого типу діяльності. У наших попередніх публікаціях ми вже писали про сучасні комп'ютерні інформаційні системи з експертними підсистемами [5–8], а також про електронні пристрої та системи, які містять детектори, що здатні надавати дані для наступного процесінгу їх експертними системами [7–11]. Окремими пулами нами були опубліковані дані, які були покладені в основу розробки оригінальної експертної системи [11–14]; були розглянуті також математичні засоби й ряд математичних моделей, які були створені на основі даних такого типу [5–18]. Під експертною системою надалі ми будемо розуміти комп'ютерну систему, здатну замінити (або частково замінити) експерта (людину) у розв'язанні певної задачі.

Якщо існування технології експертних систем налічує вже більше 30 років, то експертні системи у галузі екології принаймі років на 15 «молодші» за них [1–8]. Незважаючи на це, розвиток екологічних експертних систем був швидким і сьогодні існує вже близько сотні таких систем. Однак, «класична» концепція експертних систем була розроблена ще раніше, у 1970-1980-х роках [1–5]. Усі ранні системи та більшість сучасних систем базуються на застосуванні комп'ютерної техніки, наразі застосовують й спеціальні робочі станції.

Важливим при створенні експертних систем є джерело отримання вхідних даних для неї. Розроблену та описану в даній статті інформаційну технологію було створено автором на основі оригінальних результатів експериментів, виконаних автором у складі наукових груп протягом ряду років у інституціях Національної Академії Наук України [12–14]. Виконані дослідження

були спрямовані на вивчення ефектів, які спричиняють окремі вуглеводні та іони неорганічних елементів й хімічних сполук на трансмембранні електричні хемокеровані (хемоактивовані) струми (ТЕХ-струми), при реєстрації таких струмів на мембранах нейронів головного мозку та спино-мозкових гангліях щурів. У процесі проведених багаторічних досліджень було отримано великий матеріал, який демонструє те, що при дії різних хімічних речовин на такі біологічні мембрани відбуваються зміни у їх електропровідності, відбувається модифікація трансмембранних електричних струмів у порівнянні з контрольними вимірюваннями [12–14]. Схожі результати (але на інших об'єктах та для інших речовин) були отримані численними авторами у різний час у багатьох дослідницьких лабораторіях світу.

Метою виконаних робіт є створення новітньої експертної системи для автоматичної ідентифікації хімічних речовин за їх дією на нервові клітини біологічних організмів, із можливістю застосування такої системи для моніторингу наявності шкідливих речовин у довкіллі у мирний час, в умовах війни та у повоєнний період.

Методи, застосовані для отримання вхідних даних. Для реєстрації таких струмів було застосовано стандартні та модифіковані автором методи фіксації потенціалу на мембранах електрозбудливих клітин, з реєстрацією трансмембранних струмів, у тому числі у режимі петч-кламп (patch-clamp). Отримані результати заносили у пам'ять комп'ютерів для наступних їх процесінгу, виконання аналітичних робіт та узагальнення.

Зареєстровані закономірності, покладені у основу створеної експертної системи. При виконанні експериментів було зареєстровано ряд закономірностей; наприклад, при дії деяких рядів органічних вуглеводнів відбувалися відповідні закономірні зміни у зареєстрованих електричних трансмембранних струмах та їх окремих характеристиках. Так, при дії окремих токсинів-блокаторів (органічні сполуки, природні токсини) на глутамат- та каїнат-активовані електричні струми було зареєстровано відповідне зменшення амплітуд цих струмів, зміни у кінетичних характеристиках блокування (зменшення амплітуд) та відновлення амплітуд цих струмів тощо [12, 13]. При накопленні у базах даних (БД) пам'яті комп'ютерів достатньої кількості таких даних, можна прослідкувати чітко виражені закономірності, які й описані нижче та покладені у основу правил, за якими створена оригінальна експертна система, здатна розрізняти ряд хімічних речовин. Такими речовинами можуть бути будь-які, що здатні впливати на ТЕХ-струми, у тому числі й забруднювачі довкілля.

Розробка аналітичної експертної системи. Розробка аналітичної експертної системи була виконана, як частина технічної системи моніторингу хімічних забруднювачів у навколишньому середовищі з можливістю розпізнавання різних молекулярних структур. Було розроблено фізичну та програмну моделі такої технічної системи для моніторингу навколишнього середовища з експертною підсистемою [10, 11], на неї та на експертну систему було отримано патенти України на корисну модель [5, 10, 11]. Система була здатна виявляти наявність різних хімічних речовин — забруднювачів, збирати та накопичувати дані про такі забруднювачі з розпізнаванням різних молекулярних структур, передавати цю інформацію в локальні та мережеві бази даних (з

відкритим доступом або з обмеженим доступом), а також показувати відповідну вихідну інформацію на інтерфейсі ПК [5].

Алгоритм роботи системи та його короткий опис. Алгоритм роботи розробленої технічної аналітичної системи з вбудованою найпростішою версією експертної підсистеми було описано у [5]. Отримані результати оброблялися комп'ютерною системою; їх математична обробка проводилась низкою методів, у тому числі методами статистичної обробки тощо. Результати аналізували шляхом порівняння з відповідними значеннями з бази даних, пов'язані з експертною системою (БД знаходяться в пам'яті локальних або віддалених серверів). Під час обробки вхідних електричних сигналів набори характеристик, такі як часи спаду амплітуди електричних струмів після дії хімічних речовин-антагоністів тощо, упорядковували в БД. Таку інформацію також передавали та записували в локальних та Інтернет-базах даних. У випадку, якщо внаслідок порівняння результатів з БД експертної системи можна було визначити структуру та природу речовини, її токсичність (речовина небезпечна для організму, або безпечна, або її дія інша), то на вихідний інтерфейс експертної системи виводиться відповідне повідомлення. При необхідності подається сигнал про небезпеку (звук, спалах, інший сигнал). При поєднанні такої експертної системи зі світовою мережею була створена можливість для передачі даних, поширення даних по мережі з подальшим використанням усіх можливостей і переваг мережевих технологій. В рамках розробленої електронної інформаційної системи виконано проектування інтерфейсів користувача («Електронні автоматизовані робочі місця»). Для реалізації методу використовувалося як програмне забезпечення зі стандартних пакетів, так і спеціально розроблені оригінальні зразки. Детально розроблена експертна система описана у [19], на неї отримано 1 патент України на корисну модель [5].

Нові методи якісного та кількісного аналізу. З використанням описаної експертної системи стало можливим розробити нові методи якісного та кількісного аналізу. Суть цих методів полягає в зареєстрованих закономірностях між структурою хімічних речовин і фізіологічними ефектами, які вони викликають (зміни характеристик трансмембранних електричних струмів). Після отримання записів вихідних трансмембранних електричних струмів під впливом різних хімічних речовин можна було порівняти їх зі стандартними записами в БД, і потім ідентифікувати їх із визначеними хімічними структурами. З достатньою кількістю хороших і повних баз даних експертна система може виконати цю процедуру із задовільним результатом. На винайдені методи якісного та кількісного аналізу було отримано 4 патенти України на корисні моделі.

Висновки. У даній статті описано оригінальну систему для моніторингу довкілля з експертною підсистемою моніторингу речовин, шкідливих для живих об'єктів. Розроблена автором Ключко О.М. оригінальна електронна інформаційна система екологічного моніторингу отримала назву «ЕкоІС» («Екологічна інформаційна система») [5, 10]. Всі результати виконаних робіт захищені патентами [5, 9–11, інші], та описані в науково-технічних публікаціях [5, 6, 9–11]. Під час доповіді буде детально описано розроблену найпростішу версію експертної системи для моніторингу та поглибленого вивчення впливу на

організм різних хімічних речовин (хімічних забруднювачів навколишнього середовища) [5]. Також буде розглянута можливість застосувати встановлений Ключко О.М. принцип ідентифікації хімічних речовин у винайдених методах якісного та кількісного аналізу ряду органічних речовин.

Список літератури

1. *Judith M. Hushon.* Overview of Environmental Expert Systems. *Expert Systems for Environmental Applications.* Chapt.1, P. 1–24. https://doi.org/10.1021/bk-1990-0431.ch001; *ACS Symposium Series*, V. 431. Publ. 05.06.1990 https://pubs.acs. org/doi/abs/10.1021/bk-1990-0431.ch001

2. *Glenn F. Osborne, Simon S. M. Chin, Paul McDonald, Scott Schneider.* Artificial intelligence system for genetic analysis. *Patent US 8693751B2*. Priority date: 1999- 08-27, 2014-04-08 Grant. https://patents. google.com/patent/US8693751

3. *Roland Eils.* Expert system for classification and prediction of genetic diseases *Patent US, JP, CA, WO2002047007A3*. Priority date: 2000-12-07.WOApplication2002-12-12.
https://patents.google.com/patent/WO2002047007A2

4. *Prasad S. Kodukula, Charles R. Stack.* Water treatment monitoring system. *Patent US 6845336B2*. Priority date: 25-06-2002; Grant: 01-18-2005. https://patents.google. com/patent/US6845336

5. Ключко О.М., Білецький А.Я., Навроцький Д.О. Спосіб застосування біотехнічної системи моніторингу з експертною підсистемою та біосенсором. Патент UA 131863 U; G01N33/00, C12Q 1/02, C12N 15/00. Приоритет: 27.04.18, u201804663, Опубл: 11.02.2019, Бюл. 3.

6. Klyuchko O. M. Klyuchko Z. F. Electronic information systems for monitoring of populations and migrations of insects. Biotechnol. acta. 2018, 11 (5), 5–25. https:// doi.org/10.15407/biotech11.05.005

7. Ключко О. М. Медична інформаційна система моніторингу стану здоров'я населення із захистом персональних даних. Медична інформатика та інженерія. – 2020. – 49(1), 17-28.

8. Klyuchko O. M. Information computer technologies for biotechnology: electronic medical information systems. Biotechnol. acta. – 2018. – 11 (3), 5–26. https://doi.org/10.15407/ biotech11.03.005

9. Ключко О. М., Білецький А. Я., Навроцький Д. О. Спосіб застосування біосенсорної тест-системи. – Патент UA 129923 U, G01N33/00, G01N33/50, C12Q 1/02. Приоритет: 22.03.2018, u201802896, Опубл: 26.11.2018, Бюл. 22.

10. Ключко О. М. Спосіб застосування біотехнічної системи моніторингу для обліку біоіндикаторів з біосенсором та підсистемою оптичної реєстрації. Патент UA 129987 U, G01N33/00, C12Q 1/02, C12N 15/00. Приоритет: 27.04.2018, u201804662, Опубл: 26.11.2018, Бюл. 22

11. Ключко О.М. Спосіб проведення моніторингу впливу хімічних речовин на біоорганізми у кількох інтервалах часу. Патент UA 134575 U; МПК G01N33/00, C12N 15/00, A61P 39/00. З.подана: 14.12.2018, u201812443, – Опубл: 27.05.2019, Бюл. 10.

12. Klyuchko O.M. Venom and toxins from Argiope lobata: electrophysiological studies. Studia Biologica. – 2020. – 14(2), 39-56. .

http:s://doi.org/10.30970/sbi.1402.618

13. Klyuchko O.M. Electrophysiological studies of Nephila clavata venom and toxin influence on hippocampal neuronal membranes after Aspergillus oryzae proteases pretreatment. Studia Biologica. – 2020. – 14(3), 29-48.

14. Krishtal O. A., Kiskin N. I., Kljuchko O. M., Tsyndrenko A. Ya. Pharmacological properties of amino acid receptors in isolated hippocampal neurons / In: Receptors and ion channels. – Ed. by Ovchinnikov Y. A., Hucho F. – Berlin-New York: Walter de Gruyter, 1987, 127–137.

15. Онопчук Ю.М., Білошицький П.В., Ключко О.М. Створення математичних моделей за результатами досліджень українських учених на Ельбрусі. Вісник НАУ. – 2008. – 3, 146-155.

16. Aralova N. I., Klyuchko O. M., Mashkin V. I., Mashkina I. V. Mathematic and program models for investigation of reliability of operator professional activity in “Human- Machine” systems. Electr. Contr. Syst. – 2017. – 51(1), 105–113.

17. Ключко О.М., Пашківський А. О., Шеремет Д. Ю. Комп’ютерне моделювання деяких наноелементів для радіотехнічних та телевізійних систем. Електроніка та системи управління. 2012, 3 (33), 102–107.

18. Ключко О.М., Хайрутдінов Р. Р. Моделювання поширення електричних сигналів по нейрону та його наноструктурам. Електроніка та системи управління. 2011, 2 (28), 120–124.

19. Klyuchko O. M. Electronic expert systems for biology and medicine. Biotechnologia Acta. 2019, 12(1), 5–28. https://doi.org/10.15407/biotech12.01.005

УДК 004.8:621.391

М.В. Головань[1], В.О. Гнатюк[1,2]
([1]Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна
[2]Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації, Україна)

Методи шифрування на основі ШІ для стільникових мереж 5G

Дослідження та аналіз методів шифрування на основі штучного інтелекту для стільникових мереж 5G є надзвичайно важливою науковою задачею, що має практичне значення. У роботі розглянуто комплекс методів шифрування на основі ШІ для стільникових мереж 5G.

Актуальність тематики полягає в необхідності створення гнучких, масштабованих та стійких до майбутніх загроз рішень для безпеки в мережах 5G. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) в екосистему шифрування не тільки забезпечує захист, а й відкриває нові можливості для оптимізації ресурсів, адаптивності та стійкості до атак (рис. 1).



Рис. 1. 5G та інтеграція ШІ

При аналізі існуючих досліджень [1-5] визначено основні аспекти щодо методів шифрування на основі ШІ для стільникових мереж 5G: застосування машинного навчання для динамічного генерування ключів шифрування, дослідження нейронних мереж для аутентифікації, динамічні механізми захисту за допомогою ШІ, блокчейн у поєднанні з ШІ для шифрування, використання алгоритмів глибокого навчання для управління мережею, застосування стійких до квантових обчислень алгоритми шифрування, огляд стандартів шифрування

для захисту мереж 5G від майбутніх загроз, інтеграція IoT із безпековими алгоритмами ШІ для 5G, застосування алгоритмів кластеризації для виявлення аномалій, поєднання ШІ та блокчейн для поліпшення безпеки, використання підкріплювального навчання для оптимізації криптографічних протоколів, дослідження новітніх методів постквантового шифрування, аналіз розподілу ресурсів з урахуванням вимог безпеки, проєктування віртуалізованих безпекових архітектур з ШІ, оптимізація енергоспоживання у криптографічних протоколах для IoT у мережах 5G.

Підходи описані у джерелах [1-5] включають огляди, практичні реалізації та оцінку методів шифрування, які базуються на штучному інтелекті та враховують унікальні виклики мереж 5G.

Досліджуючи існуючі методи шифрування, які забезпечують високий рівень безпеки в умовах сучасних загроз для стільникових мереж 5G можливо виділити наступні.

Метод адаптивного шифрування передбачає використання машинного навчання для динамічного налаштування параметрів шифрування залежно від навантаження мережі, типу трафіку та загроз; математично представлено через систему, яка враховує метрики QoS, такі як затримка та пропускна здатність, для вибору відповідного криптографічного алгоритму; програмно реалізовано з використанням AES у різних режимах для оптимізації захисту.

Контекстуальне шифрування передбачає інтеграція особливостей даних (типу, чутливості) для автоматизованого вибору алгоритмів шифрування; математична модель включає класифікацію даних за допомогою функції оцінки ризику; програмна реалізація використовує AES та ChaCha20 залежно від контексту, що забезпечує ефективність і захист.

Методи з виявленням атак та адаптацією передбачає механізм виявлення аномалій на основі Isolation Forest, що дозволяє в реальному часі реагувати на загрози; алгоритм адаптує рівень шифрування та посилює безпеку в разі виявлення аномалій; програмно реалізовано з динамічним моніторингом мережевого трафіку.

Гібридні підходи з квантовою криптографією передбачають використання квантового розподілу ключів (QKD) у поєднанні з класичними алгоритмами, такими як AES; математично представлено через комбінацію квантової фізики для генерації ключів та традиційних методів для шифрування даних; програмна реалізація передбачає моделювання QKD і використання симетричного шифрування для захисту трафіку.

Запропоновані методи демонструють ефективність в умовах різноманітних загроз, включаючи атаки квантових комп'ютерів, DDoS та перехоплення даних. Вони забезпечують: адаптивність до змін у мережевому середовищі, інтеграцію ШІ для оптимізації процесів шифрування та стійкість до сучасних і майбутніх загроз. Запропонований комплекс методів є універсальною платформою для подальшого розвитку технологій інформаційної безпеки у 5G і майбутніх 6G-мережах.

Список літератури

1. Sharma, S., & Kumar, P. "AI-Driven Encryption for Secure 5G Communications." *Journal of Mobile Networks and Applications, 2023.*

2. Wang, J., Li, H., & Zhao, K. "Deep Learning-Based Security Protocols in 5G Networks." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2022.*

3. Zaman, M., Ahmed, N., & Rahman, S. "Moving Target Defense Using AI in 5G Networks." *Security and Communication Networks, 2023.*

4. Zhang, T., & Lee, J. "Block5GIntell: Blockchain for AI-Enabled 5G Networks." *Future Generation Computer Systems, 2023.*

5. Kim, S., Park, Y., & Choi, M. "AI-Optimized Secure Communication in IoT Over 5G." *Sensors and Actuators Journal, 2022.*

УДК 621.391:621.395.7

І.О. Горбачов[1], В.О. Гнатюк[1,2]
([1]Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна
[2]Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації, Україна)

Моделі підвищення QoS в системах VoIP

Дослідження та аналіз моделей підвищення QoS в системах VoIP є надзвичайно важливою науковою задачею, що має практичне значення. У роботі розглянуто існуючі моделі підвищення QoS в системах VoIP.

У сучасних умовах Інтернет-протокол (IP) відіграє ключову роль у передачі даних, зокрема у сфері голосових комунікацій. IP-телефонія поступово замінює традиційні телефонні системи завдяки своїй гнучкості, економічній доцільності та можливості інтеграції з іншими цифровими сервісами. Зростання кількості інтернет-користувачів, активний розвиток хмарних технологій та впровадження VoIP у бізнес-процеси підвищують потребу в надійних і високоякісних системах IP-телефонії.

Водночас ключовими викликами для VoIP залишаються затримки передачі голосу, втрати пакетів, варіації джиттера та вразливість до перевантажень мережі. Нестабільна якість обслуговування може негативно впливати на користувацький досвід, особливо у корпоративному секторі та контакт-центрах, де IP-телефонія є критично важливим елементом операційної діяльності. В умовах зростаючих вимог до якості голосового зв'язку та розширення спектра сервісів, які залежать від нього (відеоконференції, мультимедійні виклики тощо), питання підвищення рівня QoS набуває ще більшої актуальності.

Додатковим фактором, що посилює актуальність дослідження, є стрімкий розвиток новітніх технологій, таких як 5G, штучний інтелект, машинне навчання та кібербезпека. Вони відкривають нові можливості для підвищення ефективності та продуктивності IP-телефонії, зокрема через впровадження інноваційних методів управління трафіком, удосконалення алгоритмів маршрутизації та підвищення відмовостійкості мережі.

Таким чином, дослідження та розробка нових моделей і підходів до поліпшення якості обслуговування в системах IP-телефонії є важливим напрямком, спрямованим на забезпечення стабільного та якісного зв'язку для користувачів у всьому світі.

Проблема підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії активно досліджується впродовж останніх десятиліть, зокрема через постійне зростання вимог до надійності, швидкодії та безпеки цих систем. Науковці та фахівці розглядають різні підходи до вирішення цієї проблеми, які можна умовно розділити на декілька основних напрямів [1-10].

Одним із ключових напрямів досліджень є оптимізація керування трафіком і ресурсами в IP-мережах. Дослідники розробляють різноманітні методи балансування навантаження та розподілу мережевих ресурсів, що сприяє

зменшенню затримок у передачі даних і втрат пакетів, істотно покращуючи якість обслуговування (QoS).

Ще одним важливим аспектом є вдосконалення технологій стиснення та кодування голосових даних. Сучасні алгоритми стиснення дозволяють суттєво зменшити обсяг переданої інформації без помітної втрати якості звуку, що є критично важливим для мереж із обмеженою пропускною здатністю.

Питання кібербезпеки в IP-телефонії також привертає значну увагу. Вразливість IP-мереж до різних видів атак стимулює дослідників до створення ефективних методів захисту даних та шифрування голосового трафіку, що забезпечує збереження конфіденційності та цілісності переданої інформації.

Окремо слід відзначити прогрес у застосуванні інтелектуальних систем управління для підвищення якості обслуговування. Використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє прогнозувати навантаження на мережу та динамічно адаптувати параметри роботи IP-телефонії, що значно підвищує ефективність використання мережевих ресурсів.

Здійснивши ґрунтовний аналіз (рис. 1) можливо сформувати перелік моделей підвищення якості обслуговування та їх вплив на QoS в IP-телефонії.

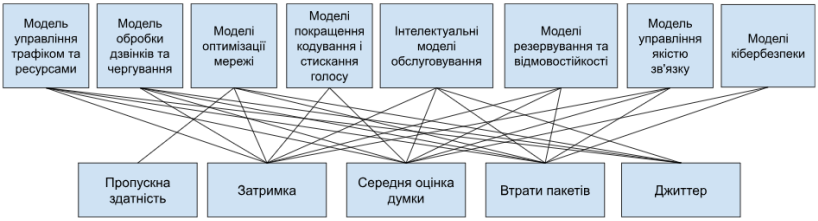


Рис. 1. Моделі підвищення якості обслуговування та їх вплив на QoS в IP-телефонії

У даній роботі проведено аналіз існуючих моделей підвищення якості обслуговування в системах IP-телефонії та основних показників QoS для таких систем. Окреслено підходи до удосконалення цих моделей для підвищення ефективності обслуговування. Також розглянуто можливості інтеграції технологій SDN, NFV, QoE, IoT та хмарних технологій, які можуть значно поліпшити якість обслуговування в IP-телефонії. Запропоновано концепцію моделі гібридної оптимізації, що поєднує штучний інтелект і машинне навчання для автоматичного налаштування та покращення якості зв'язку на основі реальних даних про навантаження і якість трафіку.

Список літератури

1. Bennani, S., Benaini, R. (2017). "Traffic Management for VoIP Quality of Service in IP Networks." *Journal of Computer Networks and Communications*, 2017, 1-8.

2. Ahmed, M. & Nanda, P. (2016). "Quality of Service (QoS) in IP Telephony Networks." *International Journal of Electronics and Communication Technology*, 7(2), 45-50.

3. Erlang, A. K. (1917). "Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges." *Electrotechnical Journal*.

4. Gans, N., Koole, G., & Mandelbaum, A. (2003). "Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects." *Manufacturing & Service Operations Management*, 5(2), 79-141.

5. Grasa, E., Fernandez, C., Tarapow, R. & Loos, P. (2019). "VoIP Network Performance Optimization Based on Dynamic Routing." *Journal of Network and Computer Applications*, 137, 98-110.

6. Gao, L., Morris, R., Rejaie, R., & Jin, S. (2001). "Efficient Routing for VoIP Applications." *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 31(2), 30-39.

7. Pereira, F., & Correia, A. (2018). "Efficient Voice Codecs for VoIP Services: An Overview." *Journal of Signal Processing Systems*, 90(1), 23-36.

8. Jøsang, T. & Lasse, S. (2015). "Analysis of Opus Codec for VoIP Systems." *Proceedings of the 14th International Conference on Telecommunications and Informatics*, 235-241.

9. Korolov, R., Panchenko, A. & Shapovalov, E. (2022). "Machine Learning for Traffic Prediction and Quality Assurance in IP Telephony Systems." *Journal of AI & Telecommunications*, 5(3), 101-115.

10. Qazi, Z., & Lee, S. (2021). "AI-Powered Optimization in VoIP Networks: Challenges and Opportunities." *IEEE Transactions on Communications*, 69(11), 7649-7662.

УДК 656.71.06:656.7.08 (043.2)

Р.Ю. Сайко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз особливостей даних для оцінки ефективності систем виявлення вторгнень на основі машинного навчання у телекомунікаційних мережах

У роботі проведено аналіз наборів даних для оцінки ефективності систем виявлення вторгнень на основі машинного навчання з використанням п'ятьох критеріїв, а саме реалістичності, різноманітності, збалансованості, повноти та актуальності. Також обговорені основні виклики та вимоги до даних для підвищення ефективності вирішення зазначеної у роботі задачі.

Швидке розширення телекомунікаційних мереж, особливо з розгортанням технологій 5G, значно збільшило кібер-ризики. Впровадження систем виявлення вторгнень (СВВ) на основі машинного навчання (МН) стає критично важливим рішенням для захисту цих мереж. Однак ефективність СВВ на основі МН значною мірою залежить від якості та різноманітності наборів даних, які використовуються для їх навчання та оцінки. Вибір відповідних наборів даних забезпечує розробку надійних та ефективних алгоритмічних моделей, здатних виявляти та запобігати справжнім атакам, мінімізуючи помилкові спрацьовування.

Оптимальний набір даних для оцінки ефективності систем виявлення вторгнень на основі машинного навчання має відповідати таким критеріям:

– реалістичність – набір даних має відображати моделі реального телекомунікаційного трафіку, включаючи звичайні сценарії та сценарії атак;

– різноманітність – набір даних має включати різні типи атак (наприклад, DoS, DDoS, зловмисне програмне забезпечення та інші);

– збалансованість – набір даних має гарантувати, що моделі МН не віддаватимуть перевагу класам більшості;

– повнота – набір даних має містити широкий набір детальних ознак, релевантних для вивчення мережевої активності;

– актуальність – набір даних повинен відображати найновіші методи атак.

На основі цих критеріїв було обрано такі набори даних як оптимальні для оцінки ефективності СВВ на основі МН в телекомунікаційних мережах:

1. CIC-IDS2017 та CSE-CIC-IDS2018. Ці набори даних, розроблені Канадським інститутом кібербезпеки, імітують реалістичний мережевий трафік як із доброякісними, так і зловмисними діями. CIC-IDS2017 включає сучасні атаки, такі як брутфорс, ботнети, DoS, DDoS та ін'єкції SQL. CSE-CIC-IDS2018 розширює ці можливості за допомогою нових шаблонів атак, що робить його цінним ресурсом для навчання моделей МН. Ці набори даних особливо актуальні для оцінки ефективності СВВ у великих телекомунікаційних мережах через їх різноманітність у сценаріях атак та широкий набір детальних ознак [1].

2. Набір даних TON_IoT фокусується на загрозах безпеці, націлених на мережі Інтернету речей (IoT), інтегровані в телекомунікаційну інфраструктуру.

Оскільки IoT все більше поширюється в телекомунікаційних мережах, цей набір даних забезпечує важливий орієнтир для оцінки ефективності СВВ проти атак, пов'язаних із IoT, включаючи програмне забезпечення-вимагач, ескалацію привілеїв і викрадання даних. Набір даних містить телеметричні дані з пристроїв IoT, що робить його придатним як для моделей МН на основі аномалій, так і на основі сигнатур [2].

3. Набір даних AWID (Aegean Wi-Fi Intrusion Dataset) призначений для виявлення вторгнень у бездротову мережу, важливого компонента безпеки телекомунікаційних мереж. Цей набір даних особливо корисний для оцінки ефективності СВВ у телекомунікаційних мережах на основі Wi-Fi, де поширені такі атаки, як деавтентифікація, атаки типу «людина посередині» (MitM) і атаки типу «злий близнюк». [3].

4. Набір даних Kitsune створено для виявлення вторгнень у програмно-конфігурованих мережах (ПКМ) та середовищах IoT. Він включає реальні сценарії атак, такі як розвідувальні атаки та маніпуляції пакетами, що робить його дуже цінним для тестування СВВ на основі МН у динамічних телекомунікаційних мережах. Зосередженість набору даних на виявленні прихованих атак з незначним цифровим слідом, узгоджується з потребою в легких і ефективних СВВ у середовищах з обмеженими ресурсами [4].

5. Набір даних InSDN спеціально розроблений для оцінки ефективності СВВ у програмно-конфігурованих телекомунікаційних мережах. Зі збільшенням впровадження ПКМ у сучасні телекомунікаційні мережі, СВВ мають бути здатними виявляти специфічні для ПКМ загрози, такі як модифікація правил потоку та викрадення контролера. Набір даних InSDN надає розмічені дані трафіку, що дозволяє моделям МН ефективно розрізняти валідні та зловмисні моделі трафіку у програмно-конфігурованих мережах [5].

6. Набір даних UNSW-NB15 створений Австралійським центром кібербезпеки та містить реальний мережевий трафік із дев'ятьма класами атак, зокрема експлойти, шкідливе програмне забезпечення, бекдори та розвідувальні атаки. UNSW-NB15 є корисним для аналізу трафіку великих телекомунікаційних мереж і створення СВВ, здатних виявляти складні загрози [6].

Хоча обговорені вище набори даних є досить інформативними для оцінки ефективності СВВ на основі МН, все ж таки залишаються деякі виклики:

– дисбаланс даних – багато наборів даних містять значно більше безпечного трафіку, ніж зразків атак, що призводить до упередженості в моделях МН;

– актуальність даних – у міру розвитку кіберзагроз, існуючі набори даних можуть не містити найновіші методології атак;

– складність ознак – деякі набори даних містять багатовимірні набори ознак, які вимагають ретельної попередньої обробки;

– обмеженість даних в режимі реального часу – багато наборів даних збираються в контрольованих середовищах і можуть не повністю відображати умови телекомунікаційної мережі у реальному часі.

Для підвищення ефективності СВВ на основі МН, формування майбутніх наборів даних має включати:

– безперервний збір даних у телекомунікаційних мережах у режимі реального часу для відображення нових загроз;

– федеративний збір та обробку телекомунікаційними провайдерами із збереженням конфіденційності даних;

– використання змагальних атак для тестування стійкості СВВ проти методів ухилення;

– оцінку ефективності СВВ у розподілених середовищах із затримкою, що є вирішальним для реальних додатків, де периферійні обчислення стають все більш поширеними.

Висновок

Оцінка ефективності СВВ на основі МН у телекомунікаційних мережах вимагає високоякісних наборів даних, які точно відображають реальні умови мережі. CIC-IDS2017, TON_IoT, AWID, Kitsune, InSDN та UNSW-NB15 є одними з найбільш оптимальних наборів даних для оцінки ефективності СВВ у телекомунікаційних мережах. Однак такі виклики, як дисбаланс даних, актуальність даних, складність ознак та обмеженість даних в режимі реального часу підкреслюють необхідність постійного вдосконалення наборів даних. Майбутні дослідження мають бути зосереджені на розробці більш реалістичних, адаптивних і конфіденційних наборів даних, щоб підвищити ефективність СВВ на основі МН у телекомунікаційних мережах.

Список літератури

1. Nafees, S., Pandey, A. K., Verma, S. B., Pandey, B. K., Verma, R., Intelligence Framework to Identify Malicious Activities for Safety. Taylor & Francis. 1st Edition, 2024.

2. Karamchandani, A., et al., Design of an AI-driven Network Digital Twin for advanced 5G-6G network management, NOMS 2024-2024 IEEE Network Operations and Management Symposium, Seoul, Korea, Republic of, 2024, pp. 1-7, doi: 10.1109/NOMS59830.2024.10575106.

3. Sharma, A., Babbar, H., Guarding Against IoT Threats: An Analysis of Intrusion Detection with the Kitsune Attack Dataset, 2024 4th International Conference on Technological Advancements in Computational Sciences (ICTACS), Tashkent, Uzbekistan, 2024, pp. 637-641, doi: 10.1109/ICTACS62700.2024.10840935.

4. Alarcón García-Saavedra, A., Evaluation of ML Models for Network Attack Detection in IoMT Environments. UPC, 2024. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://upcommons.upc.edu/handle/2117/423206.

5. Di Gennaro, F., Cucchiarelli, A., Morbidoni, C., Spalazzi, L., Feature selection in ML-based SDN intrusion detection system, 2024 11th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud), Vienna, Austria, 2024, pp. 152-159, doi: 10.1109/FiCloud62933.2024.00031.

6. Vibhute, A. D., et al., Network anomaly detection and performance evaluation of Convolutional Neural Networks on UNSW-NB15 dataset, Procedia Computer Science, 2024, Volume 235, pp. 2227–2236, doi: 10.1016/j.procs.2024.04.211.

УДК 621.39:004.8

А.Ю. Чермянін
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз методів підвищення енергоефективності в мережах 5G за допомогою технологій машинного навчання

У статті представлено дослідження алгоритмів керування живленням для покращення енергоефективності в мережах 5G. Основну увагу приділено методам керування режимами сну базових станцій з використанням технологій машинного навчання.

Зростання мобільного трафіку даних, який прогнозується в найближчі роки, безпосередньо впливає на збільшення енергоспоживання мобільних мереж. Очікуваний вибуховий ріст обсягу переданих даних – з 21 ГБ до 56 ГБ на одного користувача смартфона в період з 2023 по 2029 рік, збільшення кількості абонентів до 5,3 мільярда а 85% населення миру будуть мати доступ к покриттю 5G до кінця 2029 року [1] – вимагатиме суттєвого розширення мережевої інфраструктури, особливо це стосується розгортання мереж 5G, які хоча й мають кращі показники енергоефективності на одиницю переданих даних у порівнянні з попередніми поколіннями, проте через значне збільшення кількості базових станцій (BS) і необхідність підтримки високої пропускної здатності, загальний рівень споживання енергії все одно зростає. Це може привести до енергетичної кризи з серйозними економічними та екологічними проблемами. Також слід зазначити що витрати енергії значно здорожчують експлуатацію мережі, та зменшують час можливої роботи BS від батарей у разі вимкнення живлення. Тому енергозбереження буде однією з головних проблем майбутніх стільникових мереж.

У багатьох дослідженнях розглядаються методи для підвищення енергоефективності в мережах 5G таки, як оптимізація управління радіоресурсами, використання відновлюваних джерел енергії, покращення рівня компонентів, але в цієї статті ми розглянемо один з найефективніших підходів до енергозбереження – це методи керування режимами сну (SM) з використанням технологій машинного навчання (ML) та штучного інтелекту (ШІ) для динамічного управління BS.

У статті [2] авторами запропоновано використання навчання переносу (transfer learning, TL) та методи глибокого навчання з підкріпленням (deep reinforcement learning, DRL) для оптимізації енергоспоживання в когнітивних радіомережах 5G. Спочатку модель TL проходить попереднє навчання на великому наборі даних зі схожими характеристиками (наприклад, на даних з іншої мережі), де вона навчається розпізнавати закономірності у використанні ресурсів, зміні топології та енергоспоживанні. Після цього отримані знання (вагові коефіцієнти, особливості роботи мережі) переносяться на новий сценарій із мінімальним донавчанням, що дозволяє уникнути збору великої кількості нових даних і прискорює адаптацію до змін у мережі. Використовуючи перенесене знання, модель приймає оптимальні рішення щодо розподілу ресурсів для мінімізації

енергоспоживання при збереженні необхідного рівня якості обслуговування (QoS). Головна перевага цього підходу полягає у значному скороченні часу та обчислювальних ресурсів, необхідних для налаштування алгоритмів у нових мережевих умовах. На рисунку 1 представлений типовий алгоритм TL, який використовує спільні риси між різними навчальними завданнями (А, Б, В) щоб поділитися статистичною силою та передавати знання між завданнями. Алгоритм дозволяє створювати представлення, які відображають приховані фактори, певна частина яких може бути релевантною для кожного конкретного завдання. [3]

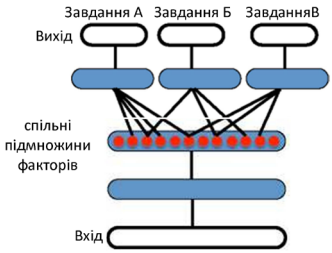


Рис. 1 Ілюстрація алгоритму Transfer learning

DRL використовується для динамічного керування режимами сну в мережах 5G. Основна мета цього підходу – зменшення енергоспоживання шляхом адаптивного переходу вузлів (наприклад, базових станцій або ретрансляторів) між активним станом і режимом сну без погіршення якості обслуговування. Для цього автори використовують таки алгоритми: Deep Q-Network (DQN) для моделювання та прогнозування оптимальних дій агента на основі історичних даних про стан мережі та Actor-Critic (A3C/PPO), що комбінує стратегію оцінки поточного стану та прогнозування найкращих дій для більшої стабільності навчання за допомогою алгоритму.

В результаті, використання DRL для керування режимами сну в 5G мережах дозволило зменшити енергоспоживання на 20-30% у порівнянні з традиційними методами, зберігаючи при цьому стабільний рівень якості QoS. Незважаючи на відключення частини вузлів, продуктивність мережі залишалася незмінною завдяки ефективному балансуванню навантаження. Крім того, DRL-агент демонструє високу адаптивність до змін трафіку в реальному часі, що дозволяє мережі динамічно реагувати на коливання навантаження та оптимально використовувати доступні ресурси.

Але виявлені деякі проблеми, таки як висока обчислювальна складність, оскільки глибокі нейронні мережі потребують значних ресурсів для навчання та роботи в реальному часі, що ускладнює їх розгортання на пристроях з обмеженим енергоспоживанням, таких як IoT-термінали. Крім того, алгоритми глибокого навчання часто погано узагальнюють знання на нові, незнайомі сценарії, що може вимагати частого донавчання при зміні характеристик трафіку або топології мережі. Додатково, ефективне навчання моделей вимагає великої кількості якісних даних, що складно отримати через динамічність та різноманітність реа-

льного мережевого середовища. Нарешті, глибокі нейромережі можуть бути вразливими до атак та маніпуляцій з боку зловмисників, що ставить під загрозу безпеку мережі.

Отже, попри значний потенціал у керуванні ресурсами, алгоритми глибокого навчання потребують подальшої оптимізації для зниження обчислювальної складності, покращення адаптивності, зменшення затримок і підвищення стійкості до атак.

У статті [4] автори пропонують алгоритм навчання з підкріпленням, який адаптивно регулює рівень активності малих сот залежно від затримки обслуговування, міжканальної інтерференції, буферного стану та очікуваної пропускної здатності. Представлена архітектура гетерогенної мережі (HetNet) (див рис. 1), де макробазова станція (MBS) покриває кластер дрібних сот. Тоді як MBS завжди активна для забезпечення покриття, малі соти можуть переключатися на різні рівні енергозбереження, щоб пом'якшити погіршення QoS, максимізуючи енергозбереження. Щоб прийняти рішення, який обрати режим, використовується алгоритм машинного навчання з підкріпленням, який керує діяльністю малих сот в залежності від рівня завад, очікуваної пропускної здатності та розміру буфера. На відміну від попередніх робіт, увага приділяється багаторівневій моделі SM.

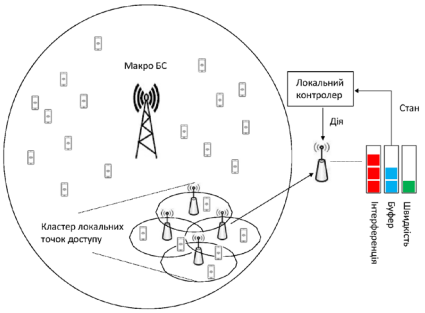


Рис. 1 Архітектура HetNet з макрокоміркою та кластером малих комірок, кожна з яких має розподілений локальний контролер

На відміну від попередніх досліджень, тут розглядається більш реалістичний сценарій 3GPP, де кластер SBS взаємодіє з макросотою (MBS), а міжсотна інтерференція враховується у процесі прийняття рішень. Крім того, на відміну від попередніх робіт, у цьому дослідженні впроваджується механізм хендовера для перенаправлення трафіку користувачів на MBS у разі вимкнення SBS, що дозволяє оцінити вплив такого перенесення на загальну енергоефективність мережі.

Запропонований алгоритм пройшов всебічну перевірку на основі численних імітаційних експериментів у різних сценаріях використання та параметрах мережі. Були порівняні різні політики енергозбереження, їх балансування між енергоефективністю (EE) та якістю обслуговування (QoS).

Наприклад автори дослідили зміну ефективності алгоритму в процесі навчання, зокрема, як змінюється значення Q-таблиці та поведінка малих сот (SBS) залежно від вагового коефіцієнта w. Результати показують, що значення Q-таблиці стабілізується після приблизно 100 ітерацій, що підтверджує швидку збіжність алгоритму. При низькому значенні w, коли пріоритет надається енергозбереженню, SBS перебувають у режимах сну більше 90% часу. Водночас при високому значенні w, коли головним є забезпечення якості обслуговування, SBS активні близько 50% часу, що дозволяє мінімізувати втрати пакетів.

Автори дослідили, як змінюється частота вибору режиму сну залежно від навантаження на мережу та мінімальних вимог до швидкості передачі даних. При низьких вимогах (0.5–1 Мбіт/с) SBS можуть тривалий час залишатися в глибоких режимах сну (SM2, SM3), оскільки потреба в підтримці активного з'єднання мінімальна. Водночас при високих вимогах (1.5–2 Мбіт/с) SBS рідко переходять у глибокий сон, оскільки необхідно підтримувати стабільну якість обслуговування.

Дослідження демонструють, що середня затримка передачі даних значно залежить від використання алгоритму адаптивного управління сном. Без алгоритму, коли всі SBS залишаються активними, затримка становить приблизно 6–7 мс. При використанні алгоритму показники змінюються залежно від вагового коефіцієнта w: при малих значеннях w, коли пріоритет надається максимальному енергозбереженню, затримка зростає до понад 40 мс через тривалий час очікування активації SBS. Водночас при великих значеннях w, що забезпечують оптимальний баланс між якістю обслуговування та енергоспоживанням, затримка залишається в межах 10–15 мс, що є прийнятним рівнем для 5G.

Аналіз енергоспоживання показав, що алгоритм адаптивного управління режимами сну дозволяє суттєво зменшити витрати енергії залежно від вибраного балансу між енергозбереженням та якістю обслуговування. При низькому значенні w енергоспоживання SBS зменшується на 50–70%, однак це супроводжується зростанням втрат даних. У разі високого w енергоспоживання залишається низьким, але при цьому мінімізуються втрати пакетів. Загалом, у порівнянні з традиційним підходом, мережа споживає на 30–40% менше енергії без значного погіршення QoS.

Автори дослідили, як зміна активності SBS впливає на користувачів і загальну ефективність мережі. Якщо користувачі мають можливість переключатися на макросоту (handover), втрати пакетів зменшуються до 0%, а середня затримка передачі даних скорочується на 30–40%, оскільки MBS завжди активна. Однак це призводить до збільшення загального енергоспоживання мережі на 10–15% через додаткове навантаження на MBS. Якщо ж користувачі не можуть переходити на макросоту, втрати пакетів можуть досягати 80% при низькому значенні w, проте загальна енергоефективність мережі зростає у 5 разів. Таким чином, алгоритм дозволяє гнучко балансувати між мінімізацією втрат пакетів і оптимізацією енергоспоживання.

У роботі [5] досліджується підвищення енергоефективності в 5G мережах за через керування режимами сну BS. Автори використовують розподілений алгоритм Q-learning, що базується на методах навчання з підкріпленням та дозволяє вузлам навчатися оптимальних стратегій енергоспоживання без попе-

реднього знання моделі середовища. Агент враховує затримки, втрати пакетів і рівень завантаженості, щоб уникати негативних наслідків переходу в режим сну. Рішення про перехід у режим сну приймається динамічно з урахуванням локальних умов, що дозволяє мінімізувати негативний вплив на продуктивність.

Результати моделювання показали, що у порівнянні з традиційними підходами, алгоритм адаптивно, знижує енергоспоживання на 50–90% залежно від допустимого рівня затримки. Найбільша економія (≈90%) досягається в сценаріях із низькими вимогами до QoS, тоді як у критичних випадках алгоритм зменшує енергозбереження, підтримуючи мінімальну затримку 5 мс

Запропонований підхід дозволяє гнучко керувати режимами сну, адаптуючи їх до навантаження. Використання комбінації різних рівнів енергозбереження є ефективнішим, ніж застосування лише одного, що забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю та економією енергії. Адаптивне керування режимами сну за допомогою машинного навчання є перспективним рішенням для енергоефективних бездротових мереж**.**

Висновок

Проаналізувавши запропоновані підходи можна зробити висновок, що подальший розвиток енергоефективних рішень для 5G-мереж потребує інтеграції сучасних методів штучного інтелекту з удосконаленими механізмами управління ресурсами, що дозволить створити гнучкі, безпечні та стійкі до змін системи зв'язку нового покоління.

Список літератури

1. Ericsson Mobility Report: Resilient 5G uptake - global mobile data traffic set to triple in six years. https://www.ericsson.com/en/press-releases/2023/11/ericsson-mobility-report-resilient-5g-uptake---global-mobile-data-traffic-set-to-triple-in-six-years?utm_source=chatgpt.com
2. Q. Zhao and D. Grace. Transfer learning for QoS aware topology management in energy efficient 5G cognitive radio networks Department of Electronics, University of York, York, United Kingdom, Nov 2014.
3. Y. Bengio, A. Courville, P. Vincent, Representation Learning: A Review and New Perspectives, Department of computer science and operations research, U. Montreal, Canadian Institute for Advanced Research (CIFAR) https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.5538
4. Ali El Amine, Jean-Paul Chaiban, Hussein Al Haj Hassan, Paolo Dini, Loutfi Nuaymi, et al.. Energy Optimization with Multi-Sleeping Control in 5G Heterogeneous Networks using Reinforcement Learning. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2022, 19 (4), pp.4310 - 4322. 10.1109/TNSM.2022.3157650 . hal-03614844
5. Ali El Amine, Mauricio Iturralde, Hussein Al Haj Hassan, Loutfi Nuaymi. A Distributed Q-Learning Approach for Adaptive Sleep Modes in 5G Networks. WCNC 2019 : IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Apr 2019, Marrakech, Morocco. 10.1109/WCNC.2019.8885818. hal-01988226

УДК 004.056.55:621.391 (043.2)

Г.Ф. Конахович д.т.н., проф., О.О. Матвійчук-Юдін
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Захист інформаційних ресурсів на платформі Cisco з використанням штучного інтелекту

У роботі розглянуто використання технологій штучного інтелекту (ШІ) в платформі Cisco SecureX для аналізу загроз та автоматизованого захисту телекомунікаційних мереж. Проаналізовано ключові функції Cisco SecureX, такі як інтеграція даних із різних джерел, автоматизоване виявлення загроз, розширений аналіз безпекових інцидентів та їхнє миттєве реагування. Описано алгоритми ШІ, які використовуються для кореляції подій, прогнозування атак та адаптивного реагування на кіберзагрози. Особливу увагу приділено ефективності цих технологій у мінімізації людського фактора та підвищенні рівня безпеки інформаційних систем.

Сучасні телекомунікаційні мережі стають дедалі більш уразливими до складних кіберзагроз, які постійно еволюціонують. Традиційні методи захисту вже не можуть ефективно виявляти та запобігати атакам у реальному часі. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні передових технологій штучного інтелекту (ШІ), які здатні автоматизувати процеси виявлення загроз, аналізу безпекових інцидентів та реагування на атаки. Однією з таких інноваційних платформ є Cisco SecureX, яка інтегрує в собі ШІ-алгоритми для аналізу телеметрії мережі та розширеного захисту інформаційних ресурсів.

Мета дослідження полягає в аналізі принципів використання технологій штучного інтелекту в Cisco SecureX для забезпечення автоматизованого виявлення та нейтралізації кіберзагроз. Також розглянути методи машинного навчання, які застосовуються у платформі, їхню ефективність у кореляції безпекових подій та вплив на покращення загальної кібербезпеки організацій.

Впровадження ШІ в Cisco SecureX підвищує ефективність боротьби з кіберзагрозами завдяки: автоматизації аналізу загроз, розширеній кореляції подій, прогнозуванню атак та мінімізації людського фактора. Ефективність заключається у системному об'єднанні телеметричних данихі з різних джерел [1, 2] і за допомогою ШІ виявляє підозрілі патерни в реальному часі. Також система допомагає співставляти різні інциденти та визначати взаємозв'язки між ними, що прискорює процес реагування [3, 4].

Cisco SecureX — це хмарна платформа кібербезпеки, яка забезпечує інтеграцію, автоматизацію та розширену аналітику для ефективного виявлення, аналізу та реагування на загрози. Основними функціями SecureX є: інтеграція даних із різних джерел таких як мережеві пристрої (брандмауери, маршрутизатори, IPS/IDS-системи), антивірусні та EDR-рішення (Cisco AMP, Cisco Umbrella, сторонні продукти), Хмарні сервіси (AWS, Microsoft Azure, Google Cloud), SIEM- та SOAR-системи (Splunk, IBM QRadar, Microsoft

Sentinel) тощоі, Також здійснює автоматизоване виявлення загроз, широкий аналіз безпекових інцидентів та миттєве реагування на загрози.

Під час застосування платформи Cisco SecureX застосовуються різні алгоритми ШІ для кореляції подій, прогнозування атак і адаптивного реагування на кіберзагрози. Розглянемо в Табл.1 основні категорії алгоритмів, які використовуються та допомагають виявляти зв'язки між різними інцидентами безпеки, що надходять із різних джерел, таких як мережеві журнали, кінцеві точки, SIEM-системи та хмарні сервіси.

Таблиця 1. Алгоритми ШІ Cisco SecureX для кореляції подій, прогнозування атак і адаптивного реагування на кіберзагрози.

Алгоритми для кореляції подій	Алгоритми кластеризації	DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)	використовується для групування подій, що мають схожі характеристики, але можуть бути розподілені нерівномірно
		K-Means	допомагає визначити групи аномальних подій, об'єднуючи подібні загрози на основі їхніх характеристик
	Глибокі нейронні мережі	Deep Neural Networks, DNN	Використовуються для аналізу лог-файлів та ідентифікації підозрілих шаблонів поведінки
			Допомагають автоматично виділяти важливі особливості з великих обсягів даних
Алгоритми прогнозування атак	Рекурентні нейронні мережі	Recurrent Neural Networks, RNN, LSTM (Long Short-Term Memory	Використовуються для прогнозування кібератак на основі часових рядів даних
			Допомагають виявляти відхилення від нормальної поведінки системи
	Байєсівські мережі	Bayesian Networks	Застосовуються для оцінки ймовірності майбутніх атак на основі накопичених даних про попередні загрози
			Використовуються для аналізу ризиків і побудови сценаріїв розвитку атак

	Автокодувальники	Autoencoders	Використовуються для виявлення аномалій, навчаючись на нормальних зразках і визначаючи відхилення, які можуть вказувати на можливу атаку
Алгоритми адаптивного реагування на кіберзагрози	Розподілені підкріплювальні алгоритми навчання	Reinforcement Learning, RL	Використовуються для динамічного коригування політик безпеки на основі реальних сценаріїв атак
			Допомагають системі навчатися ефективному реагуванню на загрози без втручання людини
	Генетичні алгоритми	Genetic Algorithms	Використовуються для аналізу кіберзагроз на основі текстових звітів, новин про атаки та повідомлень у SOC-центрах
			Допомагають швидше реагувати на нові вектори загроз

Аналізуючи міжнародний досвід використання ШІ у захисті інформації в телекомунікаційних мережах, можна спостерігати ефективну конкуренцію між платформами до прикладу Palo Alto Networks Cortex XSOAR, яка має перевагу в тільки в інтерфейсі та зручності використання на відміну від Cisco SecureX. Втім, Cisco SecureX має більшу кількість інтеграцій, глибокий аналіз загроз з використанням MITRE ATT&CK, та застосовую деталізовану інтеграцію з Talos і має власні інструменти аналітики. Згідно з дослідженням Gartner (2021), ринок кібербезпеки, що включає інструменти для автоматизації, аналізу загроз і реагування на інциденти, зросте на 12,5% щорічно до 2025 року, досягнувши понад 200 мільярдів доларів. Cisco SecureX забезпечує середній час виявлення загроз до 15 секунд завдяки інтегрованій автоматизації, яка здійснює моніторинг великого обсягу даних [3].

В порівнянні з іншими платформами Таб.2, де цей час може сягати до 1-3 хвилин, SecureX демонструє до 98 % швидкості та точності реагування. Крім того Cisco SecureX здатна обробляти до 5000 загроз на годину

Таблиця 2. Результати ефективності Cisco SecureX.

Параметр	**Результат Cisco SecureX**
Швидкість виявлення загроз	>15 секунд
Точність виявлення	98%
Автоматизація реагування на інциденти	>30
Інтеграція з іншими системами	90% сумісність з продуктами Cisco, 95% з інш.
Продуктивність та масштабованість	>5000 загроз на годину
Економія часу для команди безпеки	Скорочення часу на 60-70%
Зниження витрат на безпеку	Зниження витрат на 25-40%

На рисунку 1 представлено процес Cisco SecureX використання різних методів ШІ для виявлення та швидкої реакції на загрози, знижуючи час на обробку інцидентів і покращуючи загальний рівень безпеки в організації. Приклад згенерованого звіту Cisco SecureX, який відображає деталі інциденту

надаючи аналітику і пропозиції для подальшого вживання заходів представлено на Рис.2



Рисунок1. Робота Cisco SecureX по виявленню загроз використовуючи методи ШІ

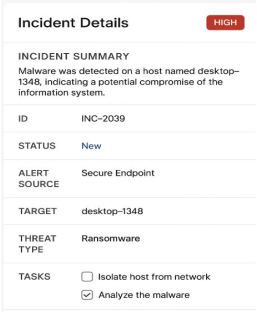


Рисунок 2. Звіт про інцидент

Висновок: Використання алгоритмів ШІ в Cisco SecureX забезпечують кореляцію подій, поведінковий аналіз трафіку, автоматизоване реагування на загрози та прогнозування атак, що мінімізує ризики проникнення шкідливих програм, витоку даних та компрометації інфраструктури. Завдяки інтеграції даних із різних джерел, SecureX сприяє комплексному підходу до кібербезпеки, забезпечуючи прозорість процесів моніторингу, виявлення аномалій та управління безпековими інцидентами. Таким чином, застосування штучного інтелекту на платформі Cisco SecureX є ключовим фактором у підвищенні рівня кібербезпеки організацій, зниженні ризиків атак та автоматизації захисту інформаційних ресурсів. Це забезпечує більш надійний, адаптивний і масштабований механізм безпеки, який здатний ефективно протидіяти сучасним загрозам у цифровому середовищі.

Список літератури

1. Cisco. (2023). Cisco Secure Email та SecureX: Захист від загроз електронної пошти. Cisco Blogs. Retrieved from https://blogs.cisco.com/security/cisco-secure-email-and-securex-protecting-against-email-threats-and-unnecessary-complexity.

2. Юдін, О. К., Корченко, О. Г., & Конахович, Г. Ф. (2009). Захист інформації в мережах передачі даних: Підручник. Київ: Вид-во ТОВ «НВП» ІНТЕРСЕРВІС»

3. Конахович, Г. Ф., Назаренко, Є. Л., & Свириденко, В. М. (2009). Захист інформації від витоку по технічних каналах. Наукоємні технології, (2), 90-93

4. Cisco. (2023). Cisco SecureX Resources - Cisco Community. Retrieved from https://community.cisco.com/t5/security-documents/cisco-securex-resources/ta-p/4160958.

УДК 519.233.2: 621.391.83 (045)

О.В. Зуєв, к.т.н., М.Ю. Заліський, д.т.н., О.В. Соломенцев, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Моделі формування рішень при оцінці стану радіотехнічних засобів

Доповідь присвячена питанням побудови моделей формування рішень при оцінці стану радіотехнічних засобів. Процес оцінки стану засобів розглядається у сукупності елементарних операцій, призначених для виконання певних функцій перетворення у певній послідовності відповідно до обраного алгоритму прийняття рішень про стан засобу. Запропоновано математичні моделі формування рішення при оцінці стану засобів, які ґрунтуються на моделюванні кожної з досліджуваних операцій.

Процес оцінки стану радіотехнічних засобів (РТЗ) складається з сукупності елементарних операцій (ЕО), призначених для виконання певних функцій перетворення у певній послідовності відповідно до обраного алгоритму прийняття рішень про стан засобу.

У запропонованій моделі, оцінка стану - це послідовність перетворення певного вектору станів (ВС) засобу у визначений вектор реалізацій (ВР) внаслідок спільної дії сукупності ЕО. Отже, якість виконання оцінки технічного стану РТЗ визначається якістю виконання кожної з досліджуваної сукупності ЕО. У зв'язку з вище викладеним, запропонована математична модель формування рішення при оцінки стану ґрунтуватиметься на математичній моделі ЕО.

Розглянемо довільну (нехай для визначеності *K*-у у послідовності виконання алгоритму оцінки) ЕО. Після перетворення ВС, здійсненого (*K*-1)-ою ЕО він може сприйматися *K*-ою ЕО в будь-якому з *M* можливих класифікованих станів (КС).

Якість оцінки на виході *K*-ої ЕО визначатиметься сукупністю безумовних ймовірностей сприйняття даною ЕО вектора станів, перетвореного спільною дією сукупності всіх попередніх ЕО, тобто,

$$P^{(K-1)} = (P_{(1)}^{(K-1)}, P_{(2)}^{(K-1)}, \dots, P_{(i)}^{(K-1)}, \dots, P_{(M)}^{(K-1)}) \quad (1)$$

де $P_{(i)}^{(K-1)} = P\left\{\overline{\overline{\Xi}}^{(N)} \in \Delta_{(i)}^{(K)}\right\}, i = \overline{1,M}$ – безумовна ймовірність сприйняття *K*-ою елементарної операцією ВС, перетвореного сумісною дією сукупності *1,2,...,i,...,(K-1)*-ої ЕО, у *i*-му КС; $\Delta^{(K)}(i)$ – сукупність ознак (норм), що розділяють *i* -ий КС перетвореного ВС після завершення *(K-1)* -го кроку.

Можливість помилок перетворення [1] ВС на *K*-му кроці, будемо визначати умовною ймовірністю переходу ВС з *i*-го в *j*-ий КС при виконанні *K* -ої ЕО (однокрокова перехідна ймовірність), тобто,

$$\omega_{ij}^{(K)} = P\left\{\overline{\overline{\Xi}}^{(N,K)} \in {}^{\Delta^K(j)}\Big/_{\overline{\overline{\Xi}}^{[N,(K-1)}} \in \Delta^{(K-1)}(i)\right\}, (i,j) = \overline{I,M} \quad (2)$$

Граф перетворення ВС, здійсненого *K*-ою ЕО (*K*-го кроку), складений при прийнятих раніше позначеннях [2,3], представлений на рис.1.

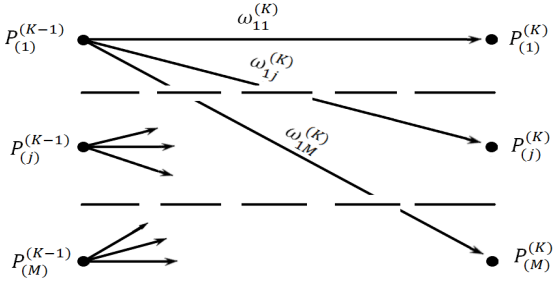


Рис. 1. Граф перетворення ВС у результаті виконання ЕО

Можливі переходи ВС у ВР рішень зображуватимемо у вигляді спрямованої дуги, при цьому напрям дуги вказує, з якого КС здійснюється перехід перетвореного ВС. Якщо безпосередній перехід із класу i в клас j, $(i, j) = \overline{1,M}$ неможливий, то дуга, що з'єднує відповідні вершини графа, відсутня. Кожній дузі графа присвоюємо число, що дорівнює ймовірності переходу ВС у ВР за результатами класифікації.

Відповідно до формули повної ймовірності [1], (див. рис. 1), маємо:

$$P^{(K)}(j) \sum_{j \in F} \sum_{i \in E} P^{(K-1)}(i)\, \omega_{ij}^{(K)}, K = \overline{1,l}; (j,i) = \overline{1,M} \tag{3}$$

Співвідношення (3) у матричній формі має такий вигляд:

$$P^{(K)} = P^{(K-1)} W_{ij}^{T(K)}, \tag{4}$$

де $P^{(K)}\left[P^{(K-1)}\right]$ – матриці-стовпці ВС після завершення *K*-го [*K*-1] кроку його перетворення; $W_{ij}^{T(K)}$ – транспонована матриця ймовірності переходів, елементами якої є ймовірності однокрокового (*K*-го) переходу.

Аналізуючи вирази (3) та (4), приходимо до висновку, що в прийнятій математичній моделі опис однокрокової ЕО визначається власною матрицею перехідних ймовірностей і матрицею-стовпцем ВС на її вході.

Елементарні операції, що становлять алгоритм оцінки стану РТЗ, здійснюють послідовне перетворення ВС у ВР. Будь-яка ЕО в послідовності їх виконання сприймає результат перетворення ВС сукупністю всіх попередніх ЕО.

Позначимо $\vec{\Pi}^{(1)}, \vec{\Pi}^{(2)}, \ldots, \vec{\Pi}^{(j)}, \ldots, \vec{\Pi}^{(s)} = \vec{Y}^{(n)}$ результат перетворення ВС однією, двома, …, *j* , …, *l* , послідовно виконаними ЕО при оцінці стану.

Нехай ВС перед початком оцінки перебував у одному з можливих (для певності в *r* -му) КС з ймовірністю *P(r)* , тобто,

$$P(r) = P\left\{\overline{\Xi}^{(N)} \in \Omega(r)\right\}; r = \overline{1,M} \tag{5}$$

Розглянемо перетворення ВС, що знаходиться перед оцінкою стану РТЗ в *r*-му КС, сукупністю послідовно виконуваних ЕО (див. рис.2).

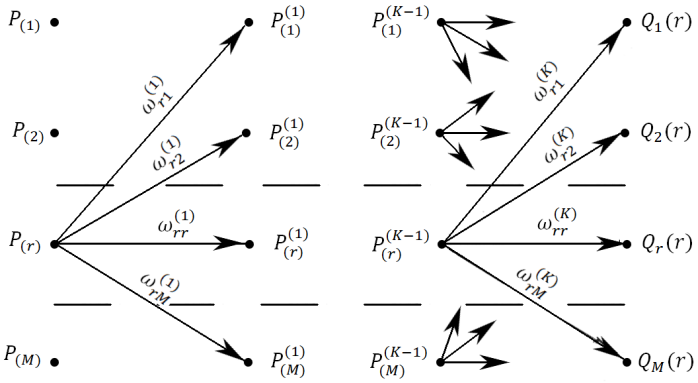


Рис. 2. Перетворення ВС сукупністю послідовно виконуваних ЕО

Введемо багатокрокову перехідну ймовірність $\omega_{rj}^{(1,s)}$ – результуючу перехідну ймовірність, що характеризує спільну дію сукупності однокрокових переходів, виконаних у певній послідовності, тобто,

$$\omega_{rj}^{(1,l)} = P\left\{\overline{\Xi}^{(1,l)} \in \Delta^{(l)}(j) / \overline{\Xi}^{(N)} \in \Omega(r)\right\} \tag{6}$$

Перехід ВС зі стану *r* у стан *j* за *l* кроків може здійснюватися різними шляхами (рис.2), тобто, в процесі такого переходу ВС може сприйматися ЕО у різних проміжних станах [4], при цьому зокрема

$$\omega_{rj}^{(1,2)} = \sum_{v_1=E} \omega_{rv_1}^{(1)} \omega_{v_1 j}^{(2)}; (r,j) = \overline{1,M} \tag{7}$$

Таким чином, маємо

$$\omega_{rj}^{(1,s)} = \sum_{v_1=1}^{M} \sum_{v_2=1}^{M} \dots \sum_{v_s=1}^{M} \omega_{iv_1}^{(1)} \omega_{iv_2}^{(2)} \dots \omega_{v_s j}^{(s)}; (i,j) \in E \tag{8}$$

Далі

$$\omega_{rj}^{(l+m)} = \sum_{v \in E} \omega_{rv}^{(l)} \omega_{vj}^{(m)}, (r,j) \in E \tag{9}$$

Підставляючи (9) у (7) та (8) відповідно маємо

$$Q_r(j) = P(r) \sum_{v_1=1}^{M} \sum_{v_2=1}^{M} \dots \sum_{v_k=1}^{M} \omega_{rv_1} \omega_{v_1 v_2} \dots \omega_{v_k j} \tag{2.3.10}$$

$$Q(j) = \sum_{r=E} Q_i(j) = \sum_{\substack{r=E \\ j \in E}} P(r) \sum \sum \dots \sum \omega_{1v_1} \omega_{v_1 v_2} \dots \omega_{ij} \tag{11}$$

Якщо ввести квадратну матрицю $W^{(l)} = \left\{\omega_{ij}^{(1,l)}\right\}$, елементами які є ймовірності переходів $\omega_{ij}^{(1,l)}$, то у матричній формі вираз (11) можна записати відповідно в наступному вигляді:

$$Q^T = P^T W^l \tag{12}$$

$$Q = P W^{T(l)} \tag{13}$$

Висновок

Запропоновано математичні моделі формування рішень при оцінці стану засобів, *які* ґрунтується на моделюванні кожної з досліджуваних операцій. Отримано аналітичні вирази, які дозволяють дослідити процес оцінки стану РТЗ, тобто, визначити ймовірності прийняття рішення про належність ВС до одного з можливих КС за відомими характеристиками засобу, що визначаються алгоритмами приналежності ВС до одного з можливих КС та характеристиками якості виконання кожної з ЕО складових процесів оцінки стану, що визначаються їх перехідними ймовірностями (матрицями покрокового переходу). Отримані результати можуть бути використані для вирішення задач підвищення достовірності прийняття рішень під час контролю РТЗ.

Список літератури

1. Smith D. J. Reliability, Maintainability and Risk. Practical Methods for Engineers. 10th edition, London, Elsevier, 2021, 516 p.
2. Zuiev O.V. Ground Radio Navigation Systems Maintenance Processes Improvement. Electronics and Control Systems. № 4(50). 2016. P.78–83.
3. Zuiev O.V. Instrument Landing Systems' Control Processes Investigation. Proceedings of Signal Processing Symposium 2017 (SPS 2017). P.1–4.
4. Соломенцев О. В., Мелкумян В. Г., Заліський М. Ю. Системи експлуатації радіоелектронних засобів // Вісник Інженерної академії України. – 2015. – № 3. – С. 149-154.

УДК 656.71.06:656.7.08 (043.2)

С.Ю. Бєлов, М.Ю. Заліський, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз сучасних викликів у сфері забезпечення авіаційної безпеки

Поза всяким сумнівом, забезпечення авіаційної безпеки є важливим аспектом цивільної авіації. Такі катастрофи, як теракт 11 вересня 2001 року в США та вибухи в аеропорту Брюсселя 22 березня 2016 року, свідчать про еволюцію загроз для життя людей. У цій роботі виконано аналіз сучасних викликів у сфері авіаційної безпеки та окреслено можливі шляхи їх вирішення.

Під авіаційною безпекою розуміють захист цивільної авіації від актів незаконного втручання. Ця мета досягається шляхом реалізації комплексу організаційно-технічних заходів та залучення людських і матеріальних ресурсів [1]. Виклики авіаційної безпеки динамічно змінюються, що вимагає створення адекватних реакцій на них [2].

Авіаційна безпека є складовою частиною безпеки польотів. Слід зазначити, що дії, що впливають на авіаційну безпеку, поділяють на дві категорії: навмисні та ненавмисні.

До ненавмисних дій відносять випадкові авіаційні події, серед яких можна відзначити:

– поганий психологічний стан пілоту (особливо в стресовій ситуації);

– несправність обладнання літака чи наземних засобів радіотехнічного забезпечення польотів (систем зв'язку, навігації, спостереження);

– неефективність методів обробки даних сучасного радіотехнічного обладнання в різних метеорологічних ситуаціях.

До умисних дій належать:

– знищення повітряного судна (застосування терористами ракет класу «земля-повітря»);

– захоплення терористами або іншими злочинними елементами повітряного судна, заручників на борту повітряного судна або на аеродромах;

– повідомлення неправдивої інформації, що ставить під загрозу безпеку повітряного судна, пасажирів, членів екіпажу, наземного персоналу або громадськості, в аеропорту або в розташуванні інших об'єктів цивільної авіації;

– незаконне перевезення заборонених і небезпечних предметів (ядерні та радіоактивні речовини, вибухові речовини, зброя тощо);

– наявність джемінгу та спуфінгу;

– кібертероризм (використання комп'ютерних і телекомунікаційних технологій у терористичних цілях);

– небезпеки, пов'язані з агресивними або психічно нездоровими пасажирами.

Для забезпечення безпеки пасажирів, членів екіпажів, авіаційного персоналу та повітряних суден в аеропортах створюються спеціальні служби авіаційної безпеки. Основні принципи, що регулюють дії цієї служби, є [3]:

1. Заходи безпеки, що застосовуються в конкретному аеропорту або аеродромі, повинні бути адекватні рівню загрози для цивільної авіації, що існує в конкретний момент часу.

2. Будь-яке цивільне повітряне судно не може вилетіти за межі певної країни без дозволу органу цивільної авіації.

3. Будь-яка особа не може бути допущена на борт повітряного судна, що перебуває в забороненій зоні аеропорту, без поважної причини.

4. Будь-яка особа або транспортний засіб не може увійти або проїхати через заборонену зону аеропорту без проходження встановлених процедур контролю безпеки.

5. Не допускається розміщення на борту повітряного судна предметів, а також ручної поклажі, багажу, кур'єрських та експрес-перевезень, пошти, бортового приладдя, за винятком штатного обладнання повітряного судна, без проходження контролю безпеки.

6. Увесь авіаційний персонал та інші фахівці (особи), робота яких належить до галузі інтересів цивільної авіації та стосується інтересів авіаційної безпеки, можуть бути допущені до виконання такої роботи тільки після проходження ними відповідної підготовки.

Під час планування авіаційної безпеки необхідно вирішувати наступні завдання:

1. Мінімізація наслідків вибухів. Аналіз використання звичайних вибухових речовин під час атак на аеропорти проведено в роботі [4]. Там же надано рекомендації щодо виявлення та знешкодження саморобних вибухових пристроїв, розміщених у транспортних засобах або предметах багажу.

2. Захист пасажирів і персоналу. Це першочергове завдання, під яким розуміють практичне розроблення постійного або тимчасового захисту пасажирів повітряного транспорту, обслуговуючого персоналу та відвідувачів від нападів із застосуванням вогнепальної зброї та гранат [5]. Розв'язання цієї проблеми пов'язане з рекомендаціями щодо використання куленепробивних матеріалів, здатних протистояти вибухам або гранатам, а також щодо запобігання (в інтересах митної служби) передачі контрабанди товарів від однієї групи порушників до іншої.

3. Контроль доступу. Скорочення кількості штатних співробітників, яким необхідний доступ у зони обмеженого доступу, – очевидний, але часто ігнорований захід безпеки [6]. Пункти видачі багажу часто розташовані в зонах обмеженого доступу, де їх бути не повинно. У місцях видачі багажу пасажирам міжнародних ліній вимоги місцевої митної служби можуть бути забезпечені іншими способами, але винесення місць видачі багажу із забороненої зони може істотно знизити ризик повторного проникнення пасажирів до цієї зони і забезпечити неможливість проникнення в неї сторонніх осіб.

4. Захист периметру. Цю проблему часто розглядають як другорядну, хоча відсутність такого захисту створює сприятливі умови для атак терористів на інфраструктуру аеропорту або повітряні судна і часто стає об'єктом критики з боку засобів масової інформації, як правило, у зв'язку з будь-якими авіаційними інцидентами. Вирішення цієї проблеми пов'язане з використанням технічних

засобів сигналізації, систем охоронного закритого телебачення, освітлення та пасивних інфрачервоних детекторів [7].

5. Захист від кібертероризму. Загрози кібертероризму є новими і водночас найбільш небезпечними [8]. Кібертероризм може проявлятися в різних формах. Найпростіша з них – психологічна війна, спрямована на поширення дезінформації за допомогою засобів масової інформації з метою порушення нормальної роботи аеропортів та авіакомпаній [9]. Це може призвести до відмови авіапасажирів від польотів, що негативно позначиться на економіці країн, які залежать від цивільної авіації. Інші небезпечні загрози кібертероризму можуть призвести до серйозних заворушень зі смертельними наслідками для людей, дезорганізації роботи аеропортів і пошкодження літаків у польоті. Дії кібертерористів проти аеропортів і літаків істотно відрізняються від традиційних терористичних і кримінальних атак на об'єкти цивільної авіації. Кібертерористи можуть, діючи з одного місця, впливати на події в сотнях інших місць у глобальному масштабі.

6. Захист від безпілотних повітряних суден. Останнім часом безпілотні повітряні судна стали значно дешевшими та якіснішими, що стало загрозою для інфраструктури цивільної авіації. Боротьба з цією загрозою вимагає мультидисциплінарного підходу. Рекомендації надано в документі ІСАО [10].

Одним з основних завдань служби авіаційної безпеки є виявлення небезпечних і заборонених предметів під час огляду пасажирів і багажу. Для цього співробітники служби авіаційної безпеки використовують різне обладнання: рентгенівські доглядові системи, боді-скани, металодетектори, детектори рухомих іонів, детектори слідів вибухових речовин. У сучасних аеропортах використовується від трьох до п’яти рівнів огляду багажу. Догляд пасажирів здійснюється в лінійному режимі. Система рентгенівського огляду надає інформацію про внутрішню структуру предметів багажу і дає змогу виявити вибухові речовини, наркотики, вогнепальну та холодну зброю та інші небезпечні й заборонені предмети.

Основними викликами, що виникають під час перевірки багажу рентгенівськими інтроскопами є:

– недосконаліть алгоритмів оброблення даних (при цьому ймовірність помилки першого роду може становити до 0.3);

– людський чинник (низька кваліфікація операторів, вплив психологічного фактору, втоми тощо).

Обидва фактори є взаємопов’язаними. Вдосконалення алгоритмічного забезпечення сприяє вірній класифікації заборонених та небезпечних об’єктів людиною-оператором та дозволяє значно автоматизувати процес догляду.

Методи алгоритмічного забезпечення можуть бути побудовані з використанням таких підходів:

– спектрального аналізу тіньових зображень об’єктів контролю на основі двовимірного перетворення Фур’є;

– кореляційного аналізу та побудови банку узгоджених фільтрів;

– машинного навчання з використанням різних метрик подібності;

– згорткових нейронних мереж.

Висновок

Як видно завдання забезпечення авіаційної безпеки є багатогранним. Для підтримання безпеки на необхідному рівні необхідне розв'язання широкого спектра різноманітних складових завдань, зокрема й підвищення ефективності роботи рентгенівської системи догляду завдяки впровадженню нових методів виявлення і розпізнавання об'єктів на рентгенівських знімках.

Список літератури

1. ICAO. DOC 10084. Risk Assessment Manual for Civil Aircraft Operations Over or Near Conflict Zones [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.icao.int/Security/SFP/Documents/Doc.10084.Third%20edition.pdf.
2. Zaliskyi, M., Shcherbyna, O., Tereshchenko, L., Osipchuk, A., Zharova, O. Shadow Image Processing of X-Ray Screening System for Aviation Security, International Journal of Image, Graphics and Signal Processing, 2022, Volume 14 (6), pp. 26–46. doi: 10.5815/ijigsp.2022.06.03.
3. Cherednichenko, K., Ivannikova, V., Sokolova, O., Yanchuk, M. Model of transport safety assessment in multimodal transportation systems, Transport, 2023, Volume 38(4), pp. 204–213. doi: 10.3846/transport.2023.20865.
4. Merzbacher, M., Gable, T. Applying Data Mining to False Alarm Reduction in an Aviation Explosives Detection System, 44th Annual 2010 IEEE International Carnahan Conference on Security Technology, 2010, pp. 161–164, doi: 10.1109/CCST.2010.5678738.
5. Sokolova, O., Cherednichenko, K., Ivannikova, V. Mathematical Model of Airport Aviation Security. In: Prentkovskis, O., et al., M. (eds) TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, Springer, Cham, 2023, pp. 773–781. doi: 10.1007/978-3-031-25863-3_75.
6. Lazarick, R. Applications of Technology in Airport Access Control, IEEE 35th Annual 2001 International Carnahan Conference on Security Technology, 2001, pp. 85–95, doi: 10.1109/CCST.2001.962817.
7. Barry, A. S., Dickie, K. P., Mazel, D. S. Perimeter Security at San Francisco International Airport: Leveraging Independent, Existing Systems to Form an Integrated Solution, 2009 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security, 2009, pp. 35–42, doi: 10.1109/THS.2009.5168012.
8. Gnatyuk, S. Critical Aviation Information Systems Cybersecurity, Meeting Security Challenges Through Data Analytics and Decision Support, NATO Science for Peace and Security Series, D: Information and Communication Security, 2016, Vol. 47, № 3, pp. 308–316, doi: 10.3233/978-1-61499-716-0-308.
9. Kalimoldayev, M., Tynymbayev, S., Gnatyuk, S., Ibraimov, M., Magzom, M. The Device for Multiplying Polynomials Modulo an Irreducible Polynomial, News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2019, № 2 (434), pp. 199–205.
10. ICAO. Protection of Civil Aviation Infrastructure Against Unmanned Aircraft [Електронний ресурс]. – Режим доступу: (https://www.icao.int/Security/SFP/Documents/UAS_InfraProtection%20-%20Abriged.EN.pdf.

УДК 629.7.066(477)(043.2)

С.С. Дорошенко, Г.Ф. Конахович, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз аудіокодеків в перспективі впровадження ATN/IPS в Україні

Досліджено оптимальність аудіокодеків для систем авіаційного електрозв'язку в умовах переходу до ATN/IPS в рамках глобальної ініціативи ICAO. Запропоновано багатокритеріальну модель вибору кодеку з урахуванням параметрів якості мови (MOS), затримки, стійкості до втрат та ефективності використання смуги пропускання.

Забезпечення надійного та якісного голосового зв'язку є ключовою вимогою до сучасних систем авіаційного електрозв'язку. З переходом до архітектури ATN/IPS (Aeronautical Telecommunication Network over Internet Protocol Suite) в межах глобальної ініціативи ICAO щодо модернізації авіаційного зв'язку, виникає потреба у виборі оптимального аудіокодеку, який забезпечуватиме відповідність стандартам, стійкість до мережевих впливів, мінімальні затримки та високу якість передачі мови. Враховуючи постійний розвиток авіаційної галузі та зростання кількості авіарейсів, напрацьовані та рекомендовані технологічні рішення потребують безперервного вдосконалення та оптимізації.

Огляд актуальних рекомендацій ICAO та EUROCAE

Документи [1] та технічні специфікації [2,3,4] визначають чіткі вимоги до VoIP-систем у сфері управління повітряним рухом. Основними рекомендованими кодеками є G.711 (A-law та μ-law), G.729, а в окремих сценаріях — G.722.

ICAO та EUROCAE наголошують на використанні G.711 як базового, з огляду на його якість (MOS > 4.1), сумісність та простоту реалізації. G.729 розглядається як альтернатива для умов обмеженої смуги пропускання, попри дещо нижчу якість голосу (MOS ≈ 3.9). G.722 надає широкополосний звук, проте його застосування рекомендовано лише за наявності відповідних ресурсів мережі.

Водночас, обидві організації не рекомендують використання нестандартизованих кодеків без попередньої сертифікації та оцінки впливу на систему безпеки польотів.

Останні напрацювання IETF щодо аудіокодеків

Internet Engineering Task Force (IETF) у межах робочих груп AVTCORE та RTCWEB підтримує розробку універсальних та адаптивних кодеків для IP-мереж. Одним із ключових досягнень є кодек Opus, стандартизований у [5]. Він поєднує два аудіомеханізми (SILK для мови та CELT для музики), що забезпечує відмінну адаптацію до мережевих умов.

Основні технічні характеристики і переваги кодеку Opus згідно з IETF:

- діапазон швидкостей від 6 до 512 кбіт/с, для авіаційного електрозв'язку може бути фіксована швидкість 16 кбіт/с;
- затримка кодування від 2.5 до 60 мс, для 16 кбіт/с в діапазоні 25-30мс;
- висока якість мови (MOS 4.2-4.5);
- вбудована стійкість до втрат пакетів;
- динамічне масштабування якості без обриву потоку;
- відкритий стандарт, який не потребує ліцензії.

Opus вже інтегрується в сучасні WebRTC-рішення та рекомендований IETF як універсальний кодек для інтернет-зв'язку.

Порівняльний аналіз характеристик кодеків

Кодек	MOS	Bitrate	Затри.	Стійк. до втрат	Стандарт	Придатність до АТМ
G.711	4,3	64 кбіт/с	<1 мс	Низька	ICAO, EUROCAE	Так
G.729	~3,9	8 кбіт/с	~15 мс	Середня	ICAO, EUROCAE	Так
G.722	4,0	64 кбіт/с	~1,5 мс	Середня	EUROCAE	Обмежено
Opus	4,5	16 кбіт/с	25–30 мс	Висока	IETF (RFC 6716)	Потенційно

Для оцінки оптимальності кодеку застосовано метод зваженої суми нормалізованих критеріїв, який широко використовується у багатокритеріальному прийнятті рішень.

Формула розрахунку узагальненого показника оптимальності має наступний вигляд:

$$s = \sum_{i=1}^{n} (w_i \cdot x_i)$$

де:

S — узагальнений показник ефективності кодеку;
w_i — ваговий коефіцієнт для і-го критерію (вага);
x_i — нормалізоване значення і-го критерію для обраного кодеку:

$x_i = \frac{X - Xmin}{Xmax - Xmin}$ для кращого максимуму,

$x_i = \frac{Xmax - X}{Xmax - Xmin}$ для кращого мінімуму;

n — кількість критеріїв.

Обґрунтування вибору ваги для кожного критерія:

- Якість (MOS) — 0.35, пріоритетний критерій для голосового зв'язку в авіації в реальному часі.
- Затримка — 0.25, важлива для оперативної взаємодії в АТМ-системах.
- Стійкість до втрат — 0.20, особливо актуальна для нестабільних мереж.
- Бітова швидкість — 0.20, має вплив на полосу пропускання.

Нормалізація критеріїв по кожному параметру

Кодек	**MOS, максимум 4.5**	**Затримка, мінімум 1мс**	**Стійкість до втрат(низька-середня-висока)**	**Бітрейт, мінімум 8 кбіт/с**
G.711	0.67	1.00	0.0	0
G.729	0	0.52	0.5	1
G.722	0.17	0.98	0.5	0
Opus	1.000	0	1.0	0.85

Застосування вагових коефіцієнтів та розрахунок підсумкового балу

Кодек	**MOS (0.35)**	**Затримка (0.25)**	**Втрати (0.2)**	**Бітрейт (0.2)**	**S**
G.711	0.235	0.25	0.00	0	0.485
G.729	0	0.13	0.10	0.20	0.33
G.722	0.06	0.245	0.10	0	0.405
Opus	0.35	0	0.20	0.17	**0.72**

На основі отриманих результатів найбільш оптимальним варіантом виявився кодек Opus. За умови подальшої стандартизації для авіаційного електрозв'язку він забезпечуватиме найкращий баланс між якістю, адаптивністю та перспективністю в контексті впровадження ATN/IPS в авіаційній інфраструктурі.

Висновки

З урахуванням сучасних рекомендацій ICAO, EUROCAE та технічних можливостей, кодек G.711 залишається базовим варіантом для впровадження в ATN/IPS. Проте результати аналізу свідчать, що кодек Opus має найбільший потенціал як універсальне рішення для майбутнього, за умови його сертифікації

відповідно до авіаційних стандартів. В перспективі його впровадження може підвищити гнучкість, якість та стійкість голосового зв'язку в авіаційній сфері як України, так і в усьому світі.

Список літератури

1. Manual on the Aeronautical Telecommunication Network (ATN) Using Internet Protocol Suite (IPS) Standards and Protocols: Doc 9896. – Second Edition. – (ICAO),2015. – 112pp.
2. ED-136 Voice over IP ATM System Operational and Technical Requirements. EUROCAE, 2009
3. ED-137 Interoperability Standards for VoIP ATM Components. Part 2: Telephone. EUROCAE, 2009
4. ED-138, Network requirements and performances for voice Over internet protocol (voip) air traffic management (ATM) systems, EUROCAE, 2009
5. IETF RFC 6716, Definition of the Opus Audio Codec, 2012

UDC 621.382.323.002.2

O.M. Grudanov, V.M. Shutko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Minimizing leakage current in 64K SRAM using High-Threshold Voltage transistors

The paper analyses leakage current reduction in 64K SRAM, ported from 180nm to 110nm through the use of HTV-transistors. Simulation results show over 2× decrease in leakage current and ~2.2× area saving compared to the reference 180nm design.

Introduction

The paper presents a reference memory instance of a silicon-proven IP designed for benchmarking purposes. It features a custom bit cell developed using standard logic rules on a 180nm base process, with the option to shrink to a 152nm process using a scale coefficient of 0.84. The configuration is a single-port 64K (2048x32) SRAM memory, optimized for low-voltage operation at 1.0V ±10%, within a temperature range of -40°C to +125°C. It offers a maximum cycle time of < 20ns (50MHz). Dynamic Power (measured at 1.2V, +25C) is 17 uW/MHz and 20 uW/MHz for read and write mode respectively. The leakage current is 10uA and 3uA in active and sleep mode respectively.

Additionally, there is an option to migrate this memory to a 110nm process, which is a shrink from the 130nm base process with a scale coefficient of 0.9, considering a transition from custom to a foundry-provided memory bit cell.

Custom bit cell Vs foundry bit cell

The difference between a custom bit cell and a foundry bit cell is as follows: a custom bit cell is designed by a customer using standard logic design rules with the aim of optimizing the Static Noise Margin (SNM) for low voltage operation[1]. A foundry bit cell, on the other hand, is provided by the foundry. It is designed using special relaxed design rules, which apply only to the bit cell area and violate standard design rules. While this approach offers maximum area-saving benefits, it leaves the SNM and other characteristics beyond the designer's control.

The goal of this work is to compare the full leakage current, total area, and dynamic current consumption between the use of High-Threshold Voltage (HTV) transistors and Standard-Threshold Voltage (STV) transistors.

The primary objective is to reduce leakage current consumption for the 64K SRAM instance, while the secondary objective is to decrease the operating voltage.

All simulations were performed using Silvaco SmartSPICE simulator tool based on the latest Spectre-compatible SPICE models, provided by the foundry. Some foundry data disclosing process specifications is sensitive, therefore it is classified in this paper.

SNM influence on SRAM bit cell

SNM is defined as the length of the side of the largest square that can be embedded inside the lobes of the butterfly curve. SNM was calculated for two cases:

hold mode (the gates of address transistors are grounded) and read mode (the gates and drains of address transistors are connected to Vdd). The value of SNM should be more than maximum difference between threshold voltage of n-channel driver MOS transistors of the cell. This value may be described by its standard deviation:

$$\sigma = \sigma 0/\sqrt{W * L * S * S} \qquad (1)$$

Where: S = 0.9 (scaling factor for 130nm base) or S = 0.84 (scaling factor for 180nm base)

$\boldsymbol{\sigma 0}$ – technological constant, that in fact is a standard deviation of threshold voltage of 180nm NMOS for 2nm oxide thickness : $\boldsymbol{\sigma 0}$ = 3.7 - 4.8 mV; for 130nm process: $\boldsymbol{\sigma 0}$ = 1.85 - 2.4 mV; The complimentary error function for six-sigma erfc(6$\boldsymbol{\sigma}$) can be considered as equal to 0.

Table 1 and Table 2 represent the results of calculations of $\boldsymbol{\sigma}$ **and** $\boldsymbol{6\sigma}$ for foundry and custom bit cell respectively.

Table 1

Foundry bit cell, 130nm project base with after shrink to 110nm

Transistor type	W/L	σ, mV	6*σ, mV(σ0=2.4mV)
Pull-up 130nm	0.16/0.15	17.2	103.3
Driver 130nm	0.21/0.14	15.58	93.48
Address 130nm	0.16/0.17	16.22	97.3

Table 2

Custom bit cell, 180nm project base with after shrink to 152nm

Transistor type	W/L	σ, mV	6*σ, mV(σ0=4.8mV)
Pull-up 180nm	0.22/0.18	28.74	172.44
Driver 180nm	0.47/0.18	19.65	117.9
Address 180nm	0.22/0.18	28.74	172.44

Butterfly diagrams are calculated for the case of simultaneous deviation of threshold voltages for 6σ case in read and write mode. The voltage sources are intended to simulate the deviation of the bit cell transistor's threshold voltage for the 6σ case. The polarity of the voltage sources corresponds to the combination of threshold voltage deviations for the worst-case (SS) corner.

The bit cell works reliably in the active mode (write / read) and saves the written data as long as there is an intersection of two curves at three points of the butterfly curve – see Fig.1, Fig 2. The minimum voltage level for the memory bit cell in read mode, retaining the written contents of the bit cells in R/W mode, is **0.7V**. For storage mode (data on hold) address transistors are closed, so that the supply voltage can be reduced to 0.5V. Butterfly curves for this case are shown in Fig 3.

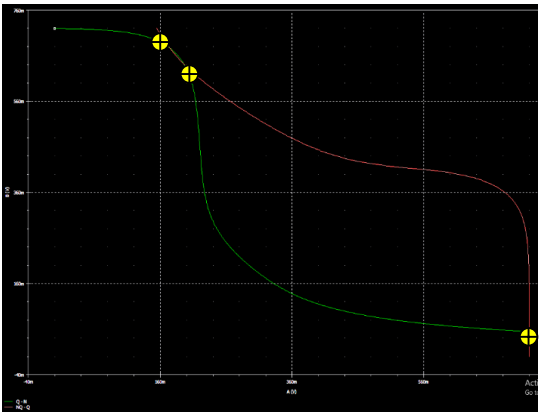


Fig.1 SNM diagram of bit cell in active mode (FNSP, 125C)

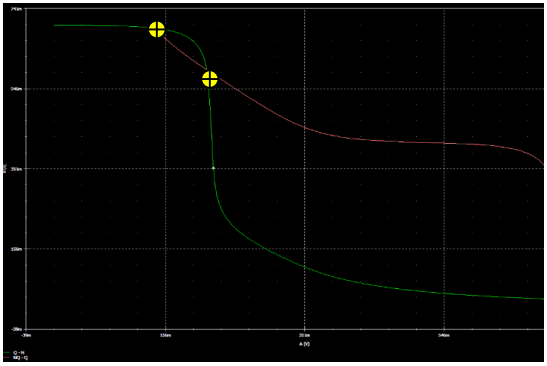


Fig.2 SNM diagram of bit cell in active mode (SS, 125C)

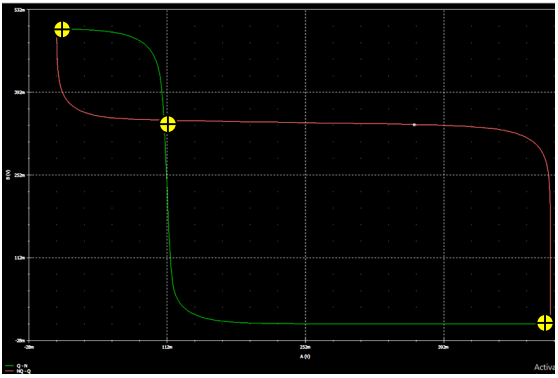


Fig.3– SNM diagram of bit cell in hold mode (at 0.5V)

Table 3:

Leakage current of memory bit cell and memory cell array 256x256:

Corner case 25C, TT,	**Vdd, V**	**I, pA**	**I, uA**
bit cell 110nm	1.0	50	3.277
	0.7	44.55	2.92
	0.5*	35.55	2.53
180nm, pre-shrink	1.0	61.2	4.010

(*) – data hold mode.

Memory instance configuration and area

110nm foundry bit cell size (x/y) = 1.66 by 2.926 = 4.857 sq. um.

180nm custom bit cell size (x/y) = 2.88 by 5.100 = 14.68 sq. um.

There are two aspect ratios to choose from: 256x256 (square) and 512x128 (tall). If we accept the memory organization as 32 row blocks, then the resulting estimated area of memory instance will be:

256x256, 110nm: 318,318.00 sq.um (424.96 by 749.05 um)

512x128, 110nm: 318,318.00 sq. um (849.92 by 374.52 um)

256x256, 180nm (after shrink)**:** 678,850.00 sq.um (619.31 by 1096 um)

512x128, 180nm (after shrink): 678.850.00 sq. um (1238 by 548.35 um)

Leakage current calculation results and comparison

Leakage current depends on the specific technology. Namely, on the level of threshold voltage. The subthreshold current of transistors rises with the threshold voltage decrease[2].

Here are the simulation results comparing leakage current for different cases:

Table 4

Leakage current and min Vdd comparison for a **single foundry bit cell**

Parameter / Bit cell type	**110nm, STV**	**110nm, HTV**
I_{LC} in active mode, pA	44.3	13.9
I_{LC} in sleep mode, pA	35.3	11.07
Vdd min, V	0.7	0.8

Table 5

Leakage current and min Vdd comparison for the assembled **256x256 cell array**

Parameter / Bit cell type	**110nm, STV**	**110nm, HTV**
I_{LC} in active mode, uA	2.9	0.91
I_{LC} in sleep mode, uA	2.31	0.66
Vdd min, V	0.7	0.8

Note 1:

1. Area for both STV and HTV bit cells: 1.66 by 2.926 = 4.857 sq mm.
2. Foundry bit cell can be provided either with standard or with high threshold voltage MOS transistors.

Table 6

Leakage comparison for the full 64K SRAM memory instance

Mode/bit cell	**180nm custom bit cell, STV, pre-shrink**	**110nm foundry bit cell, STV**	**110nm foundry bit cell, HTV**
Standby, uA	18.5	3.4	1.4
Sleep, uA	10	2.8	1.2
Deep sleep, uA	3	2.3	0.7

Note 2:

1. (*) assuming periphery logic is made with HTV voltage MOS transistors as well
2. Standby mode – all memory inputs are inactive, CLK=0.
3. Sleep mode – column precharge transistors are switch off by Sleep signal
4. Deep sleep mode – periphery logic power supply voltage =0.

Dynamic current depends on power voltage and total capacitance of the internal circuits.[3] Further decrease of total capacitance of the internal circuits is possible, but very slightly. On 0.6V level it will be lower anyway and memory can retain operability with the decreased performance <= 10MHz.

Conclusion

1. The severe leakage current decrease can be achieved if HTV transistors are applied for the foundry memory bit cell. Full leakage current for 64K memory instance < 3.6uA in active mode if is applied.
2. Total memory cell array area at 110nm is expected to be ~2.2x smaller than the existing area of the 64K memory instance at 180nm shrank to 152nm.
3. The rest of memory cells (address decoders, control blocks, output buffers) can be cut in size by ~1.65x resulting in the total winning efficiency of area in about 2 times.
4. Dynamic current consumption is expected to be cut by ~1.5 times, due to power supply voltage decrease from 1.2V to 0.8V.
5. Maximum frequency > 15 MHz @ Vdd=0.7V, SS, 125C that satisfied specification.

References

1. O. Grudanov. “Stability Parameters of Register File Bit Cell with Low Power Consumption Priority”, ISSN *1990-5548 Electronics and Control Systems*, 3(77): 40-46, 2023.
2. O. Grudanov. “Power Consumption Calculation of Register File Memory”, *Proceedings of the 17th International Scientific and Technical Conference “Integrated Intellectual Robotechnical Complexes (IIRTC-2024)*, Kyiv, Ukraine, pp. 444–446, 2024.
3. Govind Prasad, “Design of Low Power and High Stable Proposed SRAM cell Structure”, *ISSN: 2249–6556 International Journal of VLSI and Embedded Systems-IJVES,* 2013

УДК 004.896:621.39 (043.2)

Б.П. Котик, к.т.н.,доц. Д.І. Бахтіяров
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Нейромережевий підхід до розпізнавання цифрової модуляції 5G в умовах апріорної невизначеності параметрів

У статті розглядається метод розпізнавання типів цифрової модуляції сигналів (QAM-8, APSK-8, QAM-64, PSK-8) в умовах невизначеності параметрів сигналу, зокрема несучої частоти та початкової фази. Основою підходу є використання кумулянтів до 9-го порядку як ознак для багатошарової нейронної мережі (MLP), що поєднується зі схемою нормалізації даних. Моделювання показало, що навіть при неточному знанні параметрів система забезпечує високу точність розпізнавання, а методика може бути поширена на інші типи модуляції та параметричні невизначеності.

Вступ

Завдання розпізнавання цифрової модуляції в системах 5G є актуальним через необхідність точної класифікації сигналів у складних умовах. У попередніх роботах розглядалася задача для ідеально синхронних приймачів, а в цій статті — для випадків, коли параметри сигналу (несуча частота, початкова фаза) невідомі або визначені з похибкою.

Ключовою ознакою для класифікації обрано кумулянти високого порядку Cn,m, які розраховуються на основі змішаних моментів Em,n до 9-го порядку. Для прикладу наведемо кумулянт найвищого рівня:

$$\begin{aligned} C_{5,4} = {} & E_{5,4} - 10E_{4,4}E_{2,0} - 20E_{4,3}E_{1,1} - 6E_{5,2}E_{0,2} - \\ & 10E_{4,2}E_{3,0} - 40E_{3,3}E_{2,1} - 30E_{4,2}E_{1,2} - \\ & 3E_{5,1}E_{0,3} - E_{5,1}E_{0,2} - 5E_{1,4}E_{4,0} - 40E_{2,3}E_{3,1} - \\ & 60E_{3,2}E_{2,2} - 20E_{4,1}E_{1,3} - E_{5,0}E_{0,4} + \\ & 30E_{1,4}E_{2,0}^2 + 60E_{2,3}E_{1,1}E_{2,0} + 180E_{2,4}E_{0,2}E_{2,0} + \\ & 240E_{1,3}E_{1,2}E_{2,0} + 120E_{3,2}E_{2,0}E_{1,1} + \\ & 111E_{4,1}E_{1,1}E_{0,2} + 4E_{5,0}E_{0,2} + 10E_{4,1}E_{1,1} + \\ & 2E_{5,0}E_{0,2} + 300E_{2,2}E_{1,2}E_{2,0} + 60E_{2,2}E_{1,1}E_{2,0} + \\ & 270E_{1,2}^2E_{2,0} + 720E_{1,1}E_{1,2}E_{2,0} - 360E_{1,2}E_{2,0}E_{0,2} - \\ & 720E_{1,1}E_{1,2}. \end{aligned} \quad , \qquad (1)$$

Архітектура MLP включає вхідний шар для ознак сигналу, кілька прихованих шарів з ReLU-активацією та вихідний шар Softmax для ймовірнісної класифікації. Ваги мережі оновлюються методом зворотного розповсюдження з використанням алгоритму Adam. Формула активації:

$$df_j = act^{(j,1)} = w_0^{(j,1)} + \sum_{i=1}^{n} w_i^{(j,1)} x_i, \quad (2)$$

де $w^{(j,1)} = \left(w_0^{(j,1)}, w_1^{(j,1)}, \ldots, w_n^{(j,1)}\right)$ $j = \overrightarrow{(1, N_1)}$ - рядковий вектор синаптичних зв'язків для j-го нейрона,

N_1 - кількість нейронів у вхідному шарі.

n - кількість вхідних ознак.

x_i - вектор-рядок i-го входу.

Новизна підходу — у використанні кумулянтів високого порядку, які стійкі до гауссівського шуму та дозволяють розрізняти різні схеми модуляції. Для навчання використовувалися великі вибірки сигналів, розбиті на тренувальні, валідаційні та тестові підмножини.

Проблема апріорної невизначеності параметрів

У реальних системах часто виникає невизначеність щодо несучої частоти та початкової фази сигналу, наприклад, через ефект Доплера або нестабільність генераторів. Для обробки сигналу застосовується перенесення на нульову частоту та виділення синфазної й квадратурної складових, які потім використовуються для обчислення моментів і кумулянтів.

В результаті попередньої обробки отриманий сигнал може бути виражений наступним чином:

$$r_k(t) = \frac{1}{2} A(t) \begin{Bmatrix} \cos\left[2\pi\Delta f t + \theta(t) + \Delta\theta_0\right] - \\ i\sin\left[2\pi\Delta f t + \theta(t) + \Delta\theta_0\right] \end{Bmatrix} = , \quad (3)$$

$$I_k(t) + iQ_k(t)$$

Для подолання невизначеності кількість гіпотез, які перевіряє нейромережа, збільшується: наприклад, для різних можливих зсувів частоти чи фази. Алгоритм розпізнавання типу модуляції та оцінки зсуву ілюструється на рисунку 1

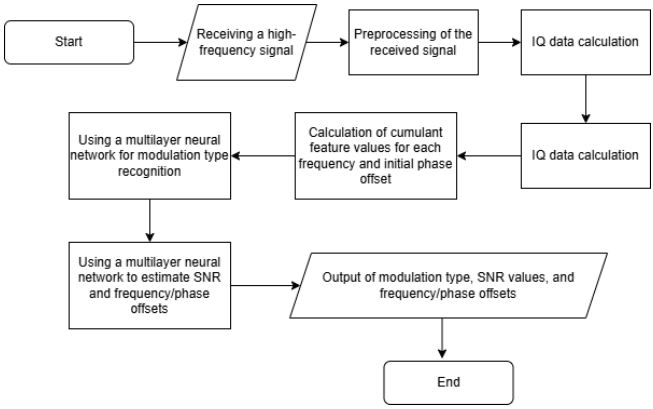


Рис. 1. Алгоритм розпізнавання типів модуляції цифрового сигналу з параметричною апріорною невизначеністю

Кумулянти для різних типів модуляції розраховуються при різних значеннях SNR, зсуву частоти (від 0 до 2000 Гц) та фази (від 0 до 0,09 рад). Це дозволяє уникнути необхідності окремого оцінювання параметрів сигналу.

Аналіз впливу зсувів та SNR

На рисунках 2 та 3 показано, як змінюється точність розпізнавання модуляції при різних зсувах частоти та фази. При малих зсувах точність стабільно висока, але при великих — різко падає.

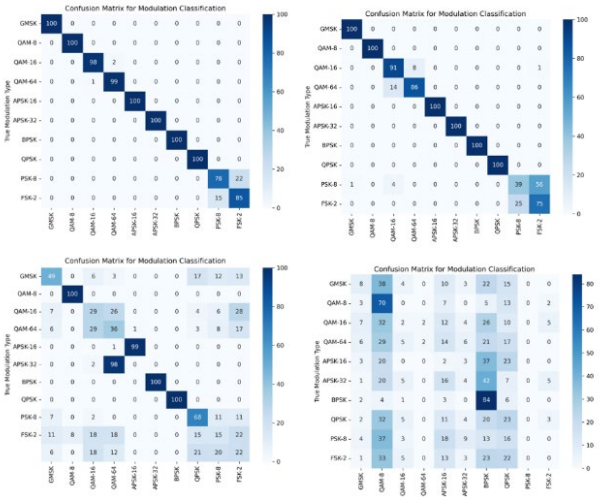


Рис. 2. Результат оцінки точності розпізнавання модуляції сигналу при $\Delta\theta_0$ 0, 0.02, 0.05 та 0.09 рад.

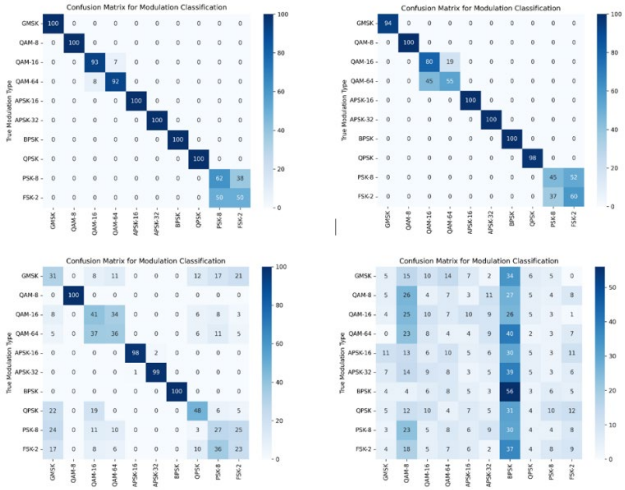


Рис. 3. Результат оцінки точності розпізнавання модуляції сигналу при Δf 500, 1000, 1500 та 2000 Гц.

Моделювання показало, що при SNR = 5 дБ і малих зсувах фази точність розпізнавання для деяких типів модуляції досягає 0,99, але при великих зсувах — різко падає. Аналогічно, при зростанні зсуву несучої частоти точність знижується, особливо для складних типів модуляції. Тому для забезпечення прийнятної точності розпізнавання максимальний зсув частоти не повинен перевищувати 1,5 кГц, а фазовий зсув — 0,05 рад.

Розпізнавання QAM та PSK в умовах невизначеності

Найбільші труднощі виникають при розділенні QAM-8/APSK-16 та QAM-64/PSK-8 при низьких SNR і великих зсувах. Це пов'язано з тим, що кумулянти високих порядків у таких умовах мають великі значення, і їх роздільна здатність знижується. Наприклад, для QAM-64 при Δf = 900 Гц співвідношення між кумулянтами $C_{5,4}$ і $C_{2,2}$ сягає приблизно 5680.

Для вирішення цієї проблеми застосовується стандартизація даних (StandardScaler). Це один з методів попередньої обробки даних, який використовується для масштабування всіх вихідних значень у наборі даних на основі значень, отриманих з розподілу із середнім значенням нуль і стандартним відхиленням одиниця.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}, \tag{4}$$

де x - початкове значення ознаки, μ та σ - середнє та стандартне відхилення ознаки.

Моделювання для груп QAM-8/APSK-16 та QAM-64/PSK-8 показало, що MLP дозволяє не лише розпізнавати тип модуляції, а й оцінювати зсуви частоти та фази. Точність розпізнавання для QAM-8/APSK-16 становить 0,96, для QAM-64/PSK-8 — нижча при великих зсувах, але залишається прийнятною при малих.

Висновок

Запропоновано підхід до розпізнавання типів цифрової модуляції в умовах невизначеності параметрів сигналу на основі кумулянтів високого порядку та багатошарової нейронної мережі з нормалізацією даних. Метод забезпечує високу точність при малих зсувах частоти та фази, а також дозволяє оцінювати самі значення зсувів. Методика може бути розширена на інші типи модуляції та параметричні невизначеності.

Список літератури

1. Kotyk, B., Bakhtiiarov, D., Lavrynenko, O., Chumachenko, B., Antonov, V., Fesenko, V., Chupryn, V. Neural network approach to 5G digital modulation recognition (2025) CEUR Workshop Proceedings, 3925, pp. 82-92. (https://ceur-ws.org/Vol-3925/paper07.pdf)

УДК 62.5.681,5.004

О.В. Бондаренко, О.М. Тачиніна, д.т.н., проф.
В.Г. Вовк, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання блокчейн-технології для безпечної комунікації в роях дронів

У статті розглядається застосування блокчейн-технології для безпечної комунікації в роях БПЛА. Аналізуються переваги інтеграції блокчейну, включаючи підвищення безпеки даних, створення незмінних логів та покращення координації. Досліджуються механізми консенсусу та використання смарт-контрактів.
***Ключові слова**: блокчейн, рої дронів, безпечна комунікація, смарт-контракти.*

Вступ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) набувають широкого використання в різних галузях, від цивільного моніторингу до військових операцій. Однак зростання популярності БПЛА супроводжується збільшенням ризиків кібербезпеки. Особливо вразливими є рої БПЛА, де множинні дрони повинні безпечно комунікувати між собою. Технологія блокчейн представляє перспективне рішення для забезпечення надійної, захищеної та децентралізованої комунікації в роях дронів. Дана стаття розглядає основні аспекти застосування блокчейн-технології для безпечної комунікації БПЛА, інтегруючи досвід сучасних досліджень у цій галузі.

Огляд сучасних досліджень

Концепція використання технології блокчейн для вирішення проблем з ідентифікацією, безпекою та зберіганням у кластерах БПЛА не є новою. Згідно з дослідженнями Castelló Ferrer [1] та Kuzmin and Znak [2], технологія блокчейн демонструє значний потенціал для підвищення безпеки рою безпілотних літальних апаратів.

Wang et al. [3] запропонували розробку легкого блокчейну з механізмом маршрутизації повідомлень між вузлами БПЛА. Їхня система реалізує "Доказ трафіку" (PoT) для досягнення консенсусу, з урахуванням енергоспоживання.

Santos de Campos et al. [4] розробили модель на основі заплутаного графа (IOTA), яка покладається на стратегію прийняття рішень (смарт-контракт) для координації БПЛА. Ключовою особливістю їхньої концепції є автономна робота рою без централізованого контрольного центру.

Зуо та ін. [5] запропонували ієрархічний метод вимірювання довіри на основі блокчейну для вузлів кластерів дронів. Автори впроваджують багатошаровий блокчейн, де перший рівень підтримується всіма вузлами в домені управління довірою, а другий рівень - вузлами управління довірою з різних доменів. Запропонований підхід використовує консенсус PBFT-PoW та показує високу ефективність у виявленні зловмисних вузлів.

Хафіз та ін. [6] представили комплексний огляд блокчейн-систем для комунікації БПЛА, підкреслюючи їх вразливість до різних загроз безпеки. Вони розглянули компоненти та архітектуру блокчейну для мереж БПЛА, різні випадки використання та проблеми імплементації.

У роботі BETA-UAV [7], автори запропонували ефективну та надійну автентифікацію на основі блокчейну для комунікації БПЛА. Вони використовують еліптичну криптографію (ECC) та смарт-контракти для забезпечення автентифікації та свіжості повідомлень між БПЛА, демонструючи практичну реалізацію на платформі Ethereum.

Теоретичні основи блокчейн-технології та її застосування у роях БПЛА

Блокчейни: структура та функціонування

Відповідно до досліджень Monrat et al. [8], фундаментальною основою технології блокчейн є концепція цифрової децентралізованої системи, що забезпечує повністю прозорі транзакції без залучення центрального посередника. Структура блоку складається з двох функціональних компонентів: заголовка і тіла. Заголовок містить хеш-значення попереднього блоку, хеш-значення кореня дерева Меркла, мітку часу та nonce. Тіло блоку зберігає упорядкований список транзакцій та лічильник.

] характеризують блокчейни як однорангові (P2P) системи, де кожна транзакція широкомовно транслюється на всі вузли мережі. Кожна транзакція підтверджується цифровим підписом, генерованим приватним ключем ініціатора, та верифікується іншими вузлами за допомогою відповідного публічного ключа.

Визначальною характеристикою блокчейнів є механізм консенсусу - комплексна система, що забезпечує узгодження валідності та послідовності транзакцій. Хоча алгоритм "Доказ роботи" (PoW) історично був першим, через його надмірну обчислювальну вартість перевага надається більш енергоефективним альтернативам, таким як "Доказ частки" (PoS), "Доказ авторитету" (PoA) та "Практична візантійська відмовостійкість" (PBFT).

Важливим елементом сучасних блокчейн-технологій є смарт-контракти - автоматизовані програмні алгоритми, що виконують транзакції відповідно до попередньо визначених умов. Ethereum залишається домінуючою платформою для створення та виконання смарт-контрактів.

Серед різноманітних блокчейн-технологій особливу увагу привертає Solana - відкрита блокчейн-платформа, що фокусується на масштабованості, швидкості та безпеці при збереженні низьких транзакційних витрат. Згідно з дослідженнями Васильшина та Опірського [10], архітектура Solana сприяє створенню смарт-контрактів для роїв БПЛА із пропускною здатністю до 710 000 транзакцій за секунду, що робить її оптимальною для застосувань, які вимагають прийняття рішень у реальному часі.

Ключовою особливістю Solana є технологія PoH (Proof-of-History), яка функціонує як криптографічний годинник, значно спрощуючи процес синхронізації між вузлами мережі. На відміну від традиційних систем, вузлам не потрібно чекати підтвердження транзакції від кожного учасника мережі, що

критично важливо для бойових роїв дронів, де швидкість комунікації безпосередньо впливає на ефективність виконання завдань, особливо в умовах протидії супротивника.

Мотивація для інтеграції блокчейн-технології в рої БПЛА

Комплексний аналіз досліджень свідчить, що поєднання технології блокчейн та роїв БПЛА має потенціал суттєво вдосконалити рішення багатьох функціональних проблем. Ключові переваги такої інтеграції:

Забезпечення цілісності та безпеки даних. Іманентна незмінність блокчейну забезпечує надійний запис даних, генерованих окремими дронами. Дані додатково валідуються за допомогою методів консенсусу, а дрони отримують можливість перехресної верифікації інформації для виявлення аномалій чи незаконних модифікацій. Конфіденційність і цілісність даних під час трансмісії забезпечуються використанням захищених комунікаційних каналів із застосуванням криптографічних методів шифрування.

Створення незмінних лог-файлів. Лог-файли в роях дронів є незмінними хронологічними записами усіх дій кожного окремого дрона. Такі записи забезпечують формування верифікованого сліду для прецизійної реконструкції подій та рішень, що має критичне значення для постмісійного аналізу інцидентів. Доступ до лог-файлів строго контролюється механізмами аутентифікації, імплементованими на основі блокчейну.

Покращення прийняття рішень та координації. Інтеграція даних з блокчейн-технологіями для захищеного обміну інформацією суттєво підвищує ефективність процесів прийняття рішень та координації колаборативних операцій. Блокчейн створює захищений від фальсифікацій канал обміну критично важливими даними між членами рою. Такий підхід дозволяє дронам імплементувати адаптивні алгоритми прийняття рішень та своєчасно реагувати на динамічні зміни операційного середовища.

Посилення довіри через смарт-контракти. Смарт-контракти встановлюють та забезпечують виконання уніфікованих правил і поведінкових моделей для кожного дрона в рої. Децентралізація та транспарентність дозволяють всім учасникам верифікувати ідентичні правила без необхідності централізованого органу. Специфічні механізми консенсусу валідують ці норми, мінімізуючи ймовірність зловмисної активності з боку компрометованих вузлів.

Поліпшення комунікації між різними агенціями. У сценаріях із залученням дронів від різних організацій блокчейн-технології суттєво покращують міжвідомчу координацію. Незмінне зберігання даних гарантує їхню цілісність та автентичність. Смарт-контракти оптимізують операції, включаючи контроль доступу, встановлення заборонених зон та стандартизацію комунікаційних протоколів.

Забезпечення дотримання законів у повітряному просторі. Блокчейн-технології потенційно трансформують можливості авіаційних регуляторних органів щодо контролю за дотриманням правил використання дронів. Порівняння GPS-даних дронів у реальному часі з географічними межами, закодованими в блокчейні, дозволяє автоматизувати процеси забезпечення дотримання заборонених зон та висотних обмежень.

Висновки

Проведений аналіз сучасних досліджень демонструє, що інтеграція технології блокчейн у рої БПЛА створює надійну основу для безпечної, ефективної та прозорої комунікації. Різноманітність підходів – від ієрархічної структури блокчейну до використання смарт-контрактів на платформі Ethereum – свідчить про гнучкість технології та її адаптивність до різних сценаріїв застосування.

Ключовими перевагами впровадження блокчейну для комунікації в роях дронів є підвищений рівень захисту даних, надійна аутентифікація учасників, створення незмінних логів операцій, оптимізована координація між БПЛА та забезпечення дотримання регуляторних вимог. Особливо перспективними є рішення, що враховують обмеженість ресурсів БПЛА та пропонують енергоефективні механізми консенсусу.

Незважаючи на значний прогрес, залишаються виклики щодо масштабованості, стандартизації та реалізації блокчейн-рішень у реальних середовищах. Подальші дослідження повинні зосередитись на розробці легких протоколів, оптимізованих для обмежених ресурсів БПЛА, інтеграції з іншими передовими технологіями та забезпеченні балансу між безпекою та ефективністю.

Список літератури

1. Castelló Ferrer, E. The blockchain: A new framework for robotic swarm systems. In Proceedings of the Future Technologies Conference, Vancouver, BC, Canada, 15–16 November 2018.
2. Kuzmin, A.; Znak, E. Blockchain-base structures for a secure and operate network of semi-autonomous unmanned aerial vehicles. In Proceedings of the IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics (SOLI), Singapore, 31 July–2 August 2018.
3. Wang, J.; Liu, Y.; Niu, S.; Song, H. Lightweight blockchain assisted secure routing of swarm UAS networking. Comput. Commun. 2021, 165, 131–140.
4. Santos de Campos, M.G.; Chanel, C.P.; Chauffaut, C.; Lacan, J. Towards a blockchain-based multi-uav surveillance system. Front. Robot. AI 2021, 8, 557692.
5. Zuo, J., et al., "A Hierarchical Blockchain-Based Trust Measurement Method for Drone Cluster Nodes," Drones, vol. 7, 627, 2023.
6. Hafeez, S., et al., "Blockchain-Assisted UAV Communication Systems: A Comprehensive Survey," IEEE Open Journal of Vehicular Technology, vol. 4, 2023.
7. Hafeez, S., et al., "BETA-UAV: Blockchain-based Efficient and Trusted Authentication for UAV Communication", IEEE ICCT, 2022.
8. Monrat, A., et al., "A Survey of Blockchain From the Perspectives of Applications, Challenges, and Opportunities", IEEE Access, 2019.
9. Wang, W., et al., "A survey on consensus mechanisms and mining strategy management in blockchain networks," IEEE Access, 2019.
10. Vasylyshyn, S., Opirskyy, I., “Combat drone swarm system (CDSS) based on Solana blockchain technology”, The Seventh International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2024), May 3, 2024, Zaporizhzhia, Ukraine

УДК 621.396.96

І.Г. Прокопенко, д.т.н., О.І. Ільїн, В.І. Таран
(Київський авіаційний інститут, Україна)

Кореляційна обробка широкосмугових сигналів з шумоподібною модуляцією в радіодалекомірних системах

Запропоновано радіолокаційний метод вимірювання дальності та радіальної швидкості об'єкту, заснований на використанні зондувального сигналу з шумоподібною модуляцією. Застосування такого зондувального сигналу дозволяє підвищити точність та роздільну здатність. Представлені результати комп'ютерного моделювання, побудовані графіки спектрів сигналів та взаємокореляційних функцій.

У сучасній авіаційній та космічній техніці надзвичайно важливим є забезпечення високої точності у визначенні відстані до об'єктів і вимірюванні їхньої швидкості. Ці параметри є критичними для навігації, виконання точних маневрів під час посадки, дозаправлення в повітрі та інших складних завдань. Навіть незначні похибки у вимірюваннях можуть призвести до порушення траєкторії польоту, зниження ефективності місії та підвищення ймовірності аварійних ситуацій. У зв'язку з цим, постійне вдосконалення радіодалекомірних систем є невід'ємною складовою розвитку навігаційних технологій [1].

Об'єктом дослідження є процеси генерації та обробки широкосмугових сигналів у радіолокаційних системах, що використовуються для визначення дальності й швидкості об'єктів. Для обґрунтування результатів досліджень застосовано метод комп'ютерного моделювання, який дає змогу побудувати спектр та взаємокореляційну функцію сигналу.

У працях [2, 3] вказується, що впровадження широкосмугових зондувальних сигналів у радіодалекоміри дозволяє покращити роздільну здатність та точність вимірювання відстані. Найбільш доцільним варіантом такого сигналу є сигнал із шумоподібною модуляцією [4]:

$$u_{\text{с}}(t) = U_{c0} \cdot \sin(2\pi \cdot w_{c0} t + \beta_0 p_t), \quad (1)$$

де $U_{c0} = 1$ В – амплітуда сигналу; $w_{c0} = 40$ МГц – несуча частота; $\beta_0 = 1$ – індекс модуляції; p_t – число з масиву випадкових чисел p, яке обирається відповідно до відліку часу t.

Спектр зондувального сигналу зображено на рис. 1.

Для розрахунку дальності до об'єкту необхідно використати наступну формулу:

$$D = \frac{c \cdot \tau}{2} \quad (2)$$

де $c \approx 3 \cdot 10^8$ *м/с* – швидкість розповсюдження радіохвилі; τ – просторова часова затримка. З формули (2) видно, що дальність D визначається просторовою часовою затримкою τ, яка виникає при проходженні радіохвилі від радіодалекоміру до цілі і назад. Щоб знайти цю затримку необхідно побудувати взаємокореляційну функцію (рис. 2). Пік цієї функції відповідає величині τ.

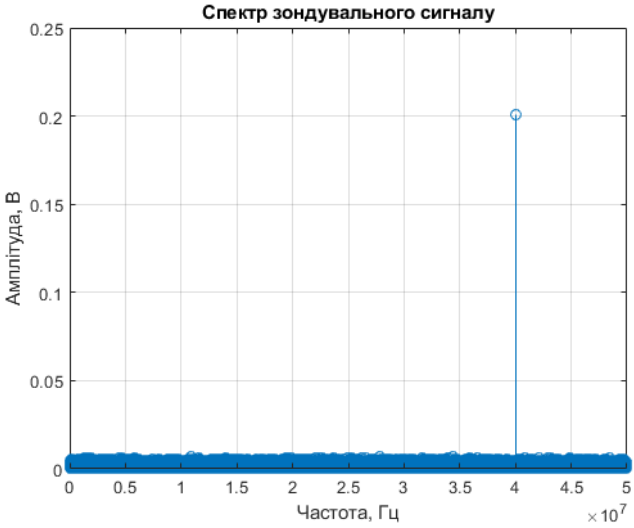


Рис. 1. Спектр сигналу з шумоподібною модуляцією

На рис. 2 зображені взаємокореляційні функції двох цілей. Перший пік (синій) відповідає першому об'єкту з затримкою $\tau_1 = 0{,}2$ мс, другий пік (оранжевий) відповідає другому об'єкту з затримкою $\tau_2 = 0{,}21$ мс.

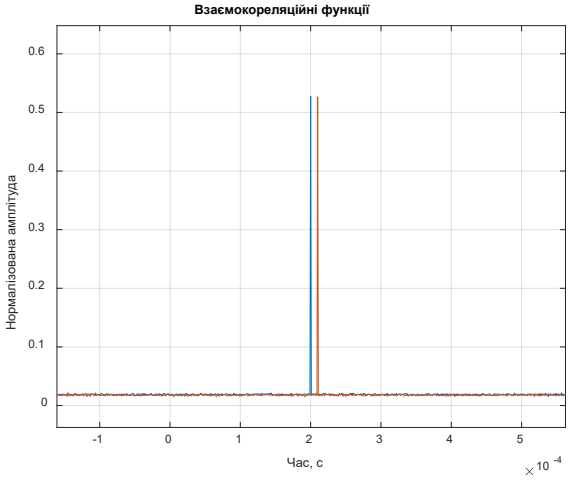


Рис. 2. Взаємокореляційна функція

Інформація про радіальну швидкість об’єкту міститься в допплерівському зсуві частоти $f_д$, який виникає при відбитті зондувального сигналу від об’єкту. Відбитий від цілі сигнал запишеться у наступному вигляді:

$$u_c(t+\tau) = U_c \cdot \sin\left(2\pi \cdot w_{c0} \cdot f_д(t+\tau) + \beta_0 p_{t+\tau}\right), \quad (3)$$

де U_c – амплітуда відбитого сигналу; $f_д$ – допплерівський зсув частоти; $p_{t+\tau}$ – число з масиву випадкових чисел p, яке обирається відповідно до відліку часу $t+\tau$.

Для визначення зсуву частоти $f_д$ подати зондувальний сигнал та відбитий від об’єкту сигнал на змішувач. Щоб виділити інформаційну складову з несучою частою $f_д$ із спектру сигналу змішувача необхідно застосувати фільтр низьких частот (ФНЧ). На рис. 3 зображений спектр сигналу на виході ФНЧ. Перший пік спектру відповідає першому об’єкту з допплерівським зсувом $f_{д1} = 80$ Гц, другий пік відповідає другому об’єкту з допплерівським зсувом $f_{д2} = 108$ Гц.

Відношення сигнал/шум на рис.2 та рис. 3 дорівнює $SNR = 1$ дБ.

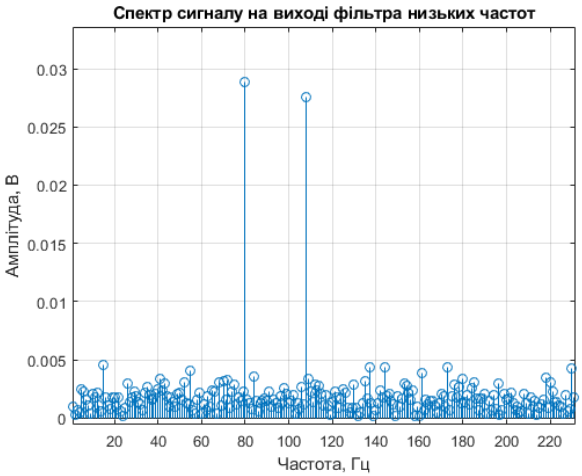


Рис. 3. Спектр сигналу на виході фільтра низьких частот

Слід зазначити, що допплерівський зсув частоти $f_д$ у відбитому сигналі $u_c(t+\tau)$ заважає вимірюванню часової затримки τ. При наявності цього зсуву піки взаємокореляційної функції (рис. 2) не є чіткими і їх неможливо виділити, а отже неможливо і виміряти часову затримку. Таким чином, вимірювання дальності до об’єкту, який має певну радіальну швидкість, потребує компенсації допплерівського зсуву частоти у відбитому від об’єкту сигналі.

Висновок

На рис. 2 та рис. 3 видно, що піки, які відповідають об’єктам чітко виражені, легко розпізнаються на фоні шумів та відокремлюються один від одного. Таким чином, можна зробити висновок, що кореляційна обробка широкосмугового зондувального сигналу з шумоподібною модуляцією дозволяє досягти високої точності та роздільної здатності навіть на фоні завад. При цифровій точність вимірювання буде залежати, насамперед, від частоти дискретизації системи. Для вимірювання дальності потрібно компенсувати допплерівський зсув частоти у відбитому сигналі.

Список літератури

1. G. W. Stimson, H. Griffiths and C.B. Baker, “Introduction to Airborne radar”, Mendham: SciTech Publishing, 2014
2. Корнильев Э. А. Устойчивые алгоритмы в автоматизированных системах обработки информации / Э. А. Корнильев, И. Г. Прокопенко, В. М. Чуприн. – К. : Тэхника, 1989.– 224 с.
3. I.G. Prokopenko, F.J. Yanovsky and L.P. Ligthart, “Adaptive Algorithms for Weather Eadar”, presented at the 1st European Radar Conference, EuRAD, 2004, pp. 329–332.
4. O. Ilin, I. Prokopenko and V. Taran, "The Method of Distance Measurement Using a Broadband Noise-like Signal," *2024 IEEE 7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD)*, Kyiv, Ukraine, 2024, pp. 68-71.

УДК 621.396.96(043.2)

С.М. Смалюга, І.Г. Прокопенко, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування алгоритму Хафа для виявлення швидких цілей

Розглянуто задачу виявлення високошвидкісних цілей у радарних сигналах та проаналізовано переваги алгоритму Хафа в порівнянні зі звичайними методами обробки сигналів: короткочасне перетворення фур'є (STFT) та узгоджена фільтрація. Продемонстровано, що за великих швидкостей цілей традиційні методи виявлення зіштовхуються з проблемаю міграції по дальності та доплерівської неоднозначності, що призводить до погіршення ймовірності виявлення. Перетворення Хафа дозволяє накопичувати енергію сигналу вздовж траєкторії руху цілі, що забезпечує вищу чутливість при низькому співвідношенні сигнал/шум.

Сучасні радіолокаційні системи дедалі частіше зіштовхуються з необхідністю виявлення цілей, що рухаються з високими та гіперзвуковими швидкостями (сучасні літальні апарати, ракети, снаряди, тощо). Висока швидкість цілі створює суттєві проблеми для її виявлення. По-перше, за тривалої когерентної обробки відбитий сигналі від цілі зміщується між дальнісними елементами розрізнення протягом накопичення, що створює таке явище як міграція по дальності (*range walk*) – реальне розташування цілі не відповідає визначеному [1,2]. По-друге, велика радіальна швидкість спричиняє значний доплерівський зсув частоти, що може перевищувати доплерівський інтервал радару і призвести до доплерівської неоднозначності. Внаслідок цих факторів застосування класичних алгоритмів виявлення може давати незадовільні результати – різкознижується ймовірність правильного виявлення цілі при заданому рівні хибних тривого.

Одним із перспективних підходів є алгоритм перетворення Хафа, який по суті реалізує накопичення сигналу вздовжвздовж передбачуваної траєкторії руху цілі в просторі «дальність-час» і дозволяє виявити слабкі трасові сигнали на фоні значної зашумленості [3].

Слабка ціль протягом кількох оглядів (імпульсів) проявляється як послідовність точок у просторі, які приблизно лягають на пряму , якщо ціль рухається рівномірно. Перетворення Хафа інтегрує (накопичує) інформацію від відгуку швидкої цілі протягом серії імпульсів навіть якщо в окремих імпульсах сигнал не перевищує поріг детекції та відображає точки спостережень у просторі параметрів можливих траєкторій.

В радіолокації траєкторія цілі параметризується її початковою дальністю та швидкістю, наприклад, траєкторія для постійної радіальної швидкості описується лінійною моделлю

$$R(t)=R_0+V(t), \quad (1)$$

де R_0 та $V(t)$ – початкова дальність та швидкість цілі відповідно.

Перетворення Хафа для прямої у двовимірному просторі працює за параметричним рівнянням прямої у вигляді

$$\rho = x\cos\theta + y\sin\theta \,, \qquad (2)$$

де x, y - координати порогової точки радару; θ – кут нахилу прямої; ρ - відстань від початку координат до прямої (зсув). Такий опис дозволяє обробляти всі напрями прямих, а площина (θ, ρ) називається простором Хафа в двовимірному просторі. Через кожну точку площини (x, y) може проходити нескінченна кількість прямих, що буде відповідати синусоподібній кривій, що описується рівнянням (2). Якщо ці криві, що відповідають декільком точкам накладаються в просторі Хафа, то точка їх перетину відповідає точці траєкторії цілі (рис.1б). Відповідно набір цих точок перетину кривих формують траєкторію цілі.

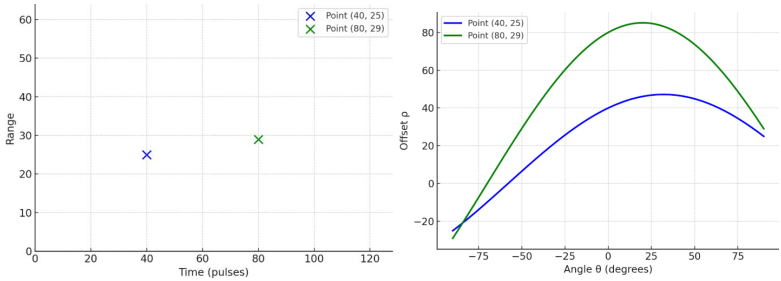


Рис. 1. Побудова кривих Хафа за пороговими спрацюваннями: а)спрацювання в радарному просторі б)простір Хафа для кількох точок

Якщо використовувати бінарну карту виявлень $z(r, n)$ (1, якщо на n-му імпульсі в комірці перевищено первинний поріг і 0 в протилежному випадку), то зручною метрикою є сума одиниць (кількість потраплянь) вздовж лінії

$$H(V, r_0) = \sum_n^{N-1} z(n, r_0 + Vn), \qquad (3)$$

де n – номер імпульсу, $r_0 + V(n)$ – опис траєкторії як функції від n. Функція $H(V, r_0)$ називається акамулятором Хафа, який показує, скільки порогових перевищень лягли на гіпотетичну траєкторію з параметрами (V, r_0), пік функції вказує на наявність ймовірної цілі, що рухається з певною швидкістю. Замість бінарної інформації алгоритма Хафа дозволяє накопичувати невідфільтровані амплітуди або енергії відбитого сигналу. Це еквівалентно зміщенню для кожної можливої швидкості V всіх n-х імпульсів на Vn по дальності . Таким чином перетворення Хафа реалізує пошук оптимальної компенсації руху, при якій швидкість V не відома наперед, але при переборі різних її значень, шукається таке значення швидкості, коли сумарна енергія (або число детекцій) має максимальне значення.

На рис.2 нижче схематично ілюструється ефект такого накопичення, верхній графік (а) демонструє сигнал гіпотетичної цілі, що протягом 10-ти імпульсів змістився на 18 дальнісних комірок. Без компенсації руху енергія сигналу розподілена між кількома комірками – в кожному імпульсі по 0,25 умовних одиниць. На нижньому графіку (б) – результат сумування вздовж

правильної траєкторії (перетворення Хафа зі знанням V): енергія цілі сконцентрована в одній комірці, сумарно 2,5 умовних одиниць.

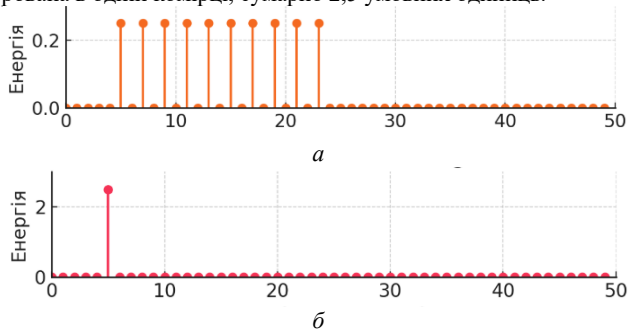


Рис. 2. Розподіл накопиченої енергії сигналу від цілі за 10 імпульсів: а) без компенсації руху; б) з застосуванням перетворення Хафа вздовж траєкторії

Використання перетворення Хафа дає можливість виявляти дуже слабкі та розріджені сигнали, які не видно на одиночних імпульсах. Навіть, якщо на кожному окремому імпульсі сигнал від цілі нижче порогу виявлення і ціль не була виявлена, накопичення Хафа може визначити послідовність незначних підвищень сигналу. В серії робіт Carlson et al., 1994 (IEEE Trans. AES) продемонстровано, що метод track-before-detect на основі Хафа при відповідних налаштуваннях наближається за статистичною ефективністю до оптимального детектора [3].

На рис. 3 проілюстровано роботу алгоритму Хафа для швидкої цілі: а) вихідні дані після порогової обробки; б) результат роботи перетворення Хафа

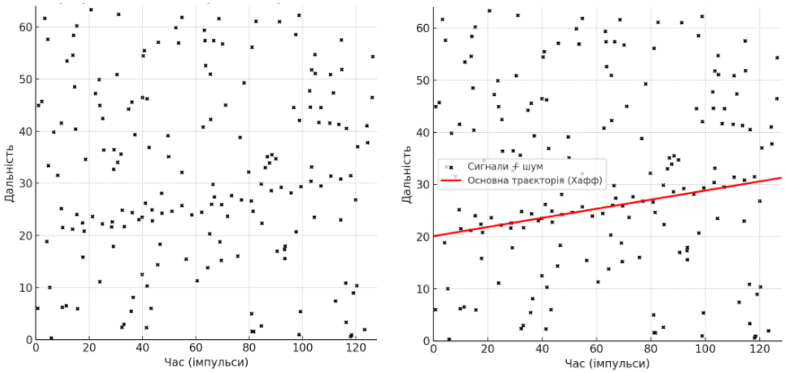


Рис. 3. Ілюстрація використання алгоритму Хафа для визначення траєкторії: а) дані після порогової обробки; б) результат перетворення Хафа

На рис. 3 відображено 30 сигнальних точок, які змішані з 150 шумовими. По цим даним в просторі Хафа, побудовані криві (рис.4), які перетинаючись утворюють максимуми (жовта область), що і є шуканою траєкторією цілі. Варто відмітити, що за великої кількості шумових точнок або флуктуації сигнальних точок існує висока ймовірність, що кілька точок можуть утворити так званий шумовий пік.На рис. 4 присутня друга за яскравістю область, що відповідає другому за величиною піку в просторі Хафа, але її щільність значно менша.

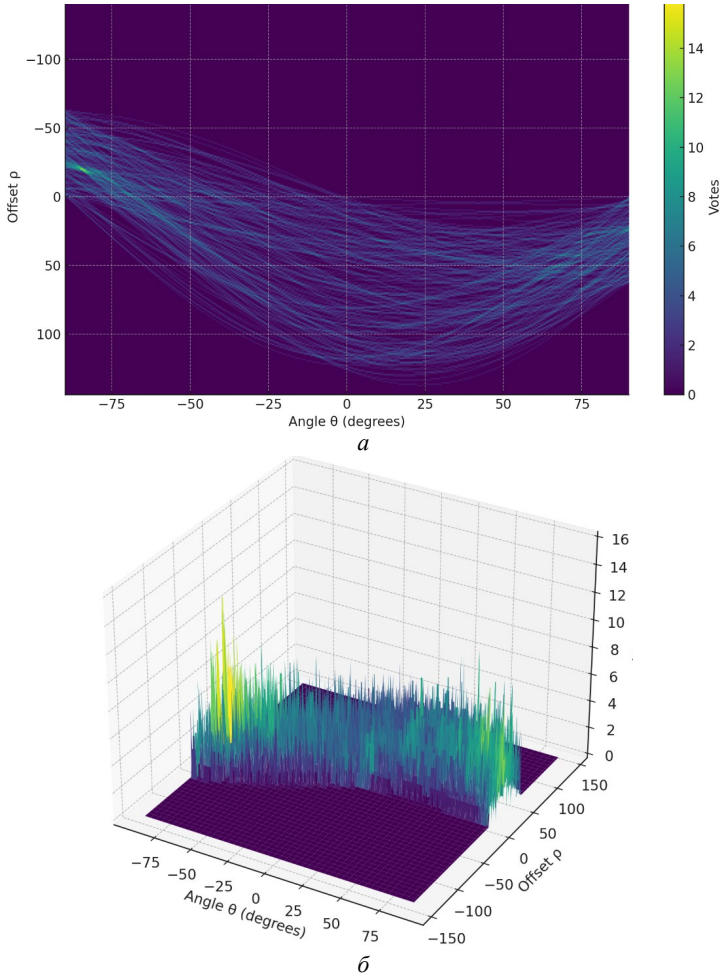


Рис. 4. Простір Хафа: а) відображення в двовимірному просторі; б)тривимірне відображення накопичених піків

Перетворення Хафа можна розглядати як альтернативу виявлення, коли класичний алгоритм швидкого перетворення Фур'є (FFT) малоефективний через невідому або змінну швидкість цілі. На відміну від фільтрації доплерівських частот алгоритм Хафа перебирає різні швидкості, фактично реалізуючи множину доплерівських зсувів (ліній) і інтегруючи сигнал вздовж кожної. Це дозволяє виявити навіть ті цілі, відбиття від яких змінюється по дальності і не дає вираженого піку на фіксованій доплерівській частоті.

Когерентні класичні методі забезпечують високу точність вимірювання доплерівської швидкості (через спектральну роздільність FFT) та дальності (через узгоджену компресію імпульсу). Алгоритм Хафа теж дозволяє оцінити ці параметри – значення при яких досягається максимум в просторі (R_0, V), слугують оцінками дальності та швидкості цілі. Точність цих оцінок залежить від дискретизації простору параметрів та рівня шуму. За достатньої кількості накопичених імпульсів алгоритм Хафа може локалізувати траєкторію цілі з точністю, близькою до когерентної обробки, але зазвичай поступається методам із точною фазовою прив'язкою. У практичних реалізаціях використовується для початкового виявлення траєкторії, після чого застосовується когерентна доплерівська обробка вздовж знайденої траєкторії для точнішої оцінки швидкості. Таким чином, алгоритм Хафа доповнює класичні методи та забезпечує надійне виявлення швидких цілей зі слабким сигналом.

Висновок

Таким чином алгоритм Хафа поєднує в собі риси енергетичного детектора (не потребує точної інформації про сигнал), а також доводить свою ефективність для виявлення високошвидкісних рівноприскорених цілей даючи можливість використання при різних формах сигналу та наявності фазових флуктуацій.

Список літератури

1. Fu M. et al. *"A novel method for fast detection of high-speed targets."* Signal Processing, vol. 182, 107938, 2021
2. Zhang J., Li J., Ma H., Wang Y. High-speed moving target detection and tracking method based on speed estimation // *The Journal of Engineering (IET Radar Conf.)*. – 2019. – Vol. 2019, Issue 20. – P. 106–110.
3. Li X. et al. *"A fast non-searching algorithm for radar maneuvering target detection."* SN Applied Sciences, vol. 1, 1245, 2019
4. Wiley C. *"The Future of EW and Modern Radar Signals."* IEEE/AESS Presentation, Dallas, Nov 2004

УДК 004.056.5 (043.2)

М.В. Шишолік, А.Д. Пінчук, О.О. Полігенько, к.т.н.,
Р.С. Одарченко, д.т.н., проф., І.О. Козлюк, д.т.н., проф.
(Київський авіаційний інститут, Україна)

Перспективи впровадження SIEM-систем для кібербезпеки мереж 5G

Розглянуто можливості використання SIEM для кіберзахисту мереж 5G. Проаналізовано особливості та виклики 5G-інфраструктури, вимоги до SIEM-систем, запропоновано рішення з інтеграцією штучного інтелекту, автоматизації реагування (SOAR) та стандартизації даних. Обґрунтовано важливість SIEM для забезпечення комплексної безпеки мереж п'ятого покоління від сучасних кіберзагроз.

Технологія 5G відкриває нові можливості для мереж зв'язку завдяки високій швидкості, малій затримці та масовому підключенню пристроїв. Водночас архітектура 5G є значно складнішою за попередні покоління (віртуалізація функцій, хмарне ядро, сегментація мережі (network slicing)), що розширює потенційну поверхню атак [3][6]. Через це забезпечення кібербезпеки в мережах 5G потребує нових підходів, зокрема постійного моніторингу та аналізу подій безпеки в реальному часі. Асоціація GSMA рекомендує операторам впроваджувати комплексні засоби моніторингу загроз у 5G-інфраструктурі [1].

Система управління інформацією та подіями безпеки (Security Information and Event Management, SIEM) є однією з ключових технологій для виявлення інцидентів у сучасних мережах. SIEM об'єднує збір логів і подій безпеки з різних джерел, їхнє зберігання, кореляцію та аналітику для виявлення аномалій та атак [8]. У контексті 5G SIEM виконує роль «центру безпеки», що акумулює дані зі всіх сегментів мережі і дозволяє командам безпеки своєчасно реагувати на інциденти.

Особливості архітектури 5G – модульність на основі програмно-визначених мереж (SDN) та віртуалізації мережевих функцій (NFV), розподілена хмарна інфраструктура, мережеве розділення на «слайси» – потребують переосмислення підходів до моніторингу безпеки. Традиційні інструменти безпеки генерують величезні обсяги даних у 5G, тому SIEM має бути здатним масштабуватися для обробки великих об'ємів даних. Наприклад, у 5G-мережі контрольні площини (CP) і користувацькі площини (UP) генерують потоки даних, які потрібно агрегувати й аналізувати в режимі, близькому до реального часу. SIEM-система виявляє підозрілі патерни, корелюючи події з базових станцій (gNodeB), ядра 5G (AMF, SMF, UPF тощо) та сервісної інфраструктури (MEC, хмарні сервери) [6].

Важливою особливістю 5G є впровадження функції аналітики мережевих даних (Network Data Analytics Function, NWDAF) в архітектурі 3GPP [2]. NWDAF збирає статистику про стан мережі та може надавати аналітичні висновки (наприклад, виявлення аномальної поведінки трафіку) іншим функціональним блокам. Інтеграція SIEM з NWDAF дозволяє покращити виявлення загроз за рахунок використання стандартних інтерфейсів 5G для доступу до телеметрії

мережі. Крім того, постачальники обладнання пропонують власні рішення для безпеки 5G – так звані центри операцій безпеки (SOC) для телекомунікацій, які тісно взаємодіють із SIEM та враховують специфіку трафіку 5G [5]. Таким чином, SIEM у 5G має охоплювати різнорідні компоненти мережі та взаємодіяти з новими функціями і платформами аналізу.

Реалізація SIEM у мережі 5G пов'язана з низкою технічних викликів:

- Масштаб і швидкість даних. Мережі 5G генерують на багато більше подій безпеки порівняно з 4G [4]. SIEM повинна обробляти великий потік даних (логи з тисяч вузлів, телеметрія трафіку, події IoT-пристроїв) у режимі реального часу без втрати продуктивності.
- Різноманітність джерел та форматів. Події надходять від мережевих елементів, платформ оркестрації NFV, прикладних сервісів, обладнання користувача. Дані можуть мати різні формати і протоколи, тому SIEM мусить підтримувати стандартизовані моделі даних для правильної кореляції подій [8].
- Розподіленість і затримки. 5G має розподілену архітектуру (центр, хмара, MEC, вузли). Централізоване збирання всіх подій може спричинити затримки та «вузькі місця», тому потрібні розподілені підходи – наприклад, фільтрація та попередня аналітика на рівні краю мережі.
- Безпека та ізоляція «слайсів». Кожен мережевий слайс 5G може мати власні політики безпеки та ізольовані ресурси. SIEM повинна мати можливість розрізняти події по слайсах, не порушуючи ізоляції даних [5]. Це ускладнює кореляцію інцидентів, що охоплюють кілька слайсів одночасно.
- Шифрування і конфіденційність. Багато даних користувацького трафіку в 5G шифруються (наприклад, протокол HTTP/2 в ядрі), що ускладнює аналіз вмісту. SIEM доводиться покладатися на метадані та побічні показники (час, обсяг, напрямок трафіку) або отримувати дані з точок моніторингу до шифрування, дотримуючись при цьому вимог конфіденційності та законодавства [1].

Для подолання цих викликів індустрія застосовує декілька підходів. По-перше, використовуються сучасні платформи обробки великих даних (розподілені бази даних, потоки Kafka, платформи Hadoop/Spark) для масштабування сховищ SIEM та прискорення аналітики [4]. По-друге, впроваджується використання штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання для виявлення аномалій у трафіку 5G, прогнозування інцидентів та зменшення навантаження на аналітиків SOC [7]. Алгоритми ML можуть навчатися нормальним патернам поведінки абонентів і мережі, щоб автоматично виявляти відхилення, характерні для кібератак. По-третє, впроваджуються платформи автоматизації і оркестрації реагування (SOAR), які тісно інтегруються з SIEM. Це дозволяє автоматично виконувати дії при виявленні інциденту (блокування підозрілих вузлів, перенаправлення трафіку, сповіщення адміністраторів) з мінімальними затримками. Нарешті, розробляються стандарти і спільні формати обміну даними про кіберзагрози (наприклад, STIX/TAXII), що спрощує інтеграцію між різними компонентами безпеки в екосистемі 5G [6].

Висновок

Впровадження SIEM у мережах п'ятого покоління є критично важливим кроком для забезпечення проактивного захисту від кіберзагроз. SIEM слугує центральним вузлом, де консолідується інформація про події безпеки з усього середовища 5G, що дає змогу виявляти складні багатоетапні атаки, невидимі для окремих елементів мережі. Поєднання SIEM з аналітичними функціями 5G (такими як NWDAF) та використання ШІ підвищує ефективність виявлення та реагування [2] [7]. Попри виклики масштабування та складності, сучасні підходи, AI/ML, автоматизація – дозволяють адаптувати можливості SIEM під потреби 5G. Подальший розвиток стандартів та співпраця між операторами зв'язку і виробниками рішень безпеки сприятимуть створенню більш надійних систем моніторингу, здатних захистити 5G-мережі та їхніх користувачів від новітніх загроз.

Список літератури

1. GSMA. FS.31: 5G Security Recommendations. Version 2.0. GSM Association, 2019.
2. 3GPP TS 23.288 V17.2.0. Architecture enhancements for 5G System (5GS) to support Network Data Analytics Services. Release 17, Dec. 2021.
3. ENISA – European Union Agency for Cybersecurity. Threat Landscape for 5G Networks. November 2019.
4. Splunk. Securing the 5G Era with Advanced Analytics. Splunk White Paper, 2020.
5. Nokia. Building a 5G Security Operations Center. White Paper, 2020.
6. Ahmad, M. Kumar, H. L. Chauhdary, et al. "Security in 5G Networks: Challenges and Solutions." IEEE Communications Magazine, vol. 59, no. 4, 2021, pp. 42–48.
7. S. Latif, M. Usama, W. Khawaja, et al. "Artificial Intelligence for 5G Security: Opportunities and Challenges." IEEE Network, vol. 34, no. 6, 2020, pp. 14–20.
8. P. K. Sharma, F. Al-Turjman. "Implementing SIEM in Cloud-Native 5G Networks." In Proc. IEEE NetSoft, 2020, pp. 85–92.

УДК 621.396

К.Ю. Зандер[1], В.О. Гнатюк[1,2]
([1]Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна
[2]Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації, Україна)

Підвищення швидкості реакції, інтерактивної Інтернет-системи

Запропоновано удосконалену схему організації Інтернет-доступу до серверної частини інтерактивної системи, використання якої дозволяє, за зверненнями клієнтів, прискорити пошук IP-адрес серверів з їхніми персональними даними.

Існуючі схеми опрацювання звернень інтерактивними Інтернет-системами не у повній мірі використовують можливості підвищення швидкості реакції таких систем на звернення клієнтів. Швидкість реакції, тобто реактивність, інтерактивної системи є одною із її основних властивостей, а середній час реакції інтерактивної системи на звернення клієнтів (проміжок часу між моментом відправки клієнтом запита і моментом отримання початку відповіді на цей запит) є основним показником цієї властивості.

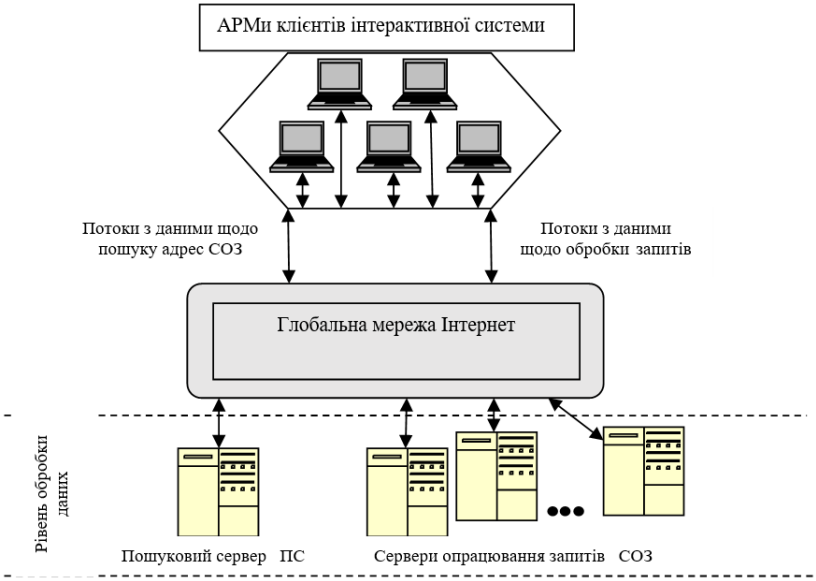


Рис. 1. Схема організації взаємодії клієнтів із серверами інтерактивної системи

За результатами аналізу типової схеми (рис. 1) опрацювання звернень інтерактивними системами було виявлено недоліки цієї схеми, що негативно впливають на швидкість реакції таких систем на звернення їхніх клієнтів. Процес визначення IP-адрес шуканих файлів з персональними даними клієнтів

серверами опрацювання данник СОЗ за звичайних умов є довготривалим та не прогнозованим. Цей недолік обумовлений особливостями типової схеми опрацювання звернень, що не враховує можливості збільшення швидкості обробки даних у серверній частині прикладної системи шляхом розпаралелювання процесу обробки. Також, бачимо що в типовій схемі опрацювання звернень характеристики трафіку звернень не узгоджені з характеристиками прикладної системи, що оброблює цей трафік. На фоні цього виникає великий ступінь невизначеності щодо ризиків можливих втрат звернень користувачів інтерактивних систем на доступ до своїх персональних даних за умов різких сплесків на фоні високо інтенсивного трафіка цих звернень, оскільки цей трафік має не прогнозований характер.

Запобігання проявам названих вище чинників вимагає суттєвих витрат часових ресурсів інтерактивних систем, що негативно впливає на показники їхньої реактивності. Зрозуміло, що за цих умов існує потреба у розробці засобів підтримки певного рівня якості обслуговування звернень з тим, щоб тривалість можливого очікування у чергах на обробку звернень не перевищувала припустимого рівня.

Оскільки процес визначення IP-адреси шуканого файлу за звичайних умов є довготривалим та непрогнозованим, то з метою прискорення пошуку згідно даного методу слід використати лінійку паралельно працюючих пошукових серверів. У склад центрального вузлу інтерактивної системи уводять:

1) лінійку однакових паралельно працюючих пошукових серверів, кожен з котрих призначений для визначення IP-адреси файла з персональними даними клієнта у відповідь на зроблене звернення;

2) сервер з програмою Менеджер, котрий у реальному часі сприймає звернення клієнтів, оптимізує параметри потоку цих звернень, зокрема шляхом згладжування його сплесків, і розподіляє їх між серверами лінійки, зокрема реалізуючи процедуру вирівнювання навантаження між ними;

3) програмний модуль визначення ідентифікатора того одного із серверів лінійки, котрий має у поточний момент почати пошук IP-адреси файла з персональними даними чергового клієнта, звернення котрого почала оброблювати програма Менеджер.

Запропонована схема рис 2. та процедура збільшення швидкості опрацювання звернень, що надходять від клієнтів інтерактивних систем, спрямовані на зменшення впливу розглянутих вище недоліків типової схеми організації доступу і, от же, на підвищення реактивності цих систем.

Дана процедура та схема придатна для застосування при організації паралельної роботи пошукових серверів, і, у свою чергу, здатна забезпечити мінімізацію середнього часу реакції прикладної системи на запити клієнтів шляхом узгодження характеристик запропонованої вище схеми організації пошуку з характеристиками реального потоку звернень та можливість використання методів оптимізації розподілу навантаження між пошуковими серверами.

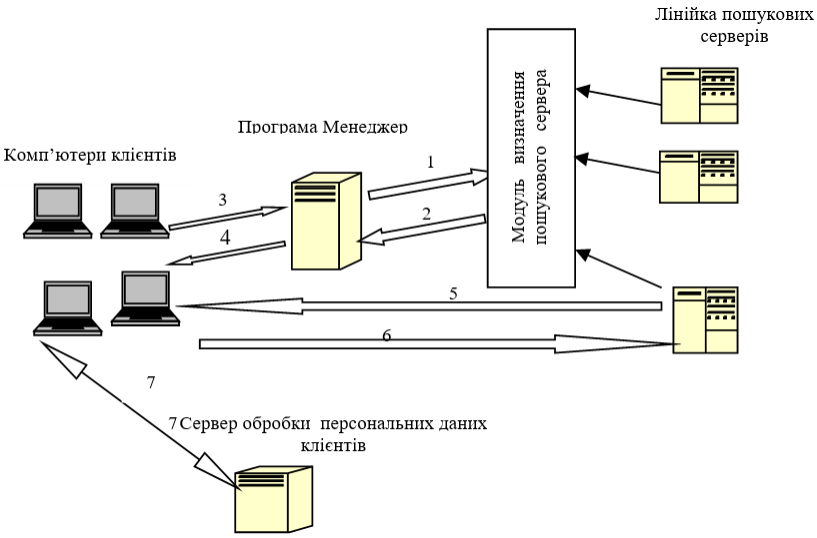


Рис. 2. Удосконалена процедура пошуку IP-адреси сервера з персональними даними клієнта, що зробив запит у прикладній Інтернет-системі

Дана процедура враховує невизначеність як у моментах появи звернень (оскільки потік клієнтських запитів має непередбачуваний характер), так і щодо тривалості пошуку кожним із серверів лінійки. Ця схема передбачає використання лінійки паралельно працюючих пошукових серверів, що функціонують під управлінням програми Менеджер, яка у реальному часі сприймає звернення клієнтів, оптимізує параметри потоку цих звернень, зокрема шляхом згладжування його сплесків, і розподіляє їх між серверами лінійки, реалізуючи процедуру вирівнювання навантаження між ними.

Висновок

Запропонована схема передбачає використання лінійки паралельно працюючих пошукових серверів, що функціонують під управлінням програми Менеджер, яка у реальному часі сприймає звернення клієнтів, оптимізує параметри потоку цих звернень, зокрема шляхом згладжування його сплесків, і розподіляє їх між серверами лінійки, реалізуючи процедуру вирівнювання навантаження між ними.

Ця процедура здатна забезпечити зменшення середнього часу реакції прикладної системи на звернення клієнтів шляхом узгодження характеристик запропонованої вище схеми організації пошуку з характеристиками реального потоку звернень, а також можливість використання методів оптимізації розподілу навантаження між пошуковими серверами.

Список літератури

1. Класифікація інформаційних систем підприємств [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://fossdoc.com – Назва з екрану. – Дата звернення: 2024.

2. Applied Information Systems and Technologies in the Digital Society: International Scientific and Practical Conference, October 1, 2024. – Інформаційні матеріали конференції.

3. Цюцюра С.В., Комарницький О.О. Застосування новітніх інформаційних технологій в Україні // Тези міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні наукові дослідження та розробки: теоретична цінність та практичні результати». – Братислава, 14–19 березня 2016 р. – С. 155–156.

4. Pankratova N., Tymchik G., Pankratov Y. Strategy of the cyber-physical system for the small business // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2024. – №2. – С. 7–20.

5. Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві: зб. тез доповідей і наук. повідомл. учасників VI Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 30 вересня 2022 р.) / за заг. ред. В. Плескача, В. Зосімова, М. Пирога. – К.: Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2022. – 276 с.

6. Alomar M., Alomar S., Obeidat A. Influence of traffic prognostic mechanism on quality of adaptive control of switchboard // International Journal of Engineering Science (IJES). – Bethesda (USA), 2014. – Vol. 7, No. 33. – P. 1763–1776. – DOI: 10.12988/ces.2014.4797. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.scirp.org/journal/eng

УДК 004.3

В.І. Урсова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Система обліку та керування обладнанням на підприємстві

Основна концепція системи обліку та керування обладнанням полягає у централізованому збиранні, зберіганні та обробці інформації про всі наявні технічні ресурси підприємства. Система дозволяє автоматизувати інвентаризацію, відстеження переміщень, контроль технічного стану та планування обслуговування обладнання. Вона сприяє зниженню втрат, оптимізації витрат на ремонт і підвищенню ефективності роботи персоналу. Ключовими складовими є база даних, інтерфейс користувача та засоби ідентифікації (наприклад, QR або RFID-мітки). Така система забезпечує прозорість управління активами та покращує загальну організацію виробничих процесів.

У сучасних умовах інтенсивного розвитку цифрових технологій та автоматизації бізнес-процесів, система обліку та керування обладнанням стала ключовим інструментом для ефективної роботи підприємств. Вона дозволяє централізовано обліковувати всі матеріально-технічні ресурси, уникати втрат, простоями техніки та невчасного обслуговування. Така система забезпечує не лише зручне зберігання інформації про обладнання, але й створює умови для ефективного управління життєвим циклом кожного активу — від моменту його закупівлі до списання. Завдяки цьому підвищується продуктивність, знижується навантаження на персонал, а також оптимізуються витрати підприємства. Таким чином, впровадження таких систем — це не просто сучасна тенденція, а стратегічна необхідність для підвищення конкурентоспроможності.

№	Найменування обладнання	Інвентарний номер	Статус	Відповідальна особа	Локація	Дата придбання
1	Комп'ютер Dell Optiplex	INV-001	Активне	Іваненко С.О.	Відділ IT	12.02.2022
2	Принтер HP LaserJet	INV-002	На ремонті	Петров В.К.	Відділ кадрів	03.05.2021
3	Кондиціонер LG	INV-003	Активне	Смирнова Н.В.	Склад №2	25.07.2020

Рис. 1. Зовнішній вигляд системи обліку та керування

Система обліку та керування обладнанням є комплексом технічних і програмних засобів, призначених для автоматизації процесів ведення обліку, контролю та планування використання обладнання на підприємстві. Насамперед вона дає змогу створити єдину базу даних, у якій фіксуються всі одиниці обладнання: їхні характеристики, місце розташування, відповідальні особи, стан, дата останнього обслуговування тощо. Завдяки цьому керівництво підприємства може в реальному часі отримувати повну інформацію про наявні

технічні засоби, а також приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо їх ремонту, заміни або переміщення.

До складу такої системи можуть входити різні компоненти: програма для введення та перегляду даних, ідентифікаційні засоби (наприклад, QR-коди або RFID-мітки), мобільні пристрої для сканування обладнання, а також аналітичні модулі, що формують звіти та графіки. Завдяки впровадженню таких систем підприємства значно зменшують кількість випадків втрати обладнання, порушень у веденні інвентаризації та покращують планування технічного обслуговування. Також зменшується людський фактор, оскільки більшість рутинних операцій автоматизуються.[1]

Окрему увагу в таких системах приділяють безпеці даних: обмежується доступ до функцій залежно від ролі користувача, фіксуються всі дії в системі, а також передбачена можливість створення резервних копій. Інтеграція з іншими бізнес-системами, наприклад ERP (системами управління ресурсами підприємства), дозволяє досягти ще більшої ефективності, адже всі бізнес-процеси взаємопов'язані та підконтрольні.[2]

Забезпечення безперервності виробничих процесів, оптимізація технічного обслуговування та своєчасне реагування на зміни у функціональному стані обладнання є пріоритетними завданнями для сучасних промислових підприємств. У цьому особливу роль відіграють інформаційні системи (ІС), що здійснюють моніторинг технічного стану, облік обладнання та підтримку інвентаризації. Такі системи об'єднуються під загальним поняттям інформаційно-аналітичних систем управління технічними ресурсами (*Asset Management Systems*, *CMMS* або *IAMS*), і знаходять широке застосування в діджиталазації виробничих структур.[3]

Було проведено огляд трьох сучасних аналогів: *ThingWorx*, GE MES та *IBM Maximo Application Suite*, що представляють різні підходи до організації моніторингу та обліку технічних засобів. Порівняльний аналіз показав, що, попри широку функціональність, жодна з існуючих платформ не є оптимальною для малих та середніх підприємств, які не мають у своєму розпорядженні потужних обчислювальних ресурсів та значного фінансування.

Ключовими обмеженнями серед цих рішень є надлишкова функціональність, висока вартість ліцензування, складність впровадження, залежність від стабільного інтернету, а також відсутність адаптації до умов локального виробництва. Ці фактори формують потребу у створенні більш легкої, гнучкої, адаптованої інформаційної системи, яка б забезпечувала базові функції обліку, моніторингу стану обладнання.[4]

У сфері виробництва, де обладнання виступає ключовою сутністю, контроль за його технічним станом є критичним. Порушення в роботі можуть спричинити не лише тимчасові зупинки, але й повне припинення діяльності, що провокує економічні втрати, порушення термінів та погіршення репутації. У зв'язку з цим, ІС, що дозволяють автоматизовано відслідковувати стан технічних засобів, своєчасно виявляти відхилення від норми та приймати обґрунтовані рішення для обслуговування, набувають особливого значення.

У сучасних умовах, коли підприємства прагнуть цифрової трансформації, впровадження таких систем є не просто бажаним, а необхідним

кроком до підвищення продуктивності, зниження витрат і прозорого управління активами.[5]

Висновок

У результаті розгляду теми можна зробити висновок, що система обліку та керування обладнанням є важливим елементом сучасного підприємства, що забезпечує ефективне використання технічних ресурсів. Її впровадження сприяє підвищенню прозорості операцій, оптимізації витрат, мінімізації простоїв і втрат, а також покращенню контролю за технічним станом обладнання. Завдяки автоматизації та цифровим технологіям, таким як QR-коди, RFID і інтеграція з ERP-системами, підприємство отримує повну картину щодо наявних активів. Систематизований підхід до обліку дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення та забезпечує надійність бізнес-процесів. Усе це свідчить про доцільність впровадження таких систем як важливої складової цифрової трансформації підприємства.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 55000:2016. Управління активами. Загальні положення, принципи та термінологія. – [Чинний від 01.07.2017]. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. – 22 с.
2. Семенов І.Є. Інформаційні системи обліку на підприємстві. – Київ: Центр учбової літератури, 2020. – 215 с.
3. Офіційний сайт 1С в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://1c.ua – Назва з екрана.
4. Журнал «IT в бізнесі». – Професійне видання про інформаційні технології у сфері підприємництва. – [Різні статті за темою управління активами та обліку].
5. Інструкції та документація до систем «M.E.Doc», «Asset Panda» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: офіційні сайти розробників. – Назва з екрана.

УДК 681.52

Ю.К. Шестопал
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Керування груповим рухом БПЛА з урахуванням фізичних перешкод в умовах невідомого навколишнього середовища

Розглянуто сучасні методи визначення керування груповим рухом БПЛА в умовах фізичних перешкод. Проаналізовано централізовані, децентралізовані та розподілені підходи. Встановлено доцільність комбінування покращеного методу IAPF з розподіленим керуванням на основі консенсусу для підвищення надійності в умовах невідомого навколишього середовища.

Проблематика ефективного керування груповим рухом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в складних умовах навколишнього середовища за умови наявності фізичних перешкод є однією з ключових в сфері інтелектуального управління автономними системами. У зв'язку з активним залученням безпілотних літальних апаратів у військову справу, логістику, аграрний сектор, а також пошуково-рятувальні операції, питання створення умов для забезпечення цілісності формації групи під час групового уникнення перешкод набуває особливої науково-практичної значущості. В сучасних дослідженнях детально розглядаються питання централізованого, децентралізованого та розподіленого керування групами БПЛА, методів ухилення від перешкод, включаючи штучні потенційні поля, алгоритми консенсусу та машинне навчання [1,2].

Мета дослідження – аналіз та узагальнення сучасних методів керування груповим рухом БПЛА з урахуванням фізичних перешкод в умовах невідомого навколишнього середовища.

Керування груповим рухом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) може бути реалізоване за допомогою трьох основних підходів: централізованого, розподіленого та децентралізованого. Централізована модель включає в себе наявність єдиного керуючого вузла, який здійснює глобальне планування руху для всієї групи БПЛА. Прикладом такої моделі є метод Leader – Follower, де один з апаратів задає траєкторію, а решта апаратів дотримується заданої формації відносно нього. Використання зазначеного підходу сприяє досягненню високої точності збереження формації, однак має вразливість до відмови лідера та обмежену масштабованість через зростаюче навантаження на центральний елемент [1,4].

Децентралізовані моделі керування основуються на тому, що кожен агент приймає рішення самостійно, спираючись на локальні спостереження. Прикладом такої моделі є Model Predictive Control (MPC), що надає можливість кожному БПЛА, що знаходиться в стані групи, розв'язувати локальні оптимізаційні задачі з урахуванням динаміки та обмежень. Такі моделі демонструють високу адаптивність до змінних умов середовища, проте проблема координації та досягнення глобальної синхронізації між апаратами залишається актуальною та невирішеною [3].

Розподілені моделі керування, що основуються на алгоритмах консенсусу, надають можливість досягати узгодженості між апаратами без потреби у центральному координаторі. Кожен БПЛА при груповому русі взаємодіє з обмеженим числом інших БПЛА, що знаходяться в групі. Консенсусні алгоритми сприяють підтриманню стабільної конфігурацію групи, навіть в умовах динамічного середовища, що робить їх ефективними в задачах групового маневрування в умовах недостатньої інформації про навколишнє середовище.

Для реалізації та дослідження вищенаведених моделей керування використовуються різноманітні методи. Одним із ключових методів керування є математичне моделювання динаміки БПЛА [1], яке реалізується на основі моделі подвійного інтегратора, що описує зміну положення, швидкості та прискорення у дво- або тривимірному просторі. Комунікаційна структура між апаратами моделюється за допомогою теорії графів, тобто через матриці суміжності та лапласіани, що в свою чергу надає можливість формалізувати правила обміну інформацією в стані групи.

Важливу роль в побудові алгоритмів керування відіграють функціональні методи оптимізації, а саме рівняння Гамільтона–Якобі–Беллмана (HJB) та функції Ляпунова. Використання зазначених рівнянь надає змогу знайти оптимальні стратегії керування, що мінімізують функцію витрат, а функції забезпечують математичне обґрунтування стабільності системи. В задачах з невідомим середовищем доцільним є застосування методу Random Search for Hyperparameter Optimization (RSHO), що знаходить ефективну комбінацію параметрів шляхом взаємодії з динамічним навколишнім середовищем в симуляціях [1].

В рамках задач уникнення фізичних перешкод при груповому русі БПЛА виділяють три основні підходи: глобальні, локальні та інтелектуальні [1]. Глобальні методи, такі як A*, генетичні алгоритми та метод рою частинок, здійснюють знаходження оптимального маршруту на основі апріорної інформації про навколишнє середовище. Однак, важливо зазначити, що ці методи непридатні для умов із відсутністю повної або динамічної зміни інформації про навколишнє середовище.

Локальні методи, а саме методи на основі штучних потенційних полів (Artificial Potential Fields, APF), полягають у взаємодії гравітаційних та відштовхувальних сил, що змушують групу БПЛА уникати перешкод та прямувати до цілі. З одного боку, локальні методи мають достатньо велику обчислювальну ефективність, проте вони часто стикаються з проблемою локальних мінімумів, коли апарат потрапляє в «пастку» потенційного поля. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано покращену модель IAPF, що включає швидке реагування на наближення до перешкоди, використання внутрішньоройових віртуальних полів для запобігання зіткненням та адаптивне відключення гравітаційного впливу в критичних точках [1,2], побудови штучних просторових сил, які не иають потенційного характеру [5].

Інтелектуальні методи, такі як нейронні мережі та глибоке навчання з підкріпленням, формують новий клас систем, здатних до самонавчання в складних середовищах. Застосування таких підходів допомогає БПЛА

адаптивно реагувати на нові загрози та формувати оптимальні траєкторії польотів на основі накопиченого досвіду. Проте, їх впровадження вимагає значних обчислювальних ресурсів та тривалого навчання.

На основі детального аналізу та дослідження існуючих методів та моделей, встановлено, що традиційні методи керування БПЛА, демонструють лише часткову ефективність в складних умовах навколишнього середовища. Найрезультативнішим підходом є комбінування покращеного методу IAPF з оптимальним розподіленим керуванням на основі консенсусу, що створює умови для збереження цілісності формації під час уникнення перешкод, мінімізує витрати енергії та зменшує час на реконфігурацію після обходу перешкоди. Результати чисельного моделювання підтверджують ефективність запропонованого підходу в умовах як відомого, так і невідомого навколишнього середовища.

Висновок

Під час аналізу сучасних підходів до керування груповим рухом БПЛА, встановлено доцільність використання комбінованих методів, що поєднують покращені локальні алгоритми уникнення перешкод (IAPF) із розподіленими алгоритмами консенсусу. Застосування зазначеного підходу надає можливість забезпечити автономність, адаптивність та стійкість керування групами БПЛА в умовах невідомого навколишнього середовища.

Список літератури

1. Li, Y., Zhang, P., Wang, Z., Rong, D., Niu, M., Liu, C. Multi-UAV Obstacle Avoidance and Formation Control in Unknown Environments. Drones, 2024, 8(12), 714. MDPI, Basel. doi: 10.3390/drones8120714.

2 Чепиженко В.І., Павлова С.В., Скирда І.І. Керування траєкторним рухом безпілотних літальних апаратів у рої. //Кібернетика та обчислювальна техніка, 2023, № 1(211), с. 64-76. Видавництво: Академперіодика НАН України, Київ. doi: 10.15407/kvt211.01.064.

3. Maaruf, M., Mahmoud, M., Ma'arif., A. A Survey of Control Methods for Quadrotor UAV. International Journal of Robotics and Control Systems. Vol. 2, No. 4, 2022, pp. 652-665. ISSN 2775-2658.

4. Пономаренко С.О., Марченко П.А. Керування рухом групи безпілотних апаратів у складному середовищі // Гіротехнології, навігація і керування рухомими об'єктами – IV : матеріали науково-технічної конференції студентів та молодих вчених (4–5 січня 2024 р.). – Київ, 2024. – С. 42-44.

5. Glazok O. A non-potential target function for controlling the UAVs group flight in presence of concave obstacles //2019 IEEE 5th Int. Conf. «Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments» (APUAVD): proceedings (October 22-24, 2019). – K., 2019. – Pp. 238-241.

UDC 629.735.018.7.015.3.025.1

O.S. Viaznikova
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Intelligent software for UAV control with obstacle recognition and obstacle circumvention functionality

Mixing AI with autopilot and obstacle circumvention functionality resulted in intelligent software with computer vision and an obstacle avoidance algorithm for urban environments.

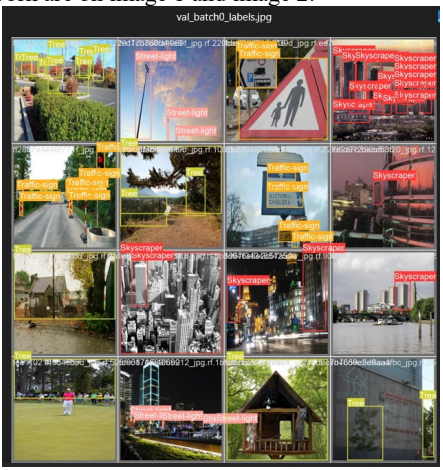
UAV obstacle recognition and avoidance

One of the many uses of artificial intelligence (AI) in UAVs is to solve flight control and route correction problems. AI in UAVs enables not only control over the flight itself but also adaptability to unpredictable conditions. For example, AI can analyze data from sensors in real time to detect obstacles, strong winds, or changes in weather and adjust the route accordingly. This is particularly important in challenging or dangerous conditions where human intervention may be limited or entirely impossible. In addition, AI can optimize the flight route for maximum efficiency, taking into account factors such as energy consumption, flight duration, and mission goals.

The purpose of this work is to design UAV control software capable of recognizing obstacles and navigating around them. The software receives a stream of images from an onboard camera and identifies obstacles encountered along the UAV's path, such as a house or a tree. For the sake of simplicity, each obstacle is approximated as a geometric figure—for instance, a house as a parallelepiped or a tree as a cylinder with texture of these elements. The software then generates commands for the UAV's actuators to safely fly around the obstacle. Developing such a system involves the integration of several technologies and algorithms. The initial step involves analyzing system requirements, including the types of obstacles to be recognized (like buildings, trees, traffic lights, streetlights, or traffic signs), operating conditions of the UAV (altitude, speed, and weather), recognition accuracy and response time requirements, the format of the input data (images from the camera), and constraints on available computational resources such as processing power and memory.

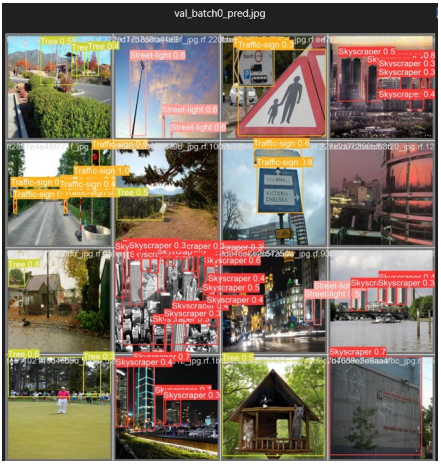
The software architecture is modular and includes several main components. The data capture module handles input from the onboard video camera and optionally from other sensors such as lidar, radar, or GPS. APIs are used to stream data from these sources, and, if the computing resources allow, preprocessing steps such as image stabilization or exposure correction can be applied to improve image quality. The computer vision module is responsible for recognizing and classifying objects in the images and converting them into simplified geometric representations. This module can be implemented using deep learning, particularly YOLOv5, which performs object detection and classification using bounding boxes. The model must be trained on datasets that reflect common obstacles in urban environments. A separate component translates the recognized objects into geometric shapes: for

example, a bounding box can be used to approximate a building as a parallelepiped, while a tree can be modeled as a cylinder using estimated radius and height. For more complex objects, methods like SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) can be employed to construct 3D models. Tools such as PyTorch, NumPy, OpenCV, Pandas, Matplotlib, Seaborn, SciPy, TorchVision, and Albumentations are commonly used to develop and train the neural network models. The results of training neural network are on image 1 and image 2:



Img.1 Example of labeled photos from initial set

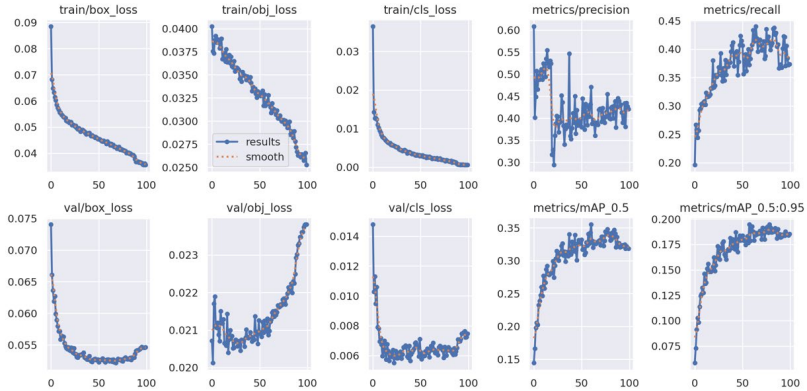
In this image, you can see the elements marked in the photographs, namely "obstacles" in urban conditions: trees, buildings, road signs, etc.



Img.2 Example of labeled photos got after teaching YOLOv5

In these photos, we can see the actual results of training the YOLOv5 neural network. The images show the computer vision labeling which represent good results of training.

The graphs of training accuracy are depict in image 3:



Img.3 Graphs of accuracy and losses of training

The accuracy of training depends on the given number of epochs and the amount of training data. If there is a need to improve the accuracy of model training, it is possible to continue it by adding the number of training epochs, for example 150 or more, or by increasing the amount of data.

To plan a safe and efficient route, the route planning module first builds a spatial model of the UAV's surroundings by integrating data from the computer vision system and other onboard sensors. This model can be structured using either a grid-based representation or an octree, depending on the system's requirements for precision and computational efficiency. Various obstacle avoidance algorithms can be applied to this environment model. Classical approaches like A* and Dijkstra offer optimal pathfinding, while potential field methods simulate virtual forces that push the UAV away from nearby obstacles. More dynamic algorithms such as RRT (Rapidly-exploring Random Tree), Bug algorithms, and D*-Lite allow for greater flexibility in navigating complex and changing environments. After analyzing these options, D*-Lite was selected for this system due to its key advantages: it supports efficient incremental replanning in dynamic settings (this option is useful and important for dynamic environments like urban), provides near-optimal paths, and performs well in real-time applications where the UAV must react promptly to newly detected obstacles. Once the optimal path is calculated using D*-Lite, it is transmitted to the motion control module for execution. ROS2 and PX4 platforms are used to manage the integration and execution of these planning components.

The motion control module manages sending commands to the UAV's engines and monitors execution of the planned trajectory. A PID controller ensures accurate control of speed and heading, using real-time GPS and inertial data to keep the UAV on course. A graphical user interface may be developed to visualize the UAV's position, detected obstacles, and flight path. It can also include the ability for

manual control during emergency situations. The system must be rigorously tested and optimized using UAV simulation tools such as Gazebo integrated with PX4. Testing focuses on verifying the accuracy and reliability of each software component, ensuring real-time performance, and improving robustness to noise and sensor errors. Overall, the proposed software system integrates modern computer vision, deep learning, spatial modelling, path planning algorithms, and motion control. With proper implementation, it enables UAVs to detect and avoid obstacles effectively in real-time environments.

Conclusion

The result of this work is intelligent software that integrates computer vision (using the YOLOv5 neural network) with the PX4 autopilot, incorporating obstacle recognition and circumvention functionality based on the D*-Lite algorithm. The simulation was conducted in a synthetic environment using PX4, ROS2, and Gazebo.

References

1. Л.С. Єршова, О.М. Шевченко. Особливості використання штучного інтелекту в умовах воєнного стану на території України. // Юридичний науковий електронний журнал. – 2023. – № 6. – С. 410-413. DOI 10.32782/2524-0374/2023-6/95
2. Applications, challenges, and solutions of unmanned aerial vehicles in smart city using blockchain / Faisal A. S. S., Mazhar T, Shloul TA, Shahzad T, Hu YC, Mallek F, Hamam H. // PeerJ Comput Sci. – 2024 Feb 8;10:e1776. DOI: 10.7717/peerj-cs.1776
3. What is lidar? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html. (доступ 07.03.2025)
4. Нечипоренко В.А. Методи керування БПЛА із застосуванням комп'ютерного зору. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2024, 52024217. – С. 217-225. DOI 10.32782/2663-5941/2024.5.1/32
5. Zammit C., Van Kampen E.-J. Comparison between A* and RRT Algorithms for 3D UAV Path Planning. Unmanned Systems. – September 2021. volume10. DOI: 10.1142/S2301385022500078

UDC 629.735.018.7.015.3.025.1

Y.S. Bodanov, O.M. Glazok, PhD (Eng.), Associate Professor
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Using Smart Contracts to Enhance the Security of Cyber-Physical Systems

Centralized cyber-physical systems face security risks. Web3, using blockchain and smart contracts, offers decentralized solutions for enhanced security and reliability, particularly in aviation. This work analyzes smart contracts for access control and data integrity, proposing a decentralized architecture while noting benefits like fault tolerance and challenges like scalability.

Cyber-physical systems, including aviation systems, are traditionally built upon centralized web services (Web2) and databases. Such an architecture has significant drawbacks: a Single Point of Failure (SPoF), whose failure paralyzes the system, and data centralization, which makes the server a priority target for attackers and creates privacy risks.

The Web3 paradigm, utilizing blockchain and smart contracts, offers a decentralized solution. A distributed network of nodes eliminates the single point of failure, and the blockchain provides an immutable, transparent, and cryptographically secured ledger of operations. Combined with smart contracts, which automate the execution of rules, this creates a foundation for building significantly more resilient and secure cyber-physical systems without trusting a central administrator.

Research Goal

To analyze the potential and challenges of applying blockchain and smart contracts to strengthen the security and reliability of intelligent cyber-physical systems. Main objectives:

1. Identify the problems of centralized systems and the advantages of decentralization.
2. Investigate the role of blockchain as a foundation for data and logic.
3. Evaluate the capabilities of smart contracts for implementing security functions (access control, integrity, automation).
4. Consider pseudonymous authentication via crypto wallets.
5. Propose a generalized architecture for a decentralized system.
6. Analyze application examples and key challenges (vulnerabilities, updates, scalability, regulation).

Methodology

The research includes a review of scientific literature, a comparative analysis of Web2/Web3 architectures, an analysis of technologies (Ethereum, Solidity), conceptual modeling of the architecture, study of examples [1], and threat analysis based on known classifications (OWASP) [3].

Analysis and Proposed Approach

1. Vulnerabilities of Centralized Systems (Web2)

Dependence on central servers creates vulnerability to a wide range of threats. Technical failures of hardware or software can lead to complete service unavailability. Cyberattacks, such as Distributed Denial of Service (DDoS) attacks, can overload the server, rendering the system inoperable. More dangerous are penetration attacks aimed at gaining unauthorized access to data or control functions. A successful breach of a central database can lead to a massive leak of confidential information (user data, system parameters, trade secrets). Attacks involving data modification (e.g., altering logs or changing critical parameters) can lead to incorrect system operation or concealment of malicious activity traces. Insider threats, where employees with system access abuse their privileges, should also not be forgotten. The requirement to trust a single provider is a fundamental weakness of this model.

2. Advantages of Decentralization (Web3)

Blockchain eliminates dependence on a single center. Data and logic are replicated across numerous nodes belonging to different network participants. Even if a significant portion of nodes fails or is attacked, the network continues to function thanks to consensus mechanisms that allow nodes to agree on the correct state of the system. Cryptographic hashing and block linking guarantee the integrity and immutability of the transaction history. Decentralized applications (DApps) interact with the blockchain through secure interfaces, and their server-side logic is encapsulated in smart contracts – programs that run autonomously on the network.

3. Role of Smart Contracts in Security

Smart contracts can serve as autonomous agents for critical security functions in cyber-physical systems:

Granular Access Control: Access policies are encoded in a smart contract instead of a centralized rights table. Rights can be granted based on the user's or device's blockchain address (identifier). Various models can be implemented: Role-Based Access Control (RBAC), Attribute-Based Access Control (ABAC), or through ownership of special access tokens. Specifically, Non-Fungible Tokens (NFTs) can be used to confirm unique personal rights (e.g., a qualification certificate), while Fungible Tokens (FTs) can be used for group access. For instance, to access an aircraft's technical maintenance interface, a technician must hold an NFT in their wallet confirming their qualification and authorization for the relevant work.

Data and Command Integrity: Transmission of commands and data via the blockchain with cryptographic proof of origin and a guarantee of immutability.

Audit: Recording all operations in an immutable public (or private) ledger.

Automation: Smart contracts allow the encoding of complex interaction rules or reactions to events. For example, a smart contract can automatically block access to the system upon detecting suspicious activity (based on data received via oracles), initiate a payment from an escrow account upon confirmation of component delivery (in a supply chain scenario), or automatically notify responsible parties when specific monitoring parameters are exceeded.

4. Pseudonymity via Crypto Wallets

Authentication via crypto wallets (e.g., MetaMask) allows users to interact with the system using a pseudonymous blockchain address without revealing

personal data. This enhances privacy and eliminates the risk of compromising a centralized password database.

5. Conceptual Architecture and Application Examples

The proposed architecture of a decentralized cyber-physical system includes the following components:

Client-Side: User interface (web, mobile) or device software agent (IoT, onboard computer).

Crypto Wallet: Software (browser extension, mobile app) or hardware device managing keys and signing transactions.

Blockchain Network: The foundation for executing smart contracts and storing state. It can be public (Ethereum, Polygon), consortium (Hyperledger Fabric, R3 Corda), or private, depending on requirements for transparency, performance, and control.

Smart Contracts: A set of contracts implementing the logic:

- *Registry Contract:* Manages users, devices, components (possibly using NFTs).
- *Access Control Contract:* Implements access policies (RBAC, ABAC, etc.).
- *State and Logic Contracts:* Manage system state and execute business logic.
- *Logging Contract:* Emits events to record important actions.

Decentralized Storage (Optional): Systems like IPFS/Filecoin/Arweave for storing large volumes of data off-chain (logs, multimedia), with data hashes recorded on the blockchain for integrity control.

Oracles (Optional): Services (e.g., Chainlink) for securely transferring data from the external world into smart contracts and vice versa.

Application Example (Aviation – Supply Chain): Creating a digital passport for a critical component (e.g., a turbine blade) as an NFT on the blockchain. The manufacturer records initial data (serial number, production date, certificates) in the smart contract associated with the NFT. When the component is transferred to an airline, ownership of the NFT is transferred via a transaction. Each maintenance operation, repair, or modification is recorded by an authorized service center (identified by its address) by calling the relevant function of the smart contract and updating the component's history. Before installation on an aircraft, the system can automatically verify the component's entire history, certification, and compliance with requirements via the smart contract, preventing the use of counterfeits or components with unknown histories. The smart contract could also automatically generate notifications for scheduled maintenance based on flight hour data (obtained via an oracle or another onboard contract).

Another Example (Aviation – Secure Data Exchange): Airlines, airports, and service companies could use a consortium blockchain for a secure and transparent exchange of operational information (e.g., flight statuses, maintenance schedules, load data). Smart contracts would define who has access to what data, while ensuring immutability and auditability of the exchange.

6. Key Advantages of the Approach

Fault Tolerance: No single point of failure. Critical for systems requiring High Availability.

Data Integrity and Immutability: Cryptographic guarantees of the blockchain prevent unnoticed alteration or deletion of recorded data and logs, which is fundamental for trust and security.

Transparency and Audit: All transactions and state changes can be verified by participants (within access rights), simplifying audits, anomaly detection, and compliance with regulatory requirements.

Enhanced Security: The absence of a central control point makes system takeover more difficult. Cryptographic authentication and authorization via smart contracts increase the level of protection.

User Control over Data and Identity: Using crypto wallets allows users to control their private keys and interact pseudonymously, reducing the risks of personal data leakage.

Automation and Efficiency: Smart contracts automatically execute embedded logic without intermediaries, reducing delays, eliminating human errors, and lowering operational costs.

7. Challenges and Potential Threats

Smart Contract Vulnerabilities: Code errors require thorough testing, auditing, and formal verification.

Update Complexity: Immutability complicates fixes and modifications. Upgrade patterns [2] exist but add complexity.

Scalability: Limited throughput of public blockchains may be insufficient for real-time systems. Layer-2 solutions or private networks are needed.

User Requirements: Web3 places significant responsibility on the user, primarily for the secure storage of private keys (self-custody). Loss or compromise of a key means irreversible loss of access to assets and identity without the possibility of recovery through a central support service.

Regulatory Issues: This is the most complex challenge, especially for such a strictly regulated industry as aviation. Blockchain pseudonymity conflicts with "Know Your Customer" (KYC) and "Anti-Money Laundering" (AML) requirements. Data immutability contradicts the right to be forgotten (e.g., GDPR). The decentralized nature complicates determining jurisdiction and the responsible party. For aviation, a key problem is certifying systems for compliance with flight safety and cybersecurity standards (e.g., DO-178C/ED-12C for software, DO-326A/ED-202A for cybersecurity). How do we certify a system whose logic executes on an uncontrolled decentralized network? How to ensure the necessary level of predictability, reliability, and auditability by regulators? How do we integrate blockchain solutions with existing certified systems?

Conclusions

The transition to decentralized architectures based on blockchain and smart contracts (Web3) holds the potential to increase the level of security, reliability, transparency, and automation in intelligent cyber-physical systems. Eliminating single points of failure, ensuring cryptographically guaranteed data and log integrity, and the ability to create trusted and automated control logic using smart contracts are key advantages that can significantly enhance the protection of critical infrastructures.

However, despite significant progress, the technology is still maturing and faces serious challenges. For its successful implementation, especially in demanding sectors like aviation, efforts must focus on:

Improving Smart Contract Security: Developing secure coding standards, enhancing testing tools, auditing, and formal verification.

Solving the Update Problem: Creating secure and manageable mechanisms for updating logic with clear governance models.

Overcoming Scalability Limitations: Developing and standardizing Layer-2 solutions and researching the effectiveness of private/consortium networks for specific tasks.

Improving Usability: Developing intuitive wallets and interfaces, educational programs for users.

Creating a Regulatory Framework: Developing clear regulatory standards and approaches to certifying decentralized systems, especially for critical applications, that consider the specifics of the technology and industry requirements (e.g., aviation standards).

References

1. Hasan M.R., et al. Smart Contract-Based Access Control Framework for Internet of Things Devices // Computers, 12(11), 240. – 2023. DOI: 10.3390/computers12110240.
2. Qasse I., Hamdaqa M., Jónsson B.Þ. Immutable in Principle, Upgradeable by Design: Exploratory Study of Smart Contract Upgradeability // arXiv:2407.01493. – 2024.
3. Behanan J. V., Shashank. OWASP Smart Contract Top 10 – 2025 // Open Worldwide Application Security Project (OWASP) / Project Leaders: Jinson Varghese Behanan, Shashank. – 2025. – URL: https://owasp.org/www-project-smart-contract-top-10/

UDC 004.62

M.V. Khomchak, PhD student
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

The Model of Selection of Cloud Provider

The selection of a cloud service provider (CSP) is a critical decision for organizations migrating to cloud computing. We propose a multi-criteria decision-making (MCDM) framework incorporating key factors such as cost, performance, security, compliance, and vendor reliability. The model leverages quantitative and qualitative assessments to aid enterprises in making informed decisions.

Introduction

Cloud computing has transformed how organizations manage data and deploy applications, offering unprecedented scalability, agility, and cost savings By 2024, over 50% of data from surveyed enterprises was hosted in public clouds, with small and medium businesses leading the way (61% of workloads and 60% of data in public [1]. As businesses increasingly rely on numerous cloud services, the challenge of selecting the optimal cloud service provider (CSP) becomes both complex and critical.

Compounding the challenge, the rapid evolution of cloud technologies and the diversity of cloud service models (IaaS, PaaS, SaaS) complicate the evaluation process. Each service model entails different shared-responsibility boundaries for security and different risk profiles. The variety of services and deployment options (public, private, hybrid clouds) means an organization must compare not just providers, but the specific services relevant to its needs. Many organizations struggle with a lack of standardized methodologies for evaluating cloud providers across these factors and with obtaining transparent, comparable data – especially on security – from vendors. They often cannot properly assess the full spectrum of cloud risks, such as vulnerabilities in the underlying infrastructure, provider-specific security controls, and compliance with regulations.

As a result, some may inadequately weigh security in their decision, potentially choosing a provider with insufficient protections or failing to implement necessary risk mitigations. Clearly, a more comprehensive and structured evaluation is needed to support informed decision-making.

We propose a systematic decision model for cloud provider selection that addresses these challenges. The model incorporates a broad set of selection criteria: cost, performance, compliance, service diversity, support, and security (including a detailed vulnerability-based risk assessment). We leverage a taxonomy of cloud services to break down the decision by service category, ensuring that required cloud services are evaluated for each provider [2]. For the security criterion, we design a module that automatically gathers vulnerability data from authoritative sources to quantify each provider's risk exposure [3]. We then use a multi-criteria decision-making (MCDM) approach – a weighted decision matrix – to aggregate the criteria and rank candidate providers. This approach provides a data-driven, defensible basis for selecting a cloud provider that best aligns with the organization's priorities and risk tolerance.

Methodology

Our methodology for cloud provider selection consists of several components that together form a decision support system. The key components are:

- cloud services taxonomy and requirements identification;
- selection criteria definition and data collection;
- security risk assessment;
- multi-criteria decision matrix and ranking.

Cloud Service Taxonomy & Requirements Identification

The process begins by identifying the set of cloud services required by the organization, structured according to a taxonomy of cloud services. Using a taxonomy ensures that we consider all relevant service categories and deployment models. For example, an organization's needs might include services in categories such as Compute, Containers, Storage, Databases, Networking, Identity and Access Management (IAM), Analytics, etc. These can be further mapped to the traditional cloud service models: Infrastructure as a Service (IaaS) (e.g., virtual machines, block storage), Platform as a Service (PaaS) (e.g., database as a service, Kubernetes-managed service), and Software as a Service (SaaS) offerings, as well as deployment types (public, private, hybrid clouds).

By enumerating required services in this structured way, we can perform a like-for-like comparison of different providers. Each provider will have its own offerings in each service category (for instance, each may offer a compute service, but with different performance or cost), and our taxonomy allows aligning those for evaluation. In this stage, we also consider the relative importance of each service to the organization.

Selection Criteria Definition & Data Collection

We define a set of key selection factors (criteria) to evaluate for each provider. In this model, we include at least the following criteria, which emerged from both literature and industry practice as crucial for cloud provider selection:

- cost;
- performance;
- compliance;
- service diversity and features;
- support and reliability;
- security.

Selection Criteria Definition & Data Collection

For the cloud services under consideration (as determined by the taxonomy and required services list), the module automatically gathers historical data on known vulnerabilities. This is done via integration with the National Vulnerability Database (NVD) maintained by NIST. The NVD catalogues publicly disclosed vulnerabilities (CVEs - Common Vulnerabilities and Exposures) along with severity metrics (CVSS scores). The module maps each cloud service to the underlying software or platforms it utilizes and queries the NVD for relevant CVEs.

By tying services to their technology stack, we ensure the module captures relevant security issues. For each discovered CVE related to a service, key attributes are recorded: vulnerability description, date of disclosure, affected product, and severity scores.

The module uses the CVSS (Common Vulnerability Scoring System) base score from NVD as a measure of each vulnerability's criticality. CVSS scores range from 0 to 10; we categorize them (following NVD conventions) into Qualitative ratings: e.g., 7.0–8.9 = High severity, 9.0–10.0 = Critical. This helps summarize how severe the typical vulnerabilities are for a service.

In addition to severity, we analyse the frequency of vulnerabilities (how many CVEs have been disclosed for the service's components in 5 years, the proportion of those that are High or Critical severity (CVSS ≥ 7), the worst vulnerability observed (highest CVSS score) as an indicator of the maximum risk exposure, whether exploits exist for the vulnerabilities (NVD sometimes provides an exploit maturity metric or we infer from public exploit repositories), the provider's response time in patching or mitigating vulnerabilities – approximated by how quickly vulnerabilities are marked as resolved or by public reports of patch releases.

The output for each service is a security profile summarizing these points (e.g., "Service X had N vulnerabilities in 5 years, Y% of which were high severity; worst CVSS = 9.5 (Critical); known exploits = yes; average patch time = Z days"). This raw data is then translated into a risk rating.

Using the collected data, the module assigns a risk rating to each service on an ordinal scale (e.g., Low, Medium, High risk). We base this rating on a combination of factors aligning with risk assessment best practices: the likelihood of incidents and the impact if they occur. Specifically, we consider:

- frequency;
- impact;
- exploitability;
- remediation maturity.

Each factor is evaluated on a numeric scale (say 1 to 5) for each service, where higher values indicate higher risk.

$$S_i = \frac{F_i \times C_i \times E_i}{R_i},$$

where F, I, E, R represent the scores for frequency, impact, exploitability, and remediation, respectively. The result is mapped to a qualitative risk band.

The final part of the security module is to aggregate these service-specific risk ratings into an overall security risk score for each provider.

$$R_{\text{provider}_k} = \sum_j (r_{j,k} \times w_j),$$

where the weights sum up to 1 (or 100%). This yields an overall risk score for each provider k. A lower score means lower overall risk.

This Security Risk Assessment Module effectively quantifies what might otherwise be qualitative judgments about security. It is one of the core contributions of our model – combining public vulnerability data with a decision framework – and

it complements the other criteria by providing an objective security metric.

Multi-Criteria Decision Matrix & Ranking

With all criteria evaluated (quantitatively or qualitatively), we construct the final decision matrix incorporating all selection criteria for each provider.

The provider with the highest overall score would be the recommended choice as it best aligns with the weighted criteria. Alternatively, the scores can be used to rank the providers or to see how close they are. If the scores are very close, a sensitivity analysis can be done (varying weights to see if the rank changes, indicating if the decision is sensitive to certain criteria).

Conclusion

Selecting a cloud service provider is a high-stakes decision that requires balancing a multitude of factors. We proposed a multi-criteria decision model supported by a detailed security risk assessment. Our model follows a standard decision analysis structure: define criteria, gather data, evaluate alternatives with respect to each criterion, and then synthesize the results to guide the decision.

We expanded upon a prior security-focused approach to create a full general cloud provider selection model. Key contributions of this work include a taxonomy-driven framework, integration of cost, performance, compliance, service diversity, support, and security into one model, reflecting the real-world decision space of cloud adoption.

A novel vulnerability-based security risk module that brings quantitative cybersecurity risk assessment into the decision, leveraging NIST's NVD data and CVSS metrics to rate each provider's services on risk. This component addresses the often-underdeveloped security evaluation aspect in provider selection. A weighted decision matrix approach that produces a clear, auditable comparison of providers and an overall ranking or score for each. This offers decision-makers a rational justification for their choice, which is especially valuable for stakeholders and compliance audits.

References

1. Luxner, T. (2024, March 28). Cloud computing trends: Flexera 2024 State of the Cloud Report. Flexera. https://www.flexera.com/blog/finops/cloud-computing-trends-flexera-2024-state-of-the-cloud-report/

2. Khomchak, M. (2024). A Comprehensive Taxonomy of Modern Public Cloud Services for Infrastructure Selection. International Journal of Computing, 23(3), 468-475.

3. National vulnerability database (NVD). NIST. (2025, January 24). https://www.nist.gov/programs-projects/national-vulnerability-database-nvd

УДК 004.7

О.М. Глазок, к.т.н., А.Д. Юрченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Мобільний застосунок на платформі Android для підтримки ментального здоров’я користувача

Розроблено мобільний застосунок «Спокійний Розум» для підтримки ментального здоров'я користувачів в умовах війни. Додаток надає інструменти для зниження рівня тривоги та відстеження настрою. Інтеграція з сучасними технологіями відстеження біометричних показників за допомогою датчиків допомагає контролювати фізіологічні прояви стресу.

Актуальність розробки програмного забезпечення для підтримки ментального здоров'я користувачів зумовлена критичним погіршенням психологічного та психічного стану, а також суб’єктивного психологічного самопочуття населення України внаслідок впливу на життя людей факторів, пов’язаних з війною. Згідно з останньою оцінкою потреб у сфері охорони здоров’я в Україні, проведеною ВООЗ у жовтні 2024 року [1], 68% українців повідомили про погіршення стану психологічного та психічного здоров’я порівняно з довоєнним періодом. Найпоширенішими проблемами є порушення психічного здоров’я (їх наявність зазначили 46% респондентів), психічні розлади (41% респондентів), неврологічні розлади (39% респондентів). При цьому можливості українців отримати доступ до спеціалізованої психологічної допомоги суттєво обмежені через перевантаженість відповідних служб, економічні фактори та безпекові обмеження [2].

Метою дослідження є створення та впровадження доступного мобільного застосунку для підтримки ментального здоров'я, адаптованого до потреб українців в умовах війни, з урахуванням обмеженого доступу до інтернету та спеціалізованої допомоги.

Мобільний застосунок «Спокійний Розум» створено, щоб допомагати людям підтримувати свій психологічний стан, справлятися зі стресом та тривогою під час війни. Функціональна схема застосунку подана на Рис. 1.

Застосунок включає в себе модулі, що допомагають користувачу освоїти та виконувати вправи на розслаблення, медитативні практики та дихальні вправи, адаптовані для застосування у стресових ситуаціях. У бібліотеці є вправи, розраховані на тривалість виконання від 5 до 15 хвилин. Додатковий освітній компонент містить матеріали з рекомендаціями щодо психологічної самодопомоги, роботи з тривожними станами. Окремим модулем є система моніторингу біометричних показників, що дозволяє відстежувати фізіологічні прояви стресу (на даний момент реалізовано обробку інформації з датчику пульсу, що дозволяє визначити варіабельність серцевого ритму) та оцінювати вплив запропонованих вправ, дихальних та медитативних практик. Також у склад додатку включено щоденник психологічного самопочуття.



Рис. 1. Функціональна схема застосунку

Система відображення самопочуття використовує інтуітивно зрозумілі емоційні індикатори (емодзі, смайлики). Користувач для щоденного відстеження свого настрою самостійно обирає відповідне емодзі. Результати представляються у вигляді календарного представлення з колірним кодуванням (Рис. 2), що дозволяє простежити динаміку змін настрою та виявити тригери погіршення стану,

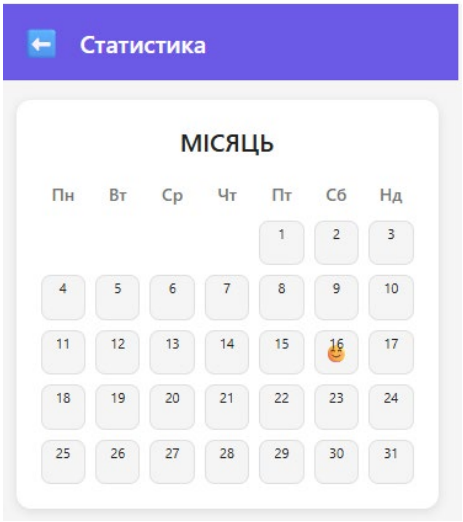


Рис 2. Візуалізація даних щоденного моніторингу настрою

Тестування застосунку пілотною групою користувачів показали значуще зниження суб'єктивного рівня тривоги та покращення якості сну при регулярному використанні додатку протягом трьох тижнів.

Порівняльний аналіз використання різних компонентів застосунку демонструє найвищі показники для комбінованого використання вправ на розслаблення, дихальних технік та медитативних практик.

Технічні особливості реалізації застосунку забезпечують його роботу в умовах нестабільного електропостачання та обмеженого доступу до інтернету. Всі компоненти після початкового завантаження доступні в офлайн-режимі. Дані моніторингу також зберігаються локально. Застосунок має адаптивний інтерфейс, зручний для використання в стресових умовах. Практичне значення розробки полягає у наданні доступного інструменту психологічної самодопомоги широким верствам населення України, що особливо актуально для жителів тимчасово окупованих територій, прифронтових зон та інших регіонів з обмеженим доступом до спеціалізованої підтримки.

Висновок

Розроблений мобільний застосунок «Спокійний Розум» відповідає нагальним потребам населення України в умовах війни, надаючи комплексний інструмент психологічної самодопомоги. Результати пілотного впровадження підтверджують ефективність додатку у зниженні рівня тривоги, покращенні якості сну та підвищенні загального суб'єктивного сприйняття користувачами стану власного психологічного благополуччя.

Ключовими перевагами застосунку є адаптованість до українських реалій, доступність у офлайн-режимі та простий інтерфейс. Різні види вправ – вправи на розслаблення, дихальниі практики, медитації, відстеження пульсу тощо зібрано в єдиному інтерфейсі, що забезпечує комплексну підтримку ментального здоров'я без необхідності використання декількох різних додатків.

Подальший розвиток проекту передбачає інтеграцію з українськими службами психологічної допомоги для швидкого зв'язку у кризових ситуаціях, розширення функціоналу для різних вікових груп, додавання спеціалізованих матеріалів для військовослужбовців і внутрішньо переміщених осіб.

Список літератури

1. Three years of war: rising demand for mental health support, trauma care and rehabilitation /World Health Organization. 24 February 2025. [Electronic resource]. URL: https://www.who.int/czechia/news/item/24-02-2025-three-years-of-war-rising-demand-for-mental-health-support-trauma-care-and-rehabilitation

2. Bryant R.A., Schnurr P.P., Pedlar D. Addressing the mental health needs of civilian combatants in Ukraine. //Lancet Psychiatry. – 2022. – Vol. 9, № 5. DOI:10.1016/S2215-0366(22)00097-9. Published: March 2022.

UDC 004.056:519.7+004.92

P.M. Pavlenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., E. I. Samborsky
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Logical-dynamic model of information and security event management based on digital twin technology of computer systems

The features of modeling the processes of information management and security events of computer systems of critical information infrastructure facilities are considered. The basis of this modeling is the use of the fundamental provisions of the theory of logical-dynamic systems. The obtained logical-dynamic model is used to synthesize the structure of algorithmic and software of digital twins of information security management systems for reliable protection of control information in computer systems of critical information infrastructures.

Consideration of the features of the functioning of modern computer systems (CS) indicates that the most important aspect for increasing the efficiency of their application is the need to implement the process of managing security events in these complex, large, dispersed, organizational computer information structures [1].

The creation and effective use of modern information and safety event management systems (ISMS) for reliable protection of control information in the CS of critical information infrastructures (CII) (for example, air traffic control systems, aircraft flight safety, aviation logistics systems, energy structures and departmental information communication systems) is an actual and promising direction of search and applied scientific research. For their implementation, special emphasis is placed on solving optimization problems of analysis and synthesis of information security event management systems of CS, taking into account the possibility of modeling the processes of monitoring and forecasting dangerous incidents using modern technologies of digital twins (DM), the algorithmic and software of which is based on models of logical-dynamic systems (LDS).

It is known [2] that the existing ISMS CS has a number of shortcomings in the organization of optimal CS safety management, which affect the functional stability of CII. The most significant of these shortcomings are:

- functional limitations imposed by a specific feature of specific CII objects;
- limited ability to optimally interpret security events at different hierarchical levels of CII;
- limited opportunities to ensure the specified resiliency and reliability when collecting data on security incidents.

Taking into account that the existing methods and modern technologies for protecting the security of the CS do not fully meet the strict requirements for ensuring the reliability, stability and predictability of the CS functioning, possible approaches and known methods for detecting and responding to security anomalies in the digital information space were considered and analyzed. The results of the analysis made it possible to conclude that the optimal of the currently existing methods is the following: which is based on the idea of using new technologies for creating CDs. For the synthesis of the algorithmic support of the CD, the

mathematical apparatus of the LDS theory was used, which systematically and optimally describes the processes in the CS CII [3]. Thus, from the point of view of management optimization, the CD helps to identify security processes in the CS CII, as well as to predict its behavior in the future. This allows you to respond in a timely manner to changes in the states of the CS and make an optimal management decision in real time. The CD is a digital copy of the reference (desired) process of functioning of the CS CII It is used to reproduce critical hazard events for the organization of effective management of complex, dynamic and hyper-complex process of functioning of the CII CS.

We emphasize that the CD of the processes that cause critical security events will make it possible to predict the need for blocking actions and protection mechanisms using the SUPIB CC KII in real time. To improve the quality of security event management, it is proposed to apply machine learning methods, simulation modeling methods, predictive models, modal control of hypercomplex logical-dynamic structures [2], [3].

The use of the data center in optimization according to the criterion of minimizing the time for detecting an incident of security information event management processes made it possible to prevent resource failures in the CS and significantly increase their functional stability. It is taken into account that CDs are computer models of the life cycle of a physical and algorithmic process, which are synchronized in real time by means of their two-way comparison with real objects. Their implementation provides forecasting of the behavior of these objects, variation of their parameters, prompt elimination of problems and to ensure the necessary quality of CS management. The principle of their functioning is constant synchronization in real time (compared to the reference) parameters of the information processes of the CII CS in order to monitor, evaluate and localize security information events and ensure the reliable functioning of the ISMS of these computing facilities.

Based on the basic provisions of the LDS theory, we present the mathematical logical-dynamic model of processes in the CS CII, which simulate the functioning of the CD, in the form of an integral set of system invariants of set tuples, which describe the structure and processes in the following systems:

$$S = \left(X, Y, Z, f, g', L, h \right). \quad (1)$$

The components of system invariants are represented by the following sets and functions:

$X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ – a set that describes the current states of the CS;

$Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$ – a set that describes security events in the CS;

$Z = \{z_1, z_2, \ldots, z_k\}$ – a set of actions for the implementation of security management measures;

$f: X \times Y \to X$ – the function of changing the states of the CS;

$g: X \times Y \to Z$ – the function of choosing approaches to CS security management;

$L = \{l_1, l_2, \ldots, l_p\}$ – a set of logical conditions for ensuring the safety state of the CS;

$h: X \to \{True, False\}_p$ – the function of logic conditions;

$h(x) = \{h_1(x), h_2(x), \ldots\ldots, h_p(x)\}$, де $h_i(x)$ – The value of the truth of the condition l_i in states x.

$g': X \times Y \times \{True, False\}_p \to Z$ –advanced action selection function, which takes into account CS states, events and the truth value of logical conditions $g'(x, y, h(x)) = z \in Z$.

Invariants of sets and functions can acquire values:

$X = \{Normal, high, attacked\}$.

$Y = \{LoginFailure, MalwareDetected\}$.

$Z = \{BlockIP, QuarantineFile, LogAlert\}$.

$L = \{FailedLoginAttempts > 3\}$.

f (*Normal, LoginFailure)=HighCPU*).

g' (*HighCPU, LoginFailure, True)=BlockIP* (*if FailedLoginAttempts > 3 True)*.

f (*Normal, malware detected*) = *attacked*.

g' (*Attacked, MalwareDetected) = QuarantineFile* (*regardless of other conditions)*.

The developed dynamics of compensation of incidents in the CS using the CD will be presented based on the model (1), which implements the step-by-step steps of this compensation and will be reflected in its form of an algorithm:

Step 1 /Initial state/ *The system is in state* $x_0 \in X$.

Step 2 /Security incident occurs/ *An event occurs* $y \in Y$.

Step 3 /Change states/ *The system goes from the influence of a security event* y_i *to a new state* $x_i' = f(x_i, y_i)$.

Step 4 /Evaluating the conditions/ *The logical conditions L are displayed by the new state*: $h(x') = (b_1, b_2, \ldots, b_p)$, *where* $b_i \in \{True, False\}$.

Step 5 /Formation of managerial influences/ *Based on the* x_i' *state and security event,* y_i' *an action is formed to implement the management of information and security events* $z_i = g(x_i', y_i, h(x'))$.

Step 6 /Implementation of management actions/ *The selected action* z_i *is worked out by the system and affects the change in its state.*

Step 7 /Repetition of steps/ *When new incidents appear, the process from step 2 to step 6 is repeated cyclically.*

Using the given logical-dynamic mathematical model (1) and the proposed algorithm, modeling of the processes of CD functioning is implemented. Its essence lies in the fact that the model synthesizes the predicted possible states of the CS, or their scenarios of events. Thanks to the use of the LDS theory, the concept of DM controlled by the reference model of the ISMS is embodied.

The dominant component of the proposed technique is the synthesis of the ISMS CS. Let us consider, as an example of its application, in more detail one of the components of this control system, namely: a subsystem for detecting unauthorized intrusions into the CS software environment. Applying the theory of LDS, we synthesize the structure of the algorithm for the functioning of this subsystem. The structure of this algorithm is formed from the following functional components:

- data collection. Collects information about all existing states and events that occurred on the network, such as, for example, IP addresses, MAC addresses, changes in port states and the results of management protocol influences, etc.

- analysis and optimal data processing. Analyzes (obtained, collected and structured by the first functional element) data and processes them optimally in order to further detect anomalies in the behavior of the network, which indicates an intrusion into the CS.

-intrusion detection and identification. According to the reference template for intrusion identification, it detects an anomaly, generates notifications for the maintenance personnel of the CS (if necessary) or forms control influences to automatically compensate for the destructive consequences of incidents.

- Intrusion response: Implementation of control influences for automatic control of the process of optimal and prompt response to unauthorized intrusions (for example, forms effective control influences for emergency blocking of the attacker's IP address or for complete and reliable isolation of an "infected" computer).

The organization of control using data and process simulators in the CS of the developed software provides monitoring, simulation, forecasting and optimization of the process of information and security event management in these programmable structures [4].

Formalization of optimal security processes using the main provisions of the LDS theory can significantly increase the efficiency of detecting and responding to possible threats. An approach to the peculiarities of using the LDS theory in models that are the basis for the synthesis of algorithmic support of the CD is shown, which made it possible to take into account the dynamics of threat development and adapt the CS security systems to the variation of the conditions for the impact of security events.

The practical value of synthesized algorithmic assurance lies in the fact that the proposed approach can be used to develop intelligent security management systems capable of flexible adaptation to incidents. The obtained results of

theoretical research, if implemented in algorithmic and CS software, will contribute to increasing the level of security of critical information infrastructure.

The initiated research is promising. In the future, they can be aimed at developing more complex logical-dynamic models of information management and CS security events, which will provide for the ability to take into account the fuzziness and uncertainty of possible incidents, and, especially, zero-day events [5].

Another promising direction is the integration of the proposed approaches with artificial intelligence and machine learning technologies to increase the speed of processing security events of the CII CS in order to significantly reduce the response time to intense threats [6].

Thus, the application of the LDS theory is a promising direction for improving the efficiency of information security management in modern and prospective CS, and especially critical infrastructure facilities.

References

1. Samborskyi I. I. Synthesis of the model of management of complex dynamic objects taking into account the events of their security. / I. I. Samborskyi, Ie. I. Samborskyi, V. D. Hol, Y. V. Peleshok, S. M. Sholokhov // Information Technology and Security. – Vol. 12, no.1 (22) – 2024. – P. 4–16. – https://doi.org/10.20535/2411-1031.2024.12.1.
2. Samborskyi E. I. Features of the use of digital twins for control of security events of computer systems of critical infrastructures. / E. I. Samborskyi, I. I. Samborskyi // Cybersecurity of State Institutions and Overcoming Crisis States: Materials of the III International. Scientific and Practical Conf. [Kyiv], September 14. 2024 / ISZZI KPI. Igor Sikorsky – Kyiv, 2024. – P. 294.
3. Samborskyi E. I. Application of digital twins for optimization of control of security events of computer systems. / E. I. Samborskyi // Innovations and Perspective Ways of Development of Information Technologies (IPSCRIT-2024): Materials of the II International. Scientific and Practical Internet Conf. [Cherkasy], 22 November. 2024 / Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy. States. Technologist. Univer. - Cherkasy, 2024. - C. 105–106.
4. Rabchun D. I. Logical-Dynamic Model of the Process of Management of Protection Resources in the Conditions of Information Confrontation. / D. I. Rabchun // Modern Information Protection. – 2016. - No3. - P.62–67.
5. Zhuk K. D. Issues of axiomatic approach to the construction of the theory of logical-dynamic control systems. / K. D. Zhuk // Automation. – 1971. - № 3-6. - P. 62-74.
6. E. I. Samborsky Features of processing arrays of security events for control of protection of electronic communication systems. / Samborskyi E.I., Samborskyi I.I. // Cybersecurity of State Institutions and Overcoming Crisis States: Materials II International. Sciences. Pracht. conf. [Kyiv], 24 November. 2023 / ISZZI KPI. Igor Sikorsky. – Kyiv, 2023. - P. 293-294.

УДК 004.056.5

А.В. Ільєнко, к.т.н., доцент, Н.К. Гулак, к.т.н. О.В. Дубчак,
(ДУ «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування криптографічних методів для захисту баз даних від несанкціонованого доступу

Розглянуто тенденцію підвищення кількості та складності кіберінцидентів щодо об'єктів критичної інфраструктури. Визначено доцільність використання криптографічних методів для створення додаткового рівня захисту баз даних від несанкціонованого доступу. Запропоновано рішення у вигляді криптографічного програмного модуля.

За даними Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України у 2024 р. співробітниками CERT – UA - Урядової команди реагування на комп'ютерні надзвичайні події, було опрацьовано майже на 70% більше кіберінцидентів, ніж за 2023 р. При цьому найчастіше під вплив атак кіберзлочинців підпадали сектори безпеки та оборони, урядові організації та місцеві органи влади, об'єкти критичної інфраструктури. [1]

Залишаються незмінним і прогнозування Всесвітнього Економічного Форуму (WEF, The World Economic Forum) щодо проблематики захисту кібербпростору: до десяти найкритичніших ризиків, за результатами аналізу кіберподій 2024 р., віднесено кіберзагрози, що здатні посилити конфлікти та нанести шкоду в глобальному масштабі. [2]

З розвитком і поширенням цифрових технологій в усіх сферах життєдіяльності критично важливим завданням постає захист інформації від несанкціонованого доступу (НСД). Останніми роками спостерігається тенденція проведення зловмисних втручань та операцій щодо знищення ІТ-інфраструктури організацій сектору критичної важливості, а також отримання НСД до вразливої інформації на кшталт баз даних (БД), що вказує на необхідність підвищення рівня захищеності інформаційно-комунікаційних систем та мереж.

Одним з інструментів протидії НСД є криптографічні методи, завдяки яким можливо убезпечити конфіденційність, цілісність та автентичність даних у сучасних інформаційних системах шляхом шифрування, створення цифрового підпису тощо.

Як відомо, до методів криптографії належать: симетричне та асиметричне шифрування; цифрові підписи та хешування; гібридні криптографічні системи. Симетричне шифрування є одним з найпоширених методів криптографічного захисту даних. Використання одного ключа як для шифрування, так і для дешифрування робить цей метод швидким та ефективним для захисту великих обсягів даних, хоча, слід зазначити, що існують певні виклики, пов'язані з керуванням ключами. [3]

Асиметричне шифрування, на відміну від симетричного, ґрунтується на використанні двох різних ключів: відкритий ключ (public key)

використовується для шифрування даних; закритий ключ (private key) - для дешифрування [3]

Для розв'язання проблеми захисту даних від НСД пропонується криптографічне рішення, архітектура якого побудована за принципом модульності, де кожен компонент виконує свою специфічну задачу, а всі компоненти взаємодіють між собою через визначені інтерфейси. [4]

До завдань модуля належать: забезпечення автентифікації користувачів шляхом використання паролів, що зберігаються у шифрованому вигляді, та сертифікатів, які підтверджують особу користувача; шифрування даних алгоритмом AES (Advanced Encryption Standard) для запобігання доступу до приватної інформації; підпис даних приватним ключем для забезпечення цілісності та автентичності даних; захист сесійних ключів за алгоритмом RSA (Rivest, Shamir, Adleman) задля убезпеченого передавання ключів між користувачами; інтеграція з БД SQL, що забезпечує централізоване зберігання сертифікатів, ключів і паролів, а також дозволяє здійснювати перевірку сертифікатів та доступу (рис.1.).

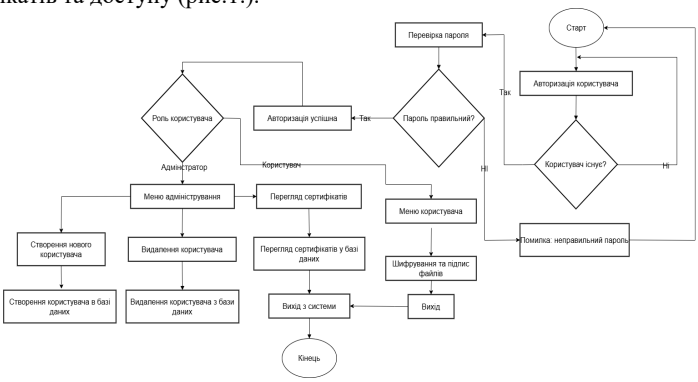


Рис.1.Алгоритм функціонування головного компоненту криптографічного модуля

Для виконання операцій шифрування та створення цифрового підпису було використано мову програмування Python, що містить криптографічні бібліотеки. Відповідно було проаналізовано такі бібліотеки, як PyCryptodome, cryptography, PyCrypto, Fernet за декількома критеріями, зокрема: підтримка криптографічних алгоритмів; інтерфейс; шифрування за замовчуванням; підтримка роботи із сертифікатами та ключами; безпека; активна підтримка; можливість інтеграції з іншими бібліотеками, простота використання. Як результат - обрано бібліотеку cryptography. [5]

У процесі створення криптографічного програмного модуля було: проаналізовано й впроваджено сучасні підходи до захисту даних, зокрема, алгоритми AES і RSA, що є одними із основних сертифікованих криптографічних алгоритмів для забезпечення безпеки; підтверджено ефективність використання AES для швидкого і надійного симетричного шифрування великих обсягів даних та RSA для захисту ключів і цифрового

підпису. Науковим результатом дослідження є інтеграція цих алгоритмів у єдиній програмній архітектурі для забезпечення високого рівня безпеки при оптимальній продуктивності системи. Також слід зауважити на розробленні механізму керування цифровими сертифікатами, що включає їх генерацію, зберігання в захищеному форматі PKCS#12, верифікацію підписів і інтеграцію з SQL- БД. [6]

Висновок

Зважаючи на щорічні тенденції ускладнення та зростання кількості кіберінцидентів щодо об'єктів критичної інфраструктури стратегічним завданням стає убезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації, що зберігається у базах даних. Сучасні криптографічні методи використовуються для роз'язання питань протидії НСД до чутливої інформації. Розроблений криптографічний програмний модуль реалізує механізми шифрування, цифрового підпису даних, а також забезпечення автентифікації користувачів через сертифікати, що дозволяє створити багаторівневу систему захисту інформації. Використано два основних криптографічних методи: симетричне шифрування - для захисту даних; асиметричне шифрування - для забезпечення безпеки передачі сесійних ключів і підпису даних. Модуль також інтегрується з SQL БД для зберігання шифрованих сертифікатів, ключів і паролів, що дає змогу централізовано керувати доступом і запобігати НСД.

Список літератури

1. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. CERT-UA минулого року опрацювало 4315 інцидентів. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://cip.gov.ua/ua/news/cert-ua-minulogo-roku-opracyuvala-4315-kiberincidentiv
2. Самусенко Ю. Епоха найбільших розколів з часів холодної війни. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://forbes.ua/svit/chim-zhitime-svit-2025-roku-ta-dali-os-10-golovnikh-rizikiv-za-yaki-turbuyutsya-zhiteli-zemli-perekaz-zvitu-vsesvitnogo-ekonomichnogo-forumu-20012025-26407
3. Symmetric vs. Assymetric Encryption: What's the Difference? [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://www.trentonsystems.com/en-gb/blog/symmetric-vs-asymmetric-encryption
4. Рущак А.М. Криптографічний модуль для захисту від несанкціонованого доступу / А.М. Рущак, Н.К. Гулак// VII Міжнародна науково-практична конференція «World educational trends: lifelong learning in the information society», 15-18 жовтня 2024р. - Афіни, Греція. - С. 67 – 69.
5. Литвиненко В. Алгоритм шифрування RSA, види атак на нього. Реалізація мовою Python [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://dou.ua/forums/topic/43026/
6. MySQL: Understanding What It Is and How It's Used: [Електронний ресурс] - Режим доступу:https://www.oracle.com/mysql/what-is-mysql/

УДК 004.056.53(045)

А.В. Ільєнко, к.т.н., доц., С.С. Ільєнко, к.т.н., доц.,
Л.П. Галата, доктор філософії
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Модуль захисту авіаційних інформаційно-комунікаційні систем на основі комбінованих моделей ML

У роботі розглянуто загрози кібербезпеці інформаційно-комунікаційних систем об'єктів цивільної авіації. Запропоновано модель виявлення кіберзагроз з використанням комбінованих методів машинного навчання (Random Forest, MLP, SVM), що забезпечує високу точність, чутливість і ефективність виявлення атак у режимі реального часу.

Вступ.

Цивільна авіація є однією з найважливіших критичних інфраструктур, яка забезпечує не лише перевезення пасажирів і вантажів, але й підтримує глобальні економічні та соціальні процеси. З розвитком технологій більшість її інформаційно-комунікаційних систем і процесів значною мірою залежать від цифрових інструментів, таких як системи управління повітряним рухом, навігаційні системи, засоби обробки та передача інформації між бортовими й наземними службами. Ця тенденція значно підвищує рівень уразливості до кібератак. З ростом обсягів інформаційних потоків та ускладненням комунікаційних систем цивільної авіації, забезпечення **захищеності** інформаційних потоків в інформаційно-комунікаційних системах об'єктів цивільної авіації стає критично важливим.

За останні кілька років кібератаки на інформаційно-комунікаційні системи авіаційної галузі зростають як за частотою, так і за складністю. Зокрема, з 2022 по 2024 роки кількість атак на критичну інфраструктуру, включаючи авіацію, значно зросла. У 2023 році широко відомими стали атаки, що використовували програму-вимагач MOVEit, яка спричинила витік даних в авіаційних компаніях, таких як British Airways та Aer Lingus. Уразливість дозволила зловмисникам отримати доступ до персональних даних працівників, включаючи платіжні та інші конфіденційні відомості. Інша проблема — це зростаюча кількість DDoS-атак, які порушують роботу аеропортів і авіакомпаній. Наприклад, атаки на системи управління польотами призводять до затримок рейсів і фінансових втрат. У першій половині 2023 року такі атаки стали особливо помітними у багатьох країнах, зокрема, в Європі та США, де системи зазнавали перевантаження з боку хактивістських груп, таких як Anonymous Sudan. За період з 2022 по 2023 роки було відзначено також численні спроби компрометації авіаційних систем через використання ботнетів, що ускладнює виявлення джерела атак і може призвести до значних операційних збоїв

Постановка задачі. Одним із перспективних підходів до підвищення рівня захисту авіаційних каналів зв’язку є використання машинного навчання для виявлення аномальної поведінки в мережевому трафіку. Проте поодинокі

моделі машинного навчання мають обмеження в точності та здатності адаптуватися до нових типів атак. У зв'язку з цим запропоновано використовувати комбінування декількох моделей машинного навчання, таких як Random Forest, Multi-Layer Perceptron (MLP) і Support Vector Machine (SVM), для створення більш надійної та стійкої системи виявлення кібератак.

Метою цього дослідження є розробка та оцінка ефективності комбінованої системи машинного навчання для виявлення загроз в авіаційних каналах зв'язку в режимі реального часу. У роботі показано, як поєднання моделей дозволяє підвищити точність виявлення атак, покращити чутливість системи до нових загроз і забезпечити стабільність класифікації навіть у складних умовах мережевого середовища. Результати тестування підтверджують, що запропоноване рішення є ефективним інструментом для забезпечення кібербезпеки в авіаційній сфері. Запропонований програмний модуль комбінує сигнатурний метод із методами машинного навчання, такими як Random Forest, MLP і SVM, що забезпечує підвищену ефективність виявлення кіберзагроз. Ця модель дозволяє адаптуватися до нових типів атак, підвищувати точність виявлення та зменшувати час обробки загроз. У динамічному середовищі ІКС це має вирішальне значення для забезпечення надійності та безперебійної роботи систем. Модуль спрямований на підвищення точності виявлення від 1,05 до 1,48 раза. з використанням комбінованих моделей.

Основна частина. Сучасні системи кібербезпеки стикаються з постійно зростаючим обсягом загроз, що швидко еволюціонують. Зокрема, зі збільшенням складності та частоти кібератак, існуючі методи захисту виявляються недостатньо ефективними. Традиційні системи виявлення загроз здебільшого базуються на статичних правилах та сигнатурах, що робить їх вразливими до нових, невідомих видів атак. Таким чином, виникає нагальна потреба в нових підходах, що здатні адаптуватися до мінливих умов і забезпечувати більш гнучке та ефективне виявлення кібератак. Автори пропонують створення модуля, що об'єднує кілька підходів: сигнатурний аналіз — дозволяє виявити відомі загрози за шаблонами; аналіз аномалій — спрямований на виявлення нових і невідомих атак; методи машинного навчання — використовують алгоритми Random Forest, SVM та MLP для підвищення точності класифікації. Усі ці підходи здатні адаптуватися до нових загроз, навчаючись на реальних даних. Наприклад, у сфері авіації можна інтегрувати ці алгоритми в системи контролю трафіку, аналізу поведінки бортового програмного забезпечення та оцінки ризиків кібербезпеки аеропортових інформаційних систем. Крім того, такий підхід дозволяє інтегрувати машинне навчання у комплексні системи реагування на інциденти. Наприклад: автоматизоване виявлення підозрілих запитів до системи управління польотами; ідентифікація відхилень у маршрутах літаків, що може свідчити про втручання у навігаційні системи; моніторинг поведінки IoT-пристроїв у аеропорту для запобігання використанню їх як точок атаки. Таким чином, використання кількох методів у поєднанні дає змогу побудувати багаторівневу систему захисту, яка не лише ідентифікує загрози, але й адаптується до нових викликів. Така система адаптивна, працює в реальному часі та здатна до самонавчання на нових типах загроз.

Запропонований програмний модуль складається з таких основних

блоків: збір даних — у реальному часі або з CSV-файлів; попередня обробка — стандартизація, очищення, PCA для зменшення розмірності; аналіз — класифікація трафіку на нормальний і шкідливий; реагування — надсилання сповіщень, блокування IP-адрес; зберігання даних — ведення журналів для аналізу та аудиту. Основою модуля виявлення та аналізу кіберзагроз в інформаційно-комунікаційних системах об'єктів цивільної авіації є визначення метрик мережевого трафіку. Метрики можна використовувати для захисту авіаційних каналів зв'язку, оскільки вони є універсальними показниками мережевого трафіку та можуть допомогти виявити аномалії або кіберзагрози, такі як спроби вторгнення, сканування мережі чи атаки типу DoS/DDoS. Основні мережеві метрики, які враховані враховані в модулі — Flow Packets/s, SYN Flag Count, ACK Count, які дозволяють виявити DoS, SYN flood, витоки даних тощо. Система адаптована до обмежень авіаційних каналів — швидкість, точність, мінімальні затримки.

Висновки

Застосування комбінованих моделей машинного навчання, зокрема Random Forest та MLP, продемонструвало суттєві переваги у створенні системи виявлення кібератак для інформаційних мереж об'єктів цивільної авіації. Реалізація такої системи сприяє зниженню ризиків кібератак на об'єкти цивільної авіації, зокрема DoS, DDoS, XSS, CSRF та аномалії у мережевому трафіку. Запропонована комбінована модель для виявлення загроз у цивільній авіації: забезпечує надійність, масштабованість, адаптивність та підходить для інтеграції в існуючі інформаційні мережі аеропортів та авіакомпаній. Такий підхід є перспективним рішенням для формування системи активного кіберзахисту в авіації з урахуванням сучасних загроз.

Список літератури

1. Mahboub, S. A., Ahmed, E. S. A., & Saeed, R. A. (2021). Smart IDS and IPS for cyber-physical systems. In Artificial intelligence paradigms for smart cyber-physical systems. pp. 109-136.

2. Jaber, A. N., Anwar, S., Khidzir, N. Z. B., & Anbar, M. (2021). The importance of ids and ips in cloud computing environment: Intensive review and future directions. In Advances in Cyber Security: Second International Conference, ACeS 2020, Penang, Malaysia, December 8-9, 2020, Revised Selected Papers 2. pp. 479-491.

3. Anna, I., Sergii, I., & Marharyta, H. (2021). A Biometric Asymmetric Cryptosystem Software Module Based on Convolutional Neural Networks. International Journal of Computer Network and Information Security, 9(6). https://doi.org/10.5815/ijcnis.2021.06.01

4. Ilyenko, A., Ilyenko, S., Kravchuk, I., & Herasymenko, M. (2022). Prospective directions of traffic analysis and intrusion detection based on neural networks. Electronic Professional Scientific Edition «Cybersecurity: Education, Science, Technique», 1(17), 46-56. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.17.4656.

УДК 004.056.53(045)

А.В. Ільєнко, к.т.н., доц., В.В. Ахрамович
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Методика дослідження захищеності кіберпростору соціальних платформ від кількості співтовариств

У роботі досліджено залежність кіберзахисту соціальних платформ від кількості співтовариств. Запропоновано математичну модель із диференціальними рівняннями, яка демонструє нелінійні впливи. Результати моделювання в середовищах MATLAB/Multisim доводять стійкість кіберпростору навіть за умов атак, завдяки ефективному фазовому аналізу.

Вступ.

У роботі розглянуто методику аналізу показника захищеності кіберпростору (Z) у соціальних платформах (СП), враховуючи кількість спільнот (П). Автори наголошують на тому, що соціальні платформи – це складна сукупність клієнтів, зв'язків між ними та характеристик мережі. Вони впроваджують концепцію конкретності як основу для розрахунку показника безпеки, вивчаючи стійкість системи до внутрішніх і зовнішніх впливів [1-6].

Метою дослідження є розробка математичної моделі, яка дозволяє оцінювати Z на основі параметрів П, таких як кількість вузлів, зв'язків, обсяг інформації тощо. В роботі було сформовано рівняння з урахуванням множинних коефіцієнтів, які характеризують систему, включаючи швидкість витоку даних, рівень захисту, розміри системи. Для розв’язання моделі застосовано системи неоднорідних диференціальних рівнянь з використанням методів виключення та варіації параметрів.

Основна частина. У дослідженні пропонується математична модель оцінки індикатора захищеності Z кіберпростору соціальних платформ з урахуванням кількості співтовариств (П). Ключовим аспектом є використання нелінійних диференціальних рівнянь зі змінними характеристиками (НДЗХ), що дозволяють гнучко враховувати змінність параметрів мережі, кількість вузлів, зв’язків, та характер взаємодії між користувачами. Модель враховує множину коефіцієнтів, включно з: **Zp** — ефективність захисту інформації, **Cv, Ck** — показники витоку даних, **Cd1, Cd2** — характеристики розміру та взаємодії в мережі, **П, n, m** — параметри структури соціальних платформ.

Особливу увагу приділено фазовому простору, де динаміка системи аналізується на основі взаємозалежності параметрів. Завдяки цьому можливо виявити: зони стійкості системи; поведінкові траєкторії Z при різних типах атак; періоди коливань та рівні адаптивності системи до змін.

У процесі моделювання в середовищі MATLAB/Multisim було створено **блок-схеми модулів**, що дозволяють отримати графіки залежностей і фазові портрети. Це дає змогу ідентифікувати характер реакції системи на зовнішні впливи. Запропонована логістична модель атаки включає змінні: **P(t)** — кількість шкідливих агентів; **I(t)** — активність імунної реакції системи; **β, γ, μ, α, η** — коефіцієнти, що описують швидкість поширення, пригнічення, адаптацію.

Результати аналізу підтверджують, що система зберігає стійкість навіть при максимальних значеннях параметрів впливу, а кількісні характеристики Z дозволяють оперативно оцінювати рівень безпеки в реальному часі. Це дає змогу реалізувати адаптивні стратегії захисту. Також підкреслюється, що поведінка Z у фазовому просторі не містить біфуркацій, що є важливою ознакою стабільної системи.

Система моделюється із застосуванням таких підходів: метод послідовних наближень; варіація параметрів; метод виключень для скорочення систем рівнянь; фазовий аналіз для оцінки динаміки кіберпростору. Змодельована система дозволяє описати динаміку інформаційного простору у фазовому просторі навіть за умов атак. Було визначено, що функціональні характеристики П мають значний вплив на Z — до 100%. Це дозволило побудувати більш точні та адаптивні моделі для оцінки стійкості системи.

Було доведено, що зв'язок між кількістю співтовариств і показником безпеки має нелінійний характер. Для моделювання поведінки системи використовували середовища MATLAB/Multisim. Графічне представлення показало, що навіть за високих рівнів атак система залишається стабільною, що підтверджується теоремою Ляпунова. Це демонструє ефективність запропонованої методики. Особлива увага приділена аналізу фазових діаграм, які дозволяють виявити загрози в реальному часі. Систему атак представлено логістичними рівняннями, які враховують концентрацію шкідливих агентів та реакцію імунної системи. Розроблено блок-схеми моделювання атаки та оцінено її вплив на Z. Визначено діапазони значень, за яких система залишається стабільною. Отримані результати мають практичне застосування в сфері інформаційної безпеки. Вони дозволяють фахівцям отримати кількісну оцінку стійкості системи у реальному часі та ухвалювати обґрунтовані рішення щодо захисту інформації. Особливо цінним є те, що вплив П на Z досягає 100%, що вказує на необхідність врахування структури СП при побудові захисних заходів. Автори доводять, що дослідження впливу співтовариств на безпеку є актуальним і перспективним. Отримано числові результати, що підтверджують гіпотези. Наступні етапи досліджень мають зосередитися на інших характеристиках СП, які можуть впливати на Z. Важливою перевагою є гнучкість моделі та можливість її масштабування.

Практичними результатами роботи є: 1) створено блок моделювання в MATLAB/ Multisim**,** який дозволяє аналізувати реакцію системи на зміни у кількості спільнот та вплив зовнішніх атак; 2) візуалізовано фазові портрети захищеності та періодичні зміни індикатора Z у часі**;** 3) проведено моделювання атак із урахуванням параметрів логістичного зростання, ефекту щільності, активації та пригнічення «імунної системи» мережі; 4) визначено зони стабільності та максимальні амплітуди атак, за яких система залишається захищеною; 5) Підтверджено, що фазові траєкторії є замкнутими, що свідчить про стабільність навіть у пікових умовах.

Висновки

В роботі запропонована модель підтвердила високу залежність кіберзахисту від кількості та структури спільнот у соціальних платформах. Практичні

результати показали високу стійкість системи навіть за інтенсивних зовнішніх впливів, що робить методику придатною для впровадження в реальні системи. Фазовий аналіз є ефективним інструментом виявлення загроз у режимі реального часу, що значно підвищує рівень прийняття рішень у сфері інформаційної безпеки. Наступним етапом наукової роботи є дослідження впливу інших параметрів соціальних платформ на Z з метою розробки повного захисного профілю.

Список літератури

1. Ахрамович, В., Ахрамович, В., Придибайло, Р., & Чупрун, С. (2024). Метод дослідження безпеки інформації від кількості співтовариств в соціальних медіа. Measuring and computing devices in technological processes, (2), 96–106. https://doi.org/10.31891/2219-9365-2024-78-11
2. Ахрамович Володимир, Лазаренко Сергій, Мартинюк Ганна, Баланюк Юрій. Модель пошуку співтовариств в соціальній мережі. Безпека інформації. К. НАУ:-2020.Том 26, -№1.-с. 35-41.
3. Volodymyr Akhramovych, German Shuklin, Yuriy Pepa, Tetiana Muzhanova, Serhii Zozuli. Devising a procedure to determine the level of informational space security in social networks considering interrelations among users. Східно-Європейський ЖУРНАЛ передових технологій. Харків .- 2022 № 1/9 (115). Pp. 63-74. Scopus, квартіль Q2.
4. Volodymyr Akhramovych, German Shuklin, Yuriy Pepa, Tetiana Muzhanova, Serhii Zozuli. Devising a procedure to determine the level of informational space security in social networks considering interrelations among users. Східно-Європейський ЖУРНАЛ передових технологій. Харків .- 2022 № 1/9 (115). Pp. 63-74. Scopus, квартіль Q2.
5. Volodymyr Akhramovych, Yuriy Pepa, Anton Zahynei1, Vadym Akhramovych, Taras Dzyuba, Ihor Danylov. Method for calculating the information security indicator in social media with considerationof the path durationbetween clients. Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska" – IAPGOS. Volume № 14, Number 1 (2024), pp. 71–77. DOI: http://doi.org/10.35784/iapgos.5720.2024.03.31. Scopus/
6. Akhramovych Volodymyr, Lehominova Svitlana, Stefurak Oleh, Akhramovych Vadym, Chuprun Sergii, "Methodology for Searching for the Dependence Between Data Defensiveness and Volume of Social Network Evolution", International Journal of Computer Network and Information Security(IJCNIS), Vol.16, No.6, pp.1-19, 2024. DOI:10.5815/ijcnis.2024.06.01Scopus. Квартіль Q1

УДК 004.8

І.О. Кукулевський, аспірант, Є.О. Сокирка, аспірант,
А.В. Толбатов, к.т.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна)

Проактивне виявлення кіберзагроз для IoT-пристроїв з використанням методів машинного навчання

Інтернет речей (IoT) відкриває широкі можливості для автоматизації, моніторингу та обробки даних у режимі реального часу. Однак, відсутність централізованої безпеки та обмежені ресурси пристроїв створюють передумови для нових типів кіберзагроз. Враховуючи недостатню ефективність класичних методів захисту, актуальним є застосування машинного навчання (ML) для виявлення аномальної активності у мережах IoT.

Інтернет речей (IoT) — це екосистема з'єднаних між собою пристроїв, які обмінюються даними в режимі реального часу. IoT охоплює розумні будинки, медичне обладнання, транспорт, промислові системи тощо. Через відкриту природу мережі, мінімальну обчислювальну потужність і часто відсутню автентифікацію, пристрої IoT є вразливими до атак, таких як DDoS, MITM (man-in-the-middle), перехоплення даних, викрадення паролів та сесій [1].

Машинне навчання дозволяє автоматично виявляти шаблони у великому обсязі даних без потреби в ручному налаштуванні правил [2]. Задача виявлення загроз може бути подана як задача бінарної класифікації, де система повинна розрізняти нормальний та аномальний трафік.

Процес виявлення загроз можна подати як задачу класифікації:

$$f(X) = \left\{ \begin{array}{c} 1, \textit{ аномальна активність } (\textit{загроза}) \\ 0, \textit{ нормальна активність} \end{array} \right\}$$

де $X = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – вектор мережевих ознак, таких як:

- Кількість з'єднань за останні 60 секунд
- Частота ICMP-запитів
- Тип протоколу
- Обсяг вхідного/вихідного трафіку
- Середній час відповіді

Архітектура проактивного виявлення кіберзагроз для IoT-пристроїв складається з чотирьох основних функціональних компонентів, які взаємодіють між собою для забезпечення ефективного моніторингу та реагування на загрози в режимі, наближеному до реального часу.

Першим етапом є моніторинг мережі [3], який забезпечує безперервне спостереження за мережевим трафіком від IoT-пристроїв. Для цього використовуються інструменти низького рівня, такі як tcpdump, Wireshark або спеціалізовані мережеві сенсори, що дозволяють перехоплювати, зберігати та аналізувати пакети даних у режимі реального часу. На цьому етапі формується первинний потік даних, який містить всю необхідну інформацію для подальшої обробки.

Далі трафік передається на етап попередньої обробки, де виконується очищення даних від шуму, нормалізація числових ознак, заміна або фільтрація відсутніх значень (null/undefined), а також трансформація категоріальних змінних у числовий формат. Цей процес є критично важливим для забезпечення коректного функціонування алгоритмів машинного навчання, які чутливі до структури та якості вхідних даних.

Після підготовки дані передаються до класифікатора — центрального елемента системи, що реалізує модель машинного навчання. Залежно від конкретних потреб, тут можуть використовуватись різні алгоритми, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), дерева рішень (Random Forest), метод опорних векторів (SVM) або автокодери (AE). Класифікатор приймає рішення про те, чи є зафіксована активність потенційною загрозою, на основі шаблонів, вивчених під час попереднього навчання на репрезентативному наборі даних..

Нарешті, результати класифікації надходять до системи сповіщення та логування, де всі інциденти фіксуються у вигляді журналів або передаються в централізовану систему управління безпекою (наприклад, SIEM-платформу). У разі виявлення загрози формується повідомлення, яке може бути автоматично передано адміністратору, викликати блокування трафіку або ініціювати інші захисні дії, залежно від налаштувань системи.

Таким чином, запропонована архітектура реалізує повноцінний цикл виявлення та реагування на кіберзагрози — від збору сирих даних до інтелектуального аналізу та формування захисних дій, що робить її придатною для розгортання у реальних IoT-сценаріях (Рис. 1).



Рис. 1 – Архітектурна діаграма системи виявлення кіберзагроз

Для оцінки ефективності проактивного виявлення кіберзагроз було обрано чотири різні моделі машинного навчання, кожна з яких має свої особливості, переваги та обмеження, що дозволяє сформувати комплексне уявлення про доцільність їх використання в контексті безпеки IoT-пристроїв.

Першою розглянутою моделлю стала Convolutional Neural Network (CNN) — згорткова нейронна мережа, яка традиційно використовується в задачах комп'ютерного зору, однак, довела свою ефективність і в обробці послідовностей мережевих пакетів. CNN добре адаптується до виявлення шаблонів у даних, що робить її надзвичайно корисною при аналізі типових та повторюваних ознак аномального трафіку. Завдяки здатності до автоматичного виділення ознак у процесі навчання, модель зменшує потребу у ручному формуванні ознакових просторів, що особливо цінно в умовах великої кількості різнорідних IoT-даних.

Random Forest (RF) є ансамблевим методом, що поєднує декілька дерев рішень для підвищення стабільності та узагальнення результатів. Його ключова

перевага полягає у високій стійкості до шуму та переобучення, а також у здатності працювати з різними типами ознак. У контексті IoT-безпеки RF показує стабільну якість класифікації при відносно невеликих затратах обчислювальних ресурсів, що робить його придатним для застосування у пристроях із обмеженими можливостями.

Третім протестованим алгоритмом став Support Vector Machine (SVM) – класичний метод, заснований на побудові гіперплощини, яка розділяє класи з максимальною відстанню між ними. Цей підхід дозволяє досягати високої точності навіть на невеликих наборах даних. Проте, варто зауважити, що SVM є чутливим до масштабування ознак і має досить високу обчислювальну складність у випадках великої кількості записів або ознак, що може обмежувати його застосування в реальному часі на IoT-пристроях.

Останньою в експерименті використовувалась модель Autoencoder (AE) – спеціальний тип нейромережі, який навчається реконструювати вхідні дані, стискаючи інформацію через вузьке "бутилькове" горлечко у центральному шарі [4]. Цей підхід особливо ефективний для виявлення аномалій, де будь-яка поведінка, яка відрізняється від "норми", дає велику похибку реконструкції. Autoencoder не потребує чіткого розмежування між класами при навчанні, що дозволяє йому виявляти навіть нові або невідомі типи атак (zero-day threats).

Таким чином, розгляд різних підходів до класифікації загроз дає змогу сформувати багаторівневу стратегію захисту IoT-систем: поєднуючи високоточні, адаптивні моделі з продуктивними та швидкодіючими рішеннями.

Для експерименту використано датасет TON_IoT [5] від University of New South Wales. Цей набір містить інформацію про трафік IoT-пристроїв у нормальному режимі та під час атак.

Під час підготовки було обрано 15 ознак, також 70% даних використано для навчання, 30% – для тестування, а сам алгоритми реалізовано в середовищі Python (TensorFlow + Scikit-learn):

Таблиця 1.

Результати класифікації аномалій на TON_IoT

Алгоритм	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	Час, с
CNN	98.35	97.90	98.70	7.8
RF	96.40	95.50	96.20	5.1
SVM	94.85	94.30	94.70	11.4
AE	92.10	91.00	91.40	6.3

Рис. 2 ілюструє порівняння точності (Accuracy), точності позитивних спрацьовувань (Precision) та повноти (Recall) для чотирьох алгоритмів машинного навчання, використаних для виявлення кіберзагроз у середовищі IoT.

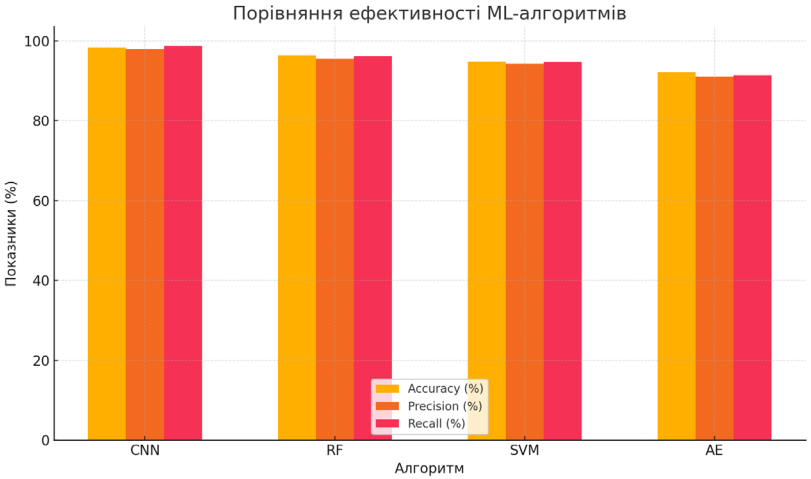


Рис. 2 – Порівняння ефективності ML-алгоритмів

Висновок

У роботі проаналізовано актуальність проблеми захисту IoT-пристроїв від кіберзагроз, зумовлену стрімким зростанням кількості таких пристроїв у критично важливих інфраструктурах. Традиційні методи безпеки, орієнтовані на класичні IT-системи, виявилися недостатніми для специфіки IoT, що вимагає адаптивних і ресурсоощадних рішень.

На основі використання сучасних алгоритмів машинного навчання (CNN, Random Forest, SVM, Autoencoder) запропоновано архітектуру проактивної системи виявлення кіберзагроз. Вона дозволяє автоматично аналізувати мережевий трафік, виявляти відхилення від звичної поведінки та формувати повідомлення про потенційні атаки в режимі, близькому до реального часу.

Результати експериментального моделювання на основі датасету TON_IoT показали, що CNN забезпечує найвищу точність і повноту (98.35% / 98.7%), що є критично важливим для запобігання пропуску атак. Random Forest продемонстрував хорошу стабільність і швидкодію при точності 96.40%, що робить його доцільним вибором за обмежених ресурсів. Алгоритм SVM досяг прийнятної точності (94.85%) та precision (94.3%), однак потребує більше часу на обробку, що ускладнює його використання в реальному часі. Модель Autoencoder виявила здатність виявляти нові, раніше невідомі загрози (zero-day attacks), хоча поступалася за загальною точністю порівняно з CNN та RF.

Отримані результати підтверджують доцільність використання ML-рішень у сфері кібербезпеки IoT, з урахуванням обраного балансу між точністю, продуктивністю та обчислювальними ресурсами.

Список літератури

1. Ahmed M., Mahmood A.N. Machine Learning for Cybersecurity in IoT // IEEE Access. — 2023. — Vol. 11. — P. 33215–33235.
2. Tolbatov A., Lozova I., Tolbatova O., Kukulevskyi I., Sokyrka I. Proactive resource management in a Kubernetes cluster using AI-based resource usage prediction in the cloud environment // Scientific research in modern conditions of instability. — 2024. — No. sge34-02. — P. 43–53. — DOI: https://doi.org/10.30890/2709-2313.2024-34-00-015.
3. Іванов С.В. Методи виявлення аномалій у розподілених системах // Інформаційні технології. — 2022. — №1. — С. 15–21.
4. Mirsky Y. et al. Kitsune: An Ensemble of Autoencoders for Online Network Intrusion Detection // NDSS Symposium, 2018.
5. Moustafa N., Slay J. The TON_IoT Datasets: A new generation of IoT datasets for AI-based security solutions // Future Internet. — 2020. — Vol. 12(12). — P. 219.

УДК 629.7.054

В.А. Швець, к.т.н., В.П. Харченко, д.т.н., О.В. Куценко, к.т.н.
(«Київський авіаційний інститут», Україна)

Забезпечення доступності інформації сузір'я GPS методами просторової фільтрації

Проблема забезпечення доступності та цілісності інформації сузір'я GPS стає все більш значною по мірі розширення сфери застосування супутникових технологій. Особлива увага їй приділяється при використанні глобальних навігаційних супутникових систем в авіації та водному транспорту, бойових діях. Найбільш актуальною дана проблема є в першу чергу в умовах гібридної війни. Найбільш дієвим способом забезпечення доступності та цілісності інформації сузір'я GPS визнано застосування просторових фільтрів побудованих на адаптивних антенних решітках по іншому компенсатор завад на антенної решітці. В роботі наводяться результати просторової фільтрації інформації сузір'я GPS які отримані на лабораторному компенсатор завад на антенної решітці створеному в Державному університеті «Київський авіаційний інститут».

Забезпечення доступності і цілісності інформації сузір'я GPS глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) може бути виконано організаційними або технічними заходами. Завдання технічних заходів забезпечення доступності і цілісності в загальному випадку полягають у пропущенні суміші сигналу й завади через фільтр, у якому шум максимально придушується, а сигнал практично не змінюється. Найбільш дієвим способом захисту від jamming-атаки визнано застосування компенсатора завад на антенної решітки (КЗАР). КЗАР будується на базі адаптивні антенні решітки (ААР), яка надає можливість проводити просторову фільтрацію (рис. 1). ААР завдяки достатнім ступеням свободи, дозволяє без апріорної інформації про завадову обстановку виявити присутність завад і організувати провали в діаграмі спрямованості антени в напрямку приходу кожної з перешкод [1].

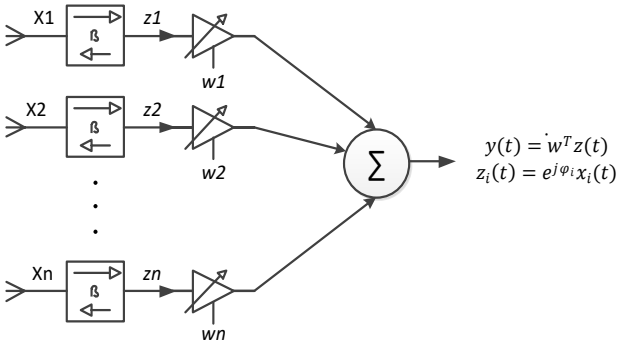


Рис. 1. Адаптивна антенна решітка

Узагальнена структурна схема КЗАР наведена на рисунку 2.

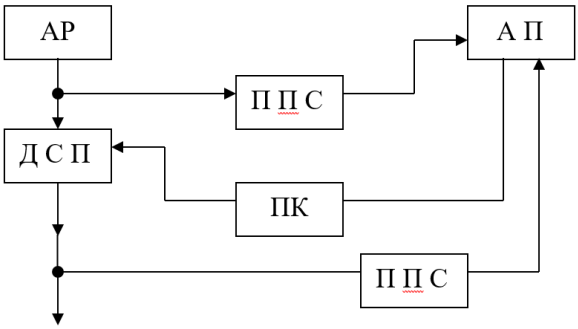


Рис. 2. Узагальнена структурна схема КЗАР

Антенна решітка "АР" приймає електромагнітні випромінювання від НШСЗ і джерел завад, перетворюючи їх в електричні сигнали. Ці сигнали відгалужуються й подаються в підсистему перетворення сигналів "ППС". Призначення "ППС" перетворювати НВЧ-сигнали в цифрові відліки.

Основним елементом КЗАР є адаптивний процесор "АП". У результаті синтезу по обраному критерію визначається адаптивний алгоритм керування КЗАР, що реалізується в "АП".

Сигнал на виході ААР: $y(t) = \mathbf{w}^{\dagger}(t)\mathbf{x}(t),$ де $\mathbf{x}(t)$=$\mathbf{s}(t)$+$\mathbf{n}(t)$ – вектор суміші сигналу і шумів на вході ААР, які є комплексними функціями. Вектор шуму $\mathbf{n}(t)$ вважається стаціонарним і ергодичним, в якому є завада та шум приймача і не залежать від сигналу. $\mathbf{w}$ – вектор вагових коефіцієнтів для створення діаграми спрямованості (ДС). Для плоскої еквідистантної АР ДС решітки описуються виразом

$$D(\alpha,\beta) = \sum_{l=0}^{L-1}\sum_{m=0}^{M-1} W_{lm}^{*} \exp\left(\frac{2\pi l d_x}{\lambda}\cos\alpha + \frac{2\pi m d_y}{\lambda}\cos\beta\right), \qquad (1)$$

де d_x, d_y – відстань між елементами АР уздовж осі x, y; λ - довжина хвилі прийнятого коливання; α, β – кути приходу коливання; W_{lm}^{*} - вагові множники в елементах (l, m) - решітки. вектор вагових коефіцієнтів обчислюється за формулою Вінера-Хопфа: $\mathbf{w} = \mathbf{R}_{\text{п}}^{-1} \cdot \mathbf{s}$, де $\mathbf{R}_{\text{п}}^{-1}$ – обернена кореляційна матриця завади; $\mathbf{s}$ – вектор стовпчик, якій характеризує амплітудно-фазовий розподіл сигналу по каналам приймання [1].

В залежності від визначення оберненої кореляційної матриці завади в літературі надано синтез оптимальних методів обчислення вагових коефіцієнтів за наступними критеріями для *beamforming*-антен.

Критерій середньої квадратичної помилки, вектор вагових коефіцієнтів обчислюється наступним чином $\mathbf{w} = S\mathbf{R}_{xx}^{-1}\mathbf{v}^{*}$, де S – потужність сигналу, $\mathbf{v}$ –

вектор хвильового фронту корисного сигналу, $\mathbf{R}_{xx}$ – кореляційна матриця суміші «сигнал–завада» .

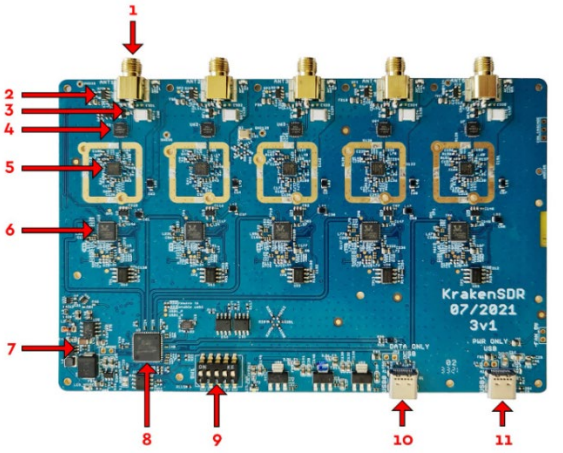
Критерій максимуму відношення сигнал-шум, вектор вагових коефіцієнтів обчислюється наступним чином $\mathbf{w}_{\text{опт}} = K_0 \mathbf{R}_{nn}^{-1} \mathbf{s}_\theta$, де $K_0 = P_n / S_\Sigma$ – відношення потужності завади до потужності суміші (коефіцієнта підсилення зворотного зв'язку), $\mathbf{R}_{nn}$ – кореляційна матриця завади, $\mathbf{s}_\theta$ – амплітудно-фазовий розподіл сигналу в каналах приймання.

Критерій максимуму правдоподібності, вектор вагових коефіцієнтів обчислюється наступним чином.

Критерій мінімуму дисперсії шуму, вектор вагових коефіцієнтів обчислюється наступним чином.

Розроблений при виконанні наукової роботи *адаптивний метод формування вагових коефіцієнтів без опорного сигналу*, метод базується на критерії мінімальної середньоквадратичної помилки [2].

Перевірка роботи перерахованих вище методів проводилося на створеному експериментальному зразку CRPA з застосування виробу KrakenSDR з технічними характеристиками: п’ять когерентних каналів приймання, смуга частот від 25 МГц до 1700 МГц, вихід інформації: цифровий комплексний, частота дискретизації 200 кГц – 2,4 МГц, смуга пропускання 2,4 МГц, розрядність АЦП – 8 біт, чутливість – 0,22 мкВ (рис.3), обробка сигналів відбувалась в середовищі Matlab 2024.



1. SMA Antenna inputs	**5.** R820T2 tuner	**9.** Individual tuner on/off DIP switched
2. Bias Tee	**6.** RTL2832U ADC	**10.** USB Type-C DATA
3. ESD protection	**7.** Noise source	**11.** USB Type-C PWR
4. Noise calibration switches	**8.** USB Hub	

Рис. 3. Пристрій KrakenSDR

Корисний сигнал складався з суміші чотирьох гармонійних сигналів зсунутих відносно частоти GPS L1 (1575,42 МГц) на 250 кГц (рис. 4), з потужністю на виході передавача мінус 45 дБ; завада гаусовський шум з потужністю на виході передавача мінус 40 дБ. Відношення «сигнал/завада» становило мінус 5 дБ. Результати експериментів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1.

Результати експериментів методів які застосовуються в КЗАР

Рівень завади (дБ)		Відношення «сигнал/завада» на вході ААР (дБ)	Коефіцієнт придушення завади (дБ)	Відношення «сигнал/завада» на виході ААР (дБ)	Метод компенсації завади
на вході ААР	на виході ААР				
-41,8	-52,6	-5	10,16	7	методом максимального відношення сигнал/завада
-41,8	-51,9	-5	10,1	7	метод максимальної правдоподібності
41,8	-50,4	-5	8,6	5,06	метод мінімуму дисперсії завади на виході
-41,8	-51,93	-5	10,1	6,6	метод мінімуму середньої квадратичної помилки
-41,8	-59,16	-5	17,36	7,03	метод отримання вагових коефіцієнтів без опорного сигналу

Серед досліджених методів найкращі результати били отримані «методом отримання вагових коефіцієнтів без опорного сигналу»: коефіцієнт придушення

завади 17 дБ відповідно, відношення «сигнал/завада» на виході ААР приблизно 7 дБ, «метод отримання вагових коефіцієнтів без опорного сигналу» є науковою новизною та рекомендовані для створення КЗАР.

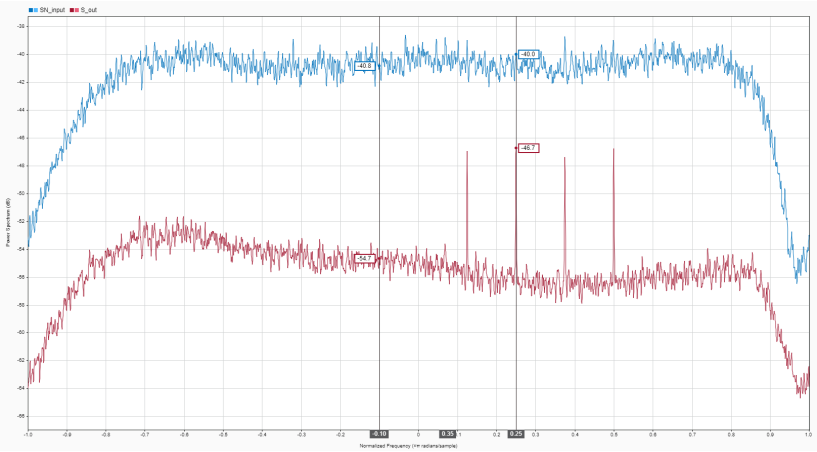


Рис. 4. Спектри суміші «сигнал/завада» на вході адаптивної до завад антенної решітки (верхній графік) та на її виході (нижній графік) «метод отримання вагових коефіцієнтів без опорного сигналу»

Висновок

Використовуючи пристрій KrakenSDR було створено лабораторний зразок просторового фільтра. В результаті проведених експериментів уточнено тактико-технічні характеристики для побудови радіоканалу КЗАР. Отримано програмну частину роботи адаптивного процесора для керування діаграмою спрямованості. Удосконалені методи обчислення вагових коефіцієнтів. Проведено порівняльний аналіз класичних методів обчислення вагових коефіцієнтів з запропонованим методом. Подальший напрям досліджень: побудова структурної схеми КЗАР, вибір елементної бази для створення КЗАР.

Список літератури

1. Монзинго Р. А., Миллер Т. У. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию: Пер. с англ.; Под ред. В. А. Лексаченко. – М.:Радио и связь, 1986. – 448с.

2. Shvets V. A., Klobukov V. V. Adaptive method of forming weights without reference signal // Safety in Aviation and Space Technologies: Proceeding the fifth world congress "AVIATION IN THE XXI-ST CENTURY". National Aviation University. – Kyiv, 2012. Volume 2. – P. 3.2.74 – 3.2.76.

3. KrakenSDR [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://github.com/krakenrf/krakensdr_docs/wiki.

UDC 656.7.351.78.004.056

A.A.Tarakhtii,
T.R. Yarotska, Scientific supervisor PhD in Economics
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Airport security in the conditions of modern threats: aviation and cyberspace

The growing threat of cyberattacks targeting the aviation industry, with a particular focus on airport systems and airline operations. Real-world incidents 2016-2021 illustrate the vulnerabilities of civil aviation infrastructure to cyber threats. Types of cyberattacks, categorization of hackers based on their motives, ranging from financial gain and political ideology to state-sponsored espionage are determined.

The growing frequency of cyberattacks highlights the significant vulnerabilities present in modern computer systems and networks. These weaknesses are often intensified by the use of outdated technologies and poor cybersecurity practices. The susceptibility of critical infrastructure to cyber threats is a pressing concern for both governmental and private sectors, largely due to the potential risks to national security. In particular, cyberattacks on airport systems can cause significant harm to people and the aviation industry: can lead to flight delays or cancellations, damage to reputation, loss of customer trust and financial losses. A hacker could also gain access to sensitive information, such as passenger details or flight plans, putting individuals at risk of theft or other malicious activities that threaten public safety. Cybercriminals, hackers, and even hostile states are constantly developing advanced methods to carry out these attacks. Cyberattacks are no longer isolated incidents – they have become powerful instruments used to achieve a wide range of objectives.

Generally, cyberattacks can be classified into three main categories based on their impact on information systems: breaches of confidentiality, integrity, and availability. All other types of cyber threats typically fall under or combine aspects of these core categories.[1]

In June 2017, Ukraine dealt with their first big cyberattack that attacked central computers and airport systems of pretty important airports Boryspil and Kharkiv. This incident disrupted airport operations, resulting in service interruptions and flight delays. A few months later, in October 2017, Odesa airport also suffered a cyber attack. The airport's computer network was compromised, which led to a loss of confidentiality of information. [2]

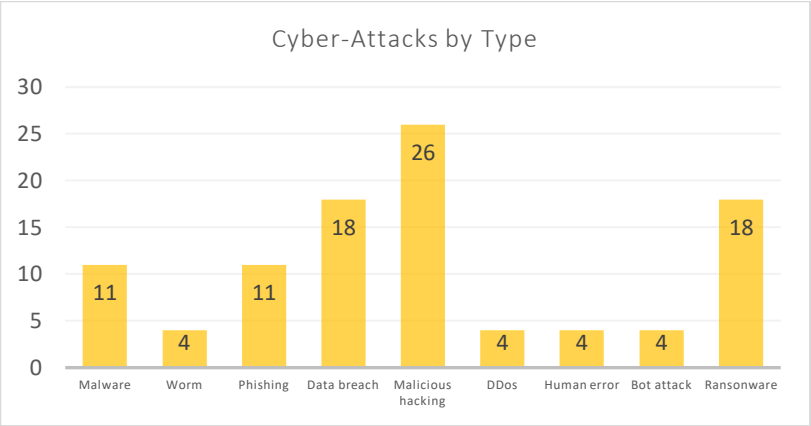


Figure 1. Cyberattacks by type. [3]

There are few examples of cyberattacks in the civil aviation industry during 2016-2021:

- Boryspil, Ukraine (2016, Cyber-attack)
- United Kingdom (2017, Human error)
- Hong Kong (2018, Data breach)
- Bristol Airport UK (2018, Ransomware attack)
- Air Canada, Canada (2018, Mobile app data breach)
- Ben Gurion Airport, Israel (2019, Bot attacks)
- Toulouse, France (2019, Cyber-Incident)
- Europe (2019, Crypto mining Malware infection)
- Birmingham, United Kingdom (2021, Software Error) [3]

The air transport sector faces malicious intent from international state and non-state hackers who are ready to use innovative technologies such as cloud computing, big data, artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), machine learning (ML), blockchain technologies, virtual reality (VR), augmented reality (AR), digital twins (DT) and metaverse.

Table 1. Types of hackers.

Type of hacker	Meaning
White Hacker (White Unicorn)	Ethical hacker who helps protect systems from cyberattacks and fixes security issues. Works legally to improve cybersecurity.
Blue Hacker	Tests company software for security flaws before release. Focuses on fixing vulnerabilities.

Red Hacker	Works for governments to detect and combat black hackers and cybercriminals. Often involved in offensive cybersecurity.
Green Hacker	Beginner hacker aiming to become a professional (white, red, or blue). May cause harm unintentionally.
Black Hacker (Cracker)	Malicious hacker who breaks into systems illegally to steal, destroy, or exploit information.
Nation-Sponsored Hacker	Government-employed expert handling national security and defense-related cyber threats. Operates secretly.
Nation-State Hacker	Works for a country to hack into other nations or organizations for political or military reasons.
Cyberterrorist	Uses cyberattacks to promote political, religious, or ideological causes; aims to cause fear or damage infrastructure.
Whistleblower (Malicious Insider)	Insider who exposes or exploits company secrets for personal gain. Can pose serious internal threats.
Hacktivist	hacker or group who attacks systems to promote political or social causes, often using illegal methods.
Gray Hacker	Unofficial hacker who may act with both good and bad intentions. Sometimes helps fix issues but without permission.
Script Kiddie	Inexperienced hacker using pre-made tools or scripts to attack systems, mainly for fun or to gain attention.

All these hacker groups operate with different levels of skill and various intentions. Because of this diversity, cybersecurity plays a crucial role for airports and airline companies. The cyber threats posed by such individuals must be studied in multiple dimensions—considering regional, contextual, and motivational factors—to effectively advance the field of cybersecurity. As air traffic continues to grow, safeguarding against cyberattacks remains a vital aspect of aviation security.

Hackers often have a wide range of motivations, shaped by personal interests, opportunities, and the perceived benefits of their actions. These can include the challenge of breaching secure systems, the thrill of the attack itself, or even the desire to cause harm. One of the most common motives is financial gain, as cybercriminals can access money quickly and often avoid detection by law enforcement. This financial incentive frequently fuels broader illegal, military, or extremist operations.

Another strong motivation is the excitement hackers feel when bypassing high-level security systems of corporations and government institutions. Many hackers aim to stay undetected while still gaining attention from fellow hackers and global media. Fame and respect within the hacking community often drive them to increase their status and reputation, encouraging further attacks.

Ideological, political, religious, or social beliefs also inspire hackers to carry out cyberattacks. Corporate or commercial motives are also common in the form of cyberespionage, which involves stealing trade secrets, blackmail, bribery, or surveillance to gain competitive advantages. This practice is widespread among both

governments and multinational corporations seeking insider knowledge from their rivals.

State-sponsored hackers are another major threat. These individuals are often employed or supported by governments to pursue national interests through cyber means. Their missions usually involve stealing intellectual property, financial data, and classified personal or governmental information.

Insider threats can also pose serious dangers. These threats may stem from unintentional errors, unclear loyalties, or deliberate sabotage by employees. Whether driven by personal gain, ideology, or curiosity, insider actions are difficult to detect and can result in significant financial losses, reputational damage, and reduced public trust in the affected organizations. [4]

Cyberattacks are a serious emerging threat to operating organizations and national critical infrastructure. As technology becomes more integrated into daily operations, these attacks grow in frequency, targeting everything from financial systems to healthcare networks and the aviation industry. The consequences can be severe—ranging from operational disruptions and financial loss to reputational damage and threats to human safety.

References

1. View of Cybersecurity in Aviation: Exploring the Significance, Applications, and Challenges of Cybersecurity in the Aviation Sector. *Periodica Polytechnica*. URL: https://pp.bme.hu/tr/article/view/37153/23754
2. Перегляд СУЧАСНИЙ СТАН ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРНЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ ТА СВІТУ. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка». URL: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/177/166
3. Cyber-Security Challenges in Aviation Industry: A Review of Current and Future Trends. MDPI. URL: https://www.mdpi.com/2078-2489/13/3/146
4. The types of hackers and cyberattacks in the aviation industry - Journal of Transportation Security. *SpringerLink*. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s12198-024-00281-9

УДК 004.8

О.В. Мельничук, аспірант
(ДП "Київський авіаційний інститут", Україна)

Вплив контенту генерованого штучним інтелектом на виявлення Sybil-акаунтів у соціальних мережах

Стрімкий розвиток генеративного штучного інтелекту, докорінно змінює безпековий ландшафт соціальних мереж, створюючи нові виклики для виявлення Sybil-акаунтів. У даній роботі досліджується вплив еволюції ботів на ефективність класичних методів виявлення, а також розглядаються способи впровадження великих мовних моделей у методи виявлення.

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту (*ШІ*), зокрема, великих мовних моделей (*LLM*) та генеративних мереж, докорінно змінює ландшафт соціальних мереж. Одним із найсерйозніших викликів, що постали внаслідок цієї технологічної революції, є поява нового покоління *Sybil*-атак. *Sybil*-акаунти – це фальшиві профілі, створені для імітації реальних користувачів з метою маніпуляції, поширення дезінформації, впливу на суспільну думку або інших зловмисних дій [1]. Якщо раніше такі акаунти були відносно простими та їх можна було виявити за шаблонною поведінкою, то сучасні *LLM* дозволяють створювати ботів, чий контент та взаємодії практично не відрізняються від людських.

Соціальні мережі стали основним джерелом інформації для мільярдів людей, що робить їх привабливою ціллю для інформаційних операцій. В Україні, в умовах триваючої гібридної війни, проблема інформаційно-психологічної безпеки стоїть особливо гостро. Російські дезінформаційні кампанії активно використовують соціальні мережі, зокрема *Telegram* (якому надають перевагу 60% українських користувачів соцмереж), для поширення проросійських наративів та дестабілізації суспільства [1, 2]. *Sybil*-атаки є ключовим інструментом у цих кампаніях. На глобальному рівні, дезінформація визнана одним із найбільших ризиків сучасності, що підкреслює її руйнівний вплив на довіру до інституцій та суспільну поляризацію [3].

Поява загальнодоступних *LLM*, таких як *ChatGPT*, призвела до вибухового зростання обсягів ШІ-згенерованого контенту. За деякими оцінками, до 15% контенту в *Twitter* та 8% на *Reddit* вже може створюватись *LLM* [4]. Це не лише ускладнює виявлення окремих ботів, але й змінює саму природу інформаційних операцій. *Sybil*-мережі тепер можуть проводити складні, багатошарові кампанії, де боти ведуть між собою змістовні дискусії, підсилюючи певні наративи та створюючи ілюзію широкої підтримки певної точки зору.

Саме тому актуальність є надзвичайно високою. Існує нагальна потреба в переоцінці існуючих підходів та розробці нових стратегій виявлення та нейтралізації ШІ-ботів критично важливим завданням.

Метою роботи є аналіз існуючих методів виявлення Sybil-акаунтів, а також аналіз можливостей інтеграції *LLM* у майбутні методи.

Протягом останніх десятиліть було розроблено чимало методів для боротьби з Sybil-атаками. Ранні підходи базувалися переважно на машинному навчанні з наглядачем (supervised machine learning), аналізуючи статичні ознаки окремих акаунтів: частоту публікацій, шаблонність поведінки, характеристики профілю [5, 6, 7]. Згодом акцент змістився на аналіз взаємодій та мережевої структури. До основних класичних технік належать:

Методи на основі графових моделей. Аналізують структуру соціальних зв'язків. Такі підходи, як SybilGuard, SybilLimit та SybilRank, використовують випадкові прогулянки або аналіз зв'язків для ідентифікації кластерів підозрілих акаунтів, які часто мають слабкі зв'язки з легітимною частиною мережі [8, 9].

Аналіз структурних характеристик. Використовують метрики графа, такі як центральність, кластеризація, когерентність ядер, для виявлення аномалій у структурі мережі, характерних для Sybil-груп [5, 10, 11].

Аналіз часових та профільних характеристик. Виявляють ботів за аномальною активністю в часі, нетиповими даними профілю (вік акаунту, кількість підписників/підписок) [12].

Методи на основі кластеризації та нечіткої логіки: Групують акаунти за схожістю ознак для виявлення підозрілих кластерів [13, 14].

Методи на основі векторизації вузлів (Node Embedding): Техніки типу Node2Vec, DeepWalk, Role2Vec перетворюють вузли графа (акаунти) та їх зв'язки у векторний простір для подальшого аналізу за допомогою машинного навчання [13, 12].

Методи обробки природної мови (NLP): Аналізують текстовий контент на предмет шаблонності, повторюваності, специфічної лексики, емоційного забарвлення [1, 13, 10, 14, 15].

Попри певні успіхи, ефективність цих класичних методів стрімко знижується. Вони були розроблені для виявлення ботів зі статичною, передбачуваною поведінкою та контентом. Сучасні ж боти, демонструють значно складнішу поведінку:

Маскування метаданих: LLM-боти можуть мати реалістичні профілі, імітувати нерегулярну людську активність, уникати шаблонних імен чи аватарок [7].

Уникання шаблонів у текстах: LLM генерують унікальні, граматично правильні, стилістично різноманітні тексти, які важко відрізнити від людських. Вони можуть перефразовувати контент, уникати повторень та навіть імітувати емоції, що робить класичні NLP-детектори (наприклад, на базі TF-IDF) неефективними [16, 17, 18, 19].

Маніпуляція соціальними зв'язками: Замість хаотичних зв'язків, LLM-боти можуть формувати правдоподібні "спільноти", взаємодіяти між собою та навіть з реальними користувачами, створюючи квазіорганічні соціальні структури, які важко виявити графовими алгоритмами [1, 4, 10, 11, 10, 20].

Дослідження показують, що навіть популярні інструменти, як Botometer, практично не здатні ідентифікувати LLM-ботів, присвоюючи їм оцінки, схожі на людські [5]. При аналізі реальної бот-мережі "fox8" у Twitter, що використовує ChatGPT для створення реалістичних персонажів, поширення шкідливих посилань та дезінформації, було виявлено, що демонстрували

складну поведінку, включаючи взаємодію через ретвіти та відповіді, що робило їх контент надзвичайно переконливим та важким для виявлення [21]. У підкріплення досліджень варто звернути увагу, що, Федеральне бюро розслідувань Сполучених Штатів Америки попереджає про використання державами, зокрема Росією спеціалізованого програмного забезпечення на базі ШІ для створення автентичних профілів та проведення дезінформаційних атак [22].

Ключова проблема полягає в тому, що LLM-боти "розмивають" межу між людським та машинним контентом та взаємодіями. Користувачі часто не можуть відрізнити бота від людини (точність визначення 42% [16]), а ШІ-згенерована пропаганда може бути навіть більш ефективною, отримуючи більше взаємодій, ніж контент, написаний людиною [4,17].

Для протидії новим викликам варто змістити фокус з пошуку статистичних патернів у контенті та зв'язках, у напрямку детекції спалахів активності, загального ШІ-генерованого контенту, та виявлення мереж, що використовуються у конкретних маніпуляційних кампаніях, замість виявлення конкретних ботів. Хоча використання LLM для цих задач є перспективним напрямком, існуючих підходів які базуються на них ще немає. Дослідження здебільшого фокусуються на можливості розпізнавання ШІ-згенерованого тексту:

Аналіз тексту за допомогою LLM: Використання потужних моделей (GPT-4, BERT) для виявлення тонких стилістичних особливостей, характерних для ШІ-текстів, або аналізу рівня передбачуваності тексту. Деякі дослідження показують високу точність до 90% на певних даних [7, 23].

Спеціалізовані детектори ШІ-контенту: Розробка інструментів (наприклад, OpenAI AI Text Classifier, GPTZero) для автоматичного визначення походження тексту. Однак поточні версії таких детекторів мають суттєві обмеження: низька ефективність для коротких текстів, типових для соцмереж, високий рівень хибних спрацювань, вразливість до текстів, створених різними моделями LLM [21, 24].

Проте ці підходи недосконалі та не можуть використовуватись напряму через серйозні обмеження масштабування та відтворюваності результатів. Застосування LLM потребує значних ресурсів. Також моделі можуть "галюцинувати" або відтворювати неправдиву інформацію [1, 7].

Майбутнє боротьби з Sybil-активністю лежить у розробці комплексних, адаптивних стратегій. Найбільш перспективними напрямками є:

Комбіновані (гібридні) методи: Інтеграція аналізу різних аспектів: контенту (з використанням LLM для генерування синтетичних датасетів чи розмічення свіжих даних з соц. мереж), поведінкових патернів (часові характеристики, взаємодії), метаданих та соціальних зв'язків (з використанням оновлених графових алгоритмів) [4, 7, 15, 21]. Мультимодальний підхід дозволяє виявляти "цифрові сліди" маніпулятивних кампаній.

Розвиток самонавчальних ШІ-агентів: Створення систем, здатних автоматично адаптуватися до нових тактик ботів у реальному часі. Такі системи могли б постійно вдосконалювати свої алгоритми, протистоячи еволюції загроз, проте цей напрямок лише зароджується і є складним архітектурно.

Висновок

Таким чином запропонована модернізація конструкції магнітних датчиків, що використовують магнітні зонди, для підвищення їх чутливості і, відповідно, точності визначення магнітного курсу за допомогою введення неортогонального розташування осей чутливості.

Запропонована модернізація доцільна для літаків, що виконують польоти в локальній географічній області або при обмежених широтах при виконанні таких завдань як аерофотозйомка або місцевих авіарейсів

Список літератури

1. Makhortykh M., Sydorova M., Baghumyan A., Vziatysheva V., Kuznetsova E. Stochastic Lies: How LLM-Powered Chatbots Deal with Russian Disinformation about the War in Ukraine. Harvard Kennedy School Misinformation Review. 2024. August 26.
2. Кузнецова О. Особливості російської дезінформації, створеної ШІ в інтернет-ЗМІ, соціальних мережах / Львівський політехнічний національний університет. Вісник Національного університету "Львівська політехніка": журналістика. 2024. № 7, вип. 1. С. 79–89.
3. Global Risks Report 2024 / World Economic Forum. Geneva : World Economic Forum, 2024. URL: https://www.weforum.org/reports/the-global-risks-report-2024 (дата звернення: 15.04.2025).
4. Annual Report - 2023-2024 / Observatory on Social Media (OSoMe). URL: https://osome.iu.edu (дата звернення: 15.04.2025).
5. Cresci S., Pietro R., Petrocchi M., Spognardi A., Tesconi M. Fame for sale: Efficient detection of fake Twitter followers. Decision Support Systems. 2015. Vol. 80. P. 56–71.
6. Ferrara E. Social bot detection in the age of ChatGPT: Challenges and opportunities. First Monday. 2023. Vol. 28, no. 11.
7. Feng S., Wan H., Wang N., Tan Z., Luo M., Tsvetkov Y. What Does the Bot Say? Opportunities and Risks of Large Language Models in Social Media Bot Detection // Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2024). Bangkok, Thailand. 2024. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.00371.
8. Zhou Q., Chen G. An Efficient Victim Prediction for Sybil Detection in Online Social Networks. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 123228–123237.
9. Syed N. A., Haider M., Mustafa S. A Survey on Sybil Defense Techniques in Online Social Networks. Journal of Computer Science. 2023. Vol. 19, no. 10. P. 1215–1235.
10. Alharbi F., Aljohani M. R., Hassan S. U. Social media bot detection literature review. Social Network Analysis and Mining. 2023. Vol. 13, no. 1. Art. 83. P. 1–20.
11. Mulamba D., Ray I., Ray I. On Sybil Classification in Online Social Networks Using Only Structural Features. 2018 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS). 2018. P. 1–9.
12. Yang Y., Zhang Y., Zhao M., Boshmaf Y., Alazab M., Shalaginov A. Joint approach for detecting suspicious accounts in social networks using machine learning. Security and Communication Networks. 2022. Vol. 2022. Art. ID 9972356.

13. Sethurajan M. R., Natarajan K. An adept approach to ascertain and elude probable social bots attacks on Twitter and Twitch employing machine learning approach. Multimedia Tools and Applications. 2023. Vol. 82, no. 29. P. 45997–46021.

14. Ellaky Z., Benabbou F., Matrane Y., Qaqa S. A hybrid deep learning architecture for social media bots detection based on BiGRU-LSTM and GloVe word embedding. IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 1–10.

15. Люшенко Л., Перегуда Я. Спосіб побудови програмних детекторів для виявлення програмних ботів в соціальних мережах. Інформаційні технології і суспільство. 2024. № 1 (12). С. 56–64.

16. Radivojevic K., Clark N., Brenner P. LLMs Among Us: Generative Al Participating in Digital Discourse. arXiv. 2024. arXiv:2402.07940. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.07940.

17. Goldstein J. A., Sastry G., Musser M., DiResta R., Gentzel M., Sedova K. Generative Language Models and Automated Influence Operations: Emerging Threats and Potential Mitigations. arXiv. 2023. arXiv:2301.04246. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2301.04246.

18. Liyanage V., Buscaldi D., Forcioli P. Detecting AI-Enhanced Opinion Spambots: A Study on LLM-Generated Hotel Reviews. Proceedings of the Seventh Workshop on E-Commerce and NLP @ LREC-COLING 2024 / Malmasi S. et al. (eds.). Torino, Italia : ELRA and ICCL, 2024. P. 74–78.

19. Liu Y., Zhu J., Zhang K., Tang H., Zhang Y., Liu X., Liu Q., Chen E. Detect, Investigate, Judge and Determine: A Novel LLM-Based Framework for Few-Shot Fake News Detection. arXiv. 2024. arXiv:2407.08952. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2407.08952.

20. Zhang L., Liu W. Sybil Detection Using Deep Learning Techniques. Journal of Cyber Security and Mobility. 2022. Vol. 11, no. 3. P. 339–362.

21. Yang K.-C., Menczer F. Anatomy of an Al-powered malicious social botnet. Journal of Quantitative Description: Digital Media. 2024. DOI: https://doi.org/10.51685/jqd.2024.icwsm.7.

22. Internet Crime Report 2024 / FBI Internet Crime Complaint Center (IC3). Federal Bureau of Investigation, 2024. July. URL: https://www.ic3.gov/Media/News/2024/240709.pdf (дата звернення: 15.04.2025).

23. Sallah A., Alaoui E. A., Agoujil S., Wani M. A., Hammad M., Maleh Y., El-Latif A. A. A. Fine-Tuned Understanding: Enhancing Social Bot Detection With Transformer-Based Classification. IEEE Access. 2024. Vol. 12. P. 118250–118269.

24. Gao T., Yang J., Peng W., Jiang L., Sun Y., Li F. A Content-Based Method for Sybil Detection in Online Social Networks via Deep Learning. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 38753–38766.

УДК 004.056.5

Д.В. Пастущак
(Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Україна)

Виклики кібербезпеки при інтеграції систем Інтернету речей (IoT) у критичну інфраструктуру

Проаналізовано проблеми кібербезпеки при інтеграції систем Інтернету речей у критичну інфраструктуру. Розглядаються загрози, пов'язані з недостатньою автентифікацією, незахищеними протоколами, застарілими прошивками та компрометацією ланцюга постачання. Наведено приклади реальних атак і запропоновано заходи для підвищення безпеки.

Повсюдне поширення систем Інтернету речей (англ. IoT — Internet of Things) не залишило осторонь критичну інфраструктуру. Впровадження найновіших технологій IoT покращує взаємозв'язок компонентів та полегшує керування ними. За даними IoT Analytics [1], у кінці 2023 року налічувалось близько 16,6 мільярдів підключених пристроїв, а вже через рік, наприкінці 2024 року, приблизно 18,8 мільярдів. Такі галузі як енергетика, транспорт, охорона здоров'я та виробництво отримали можливість здійснювати моніторинг у реальному часі, а також підвищення загальної ефективності після інтеграції операційного рівня (англ. OT — Operational Technology) із датчиками та контролерами IoT. Однак, таке поєднання цифрових та фізичних систем створює нові виклики для кібербезпеки [2].

Метою роботи є аналіз найпоширеніших атак, спрямованих на системи IoT та критичну інфраструктуру, а також ідентифікація ключових вразливостей, що експлуатуються зловмисниками для подальшої розробки ефективних стратегій захисту.

Отже, визначимо основні категорії атак:

1. Атаки на механізми автентифікації

Атаки на механізми автентифікації в системах IoT базуються на тому факті, що багато пристроїв постачаються з заводськими обліковими даними (іменами користувачів і паролями), які рідко змінюються кінцевими користувачами. Суть атаки полягає в тому, що зловмисники використовують автоматизовані інструменти для сканування мережі на наявність пристроїв, які все ще використовують ці облікові дані. Після виявлення таких пристроїв зловмисники використовують їх або для отримання доступу до мережі, або для реєстрації зламаних пристроїв у ботнет, який може запускати масштабні DDoS-атаки, таким чином спричиняючи збої в онлайн-сервісах та системах керування. Наприклад, під час атаки ботнету Mirai, зловмисники сканували інтернет для виявлення пристроїв, що використовують заводські облікові дані. Знайдені пристрої ставали частиною злочинного ботнету, який запустив масовану DDoS-атаку, що вивела з ладу низку онлайн-платформ [4]. Ключова вразливість цього сценарію полягає не стільки у властивостях самих пристроїв, скільки в

нехтуванні базовими налаштуваннями безпеки з боку користувачів — зокрема, у відсутності зміни стандартних облікових даних після встановлення пристрою. Для запобігання таким атакам потрібно впроваджувати принцип “security by design” — пристрої забезпечуються унікальними та надійними обліковими даними при виробництві, а при першому використанні користувач зобов’язаний їх змінити [5]. Крім того, впровадження концепції “zero trust”— динамічних механізмів контролю доступу, що забезпечують постійну валідацію кожного запиту — може значно підвищити точність автентифікації та знизити ризик несанкціонованого доступу [6].

2. Атаки на незахищені комунікаційні протоколи

Атаки на незахищені протоколи зв’язку стають можливими у випадках, коли IoT-системи, зокрема ті, що використовуються в автоматизованих системах управління технологічними процесами (АСУ ТП; англ. ICS — Industrial Control Systems), підключаються до Інтернету без належного захисту. Такі системи часто використовують застарілі протоколи, як-от Modbus і DNP3, які не підтримують сучасних механізмів шифрування чи автентифікації. Підключення систем із такими протоколами до Інтернету без засобів захисту відкриває прямий шлях для кібератак, що можуть спричинити збої або повну втрату контролю над виробничими процесами. Суть цих атак полягає в здатності зловмисника перехоплювати та змінювати дані та команди керування, отримуючи таким чином несанкціонований доступ до критичних процесів. Показовим прикладом такої атаки є інцидент, задокументований компанією Forescout (Vedere Labs), коли шкідливе програмне забезпечення Industroyer спричинило масштабне знеструмлення в Україні. У цьому випадку зловмисники використали протокол IEC-104 для дистанційного керування автоматичними вимикачами та реле захисту на електропідстанції. Атаку пов’язують із діяльністю російського кіберугруповання Sandworm [3]. Крім того, згідно зі звітом Всесвітнього економічного форуму, широке використання незахищених протоколів зв’язку в системах критичної інфраструктури суттєво підвищує ризик масштабних кіберінцидентів [7]. Захист від таких атак можна забезпечити шляхом ізоляції мереж IoT, що під’єднані до АСУ ТП, застосування захищених протоколів (або підключення до ізольованих мереж через VPN) та впровадження систем виявлення вторгнень (англ. IDS — Intrusion Detection System) для моніторингу аномальної активності.

3. Атаки через вразливості у прошивці та процесах оновлення

Атаки, що експлуатують вразливості прошивки та механізмів оновлення, ґрунтуються на тому, що значна частина IoT-пристроїв працює на застарілій прошивці, яка містить відомі проблеми безпеки. Зловмисники свідомо націлюються на такі пристрої, що не отримали критичних оновлень, використовуючи наявні вразливості для несанкціонованого доступу або подальшого компрометування мережі. Наприклад, у ряді ботнет-атак зловмисники використовували пристрої розумного будинку, які залишалися без оновлень, і таким чином включали їх до злочинної інфраструктури для здійснення подальших атак. Регулярне оновлення прошивки та своєчасне

усунення вразливостей є ключовими заходами для зменшення ризиків. Якщо оновлення з певних причин неможливі — наприклад, через припинення підтримки пристрою виробником — необхідно застосовувати компенсаційні заходи, такі як ізоляція або сегментація мережі, з метою обмеження можливого поширення атаки [2].

4. Атаки через ланцюг постачання

Атаки через компрометацію ланцюга постачання відбуваються через те, що ланцюжок постачання IoT часто включає численні апаратні та програмні компоненти від сторонніх постачальників, створюючи додаткові ризики. Суть таких атак полягає в тому, що зловмисники використовують слабкі місця в механізмах оновлення або процесах розробки цих сторонніх компонентів. Наприклад, під час атаки на Colonial Pipeline у 2021 році зловмисники скористалися слабкими місцями в механізмі оновлення програмного забезпечення стороннього постачальника, що дало їм можливість запустити код програми-вимагача у системі. Це призвело до зупинки роботи трубопроводу та спричинив масову нестачу палива вздовж східного узбережжя США [8]. Подібним чином, інцидент із порушенням ланцюжка поставок SolarWinds продемонстрував, як компрометація процесу розробки програмного забезпечення одного з надійних постачальників може призвести до широкомасштабних кіберінцидентів. У цьому випадку зловмисники змогли вбудувати шкідливий код у офіційний пакет оновлень програмного забезпечення Orion, який використовувався приблизно 18 000 клієнтами, включаючи державні установи та великі корпорації. Це дозволило отримати доступ до конфіденційних даних і поставило під загрозу безпеку критичних систем [9]. Щоб знизити ці ризики, організаціям слід проводити детальну перевірку постачальників і впроваджувати заходи прозорості, такі як використання Специфікації матеріалів програмного забезпечення (англ. SBOM—Software Bill of Materials) та сертифікаційні ініціативи на зразок Cyber Trust Mark, що дозволяють відстежувати і гарантувати цілісність усіх компонентів, застосовуваних в IoT-пристроях [10].

Висновок

Інтеграція систем Інтернету речей у критичну інфраструктуру забезпечує значні переваги з точки зору підвищення ефективності та можливостей аналізу в режимі реального часу, проте одночасно посилює ризики кібербезпеки. Найнебезпечнішими вразливостями є використання слабких методів автентифікації, незахищених протоколів зв'язку, застарілих прошивок та компрометації ланцюга поставок. Ефективний захист систем Інтернету речей вимагає розробки комплексної багаторівневої стратегії, що базується на принципі "security by design", своєчасному усуненні вразливостей, надійної ізоляції мережі та архітектури "zero trust". Майбутні дослідження мають бути зосереджені на розробці сучасних методів виявлення аномалій, вдосконаленні методів сегментації мережі та встановленні єдиних глобальних стандартів безпеки для IoT. З огляду на високі ризики як для промислового, так і для

державного секторів, зацікавлені сторони мають розглядати кібербезпеку як ключовий елемент забезпечення стійкості критичної інфраструктури.

Список літератури

1. IoT Analytics, 2024. «State of IoT 2024: Number of Connected IoT Devices» (вересень 2024). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/.
2. Verizon, 2024. «2024 Data Breach Investigations Report (DBIR)» (2024). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/.
3. Forescout (Vedere Labs), 2025. «Since Stuxnet: A Brief History of Critical Infrastructure Attacks» (лютий 2025). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.forescout.com/blog/since-stuxnet-a-brief-history-of-critical-infrastructure-attacks/.
4. IoT Security Foundation, 2016. «Mirai Botnet Shows Just How Vulnerable the IoT Really Is» (жовтень 2016). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://iotsecurityfoundation.org/mirai-botnet-shows-just-how-vulnerable-the-iot-really-is/.
5. KnowBe4, 2024. «Cyber Attacks On Infrastructure: The New Geopolitical Weapon» (2024). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://industrialcyber.co/critical-infrastructure/critical-infrastructure-faces-30-percent-surge-in-cyber-attacks-knowbe4-report-highlights/.
6. Cybersecurity (SpringerOpen), 2024. «Crucial Steps in Granting Access: Enhancing the Accuracy and Robustness of IoT Authentication» (2024). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://cybersecurity.springeropen.com/articles/10.1186/s42400-024-00212-0.
7. World Economic Forum, 2021. «Protecting Critical Infrastructure from a Cyber Pandemic» (жовтень 2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.weforum.org/stories/2021/10/protecting-critical-infrastructure-from-cyber-pandemic/.
8. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA), 2023. «The Attack on Colonial Pipeline: What We've Learned» (травень 2023). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.cisa.gov/news-events/news/attack-colonial-pipeline-what-weve-learned-what-weve-done-over-past-two-years.
9. U.S. GAO, 2021. «SolarWinds Cyberattack Demands Significant Federal and Private-Sector Response» (квітень 2021). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.gao.gov/blog/solarwinds-cyberattack-demands-significant-federal-and-private-sector-response-infographic.
10. Security Info Watch, 2025. «Cyber Trust Mark: A New Standard for IoT Security Launches in 2025» (січень 2025). [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.securityinfowatch.com/cybersecurity/article/55260115/cyber-trust-mark-a-new-standard-for-iot-security-launches-in-2025.

UDC 004.056:621.396

M.M. Protsenko, PhD in Technical Sciences,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Security and privacy risks in next-generation networks

This article presents a comprehensive survey of security and privacy challenges in 5G and emerging 6G networks. It examines vulnerabilities in network architecture, protocols, and supply chains, and explores current mitigation strategies. Emphasis is placed on authentication, privacy, and AI-related threats, highlighting the need for proactive, collaborative cybersecurity approaches.

The rollout of 5G networks marks a transformative milestone in the evolution of mobile communication technologies. Promising ultra-low latency, massive device connectivity, and unprecedented data throughput, 5G is poised to revolutionize sectors from healthcare and manufacturing to smart cities and autonomous vehicles. However, the rapid adoption of 5G also brings a new wave of security and privacy challenges. Unlike its predecessors, 5G integrates a wide array of technologies such as software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV), and edge computing, which broaden the attack surface and introduce vulnerabilities at multiple layers of the architecture.

As the global economy becomes increasingly dependent on secure digital infrastructures, understanding and mitigating these vulnerabilities is a pressing concern. This article provides a comprehensive overview of network security and privacy issues in 5G and emerging 6G networks. It examines threats across the protocol stack, evaluates potential impacts, and discusses contemporary solutions and research directions. Particular emphasis is placed on authentication weaknesses, signaling attacks, supply chain threats, and privacy erosion in highly connected environments.

The fundamental shift in 5G from hardware-centric to software-driven network infrastructures introduces both flexibility and fragility. SDN and NFV, while enabling dynamic resource allocation and faster service deployment, also create new avenues for cyberattacks. Dangi et al. [1] highlight how these technologies, while transformative, often lack robust isolation mechanisms, making them susceptible to side-channel attacks, unauthorized access, and service manipulation. These vulnerabilities are exacerbated when third-party vendors supply critical network functions without stringent code verification protocols.

In addition, the densification of network infrastructure such as the proliferation of small cells and edge computing nodes introduces numerous points of failure. These devices are often geographically distributed and lack sufficient physical security. Adversaries can exploit weak access control mechanisms to inject malicious firmware or siphon off sensitive data. The lack of uniform security standards across vendors and operators only amplifies this risk.

The authentication protocols used in 5G, though enhanced compared to 4G, remain vulnerable to certain classes of attacks. Mutual authentication mechanisms still suffer from downgrade attacks, where adversaries force devices to fall back to

weaker encryption schemes. Eleftherakis et al. [2] document several protocol-level vulnerabilities that enable rogue base stations to impersonate legitimate nodes, enabling man-in-the-middle attacks and session hijacking.

Moreover, the user-plane and control-plane separation, a hallmark of 5G design, can be exploited if signaling messages are not adequately encrypted. Signaling storm attacks, where networks are overwhelmed by malicious control-plane messages, have been identified as a persistent threat to network stability. Attackers can exploit this vector to trigger service outages or degrade quality of service.

Privacy concerns in 5G are also significantly amplified. With location tracking, biometric authentication, and behavioral analytics becoming common, users' digital footprints are more detailed than ever. Data collection at the network edge often bypasses centralized oversight, creating potential for unauthorized surveillance. Ramezanpour et al. [3] emphasize that the use of mobile edge computing (MEC) in 5G leads to fragmented data storage, making compliance with data protection regulations like GDPR more complex.

The situation is further complicated by the looming arrival of 6G. While still in the conceptual phase, 6G is expected to support real-time holographic communication, intelligent surfaces, and AI-native networking. Yang et al. [4] argue that integrating artificial intelligence (AI) into network management introduces a new class of threats related to adversarial AI, data poisoning, and model theft. As machine learning models become central to traffic routing, intrusion detection, and anomaly detection, ensuring their robustness and trustworthiness will be critical.

Supply chain vulnerabilities represent another major challenge. With 5G hardware and software sourced globally, any compromise in the production chain can lead to embedded backdoors, hardware trojans, or software vulnerabilities. Security-by-design principles are often inconsistently applied, especially by smaller vendors aiming for rapid market entry. The global nature of 5G infrastructure means that a vulnerability introduced in one region can have cascading effects across interconnected networks.

Addressing these challenges requires a multi-pronged approach. First, standardization bodies must enforce baseline security requirements for all components of the 5G ecosystem. Mandatory security audits, code reviews, and certification processes can help minimize the risks from third-party integrations. Second, adopting zero-trust architectures can limit lateral movement within networks, ensuring that even compromised nodes do not endanger the entire system.

Privacy-enhancing technologies (PETs) such as differential privacy, homomorphic encryption, and secure multi-party computation can provide additional safeguards for user data. Network operators must also invest in real-time monitoring and threat intelligence systems that leverage AI and machine learning to detect anomalies before they escalate.

Emerging research is exploring the use of blockchain technology to enhance security frameworks within next-generation networks, particularly for decentralized identity management and trust anchoring in 5G infrastructures. By leveraging the immutability and distributed consensus mechanisms of blockchain, these systems aim to provide tamper-proof, transparent, and verifiable identity records**,** enabling

secure device onboarding and authentication processes without the need for centralized certificate authorities. This decentralized approach mitigates single points of failure and reduces the risk of large-scale identity breaches.

Furthermore, smart contracts integrated into blockchain-based architectures can automate trust negotiations and policy enforcement across network entities, streamlining access control and authorization in complex, dynamic environments such as the Internet of Things (IoT) and edge computing nodes. These innovations are particularly relevant in heterogeneous network scenarios, where devices from various vendors must interoperate securely.

In parallel, researchers are investigating the integration of quantum-resistant (post-quantum) cryptographic algorithms to future-proof communication networks against the anticipated capabilities of quantum computers. Traditional encryption schemes, such as RSA and ECC, are vulnerable to quantum attacks using Shor's algorithm. As a result, cryptographic protocols based on lattice-based, hash-based, and multivariate polynomial-based techniques are being considered to secure both data-in-transit and data-at-rest in 5G and beyond.

Together, these advancements aim to create a resilient security posture for emerging mobile communication ecosystems, where both decentralization and quantum resilience are essential pillars in the fight against evolving cyber threats.

Collaboration between governments, academia, and industry will be crucial. As Eleftherakis et al. [2] note, a fragmented security posture benefits adversaries. Unified efforts in research, regulation, and incident response can help build resilient 5G and future networks. Regular cyber exercises, penetration testing, and red-teaming initiatives should become standard practice for all critical infrastructure providers.

In conclusion, while 5G and beyond offer transformative potential for society, they also usher in a new era of security and privacy challenges. Addressing these issues proactively—through robust protocols, resilient architectures, and cross-sector collaboration—is essential to ensure that the benefits of next-generation networks are not overshadowed by systemic vulnerabilities.

References

1. Dangi R., Kumar R., Singh M. (2022). Security Challenges in 5G Network: A Technical Features Survey and Analysis. ResearchGate Preprint.https://www.researchgate.net/publication/368763725_Security_Challenges_in_5G_Network_A_technical_features_survey_and_analysis
2. Eleftherakis G., Panaousis E., Fysarakis K. (2024). A Systematic Evaluation of 5G Protocols Against Legacy and Emerging Privacy and Security Attacks. arXiv preprint arXiv:2409.06360. DOI: 10.48550/arXiv.2409.06360
3. Ramezanpour M., Afzal S., Braun T., Heegaard P. E., Orsino A., Rawat D. (2022). Coexistence of 5G/6G and Wi-Fi 6: Security and Privacy Challenges. arXiv preprint arXiv:2206.14997. DOI: 10.48550/arXiv.2206.1499
4. Yang K., Wang Y., Li H., Kumar N., Lin X., Zhang Y. (2024). 6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies. arXiv preprint arXiv:2410.21986. DOI: 10.48550/arXiv.2410.21986.

УДК 004.7-048.34(043.2)

В.В. Лукашенко, д.т.н., доц., О.І. Шкляр
(Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Україна)

Аналіз методів балансування навантаження в хмарних інфраструктурах

У роботі виконано аналіз основних методів і засобів балансування навантаження в інфраструктурі хмарного сервісу. Зазначено, що балансування навантаження є важливим аспектом ефективного функціонування таких систем. Розглянуті переваги та недоліки методів. Зазначається, що правильний вибір підходу залежить від специфіки задач і архітектури.

Хмарні інфраструктури сьогодні є основою для більшості сучасних інформаційних систем [1]. Одним із важливих аспектів ефективного функціонування таких систем є балансування навантаження. Балансування навантаження дозволяє забезпечити високу доступність, ефективне використання ресурсів та масштабованість в хмарних середовищах. З огляду на різноманітність архітектур і методів реалізації, питання вибору оптимального підходу для конкретної інфраструктури набуває особливої актуальності.

Балансування навантаження — це процес рівномірного розподілу вхідного трафіку або задач між кількома серверами чи ресурсами для забезпечення високої продуктивності та доступності системи. В умовах хмарних інфраструктур цей процес є важливим для уникнення перевантаження окремих вузлів та забезпечення безперервної роботи додатків або сервісів [2, 3].

Класичні методи балансування навантаження залишаються основою для побудови ефективних систем розподілу ресурсів у хмарних обчисленнях. Одним із найпростіших та найпоширеніших є метод кругової адресації (Round-robin), який послідовно розподіляє запити між доступними вузлами незалежно від їхнього поточного стану [4]. Цей підхід відзначається простотою реалізації та відсутністю необхідності в моніторингу навантаження на кожен сервер, що робить його привабливим для невеликих або слабо динамічних систем. Водночас, у разі нерівномірного навантаження або різної обчислювальної потужності вузлів, ефективність такого методу може суттєво знижуватись.

Іншим поширеним підходом є балансування на основі мінімального навантаження (Least Connections або Least Load) [5]. У цьому випадку запит спрямовується на той сервер, який у поточний момент має найменше активних з'єднань або найнижчий рівень використання ресурсів. Цей метод забезпечує більш гнучке та адаптивне управління навантаженням, особливо в умовах динамічного середовища з нерівномірним потоком запитів. Однак його реалізація вимагає постійного моніторингу стану кожного вузла, що може ускладнити архітектуру системи та вплинути на швидкодію.

Методи балансування навантаження на основі вмісту запиту дозволяють здійснювати більш тонке управління маршрутизацією трафіку, орієнтуючись на характеристики самих запитів. Один із таких підходів — балансування на основі IP-адреси клієнта, при якому рішення щодо маршрутизації приймається з урахуванням мережевої адреси джерела [6]. Це дає змогу забезпечити сталість

з’єднання (session persistence) для клієнтів, а також дозволяє сегментувати навантаження за географічною ознакою чи типом користувача. Водночас, цей підхід є менш ефективним у разі використання NAT або проксі-серверів, що маскують справжню IP-адресу.

Інший поширений метод — балансування згідно з геш-таблицею (hash-based routing), при якому певне поле запиту (наприклад, IP-адреса, ID користувача або URL) хешується, і на основі отриманого значення обирається сервер [7]. Це дозволяє забезпечити детерміновану маршрутизацію, яка особливо корисна при кешуванні або зберіганні сесій. Ще один підхід — балансування на основі типу запиту: тут аналізується контент запиту (HTTP-метод, шлях, MIME-тип тощо), і залежно від цього вибирається відповідний обробник. Такий метод особливо ефективний у мікросервісній архітектурі або при використанні спеціалізованих серверів для обробки різних типів даних (наприклад, мультимедіа, API-запити, HTML-контент). Однак вмістове балансування вимагає більш складної логіки аналізу запитів і може призводити до затримок при високому навантаженні.

Інтелектуальні методи балансування навантаження використовують адаптивні механізми прийняття рішень, що дозволяє системі динамічно реагувати на зміну умов у реальному часі. Динамічне балансування передбачає постійний моніторинг стану ресурсів (процесора, пам’яті, пропускної здатності) та перерозподіл запитів залежно від поточного завантаження [8]. Такий підхід забезпечує високу ефективність навіть за умов різко змінного трафіку, але вимагає складнішої архітектури, зокрема впровадження агентів моніторингу та централізованого контролера.

Автоматичне масштабування (autoscaling) є ще одним інтелектуальним інструментом, який дозволяє не лише перерозподіляти навантаження, а й динамічно змінювати кількість обчислювальних ресурсів відповідно до поточних потреб [9]. У хмарних середовищах автоматичне масштабування дозволяє економно використовувати ресурси: при зростанні навантаження створюються нові екземпляри серверів, а при зниженні — надлишкові потужності вимикаються.

Окрему групу складають еволюційні методи, зокрема алгоритм генетичного балансування навантаження, який імітує природні механізми відбору, схрещування та мутацій для пошуку оптимального розподілу навантаження. Генетичні алгоритми дозволяють знаходити ефективні рішення навіть у складних, багатовимірних середовищах із великою кількістю змінних. Попри високу обчислювальну вартість, вони демонструють хороші результати при оптимізації систем з багатьма обмеженнями, особливо у великих хмарних інфраструктурах.

Класичні методи балансування навантаження, такі як Round-robin або розподіл за мінімальним навантаженням, мають переваги у вигляді простоти реалізації, швидкодії та низьких вимог до ресурсів, що робить їх зручними для невеликих або стабільних систем; однак вони не завжди ефективні в умовах динамічного навантаження або при неоднорідних обчислювальних ресурсах. Інтелектуальні методи, зокрема динамічне балансування, автоматичне масштабування та генетичні алгоритми, забезпечують вищу адаптивність,

точніший розподіл ресурсів і здатність до оптимізації в реальному часі, проте потребують значно складнішої інфраструктури, витрат на моніторинг та мають більші затрати на обчислення, що може бути критичним у високонавантажених системах.

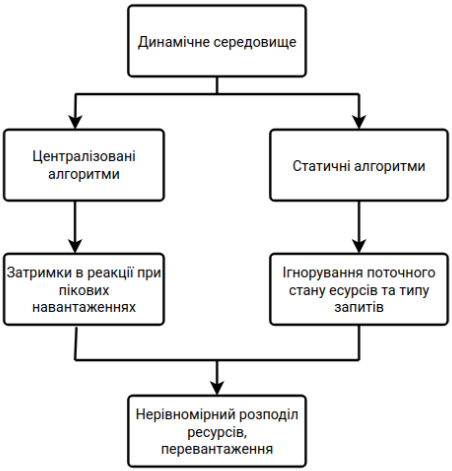


Рис. Типові проблеми традиційних алгоритмів балансування навантаження у динамічному середовищі

Виявлення недоліків підходів балансування у хмарних середовищах з високим ступенем динаміки: пікові активності користувачів, масштабування сервісів у режимі реального часу, зміни у складі віртуалізованих середовищ призводять до надзвичайно динамічної зміни навантаження на обчислювальні ресурси, в результаті традиційні методи балансування навантаження демонструють суттєві обмеження (рис). На основі проведеного огляду та моделювання роботи системи були виявлені такі характерні недоліки: Статичність параметрів, коли методи не враховують поточний стан системи або специфіку запитів; Висока затримка реакції у централізованих алгоритмах, коли необхідність збору глобальної інформації дає критичні затримки в умовах пікових навантажень; Нерівномірний розподіл ресурсів у гетерогенному середовищі, коли у середовищах з різною продуктивністю вузлів можуть виникати перекоси: частина вузлів перевантажена, інша — майже не використовується.

Висновок

Аналіз методів балансування навантаження в хмарних інфраструктурах показує, що правильний вибір підходу залежить від специфіки задач і архітектури. Класичні методи є простими та ефективними для базових сценаріїв,

в той час як інтелектуальні методи і автоматичне масштабування дозволяють досягти кращої адаптивності і оптимізації в умовах змінного навантаження.

Зростання складності сучасних хмарних сервісів вимагає не лише розподілу навантаження між вузлами, а й здатності системи до самостійного аналізу стану ресурсів та прийняття рішень у реальному часі. Поєднання моніторингу, машинного навчання, предиктивного аналізу та механізмів autoscaling створює передумови для побудови самокерованих, ефективних та енергоощадних обчислювальних середовищ. Надалі перспективним напрямом є дослідження гібридних алгоритмів, які поєднують переваги статичних і динамічних підходів із можливостями штучного інтелекту.

Список літератури

1. Huang, D. Data (2021) Center Infrastructure Management. Data Center Handbook. Wiley. С. 627–644.
2. Божуха Д.І., Байбуз О.Г., Мащенко Л.В. (2022) Про підходи дослідження системи хмарних обчислень. Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. Том 26. С. 18-30.
3. Buyya, R., Broberg, J., Goscinski, A. (2011) Cloud Computing: Principles and Paradigms. Wiley.
4. Suksompong, Warut (2016). "Scheduling asynchronous round-robin tournaments". Operations Research Letters.
5. Harjanti, T. W., Setiyani, H., & Trianto, J. (2022). Load Balancing Analysis Using Round-Robin and Least-Connection Algorithms for Server Service Response Time. Applied Technology and Computing Science Journal, 5(2), 40–49.
6. Aversa, L., & Bestavros, A. (2000). Load Balancing a Cluster of Web Servers Using Distributed Packet Rewriting. Proceedings of the IEEE International Performance, Computing, and Communications Conference (IPCCC 2000), 24–29.
7. Cao, Z., Wang, Z., & Zegura, E. W. (1999). Hashing-Based Traffic Splitting Algorithms for Internet Load Balancing (Technical Report GIT-CC-99-14). Georgia Institute of Technology.
8. Hussain, A., Aleem, M., Ur Rehman, A., & Arshad, U. (2025). DE-RALBA: Dynamic Enhanced Resource Aware Load Balancing Algorithm for Cloud Computing. PeerJ Computer Science.
9. Nguyen, K. C., & Son, N. H. (2017). Load Balancing in Auto Scaling Enabled Cloud Environments. International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture

УДК 629.7.054

М.О. Калашник, аспірант
(Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Україна)

Розпізнавання поведінкових патернів у мережах IoT за допомогою гібридних моделей виявлення аномалій

Розглядається використання гібридних моделей машинного навчання для виявлення аномалій у мережах Інтернету речей (IoT) шляхом аналізу поведінкових патернів пристроїв. Традиційні сигнатурні методи не гарантують ефективності в умовах динамічного трафіку, тому пропонується застосування моделей, що поєднують класичне та глибоке навчання для ідентифікації нетипової поведінки, яка може свідчити про загрозу безпеці або нестабільність роботи IoT-мережі.

Інтернет речей (IoT) становить собою масштабоване середовище, яке об'єднує різноманітні пристрої — від побутових сенсорів до промислових контролерів — із метою збору, передавання та аналізу даних. У зв'язку з ростом кількості таких пристроїв зростає і складність трафіку, який вони генерують. У більшості випадків поведінка IoT-пристроїв є передбачуваною: вони взаємодіють із певною частотою, використовуючи обмежений набір протоколів, портів і шаблонів обміну. Відхилення від цієї регулярності — у частоті запитів, типі пакетів або тривалості сесій — може свідчити про потенційну загрозу. У цьому контексті важливо не просто ідентифікувати факт аномалії, а й зрозуміти, чи є вона наслідком атаки, помилки або нової моделі поведінки пристрою.

Однією з ключових проблем є відсутність маркованих наборів даних, необхідних для ефективного застосування контрольованого навчання. Крім того, багато IoT-систем функціонують у режимі реального часу, що унеможливлює складні обчислення на рівні кінцевих пристроїв. Тому все частіше використовуються гібридні моделі [1], які дозволяють поєднати переваги легких моделей на edge-рівні (наприклад, дерев рішень або ізоляційних лісів) із потужними моделями в хмарі — такими як автоенкодери або LSTM-мережі, які здатні виявляти складні тимчасові залежності у трафіку.

Розпізнавання поведінкових патернів включає побудову моделей звичайної активності пристроїв на основі векторів ознак: тривалості сесій, середнього об’єму пакетів, частоти запитів, періоду активності, портів та протоколів. Такі вектори формуються у режимі реального часу й оновлюються зі зміною характеристик пристрою. Додатково можуть враховуватись метрики часових інтервалів між подіями, частотність атипових звернень до незвичних портів, частка відмов у встановленні з'єднання або середній час відповіді на запит. За допомогою неконтрольованого навчання — таких як алгоритми кластеризації (наприклад, K-means, DBSCAN) та редукції вимірів (PCA, t-SNE) — моделі ідентифікують стабільні кластери типової поведінки пристроїв у різних сценаріях експлуатації.

У разі появи точок, що виходять за межі відомих кластерів, або формування нових — система сигналізує про потенційну аномалію. Це може стосуватись як мережевих атак (наприклад, port scanning, DoS), так і нетипової поведінки, викликаної збоєм у прошивці. Застосування автоенкодерів дає змогу порівнювати вхідні дані з відновленими та оцінювати помилку реконструкції як показник відхилення від норми [2]. Чим більша ця помилка, тим ймовірніше, що поведінка пристрою є аномальною. У поєднанні з класифікаційними моделями, такими як алгоритми опорних векторів (SVM), методи градієнтного підсилення (XGBoost, LightGBM) або навіть ансамблеві підходи, система може не лише фіксувати відхилення, а й здійснювати їх контекстну інтерпретацію — наприклад, розрізняти внутрішню помилку та зовнішній вплив.

Для підвищення точності класифікації також може використовуватись механізм псевдоміток, який дозволяє перетворити частину аномалій у марковані дані й повторно використовувати їх у навчанні. Такий підхід є ефективним у ситуаціях з обмеженим набором валідаційних даних. Залежно від обчислювальних потужностей та топології мережі, описані моделі можуть бути частково реалізовані на edge-рівні або делеговані до fog/cloud-шарів для поглибленого аналізу.

У практичному застосуванні моделі розпізнавання поведінкових патернів дають змогу не лише своєчасно виявляти спроби несанкціонованого доступу (наприклад, порушення звичного розкладу передачі даних пристроями), але й діагностувати технічні збої, зокрема перегріви, нестабільну реакцію пристрою, тимчасову відсутність відповіді чи втрати з'єднання. Такі аспекти є критично важливими для забезпечення стійкості інфраструктур, пов'язаних із телеметрією в медичних системах або моніторингом параметрів у виробничих мережах. У випадку промислових пристроїв, що періодично передають дані про температуру чи вібрацію, раптове зростання частоти повідомлень або затримка у відповіді може свідчити про початок деградації апаратного ресурсу [3].

Серед основних труднощів, пов’язаних із розпізнаванням поведінкових патернів, варто відзначити: обмеженість у доступі до репрезентативних даних, що достовірно відображають характерну активність пристроїв; обмежену масштабованість моделей у великих мережах [4]; а також необхідність пояснення рішень системи, щоб оператори могли зрозуміти причини виявленої аномалії та правильно на неї відреагувати.

Сучасні наукові дослідження демонструють, що гібридні моделі здатні зменшити кількість хибнопозитивних спрацювань завдяки попередньому фільтруванню та контекстному аналізу. Крім того, адаптивне навчання дозволяє оновлювати параметри моделей у процесі експлуатації без повного повторного навчання на всьому масиві даних. Це особливо актуально в умовах змінної мережевої поведінки — наприклад, коли пристрій змінює параметри своєї роботи внаслідок оновлення вбудованого програмного забезпечення.

Висновок

Розпізнавання поведінкових патернів у мережах IoT є ключовим напрямом для побудови ефективних систем виявлення аномалій. Гібридні

моделі машинного навчання демонструють високу здатність до адаптації, аналізу складних часових залежностей та мінімізації помилок класифікації. Комбінування локального аналізу з централізованим машинним навчанням допомагає підвищити надійність розподілених IoT-мереж.

Список літератури

1. Radanliev P., De Roure D., Nicolescu R., Huth M., Montalvo R. M., Cannady S. Future developments in cyber risk assessment for the internet of things. // Computers in Industry. — 2020. — Vol. 123. — P. 103298.
2. López-Martín M., Carro B., Sánchez-Esguevillas A., Lloret J. Conditional variational autoencoder for prediction and feature recovery applied to intrusion detection in IoT. // Sensors. — 2019. — Vol. 19(20). — P. 4337.
3. Mosenia A., Jha N. K. A comprehensive study of security of internet-of-things. // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. — 2017. — Vol. 5(4). — P. 586–602.
4. Haddadi F., Zincir-Heywood A. N. A multi-level network intrusion detection system for IoT. // Journal of Network and Computer Applications. — 2021. — Vol. 179. — P. 102983. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102983

UDC 004.38:629.7.014-519(043.2)

M.K. Pechurin, D.Sc. (Tech.), M.A. Sirenko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

A method for forming dynamic parameters of a neurocomputer with energy constraints

An approach is proposed for forming the dynamic parameters of a neurocomputer implemented as part of a distributed UAV system, with the goal of optimizing energy consumption levels. The method takes into account the spatial location of each component of the complex, the characteristics of the data transmission channel, as well as the need to maintain the integrity of the network structure.

Introduction

In the modern scientific and technological environment, unmanned aerial vehicles (UAVs) and autonomous systems based on them are the subject of intensive research. Of particular interest are multi-component “swarm” systems capable of distributed data processing, coordinated actions, and maintaining structural integrity under conditions of limited resources and external influences. Among the various classes of unmanned aerial vehicles, ultralight UAVs hold a sighificant place. Despite their high maneuverability and compactness, they are significant limited in terms of information-processing resources.

In such systems, the task of energy-efficient organization of internal interaction become particular important, especially regarding the operation of communication and computing subsystems. One of the key tasks in designing such systems is the possibility of implementing adaptive power control of transceiver equipment in order to minimize the energy consumption of the complex while taking external factors into account [1,3]. The report proposes an approach aimed at forming the initial parameters of a neurocomputer system that provides the prerequisites for effective power control within a UAV swarm.

Problem statement

The article considers a neurocomputer system formed by interacting elements realized in the form of unmanned aerial vehicles that function as nodes of a Hopfield-type neural network. Each node is located in three-dimensional space and is characterized by spatial coordinates and communication channel parameters, including signal strength, noise level, attenuation coefficient, etc. Based on these characteristics, a generalized metric of “distance” between nodes is formed, enabling the construction of a distance matrix.

Paper [2] considers a training algorithm for a neurocomputer system focused on solving the problem of object recognition in 3D space, which is characterized by a low level of consumption of information and computing resources. However, its effectiveness depends to some extent on the choice of the initial settings vector.

It is necessary to determine the energy-efficient configuration of the transmission equipment capacities P, which will serve as the basis for forming the vector of initial settings W between pairs of interacting nodes i and j, ensuring the

required level of system integration while considering the characteristics of the communication environment.

Solution to the problem

To solve this problem, a number of assumptions were made about the signal attenuation model in the data transmission medium, as well as about the dependence of power consumption on the power of the communication modules of the neurocomputer structure.

The construction of the generalized distances matrix L is carried out taking into account the factors that determine the efficiency of communication between nodes, in particular their spatial location and properties of the signal propagation medium.

It is assumed that the relationship between the required signal power and the distance follows a power-law model described by the equation:

$$P_{ij} = \gamma * L_{ij}^3,\ i,j \in \{1,2,\dots,m\},$$

where P_{ij} - signal power for the pair i and j;

γ - coefficient reflecting environment influence;

L_{ij} - distance between network nodes;

m - number of nodes in the system.

Thus, the result of the calculations is a matrix P, which contains the minimum permissible power values of the transmission equipment between the available pairs of nodes. The proposed approach enables preliminary (energy-balanced) tuning of the weighting coefficients in the neurocomputer system in order to minimize energy consumption during the initialization phase without compromising the functional connectivity of the UAV swarm.

The analysis and implementation of the proposed method were performed using the tools of the *Python* programming language, in particular, using the *PuLP* libraries for solving optimization problems, *NumPy* for processing numerical arrays, *SciPy* for scientific computing, and other auxiliary modules. The results of the calculations for the sample case with the a communication environment factor (γ = 0,125) are presented in Table 1.

Table 1

Transmission power calculation results for valid node connections in the neurocomputer system

Node *i*	**Node *j***	L_{ij}	P_{ij}
1	4	105.09	145075.54
1	5	88.16	85649.49
1	6	96.51	112363.94
1	7	75.06	52861.04
2	4	102.61	135045.18
2	5	97.13	114543.43
2	6	127.33	258049.03
…	…	…	…

Conclusions

The proposed approach to the initial formation of the dynamic parameters in a neurocomputer system, taking into account the spatial configuration of components and the characteristics of the data transmission environment, ensures the necessary network integration and allows determining the energy-efficient power values for each pair of interacting nodes. The results obtained create the basis for further development of energy-efficient adaptive models for power control of transceiver equipment in a variable operating environment.

References

1. Abubakar, A., Ahmad, I., Omeke, K., Ozturk, M., Ozturk, C., Abdel-Salam, A., Mollel, M., Abbasi, Q., Hussain, S., & Imran, M. (2023). A survey on energy optimization techniques in UAV-Based Cellular Networks: From conventional to Machine learning Approaches. Drones, 7(3), 214.
2. Pechurin, M.K., Boyarinova, Yu.Ye., Kondratova, L.P., Voronin, M.G., Sirenko, M.A. (2022). Models of the topologies for the weak-emitting telecommunication system of interacting UAVs. Problems of Informatization and Management, 4(72), 48-54.
3. Seerangan, K., Nandagopal, M., Govindaraju, T., Manogaran, N., Balusamy, B., & Selvarajan, S. (2024). A novel energy-efficiency framework for UAV-assisted networks using adaptive deep reinforcement learning. Scientific Reports, 14(1).
4. Meer, I. A., Besser, K.-L., Mustafa Ozger, Poor, H. V., & Cicek Cavdar. (2023, December 11). Reinforcement Learning Based Dynamic Power Control for UAV Mobility Management.
5. Yuan, Y., Lei, L., Vu, T. X., Chatzinotas, S., Sun, S., & Ottersten, B. (2021). Energy minimization in UAV-Aided networks: Actor-Critic learning for constrained scheduling optimization. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 70(5), 5028–5042.

УДК 004.7-048.34(043.2)

А.Л. Столяр, В.В. Алькема, М.М. Гузій, к.т.н., доцент
(Київський авіаційний інститут, Україна)

Аналіз методів інтелектуального виявлення аномалій мережевого трафіку з використанням тензорного подання даних структурних взаємозв'язків

У роботі розглянуто переваги тензорних методів над класичними підходами при виявленні аномалій. Показано ефективність їх інтеграції з SVM, XGBoost та Autoencoder, що забезпечує високу точність виявлення аномалій навіть у високонавантажених мережах. Аналіз підтверджує перспективність тензорного підходу для побудови адаптивних систем кібербезпеки.

Мережеві інфраструктури є критично важливим елементом сучасного цифрового середовища, де безперервний обмін даними відіграє ключову роль у функціонуванні бізнесу, державних установ і повсякденного життя. Разом із розвитком технологій зростає і складність кіберзагроз – особливо тих, що мають прихований або малопомітний характер, які важко виявити традиційними інструментами моніторингу. Посилення захисту інформаційних систем вимагає нових підходів до аналізу трафіку, які здатні враховувати багатовимірну та складну структуру мережевих даних.

Особливу увагу слід приділяти методам, здатним не лише виявляти окремі аномалії, а й розкривати приховані закономірності взаємозв'язків між параметрами трафіку. У цьому контексті тензорний аналіз виступає як ефективний інструмент моделювання багатовимірних взаємодій, що відбуваються в мережевій комунікації. Завдяки здатності виявляти структурні залежності у високовимірних даних, тензорні технології відкривають перспективи для побудови інтелектуальних систем виявлення аномалій [1-3].

Метою дослідження є розробка та оцінка техніки виявлення аномалій у мережевому трафіку на основі аналізу прихованих структурних взаємозв'язків із використанням тензорного підходу. Запропоноване рішення спрямоване на ефективне виявлення як явних загроз, так і складних, малопомітних відхилень, що підвищує загальну стійкість систем до кіберзагроз.

Підхід базується на представленні трафіку у вигляді багатовимірного тензора, де кожна вісь відповідає конкретному параметру – *IP*-адресі джерела та призначення, часовому інтервалу, транспортному протоколу та об'єму переданих даних. Така модель дозволяє формалізувати як індивідуальні характеристики параметрів, так і їхні взаємозв'язки.

Основним аналітичним інструментом виступає тензорна декомпозиція, зокрема *CANDECOMP*/*PARAFAC* (*CP*) або *Tucker*-декомпозиція, які дають змогу зменшити розмірність і виділити приховані компоненти, що відповідають "нормальній" поведінці мережі. Аномалії виявляються через обчислення помилки реконструкції: якщо відновлене значення суттєво відрізняється від фактичного – запис позначається як потенційно аномальний.

Порогове значення для помилки реконструкції визначається статистично (наприклад, за критерієм $\mu + 3\sigma$) або через навчання з учителем (якщо доступні

мічені дані). Для підвищення точності класифікації можуть додатково використовуватись автоенкодери або машинні алгоритми класифікації, зокрема або *XGBoost*.

Перевагою методу є його здатність виявляти як масштабні атаки, що супроводжуються високою інтенсивністю, так і малопомітні, приховані загрози. Крім того, система є масштабованою і придатною для розгортання в умовах реального високонавантаженого трафіку.

Виявлення аномалій у трафіку є критично важливим завданням для забезпечення кібербезпеки, оскільки такі аномалії можуть свідчити про зловмисну активність, технічні збої або інші небажані події. У науковій літературі описано велику кількість методів виявлення аномалій, які умовно поділяються на статистичні, методи машинного навчання, глибокого навчання, тензорні та гібридні моделі.

Статистичні методи ґрунтуються на припущенні, що нормальна поведінка трафіку відповідає відомим розподілам. Наприклад, метод *Z*-оцінки перевищує порогове значення – запис вважається аномальним. Також застосовуються гістограми, ковзні середні, та моделі часових рядів (*ARIMA*, або складними даними.

Методи машинного навчання дозволяють створювати адаптивні моделі, що автоматично виявляють аномальні шаблони. У методах з учителем (*SVM*, дерева рішень, *Random Forest*, *XGBoost*) потрібні мічені дані для навчання класифікаторів. Методи без учителя (*K-means*, *DBSCAN*, *One-Class SVM*) не потребують міток і виявляють відхилення на основі кластеризації. Напівнаглядові методи використовують лише "нормальні" дані і трактують будь-яке відхилення як аномалію.

Методи глибокого навчання добре працюють із великими і складними наборами даних. Наприклад, автоенкодери навчаються відновлювати вхідні дані, а висока помилка реконструкції свідчить про аномалію. Мережі *LSTM* ефективні для аналізу часових рядів, а *CNN* – для виявлення візуальних патернів у матричних даних. Нещодавно популярності набули й *GAN*-моделі, що порівнюють згенеровані і фактичні шаблони трафіку.

Тензорні методи представляють трафік як багатовимірні масиви, де кожна вісь відповідає окремому параметру. Для аналізу використовуються тензорні декомпозиції *CP* або *Tucker*. Аномалії виявляються через обчислення відхилення між початковими та відновленими значеннями – суттєві відхилення трактуються як порушення.

Система обробляє високовимірні дані, отримані з таких джерел як *PCAP*-файли, *NetFlow*-записи або поточний моніторинг. Дані структуруються в записи з параметрами: *IP*-адреси, протокол, обсяг, час. З них будується тензор із фіксованим часовим вікном. Потім застосовується тензорна декомпозиція, що виділяє приховані шаблони. На основі отриманих компонентів генерується реконструйований тензор, з яким порівнюється початковий. Висока помилка реконструкції означає потенційну аномалію.

Для підвищення точності модель може додатково включати автоенкодери, *SVM* або *XGBoost*, які використовують ознаки, отримані після тензорного аналізу. Виявлені аномалії логуються і візуалізуються для подальшого аналізу спеціалістами.

Висновки

Проведений аналіз підтвердив ефективність тензорного подання даних як одного з найбільш перспективних напрямів інтелектуального виявлення аномалій у мережевому трафіку. Тензорні моделі дозволяють зберігати природну багатовимірну структуру трафіку, що є ключовою для виявлення складних та прихованих залежностей між параметрами, які залишаються поза увагою при застосуванні класичних моделей. Застосування декомпозицій *CP* або *Tucker* забезпечує зменшення розмірності та виділення шаблонів нормальної поведінки, на основі яких обчислюється помилка реконструкції як індикатор потенційної аномалії.

У поєднанні з інтелектуальними алгоритмами – зокрема автоенкодерами, типів відхилень, включно з масштабними атаками та повільними прихованими загрозами. У порівнянні з традиційними статистичними та окремими *ML*-методами, тензорні моделі краще пристосовані до обробки високовимірних, динамічних і залежних даних.

Таким чином, тензорний аналіз можна розглядати як потужний інструмент підвищення точності, адаптивності та інтерпретованості систем виявлення аномалій. Його інтеграція з інтелектуальними підходами відкриває нові можливості для побудови стійких, масштабованих і ефективних рішень у сфері кібербезпеки.

Список літератури

1. Fanaee-T H., Gama J. Tensor-based anomaly detection: An interdisciplinary survey. *Knowledge-Based Systems*. 2016. Vol. 98. P. 130–147.
2. Streit A. et al. Network anomaly detection based on tensor decomposition. *Computer Networks*. 2021. Vol. 200. 108503.
3. Eren M. E. et al. General-purpose Unsupervised Cyber Anomaly Detection via Non-negative Tensor Factorization. *Digital Threats: Research and Practice*. 2023. Vol. 1, no. 4. 6.

УДК 629.7.054

С.Р. Білокур
(Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Україна)

Автономне управління групою БПЛА

У статті розглядаються підходи до автономного управління польотом групи безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Основна мета полягає у забезпеченні стабільного польоту в заданій області з дотриманням просторових кутових орієнтацій та дистанції між апаратами. Для розробки алгоритмів систем управління об'єднано динаміку кількох БПЛА з урахуванням, що кожен апарат слідує за ведучим лідером. Ефективність запропонованих алгоритмів перевірена через чисельне моделювання виконання польотного завдання групи БПЛА, що складається з двох літальних апаратів. Результати дослідження підтверджують можливість реалізації узгодженого групового руху в складних умовах.

Керування польотом групи безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є одним з важливих напрямків сучасних досліджень в галузі керування БПЛА , що має широке практичне застосування, включаючи екологічний та промисловий моніторинг, забезпечення зв'язку у важкодоступних регіонах, а також пошуково-рятувальні операції [1-4]. Сьогодні існують кілька основних підходів до керування групою БПЛА, зокрема слідування за ведучим літальним апаратом , формування групи шляхом зближення з лідером або використання віртуального лідера [4]. Незалежно від обраного методу, важливим аспектом залишається отримання інформації про просторове положення ведучого БПЛА [3].

Для ефективної реалізації групового польоту БПЛА необхідним є надійний зв'язок і синхронізація дій між сусідніми апаратами. Для забезпечення комунікації та узгодженого керування можуть використовуватись підходи, засновані на технічному зорі [2], а також передача навігаційних даних через радіоканали [5]. Потреба у навігаційних даних обумовлює необхідність розробки малогабаритної міжбортової безпілотної навігаційної системи. Можливі два підходи до її реалізації: повністю автономні системи, які не залежать від наземних станцій наведення, або системи, що використовують наземні радіомаяки [5]. Автономні системи забезпечують незалежність польоту групи БПЛА в умовах радіоперешкод та радіопротидії, що є важливою перевагою.

З математичної точки зору група БПЛА розглядається як система твердих тіл із кількома ступенями свободи. Зі збільшенням кількості апаратів складність моделювання просторового руху значно зростає, що ускладнює синтез і узгоджене керування всією групою [6]. Для вирішення цієї проблеми часто застосовується модель відносного руху, яка передбачає розподіл ролей серед апаратів: визначається ведучий БПЛА (лідер), який задає загальну траєкторію польоту, а інші пристрої виступають як ведені об'єкти, що коригують своє положення відносно лідера [8]. Вибір ведучого апарата може ґрунтуватися на його навігаційних можливостях, автономності або

функціональній ролі у виконанні місії. Модель відносного руху широко використовується в операціях, де групи БПЛА виконують завдання картографування, пошуку об'єктів, координації дій, моніторингу екологічної ситуації, організації рятувальних місій [4]. Наприклад, у сценарії картографування ведучий апарат збирає дані про місцевість, тоді як ведені БПЛА зберігають задану конфігурацію групи і забезпечують безперервний потік інформації для командного центру. У цивільних застосуваннях дана модель ефективна для. Група дронів може забезпечувати повітряне сканування територій, передаючи інформацію про стихійні лиха, забруднення повітря або наявність загроз у важкодоступних зонах [7]. Ведучий апарат аналізує місцевість та передає команди на коригування польоту, забезпечуючи точне покриття заданої області.

Система керування літальним апаратом забезпечує виконання команд прискорення, перетворюючи їх у сигнали для керуючих поверхонь мікроавіаційного апарата (MAV). Вона є низькорівневим контролером, який розташовується у внутрішньому контурі керування [3].

Під час виконання польоту система враховує баллістичну складову прискорення, тому команда прискорення, що генерується контролером формаційного польоту, повинна бути скомпенсована гравітаційним прискоренням [4]. Це дає змогу коригувати вплив гравітації на рух апарата.

Оскільки команди прискорення визначаються у місцевій системі координат, вони мають бути перетворені у систему координат корпусу БПЛА. Це здійснюється за допомогою матриці трансформації між двома системами координат.

Система керування також враховує спосіб маневрування апарата. Для коректного управління необхідно перетворити команди прискорення, що відповідають моделі Skid-to-Turn (STT), у команди, які можуть бути використані для маневрування методом Bank-to-Turn (BTT). Виконується розрахунок команди крену та корекція прискорення відповідно до нового способу керування [2].

Процес перетворення команд передбачає визначення кута крену та корекцію прискорення, що дозволяє ефективно адаптувати рух апарата до умов середовища. Використовується чотириканальна система керування, яка включає: Крен (Roll),Тангаж (Pitch), Рискання (Yaw), Поздовжній рух (Axial) [5].

Ця система дозволяє узгоджено керувати рухом БПЛА, коригуючи його траєкторію та забезпечуючи стабільний політ з урахуванням впливу гравітації та зовнішніх чинників [4]. Такий підхід гарантує точність виконання маневрів і забезпечує ефективне керування літальним апаратом, особливо у складних умовах середовища.

Забезпечення стабільного польоту та точного виконання завдань у міських умовах вимагає ефективних методів навігації та адаптації до змінного середовища. Одним із ключових аспектів такого управління є здатність БПЛА самостійно визначати оптимальну траєкторію руху, використовуючи дані про навколишнє середовище [2,4].

Для цього сучасні безпілотні апарати оснащені системами візуального керування за навігаційними орієнтирами (НО), що дозволяє їм здійснювати

корекцію траєкторії в режимі реального часу [5]. Ця технологія базується на аналізі зображень, отриманих із камери технічного зору (СТЗ), і забезпечує точне визначення положення апарата щодо орієнтирів на місцевості. Його реалізація передбачає кілька основних етапів [1].

Однак для ефективного керування великою кількістю безпілотних літальних апаратів, що діють у координації, необхідно використовувати більш складні методи управління, що дозволяють підтримувати їхню організованість і адаптивність [6].

Одним із перспективних підходів до керування групами БПЛА є метод роїння (Swarm Intelligence), який дозволяє безпілотникам діяти узгоджено, використовуючи принципи колективної поведінки, що спостерігаються у природі [4]. Ця технологія забезпечує автономність групового польоту, адаптивність до змін середовища та гнучкість у виконанні завдань.

Основна ідея методу полягає в тому, що кожен БПЛА у складі рою діє автономно, але водночас координує свої дії з іншими апаратами, забезпечуючи узгоджене та ефективне виконання спільного завдання.

Однією з ключових характеристик цього методу є децентралізоване управління. На відміну від традиційного централізованого керування, метод роїння не потребує головного контролера, який би керував кожним апаратом окремо. Кожен безпілотник приймає рішення на основі даних, отриманих від сусідніх апаратів, що дозволяє системі бути гнучкою та стійкою до відмов окремих елементів [3]. Втрата одного або декількох апаратів не впливає на загальну ефективність рою, адже інші БПЛА компенсують цей недолік шляхом адаптації свого маршруту.

Самоорганізація є ще однією ключовою особливістю методу роїння[3]. Безпілотники здатні адаптуватися до умов середовища, використовуючи алгоритми колективної поведінки. Це передбачає три основні механізми: по-перше, відштовхування від сусідніх апаратів дозволяє уникати зіткнень, що зберігає безпеку всієї групи. По-друге, притягання до сусідніх апаратів допомагає зберігати необхідну формацію, забезпечуючи структурованість і погодженість польоту. По-третє, адаптація до перешкод відбувається шляхом аналізу довкілля та коригування траєкторії [2][1]. Цей механізм дозволяє БПЛА самостійно ухилятися від об’єктів, що можуть перешкоджати їхньому руху, та знаходити оптимальні шляхи для подальшого просування.

Важливим аспектом управління роєм є розподіл інформації між його елементами. Безпілотники обмінюються даними між собою, що дозволяє швидко аналізувати ситуацію і приймати узгоджені рішення [2][3]. Така система навігації підвищує автономність роботи групи та дозволяє ефективно реагувати на змінні зовнішні фактори. Завдяки постійному аналізу довкілля кожен апарат отримує актуальну інформацію і миттєво коригує свою траєкторію відповідно до змін ситуації.

Для реалізації методу роїння використовуються різні алгоритми управління. Одним із найпоширеніших є алгоритм штучної зграї (Boid’s Algorithm), який моделює поведінку птахів [1]. Він ґрунтується на трьох основних принципах: вирівнювання руху, уникнення зіткнень і підтримання формації. Використання цього алгоритму забезпечує узгодженість руху

безпілотників у складі групи та створює ефективну взаємодію між ними [2]. Алгоритм частинок (Particle Swarm Optimization, PSO) використовується для колективного пошуку оптимальних маршрутів. Він дозволяє безпілотникам аналізувати довкілля, визначати найкращі траєкторії та коригувати свої маршрути у процесі польоту [4]. Алгоритм мурах (Ant Colony Optimization, ACO) дає змогу БПЛА вибудовувати найкоротші маршрути до заданої точки, враховуючи досвід попередніх польотів і отримані дані. Використання цього алгоритму значно підвищує ефективність навігації та скорочує витрати енергії.

Завдяки цим алгоритмам метод роїння набуває практичного застосування у різних сферах. Наприклад, у військових операціях він використовується для розвідувальних місій, коли рій безпілотників формує єдину карту місцевості, передаючи отримані дані на центральний пункт керування [5]. У бойових умовах використання рою дає змогу здійснювати атаки з динамічним коригуванням формації, що підвищує ефективність виконання завдань. У пошуково-рятувальних місіях групи БПЛА можуть сканувати великі території, знаходити постраждалих або оцінювати рівень загрози. Завдяки алгоритмам навігації апарати здатні швидко обмінюватися даними та координувати свої дії, що значно прискорює рятувальні операції [7].

Цивільне застосування методу роїння також має значний потенціал. Наприклад, його можна використовувати для моніторингу аграрних угідь, де рій дронів оцінює стан рослинності, рівень вологості ґрунту та потребу в додаткових добривах [5]. Це допомагає оптимізувати процеси ведення сільського господарства та підвищити врожайність. Також безпілотники, що працюють за принципом роїння, можуть проводити аналіз стану інфраструктури, досліджуючи мости, дороги або будівлі на предмет пошкоджень та можливих ризиків для експлуатації [4].

Загалом метод роїння є перспективним напрямком розвитку автономних систем керування БПЛА, оскільки він дозволяє організувати гнучкі, адаптивні та стійкі до змін групові польоти [3]. Його використання в військових, рятувальних та цивільних операціях значно розширює можливості безпілотної авіації, забезпечуючи високий рівень ефективності та точності виконання завдань [2]. Завдяки цьому підходу безпілотники можуть не лише працювати автономно, а й взаємодіяти як єдина система, що відкриває нові перспективи у сфері безпілотного управління [1].

Висновок

У цьому дослідженні було проведено аналіз методів керування груповим польотом безпілотних літальних апаратів (БПЛА) з використанням архітектури слідування за ведучим апаратом для визначення структури формації. Розглянуто різні методи керування та управління системою польоту самого апарату, контролер групового польоту, що ґрунтується на поведінковій стратегії, у рамках якої виокремлено чотири основні поведінки, що взаємодіють для досягнення узгодженого руху. Контролер був реалізований на БПЛА, оснащених автопілотами, що працюють за методом bank-to-turn. Це підтверджує що є різні методи управлення дронами , коптерами , БПЛА і їх можна поєднувати в різних сферах діяльності.

Список літератури

1. Бобков Ю. В., Піщела П. О. Алгоритм керування рухом мультикоптера у складі групи за сигналами системи технічного зору //Механіка гіроскопічних систем: науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 45. – С. 5–16.
2. Бобков Ю. В., Піщела П. О. Система технічного зору для забезпечення руху групи мультикоптерів //Механіка гіроскопічних систем: науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 44. – С. 10–20.
3. Савенко Л. М., Бобков Ю. В. Система технічного зору для керування рухом квадрокоптера // Вісник Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "ХАІ". – 2021. – № 3(68). – С. 25–30.
4. Успенський В. О., Гардер С. П. Розробка та комп'ютерна реалізація моделі руху та алгоритмів управління гібридного мультикоптера // Збірник наукових праць НТУ "ХПІ". – 2020. – № 5(1324). – С. 45–52.
5. Жукевич А. В., Джулгаков В. І., Жукевич О. А. Дослідження взаємного впливу між каналами управління квадрокоптером за рахунок малої приводності БПЛА // Механіка гіроскопічних систем: науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 43. – С. 30–38.
6. Хмирова А. С. Оптимізація законів керування коптером в умовах дії зовнішніх завад // Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Авіаційна та космічна техніка. – 2020. – № 4(112). – С. 60–66.
7. Смоляр В. М., Слюсарь І. П., Васильєв К. О., Олефір В. І. Мікроконтролерна система управління безпілотними літальними апаратами // Наукові вісті Полтавського національного технічного університету. – 2019. – № 2(45). – С. 70–76.
8. Коломійцев О. В. та ін. Особливості застосування безпілотних літальних апаратів коптерного типу // Механіка гіроскопічних систем: науково-технічний збірник. – 2018. – Вип. 42. – С. 15–22.
9. Kim, I.; Matos-Carvalho, J.P.; Viksnin, I.; Simas, T.; Correia, S.D. Particle Swarm Optimization Embedded in UAV as a Method of Territory-Monitoring Efficiency Improvement. – Symmetry. – 2022. – Vol. 14, 1080. DOI: 10.3390/sym14061080.

УДК 004.0560523:342.8:091.5(043.2)

О.М. Зудов, к.т.н., В.В. Горіна, Н.О. Рибасова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Криптографічні та біометричні механізми захисту електронного голосування

Досліджено сучасні виклики електронного голосування, зокрема безпеку та довіру до систем. Запропоновано інтеграцію криптографічного протоколу He-Su з біометричною автентифікацією для забезпечення анонімності виборців та захисту від маніпуляцій, що є перспективою для майбутніх виборчих систем.

Електронне голосування (E-voting) стає ключовим елементом сучасної демократії, забезпечуючи швидкість і зручність виборчого процесу. Пандемія COVID-19 актуалізувала необхідність безконтактного голосування, водночас загострившись дискусії щодо безпеки та довіри до електронних виборчих систем. Впровадження E-voting стикається з проблемами забезпечення анонімності виборців, прозорості процесу та стійкості до фальсифікацій. Традиційні криптографічні схеми, такі як протоколи розділення секрету, гомоморфне шифрування та цифровий підпис, мають свої обмеження, що ускладнюють створення універсальної системи електронного голосування. Особливо критичною є проблема запобігання торгівлі голосами та зовнішнього тиску на виборців. Якщо електронна комерція, банкінг та інші технологічні сфери швидко адаптувалися до криптографічних методів захисту інформації, електронне голосування досі залишається складною і вразливою технологією.

Нами проведено аналіз сучасних криптографічних протоколів електронного голосування, зокрема тих, що використовують сліпий підпис і біометричну автентифікацію [1]. Було розглянуто проблеми конфіденційності, прозорості та безпеки електронних виборчих систем, а також їхню стійкість до шахрайства, включаючи торгівлю голосами. Серед дослідників існує консенсус щодо вибору криптографічного протоколу електронного голосування He-Su у якості базового, як одного з найбільш досконалих, що забезпечує анонімність виборців завдяки підпису наосліп відкритих ключів, і використовує гомоморфність криптографічної системи RSA [2].

Було запропоновано поєднання двох незалежних механізмів захисту – криптографічного сліпого підпису та біометричної автентифікації – для усунення вразливостей, пов'язаних із можливістю продажу голосів та зовнішнього тиску на виборців. На відміну від класичних підходів, запропонована схема дозволяє зберігати повну анонімність виборця, водночас унеможливлюючи передачу приватного ключа третім особам. Інтеграція біометричних механізмів безпеки у криптографічну інфраструктуру електронного голосування є новим кроком у розробці стійких та прозорих виборчих систем, що може бути основою для майбутніх впроваджень у державні і недержавні виборчі процеси.

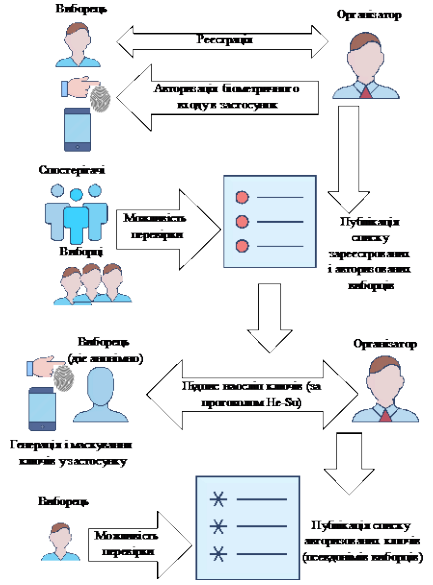
Згідно із запропонованим підходом процедура голосування поділена на три етапи: реєстрація, голосування, підрахунок результатів (рис.1.). На першому

етапі виборець генерує пару ключів RSA, маскує відкритий ключ випадковим множником та відправляє його виборчій комісії для підпису наосліп. Комісія підписує його, не знаючи змісту, після чого виборець прибирає маскуючий множник і отримує підписаний ключ. Цей ключ надалі використовується для шифрування голосу.

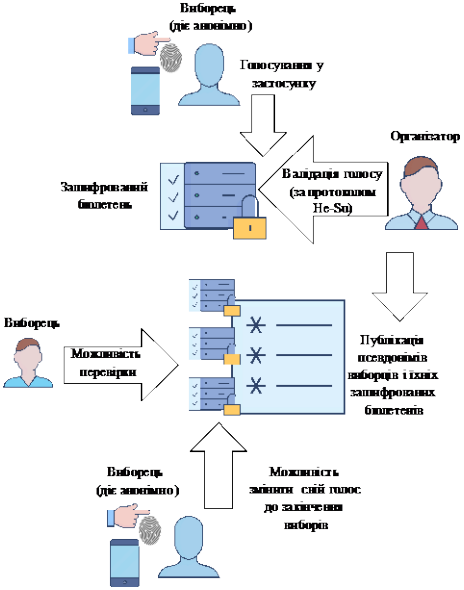
На етапі голосування виборець надсилає свій голос у зашифрованому вигляді разом із підписаним відкритим ключем, що виступає його псевдонімом. Організатор перевіряє підпис та публікує зашифровані бюлетені разом із відповідними псевдонімами. Після завершення виборів виборці надсилають свої ключі дешифрування, що дозволяє розшифрувати бюлетені та підрахувати результати, зберігаючи при цьому анонімність виборців.

Незважаючи на захищеність протоколу He-Su від зв'язку між голосом та виборцем, зберігається можливість продажу голосу шляхом передачі приватного ключа ще на етапі реєстрації. Запропоновано розширення протоколу шляхом введення біометричної автентифікації виборця на етапах реєстрації та голосування. Використання відбитків пальців або інших біометричних параметрів у мобільному застосунку дозволяє запобігти продажу голосу, оскільки для його відправлення потрібна фізична присутність виборця.

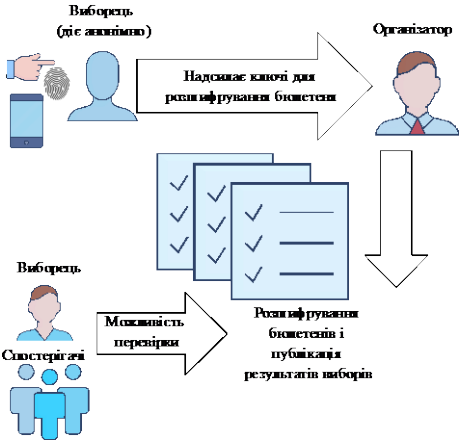
Сучасні криптографічні системи все частіше використовують біометричні дані для створення унікальних ключів автентифікації [3]. У протоколі He-Su адміністратор підписує відкритий криптографічний ключ, який потім верифікується за допомогою біометричних параметрів користувача. Цей підхід має принципову перевагу - він забезпечує надійний захист і водночас гарантує анонімність виборця. Технологія передбачає, що кінцевий пристрій (наприклад, смартфон) формує та надсилає підписаний хеш біометричної інформації. Важливо підкреслити, що для такої системи необхідна фізична присутність особи, що фактично унеможливлює дистанційний підкуп або маніпуляції з голосуванням.


Виборець
Організатор
Реєстрація
Авторизація біометричного коду у застосунок
Спостерігачі
Можливість перевірки
Публікація списку зареєстрованих і авторизованих виборців
Виборці
Виборець (діє анонімно)
Організатор
Підпис наосліпу ключів (за протоколом He-Su)
Генерація і маскування ключів у застосунку
Виборець
Можливість перевірки
Публікація списку авторизованих ключів (псевдонімів виборців)

а)


Виборець (діє анонімно)
Голосування у застосунку
Організатор
Зашифрований бюлетень
Валідація голосу (за протоколом He-Su)
Виборець
Можливість перевірки
Публікація псевдонімів виборця і їхніх зашифрованих бюлетенів
Виборець (діє анонімно)
Можливість змінити свій голос до закінчення виборів

б)



в)

Рис.1. Етапи процедури: а - реєстрація, б - голосування, в - підрахунок і публікація результатів

Сьогодні для біометричної автентифікації можна використовувати різні технології: 3D-модель обличчя, зображення райдужної оболонки ока або відбиток пальця. Кожен метод має свої переваги та обмеження. Зокрема, сканування обличчя та райдужки є досить поширеним, але мають вищий рівень похибок. Натомість технологія зчитування відбитка пальця вважається більш точною, хоча сучасні смартфони зберігають біометричні шаблони у закритих захищених областях, що ускладнює пряме використання цих даних для генерації криптографічних ключів.

Виходячи із вищесказаного і був розроблений алгоритм проведення голосування на основі комбінації протоколу He-Su і біометрії.

Реалізація запропонованого методу передбачає використання мобільного застосунку, де виборець проходить автентифікацію через біометрію перед реєстрацією та перед голосуванням. Це суттєво ускладнює несанкціоноване використання голосу та усуває можливість дистанційного продажу ключа., що є на нашу думку основною проблемою стандартних алгоритмів електронного голосування на основі криптографічного протоколу He-Su. Крім того, застосування відкритих списків авторизованих виборців і криптографічних підписів забезпечує прозорість процесу без розкриття особистості виборців. Публікація результатів разом із зашифрованими бюлетенями та псевдонімами дозволяє незалежним спостерігачам перевіряти коректність підрахунку.

Висновок:

Таким чином, інтеграція криптографічного протоколу He-Su з біометричною автентифікацією підвищує рівень безпеки та довіри до

електронного голосування, вирішуючи основну проблему анонімності без компромісу прозорості процесу.

Список літератури

1. Зудов О.М., Горіна В.В,, Рибасова Н.О. Протоколи електронного голосування на основі криптографічної схеми "сліпого підпису" і біометричної автентифікації // Проблеми інформатизації і управління. - К., 2025, с.44-53.

2. He, Q. and Su, Z. A New Practical Secure e-Voting Scheme // Proceedings of the 14th International Information Security Conference (IFIP/SEC'98), Austrian Computer Society. - Austria, 1998. - pp.196-205.

3. Gardham, D., Manulis, M., & Drăgan, C. C. Biometric-authenticated searchable encryption // Applied Cryptography and Network Security: 18th International Conference, ACNS 2020, Rome .- 2020, Proceedings, Part II 18, pp. 40-61.

UDC 004.056

A. Chizhov, A. Fesenko, PhD (c.t.s.) Associate Professor
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Cloud Migration Failures: Root Causes and Practical Remediation Framework

Cloud migration has become a strategic driver of digital transformation. However, real-world implementations frequently encounter recurring errors during both preparation and operation. This study formalizes common migration issues, analyzes their root causes, and introduces a remediation framework integrating strategies, tools, and KPIs. The approach unites engineering, organizational, and process perspectives, making it suitable for projects of any scale.

Root Causes of Migration Failures

Migration to cloud computing environments is now regarded as one of the key stages of digital transformation. It enables companies to achieve greater flexibility, reduce infrastructure costs, enhance resilience, and gain access to innovative technologies. At the same time, practical experience shows that migration projects, particularly in large organizations, encounter numerous challenges that extend beyond traditional engineering solutions.

According to MarketsandMarkets [1], the cloud migration services market is expected to grow from $10.2 billion in 2023 to $29.2 billion by 2028, highlighting the growing interest in this area from the business sector. However, a study by Jefferson Frank [2] indicates that over 9% of projects experience significant delays, exceeding one year, and are often accompanied by operational disruptions. The primary causes include strategic miscalculations, inadequate architectural preparation, unprepared teams, and a lack of comprehensive error monitoring and control mechanisms during the migration process.

A review of existing frameworks—such as the AWS Cloud Adoption Framework (AWS CAF) [3], Microsoft Cloud Adoption Framework for Azure (Azure CAF) [4], and the Oracle Cloud Infrastructure (OCI) Cloud Adoption Framework (OCI CAF) [5]—as well as generalized models like the Cloud Migration Readiness Model [6], reveals that they are primarily focused on strategic assessments of organizational readiness and role allocation. However, they tend to overlook implementation and operational risks, lack integrated error remediation tools, and pay limited attention to soft factors such as internal team maturity, resistance to change, and the gap between IT initiatives and business objectives. Moreover, most models do not provide built-in feedback mechanisms or metrics to monitor migration quality in real time.

This study includes an in-depth analysis of more than 15 academic sources, including systematic reviews by Jamshidi et al. [7], Gholami et al. [8], and Andrikopoulos et al. [9]. The analysis of practical case studies also constituted a significant component of the research. Specific situations from the experience of large organizations were examined, including the case of British Airways [10], where accumulated legacy systems and the absence of an integrated architecture became major barriers to effective migration and digital transformation. In several cases presented in the works of Gholami et al. (2017) [11] and Somanathan (2023) [12], failures were

attributed to recurring migration errors, which led to high-severity incidents. These cases served to validate the proposed error classification, refine the identified causal relationships, and enrich the framework with real-world consequences documented in engineering practice.

Based on the conducted analysis, 15 common migration errors were identified and classified according to three key stages: planning, implementation, and operation. For example, during the planning phase, frequent issues include the absence of a comprehensive infrastructure audit, underestimation of total cost of ownership (TCO), incorrect architectural choices (e.g., selecting a monolithic approach instead of a service-oriented one), omission of a pilot phase, and neglect of team training and educational needs. All these factors create preconditions for failures in subsequent stages of the migration process.

At the implementation stage, migration errors become more tangible: workload incompatibility with the cloud environment, lack of rollback procedures, and infrastructure overload due to the absence of auto-scaling mechanisms are common issues. Errors in Continuous Integration and Continuous Delivery (CI/CD) pipelines, particularly when related to security systems and secret management, often disrupt delivery processes and increase time-to-production. At the operational stage, even after a technically successful migration, common shortcomings include ineffective service-level agreements (SLAs), absence of monitoring, weak alerting systems, and lack of post-mortem analysis. Without these practices, systematic improvement and the prevention of recurring failures become unattainable. For example, incidents are not classified by root cause, teams do not receive training based on real errors, and as a result, system resilience fails to improve.

Practical Remediation Framework

The outcome of this study is a developed framework that addresses the identified gaps by establishing a cohesive structure:

Error → Root Cause → Mitigation Strategy → Tool → KPI

All identified migration errors have not only been classified and described, but also supplemented with specific methods for evaluating the effectiveness of their mitigation—through associated KPIs, strategies, and applicable tools. Among the recommended tools are Terraform, CloudEndure, Prometheus, Azure Migrate, the FinOps Toolkit, and others. The KPIs integrated into the framework encompass both technical and organizational aspects of migration process maturity.

Key technical indicators include Mean Time to Detect (MTTD), Recovery Time Objective (RTO), and Recovery Point Objective (RPO)—which collectively assess the system's resilience to incidents and its recovery capabilities. Organizational KPIs include the Cloud Skills Index (reflecting team cloud maturity), the proportion of components covered by audits, process automation level, and the maturity of operational documentation. These metrics form the basis for objective diagnostics of an organization's migration readiness, allow tracking of progress over time, and enable comparative analysis of maturity levels across departments or migration streams.

The framework pays particular attention to soft factors, such as team maturity, communication transparency, and the role of the Cloud Center of Excellence (CCoE) in process coordination. The study demonstrates that without addressing these factors, even a well-designed architecture may fail due to resistance to change, unprepared engineering practices, or lack of control over migration debt.

Based on this structure, a final Migration Maturity Checklist was developed, covering key aspects of each migration phase: infrastructure auditing, architectural readiness, organizational factors, monitoring, incident management, and more. This checklist can be used as a self-assessment tool, enabling teams to determine their current maturity level, identify weaknesses, and outline priority areas for improvement—either before or during the course of a migration project.

The framework is applicable in real-world engineering practice—ranging from readiness audits to supporting complex, multi-layered migrations within multi-cloud architectures. Its modular structure allows for adaptation to organizations of various scales, from small and medium-sized businesses (SMBs) to large enterprises. Furthermore, it can serve as a foundation for the development of internal standards, the implementation of DevOps and FinOps practices, and the subsequent integration of AIOps automation tools.

Future directions of this research include the practical validation of the proposed framework through pilot projects in organizations of varying sizes and architectural maturity levels. Promising avenues for development involve the creation of automated error diagnostics tools based on metric and log analysis (AIOps approach), as well as the integration of the framework with existing CI/CD and FinOps infrastructures.

In addition, adapting the model to the specific needs of vertical industries—such as healthcare, the public sector, and manufacturing—is a key priority, given the varying requirements for security, compliance, and resilience in these domains. Expanding the case study base and further standardizing typical mitigation strategies represent another important direction, contributing to the formation of industry best practices in the field of cloud transformation.

Conclusion

The proposed model represents a comprehensive, practice-oriented approach to the systematization and mitigation of cloud migration errors. It integrates both technical and organizational dimensions, offers diagnostic and tool-based solutions, and can serve as a foundation for the development of internal regulations, roadmaps, and digital transformation strategies. As such, this work contributes to both the academic and engineering domains by providing a practical instrument for risk minimization, process maturity improvement, and enhanced architectural resilience in cloud environments.

References

1. MarketsandMarkets. Cloud Migration Services Market by Service Type, Application, Deployment Mode, Organization Size, Vertical and Region – Global Forecast to 2028 [Electronic resource]. – Available at: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/cloud-migration-service-market-266815130.html (accessed: 02.04.2025).

2. Jefferson Frank. AWS Careers and Hiring Guide: Cloud Migration Survey Results [Electronic resource]. – Available at: https://www.jeffersonfrank.com/insights/aws-careers-and-hiring-guide (accessed: 02.04.2025).

3. Amazon Web Services. AWS Cloud Adoption Framework (CAF) [Electronic resource]. – 2023. – Available at: https://aws.amazon.com/professional-services/CAF/ (accessed: 02.04.2025).

4. Microsoft. Microsoft Cloud Adoption Framework for Azure [Electronic resource]. – 2023. – Available at: https://learn.microsoft.com/en-us/azure/cloud-adoption-framework/ (accessed: 02.04.2025).

5. Oracle. Oracle Cloud Infrastructure (OCI) Adoption Framework [Electronic resource]. – 2023. – Available at: https://docs.oracle.com/en/solutions/cloud-adoption-framework/index.html (accessed: 02.04.2025).

6. Cloud Migration Readiness Model (CMRM). A Practical Guide [Electronic resource]. – Available at: https://pages.awscloud.com/rs/112-TZM-766/images/a-practical-guide-for-cloud-migration-readiness.pdf (accessed: 02.04.2025).

7. Jamshidi P., Ahmad A., Pahl C. Cloud Migration Research: A Systematic Review // IEEE Transactions on Cloud Computing. – 2013. – Vol. 1, No. 2. – P. 142–157. – DOI: 10.1109/TCC.2013.10.

8. Gholami M.F., Daneshgar F., Beydoun G., Rabhi F. Challenges in Migrating Legacy Software Systems to the Cloud – An Empirical Study // Information Systems. – 2017. – Vol. 67. – P. 100–113. – DOI: 10.1016/j.is.2017.03.008.

9. Andrikopoulos V., Binz T., Leymann F., Strauch S. How to Adapt Applications for the Cloud Environment // Computing. – 2013. – Vol. 95, No. 6. – P. 493–535. – DOI: 10.1007/s00607-012-0248-2.

10. Computer Weekly. BA sets out plan to revamp IT, add AI and update website [Electronic resource]. – 2024. – Available at: https://www.computerweekly.com/news/366572693/BA-sets-out-plan-to-revamp-IT-add-AI-and-update-website (accessed: 02.04.2025).

11. Gholami M.F., Daneshgar F., Beydoun G., Rabhi F. Challenges in Migrating Legacy Software Systems to the Cloud – An Empirical Study // Information Systems. – 2017. – Vol. 67. – P. 100–113. – DOI: 10.1016/j.is.2017.03.008.

12. Somanathan S. Risk Management in Cloud Transformation: A Project Management Perspective on Cloud Security // International Journal of Applied Engineering & Technology. – 2023. – Vol. 5, No. 3. – P. 1276–1284.

УДК 519.9

А.М. Воронін, д.т.н., А.С. Савченко, д.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», України)

Оптимізація архітектури нейромережевих класифікаторів

Розглядається постановка задачі і процедура векторної оптимізації архітектури нейромережевого класифікатора. Як цільова функція запропонована скалярна згортка критеріїв за нелінійною схемою компромісів. Використовуються пошукові методи оптимізації з дискретними аргументами. Наведено приклад – нейромережевий класифікатор текстів.

Важливим різновидом систем штучного інтелекту є нейромережеві класифікатори. Вони застосовуються для технічної та медичної діагностики, класифікації різноманітних інформаційних джерел та ін. У досить загальному випадку структура q-шарового нейромережевого класифікатора з прямими зв'язками представлена даними: $x_1, x_2, ..., x_n$ – ознаки об'єкта класифікації, що становлять вхідний вектор $x = \{x_i\}_{i=1}^{n}; p_0 = n$ – число нейронних елементів у рецепторному шарі; $p_1, p_2, ..., p_q$ – число нейронів у кожному з прихованих (обробних) шарів; $p_{q+1} = m$ – число нейронів у вихідному шарі (кількість класів); $y = \{y_k\}_{k=1}^{m}$ – вихідний вектор нейронної мережі, що визначає приналежність об'єкта класифікації одному з m класів; $w_1, w_2, ..., w_q, w_{q+1}$ – вектори синаптичних ваг нейронної мережі.

Від розмірності вхідного вектора ознак напряму залежить скільки нейронів буде у вхідному шарі $p_0 = n$. Це число є незмінним. Аналогічним чином, визначається кількість нейронів вихідного шару $p_{q+1} = m$. Вона залежить від того, на скільки областей (класів) поділено простір ознак. Кількість нейронів вихідного шару також є постійною. Архітектуру нейронної мережі визначають кількість обробних (або прихованих) шарів q і число нейронів у кожному з цих шарів $p_1, p_2, ..., p_q$. Для знаходження найкращої архітектури нейромережі параметри кількість прихованих шарів і нейронів в кожному з них використовують як аргументи (незалежні змінні) в процесі оптимізації.)

Обмежимо дослідження випадком, коли число q є фіксованим та заданим. У процесі оптимізації архітектури нейронного класифікатора змінюваними параметрами (аргументами оптимізації) виступають кількості нейронів у кожному з прихованих шарів, які утворюють вектор незалежних змінних $p = \{p_j\}_{j=1}^{q}$. Від вибору архітектури p залежить якість функціонування нейронного класифікатора.

Визначимося з критеріями якості. Одним із критеріїв є ймовірність помилки класифікації, яку можна подати як відношення кількості неправильно класифікованих випадків $e(p)$ до загальної кількості випробувань N за достатньо великої вибірки:

$$f_1(p) = \frac{e(p)}{N}.$$

Припускається, що зі зростанням у деяких розумних межах числа нейронів в обробних шарах точність класифікації підвищується, і величина цього критерію зменшується. Порогове значення помилки повинно бути визначене з урахуванням фізичної сутності задачі та введене як обмеження в процесі навчання $f_1(p) \le A_1$

Другий критерій описує тривалість навчання нейронної мережі для заданої архітектури p. Між часом навчання та загальною кількістю нейронів у прихованих шарах класифікатора спостерігається тісна кореляція. Тому цей критерій доцільно подати у вигляді

$$f_2(p) = \sum_{k=1}^{q} p_k.$$

Зазначимо, що цим критерієм характеризується час проходження сигналу через нейронну мережу від входу до виходу. Зі зростанням числа нейронів значення критерію збільшується. Граничне значення цього критерію відповідає допустимій тривалості навчання мережі й задається як обмежувальна умова $f_2(p) \le A_2$.

Існують також інші критерії для характеристики різних властивостей нейронного класифікатора. У цій роботі ми обмежимося лише наведеними двома основними критеріями, маючи на увазі, що методика, що викладається, допускає включення в розгляд та інших властивостей класифікатора.

Допустима область аргументів оптимізації задається паралелепіпедним обмеженням

$$P = \{p \mid 0 \le p_k \le P_u, k \in [1, P_u], u \in [1, q]\},$$

де P_u – максимальна кількість нейронів в u-му шарі.

Зважаючи, що обидва критерії суперечливі, важливі, обмежені та мінімізуються, є підстави для застосування скалярної згортки з використанням нелінійної компромісної моделі як цільової функції. [1]. Така згортка в уніфікованій версії виражається формулою

$$Y(p) = Y[f(p)] = \frac{A_1}{A_1 - f_1(p)} + \frac{A_2}{A_2 - f_2(p)}.$$

де $f(p) = \{f_r(p)\}_{r=1}^{r=2}$ – двомірний вектор часткових критеріїв. Таким чином, вираз для задачі оптимізації архітектури нейронного класифікатора перетворюється на вигляд

$$p^* = \arg\min_{p \in P} \left[\frac{A_1}{A_1 - e(p)/N} + \frac{A_2}{A_2 - \sum_{k=1}^{q} p_k} \right].$$

Висновок

Здійснення викладених етапів векторної оптимізації дозволяє без безпосередньої участі особи, що приймає рішення визначити архітектуру нейромережевого класифікатора, при якій системно ув'язуються суперечливі критерії ефективності його функціонування, а отримана архітектура є компромісно-оптимальною.

Список літератури

1. Воронін А.М., Зіатдінов Ю.К., Климова А.С. Інформаційні системи прийняття рішень: Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2009. – 136 с.

УДК 004.73 (042.4)

О.В. Толстікова, к.т.н., С.В. Водоп'янов, к.т.н.,
В.І. Дрововозов, к.т.н., М.В. Рюмшина
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оптимізація математичної моделі таблиці маршрутизації в комп'ютерній мережі

Розглядаються питання оптимізації математичної моделі таблиці маршрутизації в комп'ютерній мережі. Застосування адаптивної маршрутизації та динамічного вибору оптимальних маршрутів, використовуючи закон Вебера-Фехнера, дозволяє покращити якість обслуговування мережі у порівнянні зі статичною топологією. Оптимізація топології з урахуванням характеристик мережного обладнання допомагає мінімізувати вплив зростання навантаження на сервісні показники.

В сучасних умовах швидкого розвитку комп'ютерних мереж зростає потреба у вдосконаленні механізмів маршрутизації для забезпечення ефективної та стабільної роботи мережевих систем. Одним із ключових аспектів цього процесу є оптимізація математичних моделей таблиць маршрутизації, що дозволяє враховувати складну динаміку мережевих параметрів, а також когнітивні особливості взаємодії адміністратора з мережевим середовищем. Такий підхід сприяє підвищенню точності рішень, зменшенню ризиків помилок та забезпеченню більш адаптивного управління мережевою інфраструктурою. Для вирішення даної задачі необхідно розглянути підходи до вдосконалення таблиць маршрутизації з урахуванням психофізіологічних механізмів реакції адміністратора комп'ютерної мережі та актуальних мережевих технологій.

Найбільш поширеними є алгоритми адаптивної (або динамічної) маршрутизації, які забезпечують автоматичне оновлення таблиць маршрутизації при змінах у конфігурації мережі. Ці алгоритми, маючи розподілену структуру, повинні відповідати кільком важливим критеріям: забезпечувати не лише оптимальність, але й раціональність маршруту; бути простими у реалізації з точки зору споживання мережевих ресурсів, тобто уникати значних обчислювальних затрат та мінімізувати службовий трафік; володіти властивістю збіжності, що означає досягнення однозначного результату за прийнятний період часу. Для більш точного порівняння ефективності маршрутів важливо враховувати параметр, відомий як адміністративна відстань (AB). Ця метрика визначає рівень довіри до інформації, отриманої від сусідніх пристроїв, і варіюється в діапазоні від 0 до 255, де 0 означає максимальний рівень довіри, а 255 - заборону використання даного маршруту для передачі трафіку.

Задачу оптимізації топологічної структури мережі поставимо таким чином. Є наступні вектори: $\vec{U}$ - вектор параметрів мережного навантаження; $\vec{Q}$ - вектор параметрів якості сервісу мережі: швидкодія, достовірність, які

характеризують якість передачі даних або, в традиційному трактуванні – якість сервісу QoS ; $\vec{W}$ - вектор експлуатаційних характеристик мережі.

Застосовуються векторні обмеження, які визначають граничні характеристики мережного обладнання, включаючи загальну вартість та конфігурацію мережі:

$$C_i\left(\vec{U},\ \vec{Q},\ \vec{W}\right) \le C_{i\max}\ ,\ i=\overline{1,N_c},$$

де N_c - число елементів множин C_i і $C_{i\max}$.

Крім того, на технічну архітектуру мережі накладаються обмеження, що обумовлені фізичними та практичними аспектами реалізації: максимально можлива швидкість передачі даних, допустима відстань між вузлами, мінімальні затримки в комутаційних пристроях, рівень перешкод та інші параметри.

Адміністративна відстань є одним із ключових компонентів метрики маршруту V_{ki}. Її значення встановлюється на основі практичних міркувань у діапазоні від 0 до 255. Для забезпечення нормування вводиться функція адміністративної відстані:

$$\psi\left(A_d\right)=1+\log_2\left(1+A_d\right)=1/m_j\,, \qquad (1)$$

де m_j - параметр маршруту, пов'язаний із адміністративною відстанню; індекс *j* може варіюватися від 1 до N_c. Оскільки адміністративна відстань A_d перебуває в межах від 0 до 255, її значення можуть змінюватися в діапазоні від 1 до 9. Інформаційна цінність цього параметра залежить від його значення: при A_d= 0 інформація про маршрут вважається абсолютно достовірною; при A_d= 255 - абсолютно недостовірною і відкидається. Для кількісної оцінки достовірності інформації про адміністративну відстань можна використовувати ентропійну міру Шеннона або зіставити її з довірою до вагового коефіцієнта ν_j (який у загальному випадку є заданою функцією). Як функцію можна використовувати вираз:

$$\varphi\left(\nu_j\right)=c_j\left\{1-\left[\Psi\left(A_d\right)-1\right]/8\right\},\ n=2k,\ k\ge 1\,,$$

де c_j - коефіцієнт нормування, що забезпечує відповідність умовам нормування.

Пропонується вибір функції адміністративної відстані $\psi\left(A_d\right)$ у вигляді (1) та розглянути необхідне обґрунтування такого вибору.

Наведені залежності затримки $\tau_R\left(x,N_P\right)$ інтуїтивної реакції оператора на відносну величину *x* подразника та на логарифм метрики N_P адміністративної відстані (АВ) (рис. 1). Чим більше зростає шкала АВ, тим важче оператору вчасно реагувати на зовнішні подразники.

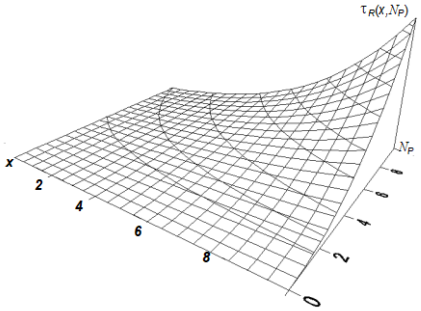


Рис. 1. Залежність затримки $\tau_R(x, N_P)$ інтуїтивної реакції оператора на відносну величину *x* подразника та на логарифм метрики N_P адміністративної відстані

Оптимізація топології мережі разом із динамічним вибором оптимального маршруту та застосуванням закону Вебера-Фехнера дозволяє покращити кількісні показники функціоналу якості щонайменше на 5–7% у порівнянні з використанням статичної топології мережі. [1-2]

Висновок

Застосування методів адаптивної маршрутизації сприяє розширенню можливостей вибору найбільш оптимальних маршрутів.

Оптимізація топології мережі, що включає динамічний вибір оптимальних маршрутів і використання закону Вебера-Фехнера, забезпечує поліпшення кількісних показників функціонала якості щонайменше на 5–7% у порівнянні зі статичною топологією мережі.

Вирішення задачі оптимізації топології мережі з урахуванням граничних характеристик мережного обладнання дозволяє зменшити негативний вплив зростаючого навантаження на якість обслуговування мережі.

Список літератури

1. Толстікова О.В., Водоп'янов С.В., Андреєв О.В., Дрововозов В.І. Вдосконалення математичної моделі таблиці маршрутизації з урахуванням психофізіологічних механізмів реакції адміністратора комп'ютерної мережі. Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2024. – Вип. №80 Т.4. – С. 118–123. DOI: https://doi.org/10.18372/2073-4751.80.19776

2. Tanenbaum A., Feamster N., Wetherall D. Computer Networks, Global Edition Pearson, 6th Edition, 2021. − 944 p.

UDC 519.9

A.N. Voronin, DrS, A.S. Savchenko, DrS
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

A nonlinear compromise scheme in multicriteria problems of decision-making

The concept of nonlinear trade-off scheme in multicriteria problems of evaluation and optimization is presented. It is shown that the problem is to approximate correctly the decision-maker's utility function and construct a substantial mathematical model (scalar convolution) adequate to the given situation to solve various multicriteria problems. In optimization problems, this convolution is an objective function; its extremization results in a compromise-optimal vector of arguments. In analysis problems, the convolution is an evaluation function; its value quantitatively expresses the measure of quality of a multicriteria object under specified values of arguments.

PROBLEM DESCRIPTION

The problems related to multicriteria problems involve determining the Pareto domain, normalizing the criteria, making allowance for priorities, and choosing a compromise scheme. However, only the first of them has a strong scientific substantiation and does not depend on subjective preferences. Solving the other problems require some information from a decision-maker (DM). This is especially true for the problem of choosing a compromise scheme since a compromise is inherently a prerogative of human.

The essence of the concept of a compromise is the answer to the following question: how many prize units in one criterion may, in the DM's opinion, compensate for inevitable loss of a unite in another (other) criterion in a given situation? Based on this information, a specific compromise scheme is formulated for the given multicriteria problem and a desired solution is finally found.

Thus, finding a multicriteria solution is inherently a compromise and is based on using subjective information. Given this information and a compromise scheme selected, it is possible to pass from the general vector expression to the scalar convolution of partial criteria, which provides a basis for a constructive apparatus to solve multicriteria problems. Solving the problem is based on the hypothesis that there exists a utility function [1] appearing in the DM's brain during the solution of a specific multicriteria problem. We may state that virtually all the approaches to determining the scalar convolution of criteria are reduced to constructing one mathematical model or another of the DM's utility function.

The problem is to approximate correctly the utility function and to construct a substantial mathematical model as a scalar convolution, adequate to the given situation, to solve different multicriteria problems.

FORMALIZATION OF THE PROBLEM

A DM's utility function can generally be represented as $\Phi[y(x),\, r]$, where $x = \{x_i\}_{i=1}^{n} \in X$ is the vector of solutions defined in the feasible domain *X;*

$y = \{y_k\}_{k=1}^{s} \in M$ is the vector of partial criteria defined in the domain $M = \{y | 0 \le y_k \le A_k, k \in [1,s]\}$; $A = \{A_k\}_{k=1}^{s}$ is the constraint vector; and $r \in R$ is the vector of external conditions defined on the set of feasible factors *R*. The situation of making a multicriteria decision is defined by the factors of external conditions *r*. In solving multicriteria problems, it is usually assumed that the vector *r* is fixed and specified: $r = r^{\circ}$. Then the DM's utility function can be represented by the scalar convolution of criteria

$$\Phi[y(x), r]_{|r=r} \circ = Y[y(x)]^{\circ},$$

where $Y[y(x)]^{\circ}$ is the scalar convolution constructed from the compromise scheme adequate to the given situation.

If the criterion vector $y(x)$ is normalized by the constraint vector A,

$$y_0(x) = \{y_k(x) / A_k\}_{k=1}^{s} = \{y_{0k}(x)\}_{k=1}^{s},$$

then the scalar convolution $Y[y_0(x)]^{\circ}$ is applied.

In most cases, solving multicriteria problems is restricted to a linearized model

$$Y[y_0(x)]^{\circ} = \sum_{k=1}^{s} \alpha_k^{\circ} y_0(x),$$

where α_k° are the weight coefficients composing a vector $\alpha^{\circ} = \{\alpha_k^{\circ}\}_{k=1}^{s} \in \Gamma_{\alpha}$ and defined on a simplex $\Gamma_{\alpha} = \{\alpha | \alpha_k \ge 0, \sum_{k=1}^{s} \alpha_k = 1\}$. The values of the weight coefficients are established based on individual preferences of the DM and correspond to the situation.

Though such an approach has a doubtless advantage (simplicity), it is characterized by shortcomings inherent in the linearization method. For example, a linear model yields correct results only in small neighborhoods of a working point whose position depends on the situation of making a multicriteria decision. Any variation in the situation necessitates weight coefficients of the model to be redetermined. In practical multicriteria problems, it is expedient to construct a *nonlinear* model of the DM's utility function (the concept of a nonlinear compromise scheme [2]).

The compromise scheme determines the advantage of the resultant multicriteria solution over other Pareto-optimal solutions. Nowadays, a compromise scheme is chosen not theoretically but heuristically, based on individual preferences, professional experience of the developer, and information on the situation in which

the multicriteria decision is made.

The main complexity in passing from a vector performance criterion to a scalar convolution is that the convolution should be a conglomerate of partial criteria, the value (importance) of each them in the general estimate varying depending on the situation. In different situations, different partial criteria may become the most important ones. In other words, the scalar convolution of partial criteria should determine the compromise scheme being adapted to the situation. Let this thesis underlie the analysis of the possibilities of formalizing the choice of a compromise scheme.

It is assumed that there are some invariants, rules usually common for all the DMs irrespective of their individualities, to which they equally adhere in one situation or another. Really, the DM's subjectivity is limited [3]. Making business decisions requires a person to be rational to give reasons for their choice of a subjective model. Therefore, any DM's preferences should be within the framework of a certain rational system. This is what makes the formalization possible.

In our case, the subject of study is a fine substance such as an imaginary utility function appearing in the DM's brain during the solution of a specific multicriteria problem. Each DM has his own utility function. Nevertheless, revealing and analyzing some general laws observed during making multicriteria decisions by different DMs in different situations can provide the information to specify the form of the substantial model of the criterion function [4].

CONCEPTUAL ANALYSIS OF THE DM'S UTILITY FUNCTION

Depending on the form of the multicriteria problem, the scalar convolution $Y[y_0(x)]$ has different physical meanings. In the analysis problem, this convolution is an evaluation function. Its value quantitatively expresses the measure of quality of a multicriteria object for specified values of arguments x. In the optimization problem, the scalar convolution $Y[y_0(x)]$ has the meaning of the objective function. Its extremization results in a compromise-optimal vector of arguments x^*. In what follows, we will consider an optimization problem and assume for definiteness that all the criteria $y_0(x)$ are to be *minimized*. Then mathematically, the vector optimization problem can be represented as

$$x^* = \arg\min_{x \in X} Y\left[y_0(x)\right].$$

Let us introduce the concept of the intensity of a situation as a measure of how normalized relative partial criteria are close to the limit value (unity):

$$\rho_k = 1 - y_{0k},\ \rho_k \in [0;1],\ k \in [1, s].$$

If a multicriteria decision is made in an intense situation, then in the conditions specified, one or several partial criteria may appear dangerously close to the limit values ($\rho_k \approx 0$). And if one of the criteria achieves the limit (or is outside it), this event will not be compensated by a possible small level of other criteria (violating any

of the constraints is usually prohibited).

In such a situation, it is necessary to interfere (in every possible way) the dangerous increase of the most adverse (i.e., the closest to the limit) partial criterion irrespective of the behavior of other criteria. Therefore, in rather intense situations (for small ρ_k), the DM permits the deterioration of the maximum (most important under those conditions) partial criterion by unity only if this is compensated by a great number of unites that improve the other criteria. And in the first polar case (ρ_k=0), the DM leaves only this unique, most unfavorable partial criterion for consideration and neglects the others. Hence, a minimax Chebyshev model (egalitarian principle)

$$x^* = \arg\min_{x \in X} Y[y_0(x)]^{(1)} = \arg\min_{x \in X} \max_{k \in [1,s]} y_{0k}(x)$$

adequately expresses the compromise scheme in an intense situation.

In less intense situations, other criteria should also be satisfied simultaneously, with allowance made for inconsistent interests and objectives of the system. Depending on the situation, the DM varies his estimate of a payoff in one criteria and loss in another ones. In intermediate cases, compromise schemes partially aligning partial criteria in different degrees are selected. As the situation becomes less intense, preferences in partial criteria level off.

Finally, in the second polar case ($\rho_k \approx 1$), the situation is quiet, partial criteria are small, and there is no threat to violate the constraints. The DM considers that a unit deterioration of any partial criterion is compensated quite well by an equivalent unit improvement of any other criterion. This case can be associated with an economic compromise scheme providing the minimum (for the conditions specified) total loss on partial normalized criteria. Such a scheme can be expressed by the model of integral optimality (utilitarian principle)

$$x^* = \arg\min_{x \in X} Y[y_0(x)]^{(2)} = \arg\min_{x \in X} \sum_{k=1}^{s} y_{0k}(x).$$

The analysis reveals a pattern according to which the DM varies the choice from the integral optimality model in quiet situations to the minimax model in intense situations. In intermediate cases, the DM chooses compromise schemes that satisfy partial criteria in different degrees, according to the individual preferences but in view of the situation. If we take the conclusions from this analysis as a logic basis for formalizing the choice of a compromise scheme, we can present various constructive concepts such as the concept of a nonlinear compromise scheme.

NONLINEAR COMPROMISE SCHEME

From the formalization standpoint, it is expedient to replace the problem of choosing a compromise scheme with the equivalent problem of synthesis of a unified scalar convolution of partial criteria which would express different principles of optimality in different situations. Let us state the requirements to the function $Y(y_0)$ being synthesized:

- it should be smooth and differentiable;
- should express the minimax principle in intense situations:
- should express the integral optimality principle in quiet conditions;
- in intermediate cases, should lead to Pareto-optimal solutions giving various measures of partial satisfaction of the criteria.

Thus, a universal convolution should express a compromise scheme adaptable to a situation. We may say that adaptation and adaptability are the main substantial essence of studying multicriteria systems. The scalar convolution should include the explicit characteristics of the situation intensity ρ.

Among the possible functions meeting the above requirements, let us consider an elementary one

$$Y(\alpha, y_0) = \sum_{k=1}^{s} \alpha_k [1 - y_{0k}(x)]^{-1}; \alpha \in \Gamma_\alpha ,$$

where α_k=const are formal parameters defined on a simplex and having double physical meaning. On the one hand, these are weight coefficients that express the DM's preferences in partial criteria, and on the other hand, these are coefficients of a substantial regression model of the DM's utility function on the concept of a nonlinear compromise scheme.

Thus, a nonlinear compromise scheme is associated with a vector optimization model, which explicitly depends on the characteristics of the situation intensity ρ:

$$x^* = \arg\min_{x \in X} \sum_{k=1}^{s} \alpha_k [1 - y_{0k}(x)]^{-1}.$$

In contrast to the linear model, defined in a small neighborhood of a working point, the nonlinear model is defined on the whole feasible region X and does not require coefficients α_k to be recalculated if the situation varies.

As is seen from the formula, if any relative partial criterion, for example, $y_{0i}(x)$, approaches the limit (unity), i.e., the situation becomes intense, the corresponding term $Y_i = 1/\alpha_i[1 - y_{0i}(x)]$ in the sum being minimized increases so that the minimization of the whole sum reduces to the minimization of only this worst term, i.e., of the criterion $y_{0i}(x)$. And this is a minimax model manifestation.

If relative partial criteria are far from unity, i.e., the situation is quiet, the proposed model operates equivalent to the integral optimality model. In intermediate situations, different degrees of partial alignment of criteria are obtained. Therefore, the nonlinear compromise scheme has the property of continuous adaptation to the situation of making a multicriteria decision.

References

1. P.C. Fishburn, Utility Theory for Decision Making, Publications in

Operations Research, No.18, John Wiley and Sons, New York (1970).

2. A.N. Voronin, Multicriteria Synthesis of Dynamic Systems [in Russian], Naukova Dumka, Kyiv (1992).

3. O.I. Larichev, Science and Art of Decision Making [in Russian], Nauka, Moscow (1979).

4. A.N. Voronin, Yu.K. Ziatdinov, and A.V. Kharchenko, Complex Engineering and Ergatic Systems [in Russian], Tekhnika, Kyiv (1999).

УДК 004.453(076.5)

Ю.І. Сінько, к.пед.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Економічні моделі впровадження автоматизованих інформаційних технологій

Розглянуто економічні моделі впровадження автоматизованих інформаційних технологій, що стають ключовими у модернізації бізнес-процесів сучасних підприємств. Серед основних аспектів – аналіз впливу автоматизованих інформаційних технологій на оцінку економічної ефективності, оптимізацію витрат, підвищення продуктивності та зниження операційних ризиків.

Впровадження автоматизованих інформаційних технологій (АІТ) стає необхідною умовою успіху для компаній у сучасному світі. Економічна ефективність впровадження АІТ полягає в оптимізації бізнес-процесів і максимізації прибутковості підприємства. Це означає, що впровадження таких технологій повинно забезпечити:

• *Зниження операційних витрат* – автоматизація дозволяє скоротити витрати на ручну працю та зменшити кількість помилок, що, в свою чергу, позитивно впливає на фінансовий результат.

• *Підвищення продуктивності* – завдяки швидшій обробці даних і виконанню завдань, організація може значно збільшити ефективність своєї роботи.

• *Покращення якості прийняття рішень* – доступ до більш точних даних і аналітики сприяє прийняттю більш обґрунтованих стратегічних рішень.

• *Конкурентні переваги* – впровадження сучасних автоматизованих технологій допомагає організації залишатися конкурентоспроможною на ринку, швидше реагувати на зміни і потреби клієнтів.

Задачі аналізу економічної ефективності впровадження автоматизованих інформаційних технологій зазвичай включають:

1. *Визначення та порівняння витрат і вигоди*. Сюди входить розрахунок початкових інвестицій, поточних витрат на підтримку і обслуговування, а також очікуваної економії завдяки оптимізації процесів, зменшенню трудових витрат та підвищенню продуктивності.

2. *Оцінка впливу на операційну ефективність*. Автоматизація може сприяти швидшій обробці даних, зниженню помилок і поліпшенню якості виробничих чи бізнес-процесів. Завданням є кількісна оцінка цих переваг для розуміння, як вони впливають на загальну ефективність підприємства.

3. *Розрахунок терміну окупності інвестицій*. Важливо визначити, через який період впровадження нових технологій почнуть приносити прибуток, враховуючи як прямі, так і непрямі вигоди.

4. *Аналіз ризиків*. Окрім позитивних показників, також потрібно враховувати можливі ризики, пов’язані з технічними збоями, необхідністю навчання персоналу чи змінами в організаційній структурі.

5. *Оцінка конкурентоспроможності і впливу на ринкову позицію*. Автоматизація часто дозволяє удосконалити обслуговування клієнтів, скоротити час реагування на запити та знизити загальну собівартість продукції або послуг, що може стати важливим фактором для підвищення конкурентної переваги.

Впровадження АІТ вимагає комплексного підходу та ретельних капіталовкладень на придбання обладнання, розробку проєктів, проведення підготовчих робіт та навчання персоналу. Перед впровадженням АІТ необхідно провести економічне обґрунтування, щоб визначити доцільність такого кроку. Це означає, що потрібно розрахувати ефективність використання АІТ.

Розрізняють розрахункову та фактичну ефективність впровадження АІТ. Розрахункова ефективність визначається на етапі проєктування автоматизації інформаційних робіт, коли розробляється технічна документація для виконання робіт. Фактична ефективність визначається після впровадження технічної документації та оцінюється на основі результатів впровадження проєкту.

Узагальненим критерієм економічної ефективності є мінімізація витрат трудових та матеріальних ресурсів. Автоматизація дозволяє оптимізувати процеси та зменшувати витрати, що сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів.

Економічний ефект від застосування АІТ поділяють на прямий і непрямий. Пряма економічна ефективність включає в себе економію матеріально-трудових ресурсів та коштів, яка виникає внаслідок зменшення чисельності управлінського персоналу, фонду заробітної плати, а також витрат на допоміжні матеріали завдяки автоматизації конкретних видів планово-облікових та аналітичних робіт. Використання АІТ може покращити продуктивність та якість роботи працівників, не обов'язково призводячи до зменшення їх кількості.

Врахування непрямої ефективності у кінцевих результатах господарської діяльності підприємства дуже важливе. Локальні критерії цієї ефективності можуть включати: скорочення термінів складання звітів, підвищення якості планово-облікових та аналітичних робіт, скорочення документообігу, підвищення культури та продуктивності праці та інше. Основним показником є підвищення якості управління, яке призводить до економії живої та матеріалізованої роботи. Як пряма, так і непряма економічна ефективність взаємопов'язані і можуть сприяти покращенню загальної продуктивності та результативності підприємства.

Економічну ефективність визначають за допомогою трудових та вартісних показників. Під час розрахунків важливо порівнювати дані базисного та звітного періодів. У разі переведення окремих робіт на автоматизацію, базисним періодом можуть бути витрати на обробку інформації до впровадження АІТ (під час ручної обробки). У випадку вдосконалення діючої системи автоматизації економічних робіт, базисним періодом можуть бути витрати на обробку інформації при досягнутому рівні автоматизації. Під час оцінки ефективності можуть використовуватися як абсолютні, так і відносні показники, що дозволяє отримати більш повну картину про вплив автоматизації на економічні результати підприємства.

Так, наприклад, якщо на ручну обробку деталей витрачається 100 люд./год. (ТО), а при використанні АІТ – 5 люд./год. (Т1), то абсолютний показник економічної ефективності (ПЕЕ) буде ПЕЕ = ТО – Т1 = 100 – 5 = 95 люд./год. Це означає, що при автоматизації процесу обробки деталей в порівнянні з ручною обробкою можна зекономити 95 людських годин на годину роботи. Відносний індекс продуктивності праці (ІПП) у цьому випадку становить 0.05, це означає, що для обробки деталей у разі автоматизації потрібно лише 5% часу порівняно з ручною обробкою. Це свідчить про значний приріст продуктивності праці завдяки впровадженню АІТ.

Використовуючи індекс вартості витрат (ІВВ), можна визначити відносний показник економії трудових витрат. У нашому прикладі, при обробці рахунків-фактур за допомогою АІТ, економія складе 95%, що свідчить про значну ефективність автоматизації процесу. Поряд із трудовими показниками, важливо розраховувати і вартісні показники. Тому витрати на обробку інформації в базисному та звітному варіантах визначають у грошовому еквіваленті. Абсолютний показник вартості (АПВ) можна розрахувати за формулою АПП = ТО – Т1. Індекс вартості витрат (ІВВ) обчислюється як Т1/ТО.

Для оцінки ефективності витрат можна використовувати термін окупності витрат (ТОВ), який, виходячи з методики [1], розраховується за формулою ТОВ = (ВТЗ + ВПЗ) КЕФ / (ТО – Т1), де ВТЗ – витрати на технічне забезпечення, ВПЗ – витрати на програмне забезпечення, а КЕФ – коефіцієнт ефективності. Цей показник допоможе визначити, за який період часу витрати на автоматизацію будуть окуплені завдяки зменшенню трудових витрат.

Висновок

Таким чином впровадження АІТ є необхідним кроком для підприємств, які прагнуть залишатися конкурентоспроможними в сучасному цифровому світі і демонструють свою ефективність, коли поєднують технологічний прогрес із збалансованою фінансовою політикою, однак її успішність залежить від комплексного підходу до планування, впровадження та адаптації інноваційних рішень у бізнес-процеси.

Список літератури

1. Стефанишин О. В. Економічна теорія: навч. посіб. / О. В. Стефанишин, М. В. Квак, М. В. Кічурчак, М. І. Теребух; Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. – Л., 2015. – 335 с.

УДК 519.816

Р.В. Литвиненко, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Методи реконфігурації розподілених інформаційних систем

Розглянуто методи реконфігурації розподілених інформаційних систем. Проаналізовано розповсюджені алгоритми побудови маршрутів у графах, їх застосування для побудови обхідних маршрутів після часткових фізичних руйнувань. Визначено переваги та обмеження кожного методу з урахуванням особливостей структури РІС.

Розподілена інформаційна система (РІС) — це система, яка являє собою сукупність окремих територіально розподілених елементів (вузлів) та зв'язків між ними. Вузлами таких систем можуть бути як комп'ютери, обчислювальні машини, так і інші пристрої – наприклад, сервери баз даних, маршрутизатори, сенсори, контролери або термінали користувача, об'єднані в єдину інфраструктуру з метою зберігання, обробки та передавання інформації.

Захист та відновлення РІС набувають особливого значення, коли такі системи або їхні окремі компоненти можуть бути фізично пошкоджені внаслідок ракетних чи дронових атак противника, а зупинка роботи системи може мати катастрофічні наслідки. В такому випадку, аби запобігти подібним сценаріям, необхідно в найкоротші терміни відновити працездатність РІС або ж її основних складових.

Важливими аспектами відновлення працездатності розподіленої інформаційної системи є її реконфігурація та перерозподіл ресурсів і задач згідно з новою топологією та обчислювальними спроможностями окремих вузлів, що лишилися неушкодженими.

У процесі реконфігурації необхідно визначити нові маршрути у графах. Існуючі методи побудови таких маршрутів спрямовані на визначення оптимальних шляхів у зважених графах, ребра яких мають вагові коефіцієнти. Оптимальним вважається маршрут, в якому сума вагових коефіцієнтів ребер, які до нього входять, є найменшим з-поміж усіх можливих.

Алгоритм Дейкстри [1] є одним з класичних алгоритмів пошуку найкоротшого маршруту в графі. На початку виконання обирається початкова вершина, після чого множина відвіданих вершин починає зростати. На початку кожного кроку обирається нова вершина, яка має найменшу відстань до поточної. Варто зазначити, що алгоритм Дейкстри використовується в OSPF, протоколі динамічної маршрутизації.

Серед переваг алгоритму можна відзначити такі:

- простота реалізації;
- швидкодія при малій кількості ребер;
- висока швидкість збіжності для нелінійних задач.

Алгоритм має і деякі недоліки:

- у графах з від'ємними вагами може працювати некоректно;
- є повільним при використанні в графах зі значною кількістю ребер.

Алгоритм Беллмана-Форда [2] широко використовується в графах та полягає в поступовому проходженні через всі ребра та подальшому покращенні вибору найкоротших маршрутів шляхом методу релаксації. Так, на початку виконання алгоритму робиться припущення, що відстані до всіх вузлів прямують до нескінченності. Далі перевіряється можливість використанні іншого елемента графа як проміжного. Тим самим довжина маршруту зменшується. Цей процес повторюється до моменту, коли всі шляхи стануть оптимальними. Як і алгоритм Дейкстри, алгоритм Беллмана-Форда використовується в динамічній маршрутизації – в протоколі RIP.

Алгоритм має такі переваги:

- простота реалізації;
- можливість використання у графах, які мають ребра з від'ємними вагами;
- можливість виявлення від'ємних циклів.

Недоліки алгоритму:

- є повільнішим за алгоритм Дейкстри;
- не працює у випадку, коли найкоротший шлях має від'ємні цикли.

Алгоритм A* (A-star) [3] є вдосконаленою версією алгоритму Дейкстри. Він поєднує підхід жадібного пошуку та пошуку за найменшою вартістю. Він обирає маршрути, які є найбільш перспективними, з урахуванням вже пройденої відстані та приблизної відстані до цілі. Основна перевага цього алгоритму полягає в тому, що він може значно зменшити кількість перевірених вершин у порівнянні з алгоритмом Дейкстри, зберігаючи при цьому точність результату. A* широко використовується в системах навігації, робототехніці та комп'ютерних іграх.

Переваги алгоритму:

- підвищена ефективність завдяки використанню евристичних оцінок;
- дає оптимальні рішення, якщо евристика є допустимою, не переоцінює відстань.

Недоліки:

- потребує багато ресурсів, зокрема пам'яті, при роботі з великими графами;
- складніший у налаштуванні та використанні, ніж класичні алгоритми.

Алгоритм Флойда-Воршелла [4] використовується для знаходження найкоротших шляхів між усіма парами вершин у зваженому графі. Його робота базується на динамічному програмуванні, де поступово покращуються шляхи між вершинами через проміжні елементи.

Серед переваг алгоритму можна виокремити наступні:

- є простим у реалізації;
- знаходить усі найкоротші шляхи за один прохід;
- працює як з додатними, так і з від'ємними вагами ребер.

Недоліки алгоритму:

- не підходить для великих графів через значну обчислювальну складність;
- не виявляє від'ємні цикли.

В алгоритмі Лі [5] використовується так звана хвиля, яка поширюється від початкової вершини графа до кінцевої. На наступному етапі відбувається зворотне проходження через вершини, при цьому щоразу визначається найменша відстань до наступної. Знайдений маршрут вважається оптимальним. Варто зазначити, що у випадку неможливості початкового проходження хвилею графом від початку до кінця, вважається, що такого шляху не існує.

Переваги:

- алгоритм завжди знаходить найкоротший шлях між вершинами;
- простота принципу роботи забезпечує зручність застосування для невеликих та середніх графів.

Недоліки:

- є повільним та незручним для використання в великих графах;
- відсутність адаптації до різних ваг ребер.

Принцип роботи алгоритму Краскала [6] полягає у формуванні мінімального кістякового дерева, так званого MST (minimum spanning tree). Побудова дерева відбувається поетапно, шляхом додавання ребер з найменшою вагою, поки всі вершини графа не будуть з'єднані. При ініціалізації алгоритму створюється порожня множина MST. Наступним етапом є сортування ребер за зростанням та поступове заповнення дерева MST зв'язками з мінімальною вагою. Після кожного додавання ребра необхідно здійснювати перевірку на наявність циклів у дереві.

Переваги:

- ефективність у розріджених графах;
- алгоритм працює як з орієнтованими, так і з неорієнтованими графами;
- алгоритм має чіткий процес сортування та побудови кістякового дерева.

Недоліки:

- щільні графи потребуватимуть сортування великої кількості ребер;
- після додавання кожного нового ребра необхідно здійснювати додаткові перевірки на виникнення циклів;
- якщо граф часто видозмінюється, алгоритм щоразу необхідно запускати з нуля.

Динамічна реконфігурація розподілених інформаційних систем передбачає пошук нових оптимальних маршрутів у зважених графах, де вузли системи можуть бути частково чи повністю недоступними. У таких умовах ключовими критеріями вибору алгоритму є:

- швидкість реакції на зміну топології;
- можливість роботи з неповними або частково пошкодженими даними;
- масштабованість та ефективність.

Отже, варто проаналізувати вказані алгоритми в контексті можливості використання в задачі динамічної реконфігурації РІС:

- алгоритм Дейкстри є ефективним для невеликих графів без від'ємних ваг, проте потребує повної топології;
- алгоритм Беллмана-Форда підходить для систем із негативними вагами та динамічно змінними параметрами, але поступається в швидкості;

- A* є універсальним за наявності евристичної складової та можливості її адаптації до можливих відмов вузлів, особливо в частково пошкоджених мережах;
- алгоритм Флойда-Воршелла надає повну матрицю маршрутів, проте не підходить для масштабних розподілених систем через обчислювальні витрати;
- алгоритм Лі може бути застосований у локальних ділянках мережі або при роботі в умовах обмеженої оглядовості системи;
- алгоритм Краскала не шукає маршрути, але може бути корисним на етапі побудови нового зв'язного кістяка системи після відмови вузлів.

Висновок

В реконфігурації розподілених інформаційних систем ключовим завданням є забезпечення максимально швидкого відновлення зв'язності між активними елементами з урахуванням пошкоджень. Жоден із наведених алгоритмів не є універсальним – кожен має власні переваги та обмеження. Тож доцільно використовувати комбінації алгоритмів, де, наприклад, алгоритм Краскала допомагає сформувати нову структуру мережі, а A* або алгоритм Беллмана-Форда – забезпечують ефективне прокладання маршрутів у цій структурі. Оптимальний вибір алгоритмів має ґрунтуватися на конкретних умовах руйнування, доступності інформації про топологію та вимогах до швидкості реакції системи.

Список літератури

1. How to find Shortest Paths from Source to all Vertices using Dijkstra's Algorithm. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.geeksforgeeks.org/dijkstras-shortest-path-algorithm-greedy-algo-7/.
2. Bellman–Ford Algorithm. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.geeksforgeeks.org/bellman-ford-algorithm-dp-23/.
3. The A* Algorithm: A Complete Guide. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.datacamp.com/tutorial/a-star-algorithm.
4. Floyd-Warshall Algorithm. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.programiz.com/dsa/floyd-warshall-algorithm.
5. The Lee Algorithm Explained: Maze Running and Finding the Shortest Path. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.bomberbot.com/algorithms/the-lee-algorithm-explained-maze-running-and-finding-the-shortest-path/.
6. Kruskal's Minimum Spanning Tree (MST) Algorithm. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.geeksforgeeks.org/kruskals-minimum-spanning-tree-algorithm-greedy-algo-2/.

УДК 004.02

О.С. Кусаков
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вирішення проблеми сумісності пристроїв у системі управління розумним будинком

Розглянуто архітектуру та принципи функціонування розумного будинку на основі безпроводової сенсорної мережі з використанням протоколу Zigbee. Описано проблему сумісності пристроїв, що виникає через пропрієтарні шлюзи виробників та запропоновано рішення на основі протоколу MQTT для системи управління розумним будинком Home Assistant. Показано, як застосування даного підходу забезпечує гнучкість та масштабованість, підвищуючи функціональність розумного будинку.

У сучасному світі стрімкий розвиток цифрових технологій, зростаюча урбанізація, а також підвищені вимоги до енергоефективності, безпеки та комфорту житлових приміщень стимулюють активне впровадження рішень на основі Інтернету речей (IoT). Однією з ключових галузей застосування IoT є концепція розумного будинку — інтегрованої системи керування пристроями, яка дозволяє автоматизувати повсякденні дії, оптимізувати витрати електроенергії, підвищити рівень безпеки та створити комфортне середовище проживання. Завдяки динамічному розвитку доступних технологій, розумний будинок поступово переходить із категорії дорогих інновацій у сферу масового застосування, стаючи органічною частиною сучасного житла.

Основу функціонування розумного будинку складає безпроводова сенсорна мережа — розподілена система, що об’єднує десятки або навіть сотні пристроїв, здатних фіксувати параметри середовища (температуру, вологість, освітленість, наявність руху, тощо) та передавати ці дані до координатора. Саме завдяки сенсорній мережі розумний будинок набуває можливостей адаптивного керування. Наприклад, система може автоматично вимкнути освітлення в приміщенні за відсутності руху, увімкнути опалення при зниженні температури або підвищити рівень безпеки завдяки виявленню несанкціонованого проникнення. Всі ці пристрої функціонують у складі безпроводових сенсорних мереж, побудованих на енергоефективних протоколах зв’язку, зокрема Zigbee, Z-Wave, Bluetooth Low Energy, Thread, що дозволяє створювати масштабовану та надійну інфраструктуру.

Незважаючи на те, що підтримуються різні протоколи, найбільш ефективним проколом в системах керування розумним будинком є Zigbee протокол. Він забезпечує низьке енергоспоживання, високу масштабованість та безпеку, підтримуючи стандарт AES-128 для шифрування. Також однією з головних переваг Zigbee є підтримка mesh-топології.

Протокол визначає три типи пристроїв [1]: координатор, маршрутизатор та кінцевий пристрій (Рис. 1). Кожен з цих типів має чітко визначене призначення та функціональність. У Zigbee мережі може бути лише один координатор. Він відповідає за ініціалізацію та налаштування мережі, зокрема

за вибір ідентифікатора персональної мережі (PAN) та фізичного каналу радіозв'язку, на якому працюватиме мережа. Після завершення цього процесу координатор може функціонувати як звичайний маршрутизатор.

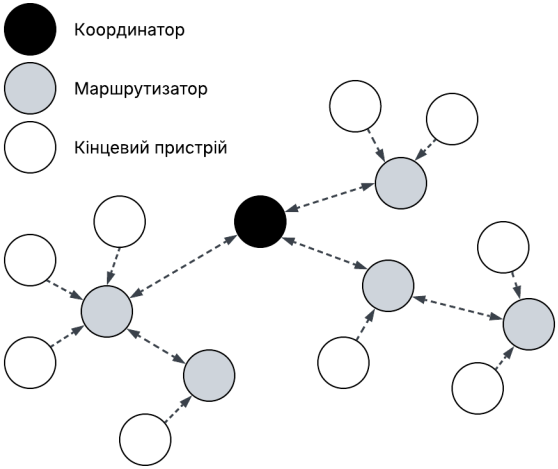


Рис. 1. Топологія Zigbee мережі

Маршрутизатори утворюють комунікаційний каркас мережі, забезпечуючи обмін пакетами між собою та ретрансляцію інформації від кінцевих пристроїв. Вони завжди активні, що дозволяє забезпечити постійний канал зв'язку з кінцевими пристроями. Це забезпечує високий рівень стійкості мережі та автоматичну маршрутизацію даних. Завдяки цьому мережа здатна адаптуватися до змін (наприклад, при виході з ладу окремих вузлів).

Кінцеві пристрої приєднуються до маршрутизатора або координатора і більшу частину часу перебувають у сплячому режимі для мінімізації витрат енергії. Вони періодично прокидаються, ініціюють запит до свого маршрутизатора та передають дані.

Незважаючи на високу ефективність протоколу Zigbee, його реалізація різними виробниками має суттєвий недолік. Зазвичай виробники Zigbee пристроїв розробляють власні пропрієтарні шлюзи (координатори). Це породжує проблему сумісності пристроїв з координатором. Тобто при виборі шлюзу від конкретного бренду, користувач змушений використовувати пристрої тільки цього бренду. Пристрої від інших виробників такий шлюз не підтримує. Такий підхід суттєво обмежує користувача у виборі пристроїв та знижує функціональні можливості системи. Проблема сумісності пристроїв у системі управління розумним будинком згадується іншими авторами [2], однак їх робота не містить детального опису потенційного рішення.

Хоча рішення даної проблеми доступне для багатьох систем управління розумним будинком (Domoticz, Homey, IoBroker та інші), розглянемо рішення

на прикладі системи Home Assistant, оскільки вона є однією з найбільш поширених систем серед користувачів. Згідно офіційної аналітики, активних встановлень системи близько 500 тисяч [3], а загальна кількість користувачів може сягати мільйона. Популярність Home Assistant зумовлена тим, що вона має відкритий вихідний код, зручний веб-інтерфейс, функцію резервного копіювання, забезпечує гнучкість та надійність в управлінні. Home Assistant орієнтована на локальне керування, тобто усі дані обробляються локально, що підвищує безпеку та зменшує залежність автоматизацій від хмарних сервісів. Додає привабливості активна спільнота користувачів і розробників, які постійно вдосконалюють систему, виправляючи помилки, додаючи нові функціональні можливості та інтеграції.

Рішення проблеми сумісності базується на використанні протоколу MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [4]. Це легкий протокол обміну повідомленнями, розроблений для пристроїв з обмеженими ресурсами та нестабільним мережевим з'єднанням. MQTT підтримує архітектуру "публікація-підписка", тобто пристрої можуть підписуватися на певні теми та отримувати відповідні повідомлення без необхідності встановлення прямого з'єднання. Також MQTT підтримує шифрування через TLS/SSL та використовує малий розмір пакетів, що мінімізує навантаження на мережу.

Загальна схема (Рис. 2), яка відображає рішення проблеми сумісності, складається з наступних компонентів: Zigbee пристрої, координатор, доповнення Zigbee2MQTT, MQTT брокер та інтеграція MQTT для Home Assistant.

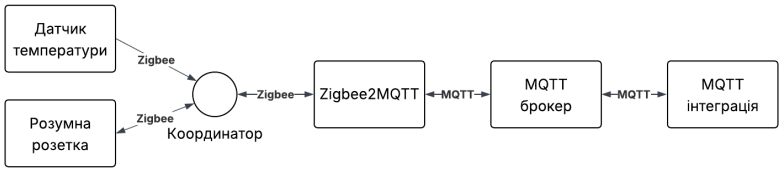


Рис. 2. Удосконалена схема роботи мережі

До Zigbee пристроїв відносяться датчики, розумні лампи, вимикачі, реле, розумні розетки та інше. Координатор зазвичай має вигляд USB адаптера, як правило базується на чипі CC2652P, але можливі й інші реалізації. Zigbee2MQTT — це доповнення [5] для Home Assistant, яке перетворює Zigbee пакети в MQTT повідомлення. MQTT брокер необхідний для обміну повідомленнями між Zigbee2MQTT та системою управління розумним будинком. Для Home Assistant існує реалізація MQTT брокеру під назвою Mosquitto broker. Останній компонент — це інтеграція для Home Assistant під назвою MQTT [6]. Вона дозволяє системі отримувати MQTT повідомлення, обробляти їх та відображати дані для користувача. Також ця інтеграція дає можливість реалізувати автоматизацію на основі отриманих даних.

Принцип роботи виглядає наступним чином. Zigbee пристрій відправляє пакети даних до координатора. Координатор передає дані у Zigbee2MQTT, який

перетворює їх в MQTT повідомлення. Далі MQTT брокер пересилає повідомлення з Zigbee2MQTT у MQTT інтеграцію. MQTT інтеграція, обробляє повідомлення та відображає стан пристрою. Оскільки MQTT інтеграція є частиною Home Assistant, користувач може управляти пристроями через інтерфейс Home Assistant. При цьому дані перетворюються у зворотньому порядку, з MQTT повідомлень у Zigbee пакети.

Висновок

Таким чином запропоноване рішення дозволяє вирішити проблему сумісності пристроїв у системі управління розумним будинком та дає можливість користувачу обрати будь-який Zigbee пристрій, незалежно від виробника чи бренду. Це значно підвищує функціональність та масштабованість систем розумного будинку, забезпечуючи взаємодію між різними пристроями і дозволяючи ефективно інтегрувати їх у єдину систему управління розумним будинком.

Список літератури

1. Zohourian, A., Dadkhah, S., Pinto Neto, E. C., Mahdikhani, H., Danso, P. K., Molyneaux, H., & Ghorbani, A. A. (2023). IoT Zigbee device security: A comprehensive review. Internet of Things, 22, 100791. doi: 10.1016/j.iot.2023.100791
2. Ніщеменко Д.О., Аронов А.О. (2025). Дослідження методик оптимізації параметрів системи керування розумним будинком з використанням IoT. Телекомунікаційні та інформаційні технології, 1(86), 141–150. doi: 10.31673/2412-4338.2025.013027
3. Аналітика для Home Assistant. Режим доступу: https://analytics.home-assistant.io/
4. Yalcinkaya, F., Aydilek, H., Erten, M. Y., & İnanç, N. (2020). IoT based Smart Home Testbed using MQTT Communication Protocol. International Journal of Engineering Research and Development, 12, 317–324. doi: 10.29137/umagd.654056
5. Репозиторій та документація для доповнення Zigbee2MQTT. Режим доступу: https://github.com/Koenkk/zigbee2mqtt/tree/2.2.0
6. Документація для MQTT інтеграції в Home Assistant. Режим доступу: https://www.home-assistant.io/integrations/mqtt

UDC 004.415.2.045

I.E. Raichev, PhD, N.H. Denysenko
(State University "Kyiv Aviation Institute")

Defining requirements for critical program systems based on ontological analysis

The issue addresses the problem of identifying and analyzing requirements for critical program systems. A domain-specific conceptual system for flight control has been created. The developed ontological model defines the classification, structure, composition, and interrelations of requirements and forms a mechanism for creating a quality model for critical program systems and assessing its characteristics.

In modern conditions in Ukraine, quality certification of development organizations, institutions, and testing laboratories for compliance with standards is commonly practiced [1; 2]. Certification of program systems (PS) or other software products for compliance with the initial requirements is conducted much less frequently [3; 4]. The issue of certification testing and final quality assessment is particularly important for critical PS, widely used in transport, energy, and environmental monitoring, and directly related to the safety of the monitored object. For many classes of such systems, the task of forming concepts, methods, and approaches for verifying PS compliance with initial requirements becomes urgent. This involves creating an ontology of the subject domain in which the critical PS operates, as well as the ontology of certification procedures. The fundamental elements of these ontologies are the requirements for software systems of these classes, and the methods and tools for quality assessment at different life cycle stages [5; 6].

As an example, we consider the class of software for automated flight control systems (AFCS) of a flying vehicle (FV), which are critical systems and therefore require certification for compliance with the requirements. Verification of compliance can be carried out by assessing the achieved overall quality level of the AFCS SW, taking into account that the quality level of each indicator included in the unified quality model of the software [7] must reach the minimum acceptable level defined in the system requirements. If the set of such quality indicator constraints is met, the SW can be certified for compliance with the initial requirements.

Software for automated control systems (ACS) solves the following general tasks:

- reproduction of monitored parametric information;
- monitoring whether object parameters exceed defined constraints;
- monitoring the operational quality of the controlled object.

Depending on the purpose of the software for automated control systems these tasks can be performed in real-time or post-operation. Therefore, software of this class consists of software complexes for parametric information reproduction, admission control (tolerance control) and quality control of the object's functioning (in our case, FV).

Flight information includes trajectory parameters, system performance data of the aircraft, and crew actions during control. It is widely used for assessing the aircraft's state and identifying crew errors. ICAO documents highly value flight data recorder (FDR) information and recommend implementing flight data processing to prevent aviation incidents, study crew behavior, and improve aircraft maintenance. In Ukraine, using flight information is mandatory for all aircraft operators and regulated by official documents [5; 6].

Software for automated flight control systems (AFCS) consists of hundreds of software modules that interact to solve the main task — processing parametric information to make diagnostic and control decisions about the state and performance quality of the aircraft as a monitored object. To ensure reliable decisions, the AFCS must be of high quality and highly reliable.

Thus, assessing the quality level of AFCS software requires first constructing a coherent quality model. The quality model will consist primarily of quality indicators, which should be classified according to the base software complexes of these systems. The introduced sets of quality indicators must be universal for software of such information systems, as they describe the quality of the main software complexes comprising these systems [8]. Therefore, we correlate industry-specific requirements and indicators [5; 6] with unified quality characteristics of the general base quality standard [7]. Building a quality model involves determining the quality property (appropriate attribute, sub-characteristic, and characteristic) from the standard model [7] that corresponds to the specification of each requirement defined in the subject domain ontology. The model construction process begins with a comprehensive domain analysis of the subject domain (SD), in which AFCS operate.

A practical approach represents the subject domain (application domain of the PS) as a structured set of concepts (terms) at the functional abstraction level. Within the domain, a general conceptual model of the system is formed to support knowledge structuring, selection of representation methods, and identification of functional and structural-algorithmic elements of the SD. This lays the foundation for implementing real program systems.

Domain analysis begins by reviewing the industry standard for ground-based automated flight data processing systems [5]. We highlight key ontology objects of the SD for AFCS SW, considering standard [5], which sets general requirements for characteristics of such systems. The formal model of the SD ontology for AFCS SW is represented as an ordered triplet of finite sets:

$$\Omega_{\text{AFCSSW}} = \langle \text{C}, R, F \rangle, \quad (1)$$

where C – is a finite non-empty set of concepts (terms) of the SD, R – is a set of relationships between SD concepts, and F – are interpretation functions defined on the concepts and/or relationships of the ontology (1) .

Standard [5] defines the requirements for general characteristics (properties) of components of any AFCS software implementation. Systems meeting the standard can be certified and permitted for use at aviation enterprises in Ukraine. The ontology terms define its base objects, which are interrelated. Therefore, the

main terms (concepts) of the SD ontology define objects that will be implemented as classes.

To create the SD ontology for AFCS SW, we apply the IDEF5 ontology development standard and a special schematic language (SL) used to represent the system of main domain data as ontological information. The diagrams of any ontology define the conceptual system (basic objects), their classification, composition, interrelations, and states. Based on standard [5], we construct a classification diagram of requirements for AFCS components (Fig. 1).

The class "Requirements for the list of the obligatory tasks" of AFCS software is most significant and closely linked to other basic classes of ontology (1), which directly depend on it. Thus, the composition scheme of requirements for the list of obligatory (mandatory) tasks essentially represents the graphical composition of ontology (1) classes, where set R consists of classification and aggregation relations. The compositional scheme of requirements is shown in Fig. 2, where: FD – flight data (parametric flight data recorded by aircraft onboard systems), FDR – flight data recorder (a device recording aircraft parameters in flight), AP – analog flight parameters of the aircraft.

Processing information recorded by flight data recorders is a relevant task that ensures flight safety. Analysis of flight data solves problems of monitoring flight modes and compliance with flight operation rules, evaluating system and component performance, and identifying causes of aviation incidents [5; 6].

Erroneous results from base software complexes evaluating the object's state can lead to catastrophic outcomes. Indeed, even for ground-based automated flight data processing systems, incorrect assessment of piloting quality and aircraft equipment can allow unprepared crews or aircraft with technical defects to continue flying, which could at least result in an aviation incident.

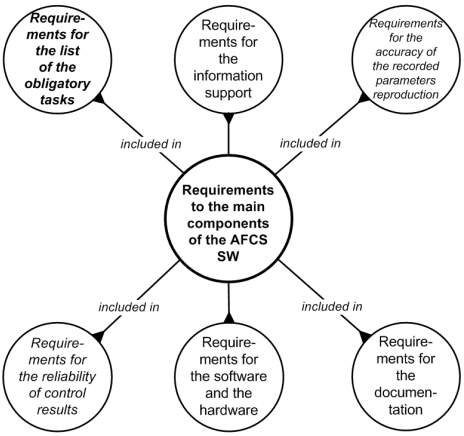


Fig. 1. Ontology of the components of software requirements for AFCS SW (requirements classification)

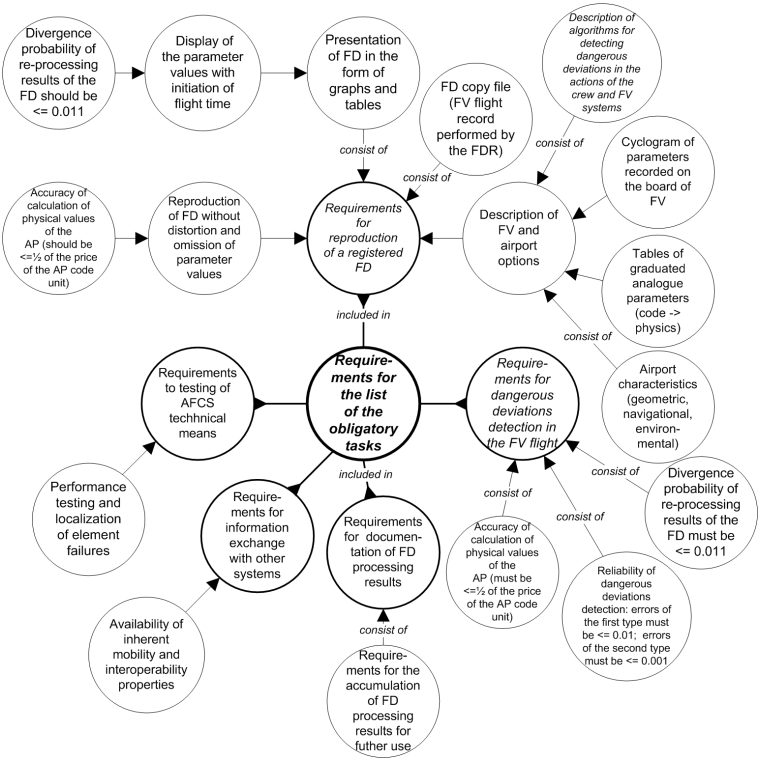


Fig. 2. General ontology of requirements for the list of the obligatory tasks of AFCS software (composite requirements diagram)

Risks and hazards associated with the incorrect operation in software core complexes of automated flight control systems are primarily related to the manifestation of low reliability in detecting dangerous deviations, namely the incorrect calculation of type I and type II errors. The interpretation functions *F*, defined on the relations of the ontology (1) for the scheme shown in Fig. 2, are represented by predicates of flight control algorithms. For instance, for the object (class) “Requirements for dangerous deviations detection in the FV flight” (Fig. 2), one of the many monitored algorithms is the predicate $S073$ of the control event that denotes "Exceeding the maximum operational flight speed": $S073 = (7120 \le H_б \le 10300) \wedge (V_{пр.} \ge 588)$, where $H_б$ – is the barometric altitude and $V_{пр.}$ – is the indicated airspeed. The interpretation functions cover the complete set of aircraft control algorithms. Each predicate of the control algorithms can be formalized using the system of canonical equations of a finite automaton. Based on

this formalization, unified logical schemes of automaton models are constructed, which serve to detect all controlled dangerous deviations [9].

Conclusions

The main program systems of automated flight control systems have been identified, and an ontology of critical program systems has been constructed using the example of automated aircraft flight control systems. The developed ontology clearly defines the classification, composition, structure, and interconnection of requirements, allowing for a more efficient construction of a PS quality model by mapping each requirement from the defined set to the corresponding quality characteristic, sub-characteristic, attributes, and quality metric.

References

1. ДСТУ ISO 9001–2001. Системи управління якістю. Вимоги: (ISO 9001:2000). – [Чинний від 2001–06–27]. –К.: Держстандарт України, 2001. –23с.
2. ISO/IEC 17025:1999. General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories. — Режим доступу: http://www.iso.org
3. ДСТУ 2462–94. Сертифікація. Основні поняття. Терміни та визначення. — [Чинний від 1995–01–01]. — К. : Держстандарт України, 1994. — 27 с.
4. IEEE Std 830-1993. Recommended Practice for Software Requirements Specification. — 1993. — 36 p. — Режим доступу: http://www.ieee.org.
5. ДСТУ 3275–95. Системи автоматизованого оброблення польотної інформації наземні. Загальні вимоги.–[Чинний від 1996–07–01].– К.:Держстандарт України,1996. –7с.
6. Програма перевірки відповідності програмного забезпечення контролю польоту вимогам: ДСТУ 3275–95 і «Порядку збирання та практичного використання інформації бортових систем реєстрації на підприємствах цивільної авіації України». — К. : Держ. Департамент авіац. транс. України, 1997. — 11 с.
7. ISO/IEC 25010. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software Quality models. – 2011. – 34 p. — Режим доступу: http://www.iso.org; http://www.iec.ch.
8. Райчев І.Е., Харченко О.Г. Концепція побудови сертифікаційної моделі якості програмних систем // Проблеми програмування –2006. –№2-3. – С. 275–281.
9. Райчев І.Е. Синтез автоматних моделей контролю // Вісник НАУ. –2002. –№2. –С.43–52.

УДК 004.6

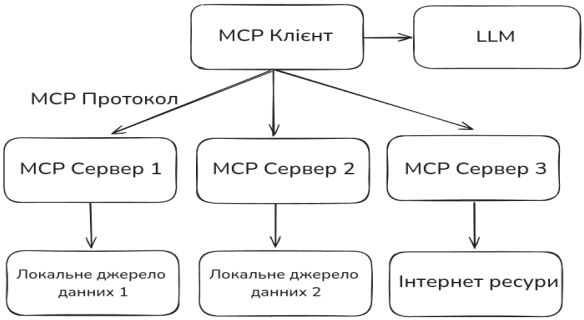
О.О. Дроздюк
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Model Context Protocol (MCP): Стандартизація контексту для покращення LLM

Модельний протокол контексту (Model Context Protocol, MCP) – це відкритий стандарт, що забезпечує єдиний підхід до інтеграції великих мовних моделей (LLM) із зовнішніми даними та інструментами. У доповіді розглянуто архітектуру MCP (клієнт-сервер), основні компоненти (ресурси, промпти, інструменти), переваги MCP над традиційними способами взаємодії з LLM, приклади застосування у процесі розробки програмного забезпечення та поточні виклики впровадження.

Великі мовні моделі (LLM, Large Language Models) дедалі частіше застосовуються для підтримки розробників програмного забезпечення, проте їх ефективна інтеграція у реальні проєкти ускладнюється ізольованістю моделей від робочого контексту[1]. Для вирішення цих проблем компанія Anthropic у листопаді 2024 року представила Model Context Protocol (MCP)[2] відкритий стандарт, що слугує універсальним адаптером між LLM та зовнішніми сервісами і даними розробника. MCP надає єдиний, стандартизований спосіб виклику зовнішніх функцій, отримання даних і використання готових промптів.

MCP дотримується клієнт-серверної архітектури. Кожне зовнішнє джерело даних представляється парою “клієнт MCP – сервер MCP”. Обмін даними здійснюється за допомогою повідомлень JSON-RPC 2.0. Важливою властивістю MCP є підтримка рефлексії - можливості клієнта автоматично запитувати в сервера перелік його можливостей[3].



Архітектурна схема

Основні компоненти MCP

Ресурси(Resources) - це будь який тип даних призначений для читання MCP клієнтами й підживлення LLM-моделей контекстом. Їхня ключова риса — підконтрольність, саме клієнт вирішує, коли й у який спосіб задіяти ресурс,

Наприклад, в деяких клієнтах користувач має вручну вибрати потрібні дані, тоді як інші клієнти можуть робити це автоматично за певними ознаками або навіть дозволяти самій LLM обирати ресурси. Під поняттям «ресурс» у MCP може бути все, що сервер бажає поширити: вміст файлів, записи баз даних, відповіді API, живі системні показники, знімки екрана, журнали роботи та будь-які інші дані, які можуть стати корисним контекстом для LLM[3].

Промпти(Prompts) - це підготовлені сервером шаблони запитів, а також робочі сценарії, які MCP клієнт отримує від MCP сервера і показує користувачеві, щоб той міг обрати потрібний варіант і запустити його для взаємодії з LLM. Кожен промпт здатен приймати змінні параметри, автоматично підтягувати ресурсний контекст, об'єднувати кілька кроків діалогу в послідовний ланцюг. Такий підхід стандартизує типові операції з мовними моделями[3].

Інструменти(Tools) - MCP сервер надає MCP клієнту інформацію про всі доступні інструменти з їх описами та необхідними аргументами, MCP клієнт може передати цей список LLM, щоб вона могла вирішити, які інструменти необхідні для завдання та як або в якому порядку їх слід застосовувати[3].

Використання MCP у розробці програмного забезпечення

Порівняння можливостей використання LLM в типовому середовищі розробки – з підтримкою MCP та без неї (Таблиця 1).

Аспект	LLM з MCP	LLM без MCP
Простота інтеграції	Єдиний стандартний протокол для підключення різноманітних інструментів.	Потрібна окрема реалізація інтеграції або плагін для кожного сервісу, що потребує часу на налаштування та підтримку.
Доступ до контексту	Модель автоматично отримує актуальний контекст (код, задачі, логи тощо) через MCP сервери.	Контекст, доступний моделі, обмежений вручну наданою інформацією.
Автономність дій	LLM-агент може самостійно виконувати послідовні дії без постійної участі людини.	Модель працює лише у режимі відповіді на запити для виконання дій потрібне окреме програмування або втручання розробника.
Стандартизація	Уніфікований формат взаємодії (JSON-RPC) для всіх зовнішніх інструментів.	Кожен сервіс має власний набір API та форматів, а інтеграції не уніфіковані між собою, ускладнюючи розширення системи.
Релевантність відповідей	Відповіді моделі базуються на актуальних даних проєкту, що підвищує їх точність та корисність для розробника.	Відповіді часто загальні або неточні через відсутність інформації про конкретний проєкт; модель не враховує останніх змін у коді чи задачах.

Приклади реалізації MCP

Git MCP сервер для взаємодії та автоматизації роботи з репозиторіями Git. Цей сервер надає інструменти для читання, пошуку та маніпулювання репозиторіями Git за допомогою великих мовних моделей.

Google Drive MCP сервер інтегрований з Google Drive, що дозволяє переглядати, читати та шукати файли.

PostgreSQL MCP сервер, який надає доступ лише для читання до баз даних PostgreSQL. Цей сервер дозволяє LLM перевіряти схеми бази даних і виконувати запити лише для читання.

Sentry MCP сервер для отримання та аналізу проблем з Sentry.io. Цей сервер надає інструменти для перевірки звітів про помилки, трасування стеку та іншої налагоджувальної інформації з вашого акаунта Sentry.

Виклики

Хоча MCP швидко набув популярності серед ентузіастів, його широкомасштабне впровадження супроводжується низкою викликів і обмежень. Архітектура з множиною локальних серверів додає складності в розгортанні та супроводі системи. Наразі MCP спроектований в основному для локального використання (на робочій станції або сервері, де запущений і клієнт, і модель). Адаптація протоколу до хмарних і мульти-користувацьких сценаріїв ще залишається відкритою: потрібні стандарти для авторизації віддалених підключень, балансування навантаження, ізоляції сеансів тощо. У хмарному середовищі, в першу чергу, необхідно забезпечити безпеку особливо якщо сервери отримують доступ до критичних баз даних.

Висновок

MCP пропонує новий рівень взаємодії з великими мовними моделями, фактично перетворюючи їх з ізольованих «чорних скриньок» на повноцінних агентів, під'єднаних до зовнішнього світу даних і послуг. MCP уніфікує інтеграцію LLM з довільними ресурсами, дозволяючи швидко нарощувати функціональність AI систем без ручного написання проміжного коду під кожен сервіс. На прикладі MCP індустрія спостерігає еволюцію від специфічних рішень (API, плагіни) до відкритих стандартів, які стимулюють співпрацю спільноти та сумісність рішень різних постачальників. Архітектура MCP, заснована на принципах клієнт-сервер і рефлексії, забезпечує гнучкість, безпеку та масштабованість AI агентних систем.

Список літератури

1. Singh A., Ehtesham A., Kumar S., Khoei T.T. A Survey of the Model Context Protocol (MCP): Standardizing Context to Enhance Large Language Models (LLMs). Preprints, 2025.

2. Anthropic. Introducing the Model Context Protocol. Anthropic AI, 2024.

3. modelcontextprotocol.io, Get started with the Model Context Protocol (MCP), 2024

UDC 621.6-11

P. Pavlenko[1], Doctor of Technical Sciences, Prof., M. Malin [2], PhD,
M. Kryshchuk[3], Doctor of Technical Sciences, Prof., T. Zhuravlova[1], V. Petrov [1]
([1]State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine,
[2] The Paton Electric Welding Institute, Ukraine,
[3]National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine)

Optimization of additive manufacturing of metal parts and structures based on digital twin and reinforcement learning

The problems of controlling printing accuracy and optimizing process parameters in the additive manufacturing of metal parts and structures are considered. The paper combines the theory of digital twins and the additive manufacturing optimization method to increase the intelligence and adaptability of the production process. This method significantly improves the stability of the production process and product quality

Introduction

Additive manufacturing (AM) of metal parts and structures, commonly known as 3D printing, produces objects by adding materials layer by layer. Compared with traditional subtractive manufacturing methods, additive manufacturing has many advantages, such as high design flexibility, high material utilization, and the ability to manufacture complex geometric structures. In recent years, additive manufacturing technology has been widely applied in various fields such as aerospace, automotive, medical, and construction [1, 2]. For example, in the aerospace industry, additive manufacturing can produce lightweight components with complex internal structures. In the medical field, additive manufacturing can customize medical devices or prostheses according to individual patient needs.

However, despite the many advantages of additive manufacturing, there are still many challenges in practical applications [3]. Firstly, the quality control in additive manufacturing is difficult. Due to the complex influence of multiple factors such as temperature, printing speed, and material properties, printing accuracy and product quality are often difficult to guarantee. Secondly, the additive manufacturing process heavily depends on various process parameters. Adjustments of parameters, such as layer thickness and filling rate, often rely on experience and repeated trials, lacking precise guidelines. The adjustment of parameters such as layer thickness, and filling rate often relies on experience and repeated experiments, which lacks precise guidance. Secondly, the additive manufacturing process heavily depends on various process parameters. Adjustments of parameters, such as layer thickness and filling rate, often rely on experience and repeated trials, lacking precise guidelines. How to achieve dynamic optimization under complex working conditions is still an urgent problem to be solved.

With the rise of intelligent manufacturing concepts [4], Digital Twin (DT) has gradually become an important direction in the optimization of additive manufacturing. Digital twins create a virtual system synchronized with the real

world by collecting real-time sensor data from physical entities (such as additive manufacturing equipment) and combining it with high-precision physical models for data fusion. It combines with high-precision physical models for data fusion. This virtual system can not only reflect the status of the manufacturing process in real time, but also predict future process dynamics. In additive manufacturing, digital twin can predict product quality and potential issues in the manufacturing process in advance by simulating different printing processes and environmental conditions. This provides important theoretical support and practical basis for process control in additive manufacturing. It enables the optimization of process parameters to be more scientifically adjusted based on real-time data and virtual simulation results.

Reinforcement Learning (RL) [5–7] has made significant progress in various complex system optimization tasks in recent years. Different from traditional supervised learning methods, reinforcement learning can automatically learn and optimize decision strategies through continuous interaction with the environment without explicit supervision signals. Reinforcement learning offers significant advantages for dynamic and complex optimization problems, making it particularly suitable for production processes like additive manufacturing, which require real-time adjustments. And it is particularly suitable for application in production processes such as additive manufacturing that require real-time adjustment.

In the additive manufacturing, reinforcement learning can automatically adjust key process parameters and achieve process optimization through interaction with the digital twin environment. The parameters that need to be optimized include printing speed, layer thickness, temperature, etc. Compared with traditional experience based or heuristic optimization methods, reinforcement learning can handle complex nonlinear relationships in a higher dimensional parameter space. And in real-time operation, it can continuously improve strategies through real-time feedback. In addition, Deep Reinforcement Learning (DRL) introduces deep neural networks to further process high-dimensional state and action spaces, thereby enhancing the system's learning ability and optimization effectiveness.

Traditional optimization methods for additive manufacturing processes often rely on experience and many experiments. The combination of digital twins and reinforcement learning does not rely on a large amount of experimental data through simulation and data-driven methods. In addition, this strategy can adjust process parameters in real-time. Thereby it can improve the accuracy, stability, and efficiency of additive manufacturing. Therefore, in this research, we combine digital twin technology with reinforcement learning and propose an intelligent additive manufacturing process optimization method. Firstly, we use sensors and real-time data collection to construct a virtual digital twin model of the additive manufacturing process based on physical modeling. Subsequently, we employed Deep Q-Network (DQN) to automatically optimize key process parameters in additive manufacturing to enhance the adaptability and intelligence of the process. We conducted experimental analysis on an actual additive manufacturing platform. The experimental results have demonstrated the effectiveness of the proposed method in improving the stability, quality, and efficiency of the manufacturing process. The main results of these studies are summarized as follow:

1. We propose a novel additive manufacturing optimization method based on digital twin and reinforcement learning, which provides an effective solution for intelligent manufacturing.
2. We constructed a new system architecture for optimizing the interaction between digital twins and reinforcement learning. We have designed a virtual simulation platform for additive manufacturing based on digital twins. This architecture is combined with deep reinforcement learning algorithms to achieve automatic adjustment and optimization of process parameters.
3. We conducted experiments on actual additive manufacturing platforms to verify the superiority of the proposed method in improving print quality, optimizing process parameters, and enhancing production efficiency.

1. The Results

1.1. Construction of Digital Twins

Digital twin can reflect the state of additive manufacturing process in real time through real-time data interaction between virtual models and physical entities. In order to achieve efficient monitoring and optimization in the additive manufacturing process, we have developed a digital twin system based on physical modeling and sensor data fusion. The system is implemented through the following key steps as illustrated in Figure 1:

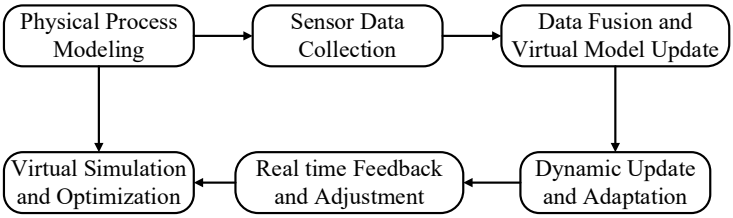


Fig. 1. Workflow of the proposed digital twin

Additive manufacturing is a highly complex process that involves various physical phenomena such as heat conduction, material deposition, stress and deformation. Therefore, first of all, it is necessary to establish a basic physical model of the additive manufacturing process based on the physical characteristics of additive manufacturing. We adopted thermodynamic models to simulate the melting and solidification behavior of materials during heating. And finite element analysis (FEA) is used to simulate the stress and deformation that may occur during the deposition process of materials. Through these physical models, the possible outcomes of additive manufacturing processes under different operating conditions can be estimated in advance.

In the additive manufacturing process, multiple sensors (such as temperature sensors, laser sensors, force/pressure sensors, visual monitoring systems, etc.) are used to collect real-time data. These data provides information about key process parameters such as print head position, temperature field distribution, and deposition

material thickness. By combining sensor data with physical modeling results, the manufacturing process can be dynamically adjusted to detect anomalies in a timely manner and respond accordingly.

Based on the above physical model and real-time sensor data, we constructed a virtual simulation platform for additive manufacturing process. The digital twin platform can not only reflect the actual state of the manufacturing process in real time, but also perform virtual simulation under preset process conditions. When a certain process parameter changes, the simulation platform can quickly evaluate the impact of the change on product quality and feedback the predicted results to the optimization control system.

1.2. Reinforcement Learning based Optimization Digital Twin

In the additive manufacturing process, process parameters such as printing speed, layer thickness, temperature, etc. have a direct impact on the quality and production efficiency of the final product. In additive manufacturing optimization, digital twins provide a dynamic simulation environment for reinforcement learning as illustrated in Figure 2. Reinforcement learning automatically adjusts the process parameters of additive manufacturing by continuously experimenting and optimizing strategies in this environment, thereby achieving adaptive optimization.

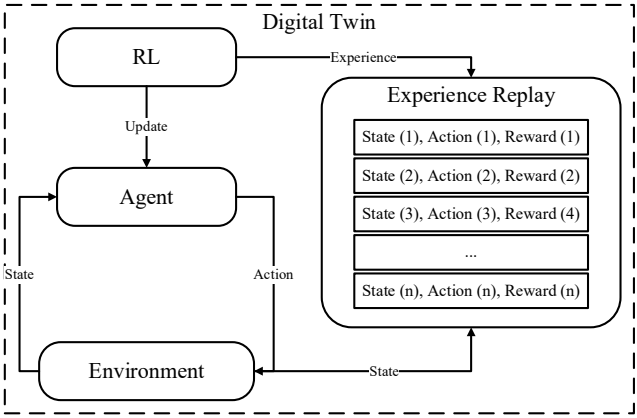


Fig. 2. Workflow of DQN

In the digital twin environment of additive manufacturing, the goal of reinforcement learning is to automatically adjust key parameters in the manufacturing process (such as printing speed, temperature, layer thickness, etc.). This step is implemented through a continuous trial and error process to maximize manufacturing quality and production efficiency. The state space is composed of key factors that affect manufacturing quality. These factors include but are not limited to printing speed, layer thickness, temperature, material flow rate, distance between print head and substrate, etc. By extracting these real-time data from the digital twin

model, we defined a multidimensional state space. And each dimension represents the current value of a process parameter.

The action space includes adjustable process parameters during additive manufacturing, such as changing printing speed, heating temperature, material flow rate, etc. Reinforcement learning explores the optimal combination of process parameters by selecting these actions to improve production efficiency and product quality.

The reward function considers two aspects: first, the quality of the manufacturing process, including surface smoothness, accuracy, and defect count; second, production efficiency, encompassing printing time and material wastage. The second is production efficiency, such as printing time, material waste, etc. Therefore, the reward function can be defined as:

$$R(s,a) = \alpha \cdot Quality(s) + \beta \cdot Efficiency(s,a) \#(1)$$

We choose Deep Q-Network (DQN) as the core algorithm for reinforcement learning. During the training process, the intelligent agent interacts with the digital twin simulation platform. When the state of the environment (manufacturing process) is updated, the agent selects an action based on the current state and updates the strategy based on the reward feedback from the environment. The training process is as follows:

1. The parameters of Q-Network and target network are randomly initialized. And an experience pool is prepared to store the interaction data between the intelligent agent and the environment.
2. Weuse the ϵ greedy strategy to select actions. A random action is explored with probability ϵ, and choose the action with the highest Q value in the current Q network is chosen with probability $1-\epsilon$.
3. The agents interact with additive manufacturing. They conduct actions, and receive rewards for environment feedback. At each step, the experience (state, action, reward, next state) is storedin to the experience pool. DQN samples batch data from the experience pool for training. The error of Q values is calculated and DQN updates the parameters of the network.
4. The parameters of the target network are regularly updated to the parameters of the current Q-Network.
5. As the training continues, the intelligent agent gradually learns the optimal process parameter adjustment strategy, thereby achieving optimization of the additive manufacturing process.

1.3. Experimental Settings

To verify the effectiveness of the digital twin and reinforcement learning based additive manufacturing optimization method, we designed a series of experiments to evaluate the performance of the method under different operating conditions. In the experiment, we used reinforcement learning to automatically adjust key parameters in the additive manufacturing process, such as printing speed, layer thickness, temperature, etc., to improve the stability of the manufacturing process and the quality of the product.

We have created a virtual simulation environment using digital twin models, in which the DQN algorithm can simulate the impact of different process parameters on printing results. The results of each simulation will be fed back to the DQN algorithm, which adaptively adjusts the process parameters based on the state and reward function.

The 3D printer used in the experiment has precise temperature and printing speed adjustment capabilities and is equipped with multiple sensors for real-time monitoring. And multiple sensor sare equipped for real-time monitoring of the printing process. Sensors mainly include temperature sensors, displacement sensors, force sensors, and cameras, which are used to real-time collect various process parameters and product quality information during the printing process. The optimization objectives required in the experiment include printing speed (mm/s), layer thickness (mm), and temperature (°C). The methods in the experiment include experience setting, Grey Wolf Optimization (GWO), and DQN used in this paper. The evaluation metrics include printing time (min), quality score (0-10), and size error (mm).

1.4. Comparative Experiments

The experimental results are presented in Table 1. The results show that the optimization method based on DQN performs significantly better than traditional experimental methods and Grey Wolf Optimization Algorithm (GWO) in the additive manufacturing. Compared to traditional methods, DQN significantly reduces printing time (approximately by 24.83 minutes), decreases dimensional errors (by approximately 0.53 mm), and effectively reduces material costs (by approximately 2.42%). Meanwhile, DQN also performed the best in terms of print quality, with a quality score of 9.25 points, an improvement of 2.53 points compared to traditional methods. Overall, the DQN optimization method has significant advantages in improving production efficiency, reducing errors, saving materials, and enhancing print quality, demonstrating its enormous potential in intelligent manufacturing.

Table 1

Method	**Time (min)↓**	**Error (mm)↓**	**Material Coast (%)↓**	**Quality (0-10)↑**
Experiments	124.26	0.82	100.00	6.72
GWO	107.81	0.47	102.81	8.48
DQN(Ours)	94.43	0.29	97.58	9.25

Conclusions

In this paper, we proposed a novel additive manufacturing optimization method that combines reinforcement learning and digital twin technology. By constructing a digital twin model, we performed real-time monitoring and simulation of the additive manufacturing process. Additionally, DQN was utilized to

adaptively optimize key process parameters, achieving efficient control and optimization. And DQN is used to adaptively optimize key process parameters, achieving efficient control and optimization of the additive manufacturing process. The experimental results have demonstrated the significant advantages of this method in improving the quality, stability, and manufacturing efficiency of additive manufacturing products. Compared to traditional optimization methods, the proposed framework has higher automation and adaptability, and can dynamically adjust process parameters and optimize manufacturing processes based on real-time data and production environment.

However, despite achieving good results in experiments, the proposed method still faces some challenges in practical applications, such as how to achieve real-time and efficient optimization in more complex industrial environments. Future research will further explore the application effects under different manufacturing conditions, and optimize the real-time adaptability of the algorithm in large-scale production. In addition, with the advancement of sensor technology and the improvement of data collection methods, the combination of digital twins and reinforcement learning in additive manufacturing optimization methods is expected to have greater potential in future intelligent manufacturing.

References

1. Павленко П.М. Цифрові двійники та адитивні технології в металообробних галузях // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024): XIV Міжнародна науково-практична конференція (м. Чернігів, 23–24 травня 2022 р.): у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» – Чернігів : ЧНТУ, Т. 2., С. 139–142.
2. Li, H., Shi, X., Wu, B., et al. (2024). Wire arc additive manufacturing: A review on digital twinning and visualization process. Journal of Manufacturing Processes.
3. Chen, Z., Surendraarcharyagie, K., Granland, K., et al. (2024). Service oriented digital twin for additive manufacturing process. Journal of Manufacturing Systems.
4. Zhao, H., Liu, Q., Sun, H., et al. (2024). Community Awareness Personalized Federated Learning for Defect Detection. IEEE Transactions on Computational Social Systems.
5. Shakya, A. K., Pillai, G., Chakrabarty, S. (2023). Reinforcement learning algorithms: A brief survey. Expert Systems with Applications, 231, 120495.
6. Vagenas, S., Panoutsos, G. (2023). Stability in Reinforcement Learning Process Control for Additive Manufacturing. IFAC-PapersOnLine.
7. Dharmadhikari, S., Menon, N., Basak, A. (2022). A Reinforcement Learning Approach for Process Parameter Optimization in Additive Manufacturing. ArXiv, abs/2211. 09545.

УДК 629.735.33:004.932.2:681.586

Е.А. Дрига
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Методика автономної навігації FPV-квадрокоптера з мінімальним набором сенсорів на основі аналізу оптичного потоку

Розглянуто методику інтегрованої навігації FPV-квадрокоптера, що використовує барометр, IMU та камеру, і забезпечує автономний набір висоти та наближення до об'єкта. Застосування PID-контролера з аналізом оптичного потоку дозволяє ефективно управляти апаратом за умов обмежених обчислювальних потужностей.

Проблема навігації квадрокоптера без використання GPS є актуальною для експериментів та застосувань у закритих приміщеннях чи інших умовах, де супутниковий сигнал недоступний. У таких випадках дрон мусить орієнтуватися, спираючись лише на бортові сенсори: барометр (вимір висоти), інерціальний модуль (гіроскоп і акселерометр для оцінки обертів і прискорень) та камеру для комп'ютерного зору. Завдання полягає в тому, щоб за допомогою цього обмеженого набору сенсорів визначити, чи наближається FPV-квадрокоптер до певного об'єкта, чи віддаляється від нього. Це дозволить реалізувати базову навігацію – наприклад, рух до цілі або уникнення зіткнень – без складних обчислень на кшталт повноцінного SLAM.

Для стабільного та точного утримання висоти мультикоптера у процесі наближення до об'єкта використовується PID-регулятор, заснований на даних барометричного датчика.

Барометричний датчик вимірює атмосферний тиск і дозволяє визначити висоту польоту апарату. PID-контролер отримує поточну висоту, порівнює її із заданою (бажаною) висотою і формує сигнал управління, спрямований на коригування потужності двигунів та утримання дрона на фіксованому рівні [1].

Динаміку вертикального руху квадрокоптера апроксимовано як подвійний інтегратор, що описується рівнянням:

$$m\ddot{z}\,(t) = u(t), \tag{1}$$

де m=2 кг, $\ddot{z}$ – початкова висота, а u(t) – надлишкова тяга, яка враховує компенсацію сили тяжіння (mg).

Як відомо, передавальна функція об'єкту керування (plant transfer function) має вигляд:

$$G(s) = \frac{1}{2s^2}, \tag{2}$$

Класичний PID-контролер із передавальною функцією:

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s, \tag{3}$$

синтезується з використанням методів розміщення полюсів, що дозволяють отримати бажану швидкість реагування та стабільність системи при досягненні цільової висоти.

Наочне зображення симуляції крокової реакції для регулювання висоти наведено на рис. 1.

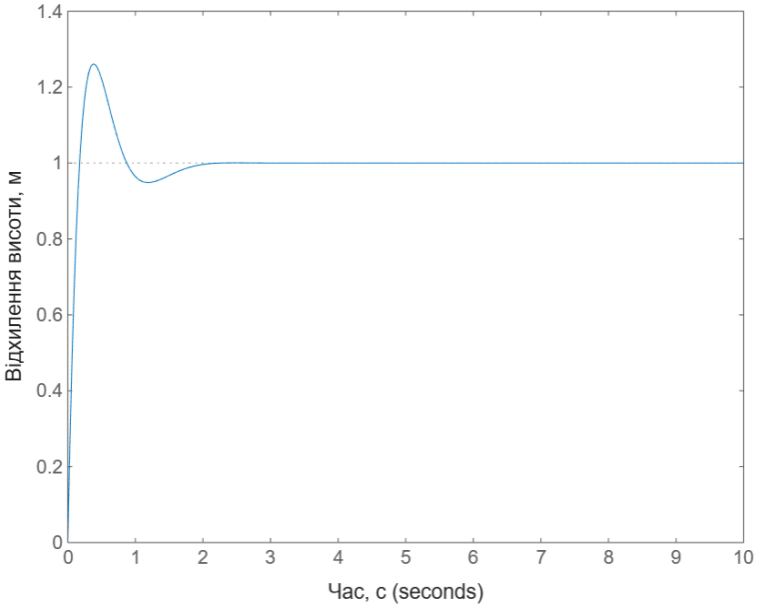


Рис. 1. Симуляція крокової реакції для регулювання висоти

Одним із підходів до визначення прогресу руху є наступний. Камера використовується для отримання зображення цільового об'єкта. При наближенні квадрокоптера об'єкт у полі зору збільшується, що можна спостерігати як зростання його видимого розміру або дивергенції оптичного потоку [2].

Якщо розміри чи масштаб об'єкта на зображенні зростають з часом, це явна ознака того, що дрон наближається до нього (ефект наближення, або looming). Біологічно цей просторовий сигнал також використовується для оцінки загрози зіткнення: людина чи тварина помічає не сам факт зміни розміру, а саме наближення об'єкта, що викликає це збільшення. В дослідженні підкреслено, що аналіз розширення контурів перешкоди може компенсувати брак паралаксу в оптичному потоці і є ефективним для фронтального зближення, де методи на основі власне потоку часто малоефективні.

Методика базується на співвідношенні між «розбіжністю» оптичного потоку та зменшенням відстані до цільового об'єкта. Якщо зміни в масштабі об'єкта у кадрі перевищують певний поріг, це свідчить про наближення. Результат аналізу камери інтегрується з даними IMU (гіроскоп і акселерометр), що дозволяє компенсувати ефект швидких рухів або обертання платформи, забезпечуючи більш стабільну оцінку відстані [3]. Графічне зображення динаміки відстані до об'єкта наведено на рис. 2.

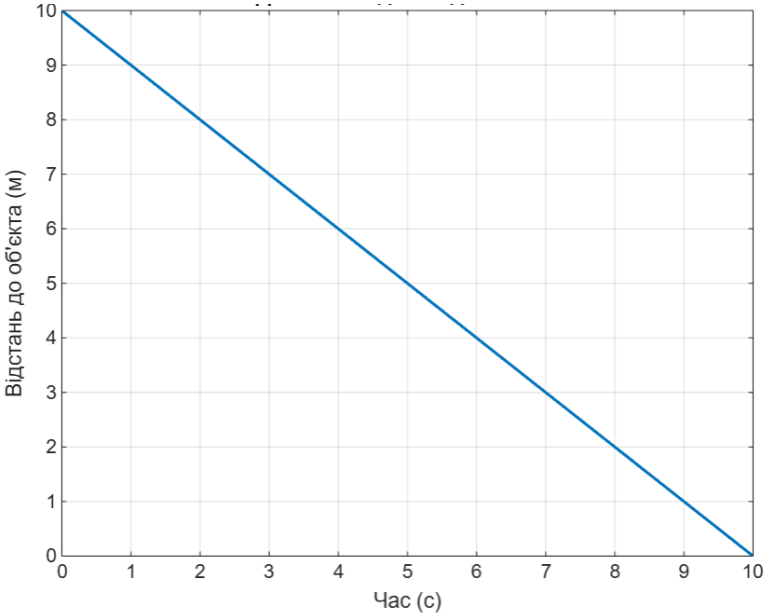


Рис. 2. Динаміка відстані до об’єкта

Хоч барометр і не дає інформації про горизонтальну відстань до об’єкта, він відіграє важливу роль у спрощенні задачі. Стабілізація висоти за барометричними даними гарантує, що зміни масштабу об’єкта чи оптичного потоку обумовлені переважно горизонтальним рухом, а не хаотичним зниженням чи підйомом дрона. Таким чином, барометричний сенсор (у поєднанні з акселерометром для згладжування шуму) дозволяє виконувати утримання висоти, звільняючи обчислювальні ресурси для аналізу камери. Крім того, гіроскоп забезпечує утримання стабільної орієнтації та курсу: якщо дрон тримає фіксований напрямок на ціль, інтерпретація оптичних даних стає простішою (вектори потоку вказують саме на радіальний рух від цілі). В деяких реалізаціях корисним може бути періодичний незначний маневр (покачування або обертання) для отримання додаткового паралаксального зсуву − це покращує надійність вимірювання відстані за рахунок появи бічного оптичного потоку навіть при лобовому зближенні [4]. Проте, такі маневри слід виконувати обережно, щоб не втратити стабільність польоту.

Система ділиться на два основні підсистеми: регулювання висоти (через PID-контролер) та модуль набору відстані на основі аналізу зображення.

Під час польоту дані від барометра забезпечують підтримання заданої висоти, у той час як результати обробки відеосигналу використовуються для

прийняття рішень щодо руху вперед або корекції траєкторії при наближенні до об’єкта.

Методика розрахунку параметрів PID-контролера проводиться із застосуванням бажаного розміщення полюсів замкнутої системи (наприклад, один дійсний полюс та пара комплексно спряжених), що забезпечує плавність регулювання та адаптацію до швидких змін умов [5].

Висновок

Представлений підхід інтегрує класичне PID-регулювання для підтримання заданої висоти квадрокоптера з методами комп’ютерного зору, зокрема аналізу оптичного потоку та зміни масштабу об’єкта у кадрі, що дозволяє ефективно визначати факт наближення до цільового об’єкта. Це забезпечує можливість реалізації базової навігації без використання складних сенсорних систем чи зовнішніх джерел позиціонування (наприклад, GPS), що критично важливо для експериментів у замкнутих просторах або в умовах перешкод. Завдяки використанню лише барометра, IMU (акселерометра та гіроскопа) та звичайної камери, система залишається надзвичайно простою з точки зору апаратного забезпечення. Це не лише зменшує загальну вартість і енергоспоживання апарата, але й дозволяє її реалізувати на обчислювально обмежених платформах, таких як мікроконтролери або компактні одноплатні комп’ютери. Підбір PID-параметрів на основі моделі подвійного інтегратора та бажаного розміщення полюсів дає змогу досягти прийнятної динаміки підйому, навіть без точного моделювання аеродинаміки дрона. У підсумку, розроблена система може слугувати базою для подальших досліджень у сфері автономної навігації та посадки дронів, розпізнавання і стеження за об’єктами, а також розширення функціоналу без додаткових сенсорів. Отримані результати підтверджують, що навіть прості математичні моделі й енергоефективні алгоритми, за умови правильного поєднання, здатні забезпечити надійне керування і виконання основних завдань автономного польоту. Це відкриває перспективи для створення доступних, масштабованих і придатних до мобільного застосування рішень у сфері безпілотних літальних апаратів.

Список літератури

1. Lee, J. та Chen, M. «Recent Advances in Visual-Inertial Navigation for Drones» (Том 1, випуск 1). Нью-Йорк: IEEE Press, 2020, 400 с.
2. Miller, A. B. та Miller, K. S. «Deep Learning Approaches for Autonomous Drone Navigation» (Том 1, випуск 1). Сан-Франциско: Morgan & Claypool, 2021, 320 с.
3. MathWorks. «MATLAB and Simulink for Control Systems» (Том 1, випуск 1). Натік: MathWorks, 2018, 300 с.
4. Siciliano, B. та Khatib, O. «Springer Handbook of Robotics» (Том 2, випуск 1). Лондон: Springer, 2016, 1400 с.
5. Beard, R. W. та McLain, T. W. «Small Unmanned Aircraft: Theory and Practice» (Том 1, випуск 1). Нью-Йорк: Princeton University Press, 2012, 480 с.

УДК 004.4:005

Т.В. Холявкіна, к.т.н., доцент, П.І. Мельниченко, М.О. Кравченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Vibe coding – новий тренд управлінням створення програмних продуктів

Розглянуто термін vibe coding як спосіб управлінням створення програмних та цифрових продуктів. Представлено проблематику та рекомендації застосування.

Застосування агентів штучного інтелекту (ШІ) у ІТ та дотичних галузях набуває популярності та зумовлено адаптацією ефективного виконання процесів професійної діяльності. Це багатогранно пов'язано: як і пришвидшення досягнення результатів у комплексних складних завданнях, так і отримання більш якісних результатів у виконанні простих завдань, або таких, що часто виконуються.

Як один з варіантів використання агентів у процесах ІТ і є vibe coding. Vibe coding – термін, що ввів Андрій Карпаті, експерт зі ШІ, директор зі ШІ та комп'ютерного зору в Tesla та співзасновник OpenAI; це новий вид кодування, що полягає у написанні коду через взаємодію зі ШІ, що дозволяє швидко створювати програмне забезпечення без заглиблення у деталі реалізації – «… забуваєте, що код взагалі існує.» [1].

Ідея vibe coding полягає у фокусі на загальній картині створюваного продукту, та автоматизації процесу безпосереднього кодування через використання великих мовних генеративних моделей (LLM), навчених на джерелах відкритого коду програмного забезпечення.

Концепції vibe coding та класичного кодування подібні за змістом, але перше має значну перевагу в досягнені результату (рис. 1).

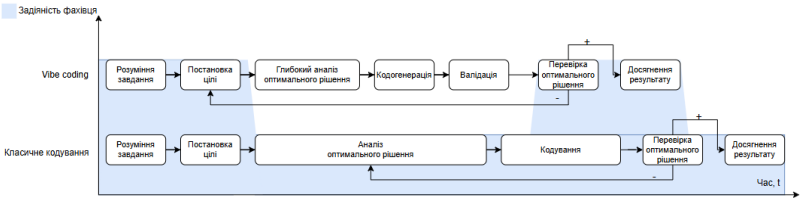


Рис. 1. Концепція vibe coding в порівнянні з класичним кодуванням

Vibe coding вже привернув увагу як досвідчених розробників, які експериментують з новими підходами, так і новачків, які шукають гнучкий початок у сфері ІТ [2].

Як зазначає Андрій Карпаті, для створення продукту – необхідно повністю «довіритись» великим мовним генеративним моделям. Звісно, що повна «довіра» до використання ШІ не є раціональним рішенням, оскільки якість та точність результатів навіть LLM, наразі є недостатньою. Розвиток до належного рівня

моделей агентів, при якому може бути висока «довіра», ще потребуватиме багато часу та зусиль. Попри це, застосування агентів аргументоване перевагами. До основних переваг зазначають [3]:

- Значне прискорення розробки шаблонів, компонентів чи навіть цілих сценаріїв;
- Швидке створення та перевірка нових ідей та концепцій;
- Зменшення порогу входу для тих, хто не володіє специфічними знаннями чи має недостатню компетенцію у використанні технологій.

Однак, vibe coding має низку суттєвих обмежень і ризиків, про які необхідно пам'ятати. У протитезу А. Карпаті, Саймон Уілісон та інші експерти у області розробки та авторів фреймворків зазначають: головна проблема полягає в тому, що LLM добре справляються зі створенням шаблонних рішень, проте їм бракує глибокого розуміння контексту і завдань, яке властиве досвідченим розробникам: «Робота розробника програмного забезпечення полягає не (лише) у створенні коду та функцій. Нам потрібно створити код, який явно працює, може бути зрозумілий іншим людям (і машинам), і який підтримуватиме продовження розвитку в майбутньому.» [4].

Агенти дійсно можуть покращувати професійну діяльність, але без чіткого розуміння (та і цільового досвіду), їх застосування може поточно покращити стан розробки, але може нести і непередбачувані катастрофічні наслідки. Тобто, застосування агентів як спосіб управління створенням продукту має сенс при:

- Високому рівні володіння технологіями та знаннями, коли фахівець неодноразово досягав поставлених цілей, знаходивши оптимальні рішення;
- Низьких ризиках та розуміння відповідальності (автоматизації досягнення простих чи примітивних цілей, усвідомленням безпечності того, що створюється);
- Достатньому часу на дослідження та оптимізації продукту (глибоке тестування, прогнозування та валідація продукту);
- Швидкому навчанні нових технологій (генерації ідей та засвоєння принципів);
- Додаткової практики (pet-проекти, DIY-рішення «для себе»).

Дослідження GitHub Next, підтвердило позитивний вплив агентів ШІ (на прикладі GitHub Copilot), на продуктивність і задоволеність розробників. У результатах дослідження було виявлено, що [5]:

- Близько 75% розробників відзначають зростання задоволеності роботою;
- Понад 90% заявили про прискорення виконання завдань, особливо монотонних;
- Користувачі GitHub Copilot виконують завдання в середньому на 55% швидше.

Для компетентного застосування vibe coding, рекомендується дотримуватись наступних правил:

- Автоматизовувати задачі популярними, простими або тими, що добре усвідомлюються технологіями, оскільки LLM краще справляються з

популярними і добре документованими технологіями, а контроль розробником отриманого результату унеможливить код низької якості;

- Користуватись системами контролю версій (наприклад, Git), та регулярно робити версіонування, щоб зменшити ризики втрати інформації;
- Надавати чіткі та детальні описи ШІ процесів та результату, що потрібно досягнути, залишаючи «творчість» не LLM а розробникам та зменшуючи ризик помилок;
- Ретельно контролювати та валідувати отриманий код, ніколи не розглядаючи автоматично згенерований код як готове досконале рішення.

Висновки

Vibe coding пропонує інноваційний підхід управлінням створення програмних та цифрових продуктів, завдяки якому фахівці можуть швидше досягати рішення задач, перевіряти ідеї, поглиблювати компетенцію та досліджувати проекти. Застосування практики як автоматизації процесів управління створення продуктів доцільне при високому рівні компетентності, досвіді та однозначному прийнятті відповідальності за наслідки або у цілях гнучкого навчання. Агенти ШІ – не заміна професійним кадрам, а потужні інструменти для полегшення професійної діяльності. Для досягнення належного рівня «довіри» до агентів ШІ та повному покладанні на застосуванні рішень LLM, необхідні подальші довгострокові дослідження та розробки. Vibe coding не замінить традиційне кодування, а доповнить його, відкриваючи нові інновації.

Список літератури

1. Andrej Karpathy. URL: https://x.com/karpathy/status/1886192184808149383
2. Yuan J., Miao K., Oh H., Walker I., Xue Z., Katolikyan T., Cavallo M. VibE: A Visual Analytics Workflow for Semantic Error Analysis of CVML Models at Subgroup Level. Proceedings of the 30th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '25). 2025. С. 1529–1547.
3. The Vibe Coding Mind Virus Explained + 3 Simple Rules to Vibe Your Way Without Breaking Things. URL: https://medium.com/data-science-collective/the-vibe-coding-mind-virus-explained-3-simple-rules-to-vibe-your-way-without-breaking-things-4762553fecb3
4. Not all AI-assisted programming is vibe coding (but vibe coding rocks). URL: https://simonwillison.net/2025/Mar/19/vibe-coding/
5. Research: quantifying GitHub Copilot's impact on developer productivity and happiness. URL: https://github.blog/news-insights/research/research-quantifying-github-copilots-impact-on-developer-productivity-and-happiness/#:~:text=,8%2C%209

УДК 004.056.5

В.М. Сидоренко, к.т.н., доц. Б.Ю. Кобільник, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ)

Аналіз існуючих підходів до забезпечення стійкості критичних інформаційних систем

Стійкість критичних інформаційних систем (КІС)- це здатність безперервно функціонувати або швидко відновлюватися після збоїв. В умовах зростання кіберзагроз та різноманітних дестабілізуючих факторів визначальним чинником захищеності та стабільності роботи критичної інфраструктури є забезпечееня стійкості КІС. В роботі проведено аналіз технічних підходів для забезпечення доступності та відмовостійкості КІС. Встановлено, що розглянуті підходи виконують взаємодоповнювальні функції, а їх комбіноване застосування забезпечує безперервність бізнес-процесів критичної інфраструктури навіть за деструктивних умов.

Забезпечення безперервної роботи КІС є першорядним завданням, адже навіть короткочасний простій може призвести до значних збитків чи ризиків. Сучасні організації прагнуть мінімізувати час простою (досягти майже нульового простою) та забезпечити високу відмовостійкість інфраструктури. Наукові дослідження відзначають, що відмовостійкість і забезпечення безперервності є одними з найважливіших викликів у галузі ІТ, особливо в хмарних середовищах [1]. Для досягнення цієї мети застосовують низку технічних підходів. Нижче систематизовано шість ключових підходів, що підвищують стійкість КІС, з аналітичним оглядом їхніх особливостей та взаємодоповнюваності.

Резервування передбачає дублювання критичних компонентів системи, усуваючи єдині точки відмови. Це може бути апаратне резервування (дублювання серверів, мережевих інтерфейсів тощо) або програмне (резервні служби чи копії сервісів). Метою є гарантувати, що відмова одного компонента не призведе до зупинки всієї системи – замість цього автоматично активується резервний компонент [2]. Такий надлишковий дизайн істотно підвищує доступність системи. Звісно, впровадження резервування потребує балансу між вартістю та надійністю. Таким чином, надлишкові компоненти гарантують, що відмова одного елемента не зупинить всю систему, а навантаження автоматично переймає інший компонент.

Реплікація даних полягає у підтримці кількох копій даних на різних вузлах чи сховищах. За рахунок цього досягається стійкість до збоїв збереження. Реплікація може бути синхронною або асинхронною. При синхронній реплікації зміни даних одночасно записуються на кілька вузлів, що мінімізує втрати даних, але потребує надійного зв'язку [3]. Асинхронна реплікація переносить дані з певним запізненням, зате доставляє на географічно віддалені копії без критичних затримок. В обох випадках реплікація підвищує доступність: система продовжує роботу навіть при втраті одного сховища, а дані залишаються цілісними для відновлення. При проєктуванні реплікації враховують вимоги до цілі відновлення та часу відновлення, щоб оптимально

поєднати частоту копіювання, затримки мережі та допустимий обсяг втрати даних.

Кластеризація передбачає об'єднання декількох серверів або вузлів у єдиний кластер, що працює як цілісна система. Кластер діє за принципом спільного виконання задач із моніторингом стану вузлів і автоматичним перемиканням у разі збою. Існують конфігурації active-active (всі вузли одночасно обслуговують запити) та active-passive (частина вузлів у режимі очікування). Перевагою кластерів є відсутність єдиної точки відмови – якщо один вузол виходить з ладу, його роль перебирає інший вузол без перерви в наданні послуг [4]. Дослідження свідчать, що високодоступні кластери залишаються одним з основних способів досягнення безперервної роботи: їм присвячено розробку класифікацій і таксономій, що систематизують різні архітектури та підходи кластеризації для відмовостійкості. Наприклад, кластери баз даних забезпечують безперервність роботи шляхом дублювання серверів і спільного сховища, а кластерні рішення для застосунків розподіляють навантаження та виконують автоматичний failover при збоях.

Географічне резервування (географічна надлишковість) – це розміщення резервних компонентів системи у віддалених одне від одного локаціях. Мета – захиститися від регіональних катастроф або відмов цілих дата-центрів. Якщо всі вузли системи розташовані в одному центрі обробки даних, такі загрози, як стихійне лихо, відключення електроенергії чи мережі, можуть одночасно вивести їх з ладу. Натомість розподіл інфраструктури між кількома містами чи країнами створює мульти-регіональну архітектуру, стійку до локальних збої. Сучасні хмарні платформи підтримують географічне резервування за допомогою наборів доступності та зон відмовостійкості – фізично відокремлених майданчиків всередині регіону, або через розміщення серверів у декількох регіонах одночасно. Географічно розподілені конфігурації нерідко реалізуються у режимі active-active, коли кілька територіально віддалених вузлів одночасно обробляють запити, забезпечуючи і відмовостійкість, і балансування навантаження.

Аварійне перемикання (failover) – це механізм автоматичного переходу на резервну систему або вузол у разі відмови основної. При виявленні збою спеціалізоване програмне забезпечення кластерів або оркестрації здійснює перемикання користувацького трафіку чи задач на наперед підготовлений запасний ресурс. В результаті відбувається лише короткочасне зниження продуктивності або пауза в обслуговуванні, після чого система продовжує роботу на резервному обладнанні. Аварійне перемикання тісно пов'язане з попередніми підходами: саме наявність резервування, реплікованих даних і кластерів забезпечує наявність середовища, куди можна переключитися. Ключовим є виявлення збоїв та швидкодія перемикання – сучасні рішення використовують health-check монітори, які з частотою в секунди відслідковують стан компонентів, та автоматизовані сценарії переключення (на рівні DNS, балансувальників навантаження, контейнерних оркестраторів тощо) для мінімізації простою.

Хмарні технології надають інструменти для реалізації вищезгаданих підходів із меншою затратністю. Хмарні провайдери (AWS, Azure, тощо)

пропонують готові рішення для резервування та відмовостійкості: від розподілених сховищ з багатозонною реплікацією до керованих кластерів баз даних і контейнерних оркестраторів з автоматичним failover. Архітектурні тактики забезпечення надійності в хмарі включають багаторівневе резервування інфраструктури, ізоляцію зон відмов, автоматичне відновлення інстансів та масштабування на вимогу [5]. Дослідники відзначають, що хмарні сервіси втілюють багато принципів стійкості: наприклад, AWS побудовано з фокусом на таких атрибутах як надійність і доступність, які реалізуються через конкретні технічні рішення (географічно розподілені зони, дублювання компонентів, балансувальники навантаження. Перехід на хмарну інфраструктуру також спрощує впровадження мульти-хмарних стратегій – одночасного використання кількох незалежних провайдерів. Такий підхід підвищує стійкість за рахунок диверсифікації.

Висновок

Стійкість КІС базується на поєднанні кількох технічних підходів. Резервування, реплікація, кластеризація, географічне резервування, аварійне перемикання та хмарні технології виконують взаємодоповнювальні функції. Їх інтеграція дозволяє створити надійну архітектуру, здатну протистояти як окремим збоям, так і масштабним аваріям. Досвід впровадження у різних сферах ІТ підтверджує, що саме комбіноване застосування цих методів забезпечує найвищу ефективність у досягненні безперервності бізнес-процесів навіть за деструктивних умов.

Список літератури

1. Malhotra, A., Elsayed, A., Torres, R., & Venkatraman, S. (2023). Evaluate Solutions for Achieving High Availability or Near Zero Downtime for Cloud Native Enterprise Applications. IEEE Access, 11, 85384–85394. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3303430

2. Mushtaq, S. U., Sheikh, S., Idrees, S. M., & Malla, P. A. (2024). In-depth analysis of fault tolerant approaches integrated with load balancing and task scheduling. Peer-to-Peer Networking and Applications, 17, 4303–4337. https://doi.org/10.1007/s12083-024-01798-5

3. Rathore, H., & Kushwaha, P. (2025). Leveraging Multi-Cloud Strategies for Resilience and Disaster Recovery: Architecting Redundancy for High Availability and Continuity. International Journal of Multidisciplinary Research in Science, Engineering and Technology, 8(2), 1111–1119.

4. Somasekaram, P., Calinescu, R., & Buyya, R. (2022). High-Availability Clusters: A Taxonomy, Survey, and Future Directions. Journal of Systems and Software, 187, 111208. https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111208

5. Milhem, H. A. I. B., & Harrison, N. B. (2022). The Quality Attributes and Architectural Tactics of Amazon Web Services (AWS). В збірці: 2022 IEEE Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC) (с. 363–367). IEEE.

UDC 004.413, 004.05, 004.67, 004.942

A. Tomashuk
(Ukraine)

At an early stage, optimization of the performance of software that describes the work of the artificial central nervous system model

The paper proposes and, briefly, describes a method that allows improving a performance of software that describes a work of the artificial central nervous system model. Such a method – a mathematical model, will improve performance, reduce energy and resource costs.

1. Introduction

The author attempts to form a plan for developing software (SW) that describes the work of the artificial central nervous system (CNS, ACNS) model.

The ACNS model (as well as the artificial peripheral nervous system (PNS, APNS)), which is formed on the basis of the work of the central nervous system of such a living organism as a human ("homo sapiens"), contains a large amount of information that, in real-time process, must be subject to the process of processing and changing [1].

The anatomy and physiology of the CNS has not been fully studied, therefore, the ACNS model, which is currently formed, requires subsequent editing when "new" information arises.

According to the conditions of the correct work of the ACNS model, the work – information, of this model should be associated with assessments of the quality of work of this model [2]. The model that describes the definition of the quality of the work of the ACNS, when analyzing the information of the ACNS model, uses all known information about this, to determine the quality.

2. The problem and purpose of the study

The problem of the study is the optimization of work of the model that contains and uses, in real time, a large amount of information, in order to reduce the amount of energy costs and resources with less impact on the correctness of work of the model, which is reproduced in the process of simulation on the computer.

The goal is to form a method (including, a mathematical model), which will ensure perfect performance of the ACNS model.

3. Results

3.1. ACNS model elements

The amount of information that relates to the description of the ACNS model, as indicated, earlier, is large.

In addition, optimization is difficult by the fact that there is a problem of identifying a range of elements in the general hierarchy of the object's design, which begins with an atom and ends with an object (organism). Figure 1, briefly, shows the hierarchy of elements.

This problem is as follows.

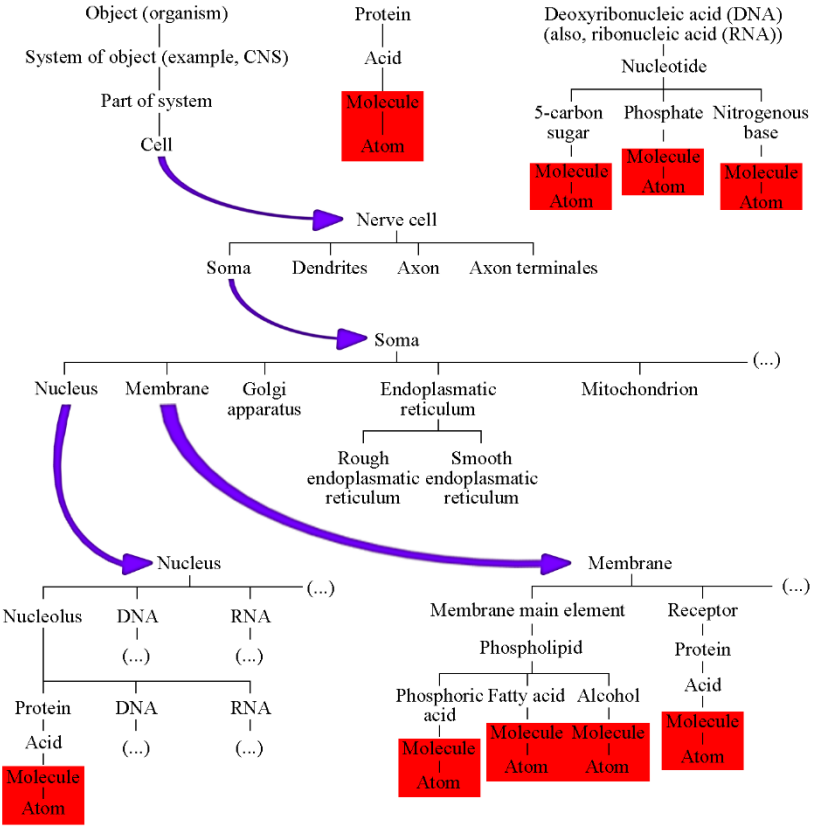


Fig. 1. Hierarchy of the CNS components and elements (description in the text)

To work on the formation of memory, as is known, information is required on the presence and operation of all individual chemical elements and substances, as a whole, – for example, atoms, amino acids, proteins, etc., in the system.

It is possible to distinguish at least two options for improving the performance of the SW, which describe the conditional exclusion of information on individual elements and/or components of the system. As a result, the work of these is not disrupted, however, information on the work of these is presented in the smallest amount.

So, the description of the first method can be as follows.

At a higher level, in the general hierarchy, there are, for example, elements of the cell membrane, which, in addition to proteins – receptors, consist, among other things, of phospholipid – the main element of the membrane, which consists of residues of phosphoric acid, fatty acids and alcohol, which contains a phosphate

group. Probably, it would be possible to neglect this second element of the membrane, and not use information regarding it in the SW.

There are other objects, information about which could be neglected. This would be convenient, since the SW performance would be higher.

However, in this case, it would be a selective exclusion of information about existing objects, which violates the hierarchy, in general.

The second method can be described as.

As shown in Figure 1, it is possible, conditionally, for all components, to exclude information about the work of elements of two positions that are at the lowest positions of the hierarchy – molecules and atoms. This would be convenient in order to ensure high SW performance; however, this violates the correctness of the ACNS model – for example, when summing ions (atoms), which, further, leads to polarization of the nerve cell.

As a conclusion, these two options have both advantages and disadvantages.

In addition, the storage and reproduction of information depends on the correct content of the elements of the bottom of the hierarchy. Thus, the second method can be excluded from use, especially, if the goal is to restore the "image" as a copy of a real organism, using information from its own CNS genes.

The method can be taken into consideration, for the third option, which describes a mathematical model of the interaction of elements in the system, which leads to the exclusion of a large amount of information, according to, the same goal.

Such a model can contain in its composition a model of artificial neural networks (ANN) (networks of perceptrons), which can perform the work of an "intermediary" in the exchange of information between two groups of components and elements that have a high priority for the general process of work, and components and elements that have a low priority, therefore they can be formed by one supposed "image" – an object that describes the action of these components and elements in some approximation to the standard. Thus, in general, the work of the system will be disrupted less, but the performance of the SW will be high. In addition, information regarding this should be registered in the input data of the quality control model of the ACNS model.

Therefore, the third option, for use, has a more attractive appearance.

Such a mathematical model can be more difficult, which can lead to more perfect work of the system and SW, in general.

3.2. Work "pattern"

In SW of modern computers, it is impossible to create a set of objects with a set of values, which, in total, is comparable with the total number of those that form, in general, the CNS of a living organism, such as a human. Therefore, today, there is a creation of an approach that is capable of eliminating this problem.

In order to reduce energy consumption and resource costs – random access memory (RAM) of the computer, the following approach can be proposed.

Let, in the process of the SW work, which describes the operation of the ACNS model, always, work a certain set of groups N, in which there is a certain number M of objects of the system – cells and elements of the system – including

individual substances. In general, the work of this can be formed by the results of mathematical model, which, also, in its composition has the ANN model.

The essence of such a mathematical model is not in improving the quality of the work of individual elements in order, for example, to reduce the value of the result of expressing the signal/noise ratio, but in ensuring high performance of the SW without loss of information in the process of the ACNS model work, while providing the required "image" of the information transfer path.

3.3. ACNS information processing

According to the research problem, the following can be highlighted:

- Information, due to the large amount of it, between the elements, in the simulation process, cannot be transmitted using the computer's RAM;
- Information, per conventional unit of time, cannot be transmitted, in full, using the processor, that is available today, of the computer (personal computer).

In fact, if we imagine that, for example, per conventional unit of time – for example, during approximately 10 ms, according to the known information about the speed of information transfer between nerve cells [3], when transmitting information from the thalamus to the primary auditory cortex is required, approximately,

$$Q_{total} = Q_{axon} \cdot q_{term} \cdot q_{ves} \cdot q_{subst},$$

where Q_{axon} is the number of axons, q_{term} is the number of terminals of one axon, q_{ves} is the number of vesicles, q_{ves} is a number of vesicles, q_{subst} is the amount of substance in units; moreover, the expression can be changed due to the uneven distribution of the quantities of vesicles and substances in separate synapses;

individual signals (amino acids), which is much more than 100 000 000 calculations, then a processor that has an operating frequency of 3.4 Hz – or 34 000 000 operations for this conventional unit of time, is not at all suitable for use under standard work conditions.

The shortest time of signal transmission between nerve cells in the CNS is approximately 1 ms [4]. According to this condition, the priority of the optimization problem increases.

In order to reduce the number of calculations, the following proposition can be formulated.

Let, for a conventional unit of time, there is a transmission of signals in the amount of approximately Q_{axon}, since the remaining amount is mainly a repetition of individual signal values – the amounts of amino acids for each separate synapse.

Also, let the total number of synapses per nerve cell, which in structure – including the presence of individual receptors, approximately, repeat one another, will be presented in separate groups, which can be processed further, according to the ANN model. Moreover, separately from this, there is information, that is updated in real time, regarding the quantities and structure of processes – terminals of axons and dendrites.

The method that is given, and describes the process of transmitting information with the help of glutamate, above, in the text, can be similar for other

neurotransmitters – for example, dopamine, when transmitting information from the ventral tegmental area to the primary auditory cortex.

Thus, the result of this is several groups that consist of several groups K of individual quantities L of synapses. However, the final point of information transmission and processing of this, according to this condition, is the next nerve cell in the chain – the nerve cell of the primary auditory cortex, in this case.

Thus, according to the proposed method, the number of calculations is significantly reduced.

However, in addition to this, for a given conventional unit of time, not only the transfer of information, between nerve cells, and its processing occurs – including, the summation of this, but also the work of individual elements of the nerve cell and the cells that are located nearby.

Actually, the tasks of the nerve cell are, at a minimum, the mutation of DNA, RNA and the generation of substances – amino acids and proteins. For this – a large number of calculations are also required.

It is known that mutations of DNA and RNA, a separate nerve cell, occur only when applying a greater stimulus power to this [5].

Working with this information depends, to a large extent, on the database (DB) model and its operation.

However, it is likely that the use of a mathematical model, which also includes ANN, will also reduce the number of calculations – as a set of templates, under some known conditions (including input data) and the results of work at the same time.

However, this statement does not apply to unknown information – during the period when the process of plasticity of the nerve cell occurs, and the creation of proteins that have a unique composition occurs.

3.4. SW DB

Also, to ensure the results that are required, for the same purpose, for the SW, it is necessary to form and use a special type of DB, the results of the joint work of which will lead to perfect performance of the SW.

This DB cannot be represented by only one or several separate files, which describe all the information regarding the system (CNS).

In addition, in real-time regime, the process of searching for information that is required should take little time. Therefore, it cannot have the form of a “simple” iteration process when searching for the required information in the general list – in the file, that relates to the DB.

The method and mathematical model that describes this are required to obtain the best result.

3.5. General system

Also, high priority is given to the phenomenon of telepathy, which, to date, has not been implemented in the form of a mathematical model, as well as, of course, has not been implemented by separate SW, probably, in conjunction with a separate module, which allows transfer information between, at least, two organisms, through the phenomenon of quantum entanglement. However, work on the means that perform the transfer of information by this method is already underway [6].

Earlier, it was concluded that one system of one organism cannot exist without another – another [7]. Here, – talking about homeostasis and dominance in the general system, which works according to the laws of telepathy and the unconscious state, which is active, and works like the work of schizophrenia.

Since the existence of such a system requires an additional number of calculations, a mathematical model that allows saving energy and resources for the work of SW is, also, necessary here.

Conclusion

The work of the SW, which describes the work of the ACNS model, requires the expenditure of large amounts of energy and resources of the computing device in a short period of time.

According to this, at an early stage of SW development, a complex approach was proposed, which should consist of several methods, including mathematical models, which as a result should lead to a reduction in the number of calculations without disrupting the work of the ACNS model and, as a consequence, to optimization of the SW.

In the future, work will be carried out on SW development, in conjunction with the complex approach that was proposed here.

References

1. Tomashuk A. Some Information About Structure of Parts of the Central Nervous System / A. Tomashuk // Colloquium-journal. – 2023. – Vol. 27. – Is. 186. – pp. 44-72.

2. Tomashuk A. At an Early Stage, Formation of a Test Model for a Prototype of the Artificial Central Nervous System Model / A. Tomashuk // XV All-Ukrainian Conference of Young Scientists “Young Scientists 2025- from Theory to Practice”. – Dnipro : 2025. – pp. 330-333.

3. Scheeringa R. Cortical Layers, Rhythms and BOLD Signals / R. Scheeringa and P. Fries // Neuroimage. – 2019. – Vol. 197. – pp. 689-698.

4. Slow Adaptation in Fast-Spiking Neurons of Visual Cortex / V. F. Descalzo, L. G. Nowak, J. C. Brumberg, D. A. McCormick and M. V. Sanchez-Vives // Journal of Neuropsychiology. – 2005. – Vol. 98. – Is. 2. – pp. 1111-1118.

5. Hydén H. Nuclear RNA Changes of Nerve Cells During a Learning Experiment in Rats / H. Hydén and E. Egyházi / Proceedings of the National Academy of Sciences of the U. S. A. – 1962. – Vol. 28. – Is. 8. – pp. 1366-1373.

6. Metropolitan-Scale Heralded Entanglement of Solid-State Qubits / A. J. Stolk, K. L. van Rantwijk, J. J. B. Biemond, R. A. J. Hagen, R.W. Heresy, W. D. Koek, A. J. H. Meskers, R. Vollmer, E. J. van Zwet, M. Markham, A. M. Edmonds, J. F. Geus, F. Elsen, B. Jungbluth, C. Haefner, C. Tresp, J. Stuhler, S. Ritter and R. Hanson // Science Advances. – 2024. – Vol. 10. – Is. 44. – eadp6442.

7. Tomashuk A. Theoretical Information Regarding Methods and Means of Protection and Restoration of Health of the Organism Which is Subject to Communication With the Help of the Phenomenon of Telepathy / A. Tomashuk // Colloquium-journal. – 2024. – Vol. 31. – Is. 224. – pp. 50-53.

УДК 004.4:004.94

Є.С. Мисько
(Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»)

Інженерія програмного забезпечення у розробці відеоігор: від ідеї до реалізації

У роботі досліджено особливості інженерії програмного забезпечення в розробці відеоігор. Розглянуто вибір рушія, архітектурні підходи, командну роботу та технічні виклики. Проаналізовано процес створення гри від ідеї до релізу з урахуванням технічних і творчих аспектів геймдеву.

Ігрова індустрія зараз стрімко розвивається і вже давно вийшла за рамки простої розваги. Сучасні відеоігри — це складні програмні продукти, що об'єднують у собі, графічний дизайн, звуковий супровід і, найголовніше, інженерію програмного забезпечення. Від мобільних головоломок до масштабних відкритих світів — за кожною грою стоїть велика кількість технічних рішень, архітектурних підходів і тисячі рядків програмного коду.

Інженерія програмного забезпечення в ігровій індустрії має свої унікальні особливості. Тут важливо не лише створити функціональну систему, а й забезпечити високу продуктивність, взаємодію з користувачем у реальному часі, візуальну складову продукту і гнучкість у подальшій розробці. Від правильного вибору рушія до оптимізації кожного кадру є складовою частиною складного, але дуже захопливого процесу.

Вибір технологій та інструментів

Вибір ігрового рушія є основою всіх ігор, бо саме він надає набір інструментів і бібліотек, які дозволяють розробникам не створювати базові системи «з нуля», а використовувати готові компоненти для рендерингу, фізики, анімації, керування ресурсами тощо.

Найпопулярніші рушії:

- **Unity**: один із найпоширеніших рушіїв, особливо у сфері мобільних ігор та інді-проєктів. Підтримує C#, має великий маркет активів, простий в освоєнні, чудово підходить для кросплатформних ігор;
- **Unreal Engine**: відомий своїми фотореалістичними візуальними можливостями та використанням у AAA-проєктах. Працює на C++, також має візуальне програмування через Blueprints. Ідеальний для амбітних 3D-проєктів;
- **Godot Engine**: відкритий, легкий у використанні рушій з власною мовою GDScript. Ідеальний для 2D-проєктів, а також інді-розробки з відкритим кодом [1].

Правильний вибір технологій на старті проєкту значно впливає на успіх гри. Вибір рушія залежить від типу гри, технічних вимог та навичок команди. Наприклад, Unity часто використовують для мобільних і VR-ігор, Unreal — для консольних ігор з високою графікою, а Godot — для невеликих 2D-ігор. Та все ж важливо не лише обрати інструменти, які підходять під задачу, але й розуміти їхні

обмеження, щоб уникнути проблем у майбутньому. Саме тут починається інженерія програмного забезпечення — з аналізу, зваження варіантів та ухвалення рішень.

Від ідеї до реалізації

Створення гри — це не лише написання коду, а складний багаторівневий процес, який поєднує творчість, планування, інженерію та командну взаємодію. Ідея — це лише перший крок. Щоб вона перетворилася на повноцінну гру, необхідно пройти кілька ключових етапів розробки.

На етапі формування ідеї зароджується концепція гри. Визначаються жанр, стиль, механіки, сюжет, цільова аудиторія. Основне завдання — зрозуміти, *що саме ми хочемо зробити* і *для кого*. Команда створює:

- **Геймдизайн-документ (GDD)** — головний документ проєкту, який описує всі аспекти гри: від механік до настрою;
- **Технічне завдання** — опис архітектури, мов програмування, інструментів, рушія;
- **Перші ескізи/прототипи** — наближення до візуального стилю гри.

Усе це допомагає уникнути хаосу та всіляких непорозумінь в майбутньому та закладає технічну базу для ефективної розробки.

Основним етапом є сама реалізація проєкту, де всі ідеї втілюється в реальність. Команда виконує багато паралельних задач:

- **Програмування** — створення логіки гри, гравця, об'єктів, UI, систем збереження, фізики, анімації, звуків;
- **Архітектура** — побудова гнучкої структури проєкту (наприклад, за принципами SOLID, MVC або ECS);
- **Графіка** — розробка 2D-спрайтів або 3D-моделей, анімація, ефекти;
- **Звук** — створення або імпорт музики, звукових ефектів;
- **Інтеграція** — об’єднання всіх компонентів в одну систему.

Часто цей етап включає **ітераційний підхід**: створюється базова версія гри (прототип), яка постійно вдосконалюється.

Коли основна частина гри готова, розпочинається етап фінального тестування, виправлення помилок та оптимізації.

- **Тестування** — перевірка гри на баги, стабільність, UX;
- **Оптимізація** — поліпшення продуктивності, зменшення ваги гри;
- **Портинг** — адаптація гри під різні платформи (якщо потрібно);
- **Реліз** — публікація гри на платформах (Steam, Google Play, App Store та ін.);
- **Підтримка** — оновлення, патчі, DLC, спілкування з гравцями. Постійна взаємодія та адаптація [2].

Розробка гри рідко буває лінійною. У процесі можуть змінюватися ідеї, механіки або навіть рушій. Інженери ПЗ мають швидко адаптувати архітектуру, оптимізувати систему під нові вимоги, знаходити компроміс між продуктивністю та функціональністю, а в деяких ситуаціях це дуже важко, що може спричинити і інші проблеми.

Особливості інженерії в геймдеві

Інженерія програмного забезпечення в ігровій індустрії суттєво

відрізняється від класичної розробки. Гра — це не лише набір функцій, а повноцінний інтерактивний досвід, який має бути стабільним, швидким і емоційно захоплюючим. Розробники працюють з великою кількістю об'єктів у режимі реального часу: фізика, анімації, керування, штучний інтелект, звуки, взаємодія з користувачем — усе це повинно працювати злагоджено і без затримок.

Оскільки навантаження на систему значне, програмісти використовують оптимізовану архітектуру, часто застосовуючи шаблони проєктування та компонувальні підходи (наприклад, ECS). Важливою є й тісна взаємодія з геймдизайнерами, художниками, звуковиками — тому код має бути гнучким і легко адаптованим до змін.

Одним із ключових викликів є адаптація ігор до різних платформ. Різноманітність апаратного забезпечення, від мобільних телефонів до консолей, вимагає ретельної оптимізації програмного коду та графічних ресурсів. Крім того, інтеграція мультіплеєрних функцій у гру потребує додаткових зусиль у розробці мережевої архітектури та тестуванні на сумісність із різними типами підключень. Постійна взаємодія з кінцевим користувачем, виправлення помилок після релізу та випуск оновлень також стають важливою частиною процесу підтримки та розвитку гри в умовах змінюваних вимог ринку.

У багатьох проєктах гра включає мережеву складову, що додає складності у вигляді синхронізації, безпеки та масштабування. Навіть після релізу інженери продовжують підтримку: виправляють помилки, додають новий контент, оптимізують гру під нові пристрої.

Загалом, геймдев вимагає не лише технічних знань, а й креативності, здатності швидко адаптуватися та працювати в команді, де кожен елемент впливає на загальний результат.

Висновки

Інженерія програмного забезпечення відіграє вирішальну роль у створенні сучасних відеоігор. Вона забезпечує технічну основу для реалізації творчих ідей, гарантує стабільність, продуктивність та масштабованість проєкту. Геймдев — це сфера, де технічні рішення тісно переплітаються з художніми концепціями, а успіх гри залежить як від коду, так і від командної роботи, планування та здатності адаптуватися до змін.

Вибір рушія, інструментів і підхід до архітектури визначають ефективність розробки та якість фінального продукту. Шлях від ідеї до реалізації — це складний процес, що потребує гнучкості, уваги до деталей і постійного вдосконалення. Особливості інженерії в геймдеві роблять цю сферу надзвичайно динамічною, але водночас неймовірно захопливою для тих, хто прагне поєднати творчість і технології.

Список літератури

1. 10 найкращих ігрових рушіїв [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://ulab.sumdu.edu.ua/uk/10-najkrashhih-igrovih-rushiiv

2. 6 ключових етапів розробки гри: від ідеї до овацій стоячи [Електронний ресурс] — Режим доступу: https://jobs.kevurugames.com/ua/6-klyuchovih-etapiv-rozrobki-gri-vid-ideï-do-ovaczij-stoyachi

УДК 004.4

О.І. Суховий
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Метод Net2Net для прискорення навчання нейронних мереж

Розглянуто метод Net2Net що використовуються для збільшення нейронних мереж. Розглянуто приклади успішного впровадження методу Net2Net та можливості для використання його в розробці програмного забезпечення.

Під час створення та вдосконалення архітектур штучних нейронних мереж часто виникає ситуація, коли існує потреба у переході до складніших моделей - таких, що мають більшу кількість шарів або нейронів у шарах. Це зумовлено необхідністю підвищення точності або здатності моделі до узагальнення при обробці більш складних або масштабних наборів даних. Однак навчання такої нової, більш потужної моделі з нуля може виявитися дуже ресурсомістким та тривалим процесом.

З метою ефективного вирішення цієї проблеми автори дослідження [1] запропонували метод під назвою Net2Net, який дозволяє значно прискорити процес експериментування з архітектурами нейронних мереж. Основна ідея цього методу полягає у перенесенні знань з уже навчених моделей до нових, складніших - тобто глибших або ширших - моделей. Замість того, щоб навчати кожну нову модель з нуля, Net2Net надає механізми, що дають змогу зберегти функціональність попередньої мережі під час її розширення.

Цей метод базується на використанні спеціального набору операцій, які реалізують перетворення, що зберігають функцію мережі. Тобто, після застосування таких перетворень нова модель поводиться так само, як і стара, з можливістю подальшого навчання. Net2Net складається з двох основних операцій: Net2WiderNet - яка відповідає за розширення існуючих шарів шляхом збільшення кількості нейронів у них, та Net2DeeperNet - яка дозволяє без порушення функціональності додавати нові шари до мережі, роблячи її глибшою.

Операція Net2WiderNet дає змогу збільшити ширину нейронної мережі, тобто розширити її за рахунок збільшення кількості нейронів у наявних шарах. Це розширення здійснюється таким чином, щоб мережа після зміни зберігала ту саму функцію відображення входів у виходи, що й до модифікації. Іншими словами, нова, ширша структура має поводитися так само, як і початкова. Такий ефект досягається за допомогою спеціального перерозподілу ваг: ваги між наявними з'єднаннями частково копіюються або розділяються між старими й новими нейронами, що дозволяє уникнути необхідності повторного навчання мережі з нуля. Завдяки цьому метод Net2WiderNet зберігає продуктивність і забезпечує можливість поступового масштабування нейронної архітектури.

Операція Net2DeeperNet призначена для того, щоб збільшити глибину нейронної мережі, додаючи до неї нові шари, але при цьому не змінюючи її поведінки або функції, яку вона виконує. Основна ідея полягає в тому, щоб ці нові шари ініціалізувалися як тотожні перетворення - тобто такі, що не змінюють

вхідні значення. Зазвичай для цього використовуються, наприклад, одиничні матриці або певні фіксовані значення параметрів, які не впливають на обчислення. Таким чином, навіть після додавання нових рівнів, мережа функціонує як раніше, і лише згодом може бути навчена для використання додаткової глибини. Net2DeeperNet дозволяє експериментувати з ускладненням мережі без ризику втратити попередні результати або стабільність.

У статті [2] автори детально описують процес створення OpenAI Five - першої в історії системи штучного інтелекту, яка змогла здобути перемогу над професійними гравцями-людьми у сфері кіберспорту. Зокрема, в квітні 2019 року ця система досягла успіху, перемігши чинних чемпіонів світу з популярної комп'ютерної гри Dota 2 у серії показових матчів. Це стало важливою віхою в розвитку ігрового ШІ, адже Dota 2 є складною грою з великою кількістю можливих стратегій, дій і сценаріїв, що потребують не лише швидкості реакції, а й глибокого тактичного планування, координації дій і передбачення намірів супротивника.

У ході розробки OpenAI Five команда стикнулася з численними технічними викликами, пов'язаними з масштабуванням архітектури нейронної мережі та її навчанням. Оскільки під час роботи регулярно виникала необхідність у зміні структури або параметрів мережі - наприклад, додаванні нових шарів або збільшенні кількості нейронів - автори постійно експериментували з різними конфігураціями. Водночас, кожне повне перенавчання нової моделі з нуля вимагало б надзвичайно багато часу і обчислювальних ресурсів, що суттєво сповільнило б прогрес.

Щоб уникнути цього, розробники створили спеціалізований набір інструментів для переносу знань між нейронними мережами - тобто механізмів, які дозволяли зберегти вже набуті навички і досвід при переході до нової архітектури. Ці інструменти дали змогу продовжувати тренування, не втрачаючи результатів попередніх навчальних ігрових сесій. Відповідно до наведених даних, протягом приблизно 10 місяців безперервного тренування OpenAI Five, перенесення знань між моделями здійснювалося в середньому кожні два тижні, що свідчить про високу частоту та важливість цього процесу.

За оцінками самих авторів, якби на кожному етапі доводилося навчати нову модель з нуля, без переносу знань, загальний час, необхідний для розробки OpenAI Five, збільшився б майже вчетверо - з 10 до 40 місяців. Це чітко демонструє критичну роль ефективного перенесення знань у масштабованому навчанні складних систем штучного інтелекту.

У основі цього переносу лежав модифікований варіант методу Net2Net, про який йшлося раніше. Він був адаптований для потреб великомасштабного навчання агентів у складному ігровому середовищі. Завдяки цій техніці вдалося не лише зекономити велику кількість ресурсів, а й забезпечити стабільність і послідовність розвитку навичок ШІ, що в підсумку й дозволило досягти історичного прориву в ігровому штучному інтелекті.

У дослідженні [3] було представлено підхід під назвою EvoN2N, який являє собою комбінацію двох технологій - методу Net2Net та еволюційних алгоритмів. Цей метод був розроблений для автоматизованого пошуку оптимальної архітектури глибокої нейронної мережі, що є ключовим

завданням у сфері машинного навчання. Використання еволюційних алгоритмів дозволило ефективно досліджувати простір можливих архітектур, тоді як Net2Net відігравав критично важливу роль у прискоренні навчання шляхом перенесення знань між поколіннями моделей, мінімізуючи необхідність починати навчання «з нуля».

Практичне застосування запропонованого методу показало виняткові результати. Зокрема, у задачах, пов'язаних із виявленням і діагностикою технічних несправностей у складних промислових системах, EvoN2N продемонстрував високу точність - майже 100%. Ці результати були підтверджені на кількох промислових наборах даних, серед яких - датасети Case Western Reserve University та Paderborn University, що охоплюють різноманітні сценарії та умови експлуатації обладнання.

Ключова перевага використання Net2Net у цьому контексті полягає в можливості поступового збільшення складності нейронної мережі без потреби повного перенавчання. Це дозволило значно скоротити загальний час пошуку та навчання моделей, що особливо важливо при роботі з великими обсягами даних та складними обчислювальними процесами. Завдяки такому поєднанню технік метод EvoN2N може розглядатися як перспективний інструмент для створення високоточних та ефективних систем технічної діагностики.

Висновок

Отже, метод Net2Net можна застосовувати для прискорення навчання нейронних мереж. Прискорення досягається через зменшення часу на пошук оптимальної архітектури і оптимального розміру нейронної мережі. Експериментування з новими варіаціями архітектури не потребує виконання навчання кожен раз на початкових даних.

Список літератури

1. Tianqi C., Goodfellow I., Jonathon S. Net2Net: Accelerating learning via knowledge transfer. *4th International Conference on Learning Representations*, San Juan, 2–4 трав. 2016.

2. Dota 2 with Large Scale Deep Reinforcement Learning. *OpenAI*. 13.12.2019. URL: https://cdn.openai.com/dota-2.pdf (дата звернення: 17.04.2025).

3. Sharma A. Knowledge Transfer based Evolutionary Deep Neural Network for Intelligent Fault Diagnosis. *Harvard.edu*. *Astrophysics data system*. 28.09.2021. URL: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021arXiv210913479S/abstract (дата звернення: 17.04.2025).

УДК 004.4

Д.О. Гололобов, к.ф.-м.н.
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Помічники для кодування на основі генеративного штучного інтелекту

Проаналізовані можливості продуктів генеративного штучного інтелекту для генерації програмного коду, розглянуті переваги, які надає їх використання розробникам програмного забезпечення. Досліджені різноманітні проблеми, які можуть виникати при щоденному використанні засобів штучного інтелекту для створення прикладних програмних продуктів.

Метою публікації є дослідити, у якій мірі технології генеративного штучного інтелекту (ШІ) є корисними для написання коду, сприяючи повсякденній праці програмістів, та вивчити ризики, що можуть при цьому виникати.

Наразі існує чимало пропозицій на ринку IT-технологій, зроблених на основі генеративного ШІ, і призначених для підвищення продуктивності праці програмістів. Зазначені інструменти мають широкий спектр застосувань: автоматичне завершення коду, пошук помилок, автоматичне тестування, створення коментарів та документації, логів для відлагоджування і навіть пояснення написаного людиною коду та генерацію складного коду на основі специфікацій високого рівня. Працюють вказані технології зазвичай як розширення для інтегрованих середовищ розробки. Одними з найпопулярніших технологій на основі генеративного ШІ для кодогенерації є Codeium і Copilot [1].

GitHub Copilot (реліз - жовтень 2021) – це інструмент доповнення коду та автоматичного програмування на основі генеративного ШІ, розроблений GitHub та OpenAI, який допомагає у програмуванні користувачам інтегрованих середовищ розробки Visual Studio Code, Visual Studio, Neovim і JetBrains, наразі доступний за підпискою для окремих розробників і компаній. В ньому присутня можливість обирати велику мовну модель, яка використовується для генерації коду. Codeium – це набір інструментів для генерації та доповнення коду, розроблений командою Exafunction, має безкоштовну версію. Модель використовує технологію генеративного ШІ для прогнозування та пропозиції наступних рядків коду на основі контексту та синтаксису. Серед популярних інструментів кодогенерації можна відмітити також CodeWhisperer від Amazon, який під час написання коду автоматично генерує пропозиції на основі наявного коду та коментарів.

ШІ-моделі дозволяють значно підвищити продуктивність праці розробника програмного забезпечення, дозволяючи йому зосередиться на основній бізнес-логіці, скорочуючи час на виконання рутинних та повторюваних задач, можуть пропонувати рішення з оптимізації коду, допомагають дуже швидко створювати прототипи застосунків, генеруючи різноманітні шаблони. Якість отримуваних результатів роботи ШІ у значній мірі залежить від різноманітних чинників: чіткості поставлених людиною задач, рівня стислості підказок, точності коментарів тощо.

Використовуючи генеративний ШІ, програмістам потрібно уважно переглядати пропозиції, надані ШІ-моделями, стежити за загальною узгодженістю проєкту, перевіряти відповідність згенерованого коду кращим практикам програмування. Генеративний ШІ може генерувати код, який містить неоптимальні рішення, застарілі методи, вразливості безпеки, що викликано присутністю вказаних проблем у коді, на якому відбувається навчання ШІ-моделі.

Дослідження GitHub Copilot стосовно якості згенерованого коду з точки зору вирішення алгоритмічних задач [1, 2], показують, що цей ШІ-інструмент здатен знаходити рішення різноманітних фундаментальних алгоритмічних проблем, однак деякі з цих рішень можуть бути помилковими. Порівняння згенерованого ШІ-інструментом коду з кодом, написаним людьми показало, що людські рішення є правильними у більшій кількості випадків, ніж рішення GitHub Copilot, але помилкові рішення, створені програмою, потребують менших зусиль для виправлення. Дослідження продуктивності згенерованого коду у системному програмуванні на C++ [3] показують, що в деяких випадках ШІ-інструменти можуть генерувати код, що має значно меншу продуктивність виконання, ніж код, написаний людиною, у ряді випадків, різниця була в декілька разів.

Наразі однією з ключових проблем використання ШІ є питання кібербезпеки [4, 5]. Зокрема, у праці [4] проводився аналіз GitHub Copilot, Codeium та CodeWhisperer на наявність серед згенерованого коду вразливих фрагментів коду. Ці проблеми охоплюють 43 категорії переліку загальних слабкостей (Common Weakness Enumerations, CWE), у тому числі такі важливі, як CWE-330: використання недостатньої кількості випадкових значень, CWE-94: неналежний контроль генерації коду та CWE-79: міжсайтовий сценарій. Використання GitHub Copilot Chat для вирішення проблем безпеки у вказаному згенерованому коді дозволило, використовуючи попередження від інструментів статичного аналізу, виправити до 55,5% проблем безпеки. Однією з ключових причин генерації коду із вразливостями є наявність вразливого коду в базі коду, на якій тренується ШІ-модель. У дослідженні [5] розглянуто 89 різних сценаріїв для GitHub Copilot, згенеровано 1689 програм, з яких 40% виявилося вразливих.

Поряд із вказаними проблемами, що стосуються якості безпосередньо самого коду, згенерованого ШІ-моделями, виникли й ситуації іншого типу [6, 7]. Чимало програмістів стали помічати в себе проблеми, викликані використанням продуктів генеративного ШІ, зокрема, деградацію професійних навичок у ситуації, коли вони втрачали доступ до ШІ-інструментів через збої в роботі останніх або через проблеми з доступом до мережі Інтернет.

Висновок

Помічники кодування на основі генеративного ШІ здатні значно пришвидшувати працю програмістів з написання коду, але використовувати їх слід обережно. Написаний таким чином код може містити вразливості з точки зору кібербезпеки, мати знижену продуктивність, не відповідати кращим практикам програмування. Це пояснюється не тільки якістю та актуальністю коду, на якому навчалася ШІ-модель, але й тим, що під час написання програм

важливими є не тільки навяність великої кількості прикладів (на яких тренується ШІ) і отримання працюючого коду, але й реальний практичний досвід спеціаліста, розуміння прикладної проблеми кожного конкретного проєкту та його предметної області. Особливо небезпечними ШІ-інструменти кодування можуть бути для новачків, оскільки останні не здатні оцінювати згенерований код інакше, аніж через його працездатність.

Серед загальних серйозних проблем, які можуть виникати при використанні генеративного ШІ, варто зазначити залежність продуктивності праці програміста від доступу до мережі Інтернет (призводить до зниження продуктивності праці у випадку проблем із доступом до Інтернету) та психологічний ефект звикання (людина перестає думати стосовно того, як правильно писати код, а думає тільки про те, як правильно поставити завдання для ШІ та оцінити результат), що погіршує професійні навички програміста.

Враховуючи зазначене вище, рішення про обсяг використання інструментів генеративного ШІ у своїй діяльності, кожен програміст повинен приймати самостійно, зважаючи позитивні та негативні моменти.

Список літератури

1. Technology - 2024 Stack Overflow Developer Survey. URL: https://survey.stackoverflow.co/2024/technology#2-ai-search-and-developer-tools.
2. A. Dakhel, V. Majdinasab, A. Nikanjam, F. Khomh, M. Desmarais, Z. Jiang. GitHub Copilot AI pair programmer: Asset or Liability? Journal of Systems and Software. V. 203. 2023. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0164121223001292
3. D. Erhabor. Measuring the Runtime Performance of C++ Code Written by Humans using GitHub Copilot. 2025. URL: https://cs.uwaterloo.ca/~alkiswan/papers/Copilot_ICSE25.pdf (дата звернення 15.04.2025).
4. D. Erhabor, S. Udayashankar, M. Nagappan, S. Al-Kiswany. Security Weaknesses of Copilot-Generated Code in GitHub Projects: An Empirical Study. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. doi: 10.1145/3716848. URL: https://www.researchgate.net/publication/388754976_Security_Weaknesses_of_Copilot-Generated_Code_in_GitHub_Projects_An_Empirical_Study
5. H. Pearce, B. Ahmad, B. Tan, B. Dolan-Gavitt, R. Karri. Asleep at the Keyboard? Assessing the Security of GitHub Copilot's Code Contributions. Communications of the ACM. V. 68, Issue 2. P.96-105. doi: 10.1145/3610721. URL: https://dl.acm.org/doi/full/10.1145/3610721.
6. AI is Creating a Generation of Illiterate Programmers. URL: https://nmn.gl/blog/ai-illiterate-programmers
7. I can't code anymore. - Reddit - The heart of the internet. URL: https://www.reddit.com/r/ChatGPTCoding/comments/1imgsmj/i_cant_code_anymore

УДК 004.75

А.О. Бех, аспірант
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Аналіз сучасних технологій розподілених інформаційних систем у сфері транспортного обслуговування

Проведено аналіз сучасних технологій управління транзакціями в розподілених інформаційних системах (РІС) транспортної галузі. Висвітлено особливості використання двофазного підтвердження (2РС), патерну SAGA, брокерів повідомлень, моделей консистентності та хмарних платформ для забезпечення надійності і збереження даних у системах транспортного обслуговування.

Розподілені інформаційні системи активно застосовуються в транспортному секторі завдяки здатності ефективно масштабуватися, забезпечувати високу доступність, автоматично відновлювати роботу після збоїв та реплікувати дані для забезпечення їх цілісності [1]. Транспортні РІС повинні працювати з різними типами даних, зокрема з інформацією від GPS-трекерів, сенсорів, платіжних систем та складських баз. При цьому особливо важливими є гарантії безпеки та надійності через високу відповідальність систем перед користувачами.

Однією з ключових технологій, що застосовуються у розподілених транспортних системах, є двофазний протокол підтвердження (2РС). Цей протокол дозволяє забезпечувати жорстку консистентність транзакцій завдяки суворому узгодженню між учасниками транзакції. Однак використання 2РС має істотні недоліки, серед яких високі затримки, особливо при зростанні кількості учасників та вузлів системи. Крім того, збій одного з вузлів може призвести до блокування усієї транзакції, що суттєво знижує ефективність роботи [2].

Як альтернативу двофазному підтвердженню пропонується використовувати патерн SAGA. Цей патерн забезпечує послаблену консистентність і використовує компенсуючі транзакції для відновлення консистентного стану системи у разі виникнення помилок або відмов окремих транзакцій. Перевагою SAGA є зниження часу на відновлення після помилок та відсутність тривалих блокувань ресурсів, що є надзвичайно важливим для транспортних систем, які працюють у режимі реального часу. Водночас, SAGA вимагає детального проектування компенсуючих транзакцій і більш складної логіки управління транзакціями [3].

Важливу роль у транспортних РІС відіграють брокери повідомлень, зокрема RabbitMQ та Apache Kafka. RabbitMQ пропонує гарантію доставки повідомлень, гнучку маршрутизацію та підтримку складних сценаріїв взаємодії між компонентами системи. Його переваги – простота налаштування, легкість адміністрування та високий ступінь надійності. Apache Kafka натомість є ефективним рішенням для роботи з потоковими даними завдяки своїй архітектурі, орієнтованій на високу пропускну здатність і масштабованість. Kafka може обробляти великі обсяги повідомлень із низькою затримкою, що робить її ідеальною для високонавантажених транспортних РІС [4].

Таблиця 1.

Порівняння брокерів повідомлень у транспортних РІС

Характеристика	**RabbitMQ**	**Apache Kafka**
Модель передачі	повідомлення (черги)	потоки (стріми)
Пропускна здатність	висока	дуже висока
Гарантія доставки	висока	середня
Масштабованість	середня	дуже висока
Складність налаштування	низька	середня

Сучасні хмарні платформи, такі як Google Cloud Spanner, також активно використовуються в транспортних РІС завдяки здатності забезпечувати глобально узгоджені транзакції. Google Cloud Spanner використовує модифікований протокол 2PC та механізм TrueTime для досягнення високої точності синхронізації даних між вузлами. Інші популярні хмарні платформи, такі як DynamoDB і Bigtable, не забезпечують повної підтримки ACID-семантики і часто застосовують компенсуючі механізми та патерни, такі як SAGA, для забезпечення необхідного рівня консистентності [1].

Таблиця 2.

Порівняння моделей консистентності

Модель консистентності	**Приклад реалізації**	**Гарантії узгодженості**	**Вплив на продуктивність**	**Відмовостійкість**
Сильна (Strong Consistency)	2PC, Cloud Spanner	Повна консистентність	Знижується при масштабуванні	Середня
Послаблена (SAGA)	SAGA, RabbitMQ	Узгодженість через компенсацію	Висока	Висока
Eventual Consistency	DynamoDB, Cassandra	Консистентність з часом	Максимальна	Висока

Серед архітектур РІС у транспортній сфері все частіше застосовуються подієві та мікросервісні підходи, зокрема CQRS, Event Sourcing, а також layer-based, P2P та кластерні. CQRS дозволяє відокремити канали команд і запитів, зменшуючи конкуренцію за ресурси. Event sourcing дає змогу фіксувати всі зміни як окремі події, що важливо для розслідування інцидентів, аудиту та відновлення системного стану. P2P-архітектури є гнучкими щодо розподілу

ресурсів та витривалими до збоїв, однак вимагають ретельного проєктування механізмів синхронізації. Вибір архітектурного рішення для РІС у транспортній сфері залежить від специфіки завдань, що вирішуються, вимог до продуктивності, надійності, масштабованості та узгодженості даних. Зазвичай ефективним є комбіноване застосування кількох технологій та підходів, що дозволяє досягти оптимального балансу між швидкістю, надійністю та консистентністю роботи системи.

Висновок

Сучасні технології управління транзакціями в розподілених інформаційних системах транспортної галузі включають протокол двофазного підтвердження (2PC), патерн SAGA, використання брокерів повідомлень (RabbitMQ, Apache Kafka) та хмарні платформи (Google Cloud Spanner, DynamoDB, Bigtable). Використання цих технологій дозволяє вирішувати складні задачі забезпечення консистентності, масштабованості та надійності транспортних інформаційних систем.

Список літератури

1. Bashtovyi A., Fechan A. Distributed Transactions in Microservice Architecture: Informed Decision-Making Strategies. Information Systems and Networks. 2024. Issue 15. P. 449–453.

2. Fan P., Liu J., Yin W. 2PC*: a distributed transaction concurrency control protocol of multi-microservice based on cloud computing platform. Journal of Cloud Computing. 2020. №9. P. 40–58.

3. Daraghmi E., Zhang C.-P., Yuan S.-M. Enhancing Saga Pattern for Distributed Transactions within a Microservices Architecture. Applied Sciences. 2022. Vol. 12, №12. Article 6242.

4. Шаєхова І.Ф., Олійник Ю.О. Підхід до розробки архітектури гетерогенної мультикомп'ютерної системи планування задач // Прикладні питання математичного моделювання. 2021. Т. 4, № 2.1. С. 269–277.

UDC 004.77

I.V. Skostariev
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Intrusion Detection Systems for Kubernetes: Classifications, Implementation Strategies, and Deployment Considerations

This paper examines Intrusion Detection Systems (IDS) for Kubernetes environments, addressing the security challenges of containerized architectures. The analysis covers detection methodologies and deployment.

Intrusion Detection Systems classification.

Intrusion Detection Systems (IDS) are foundational components in cybersecurity frameworks, designed to identify unauthorized access attempts and malicious activities. As a core element of the "Detect" function within the NIST Cybersecurity Framework, IDS implementation in Kubernetes environments addresses multiple NIST SP 800-53 controls including SI-4 (Information System Monitoring), SI-3 (Malicious Code Protection), and AU-6 (Audit Review, Analysis, and Reporting).

While IDS approaches are extensively documented in traditional infrastructure [1], containerized environments like Kubernetes introduce different security challenges that conventional IDS approaches must adapt to. These challenges include ephemeral workloads, dynamic scaling, east-west traffic predominance, and container escape vulnerabilities.

Kubernetes environments require specialized intrusion detection approaches that balance security coverage with minimal performance impact [4]. This paper analyzes IDS classifications, deployment strategies, and implementation considerations for container orchestration platforms.

The detection methodologies for IDS in containerized environments can be classified into three main categories. Signature-based systems utilize predefined patterns of known malicious activities, offering high precision for documented threats but limited effectiveness against zero-day vulnerabilities and container-specific exploits [1]. Their key advantage lies in high accuracy for known container vulnerabilities, though they struggle with novel container escape techniques and zero-day exploits. Examples in Kubernetes environments include Falco with predefined ruleset and Trivy vulnerability scanner.

Anomaly-based systems establish behavioral baselines for containers and pods, flagging deviations that may indicate compromise [2]. They excel at identifying novel threats but require careful tuning to minimize false positives in highly dynamic container environments. Their strength is in detecting unknown attack patterns and container behavior anomalies, though establishing accurate baselines in environments with frequent scaling and updates presents challenges. Kubernetes implementations include Sysdig Secure and Aqua's behavioral analysis.

Hybrid approaches combine signature matching with behavioral analysis, providing comprehensive coverage particularly suited to Kubernetes' complex attack surface [3]. Modern implementations incorporate machine learning to improve detection accuracy and reduce false positives. These systems offer balanced coverage of known

and unknown threats, though they typically require increased resources and complexity. Examples include Prisma Cloud (formerly Twistlock) and NeuVector.

Deployment strategies for IDS in Kubernetes environments fall into several categories. Host-based IDS (HIDS) operates at the node level, monitoring container activities, file system changes, and system calls [1]. In Kubernetes, this approach provides visibility into container escape attempts and privilege escalation. Implementation typically involves DaemonSet deployment ensuring coverage on all nodes, with key monitoring points including system calls, container runtime events, and file integrity.

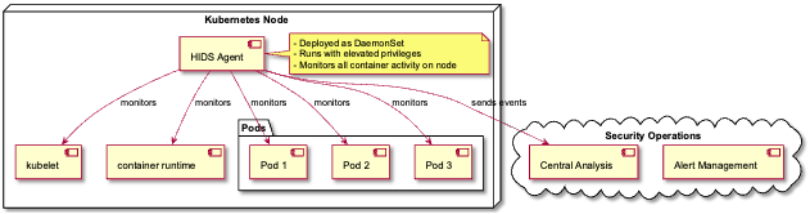


Fig. 1. Host-based IDS

Network-based IDS (NIDS) monitors network traffic between pods, services, and external endpoints [3]. In Kubernetes environments, NIDS can be implemented at different architectural layers while maintaining the same fundamental detection principles. Node-level NIDS implementation monitors all traffic passing through node network interfaces, typically deployed as privileged DaemonSets with access to host networking, providing visibility across all pods on the node. Examples include traditional NIDS tools adapted for Kubernetes (Suricata, Zeek) running with host network access.

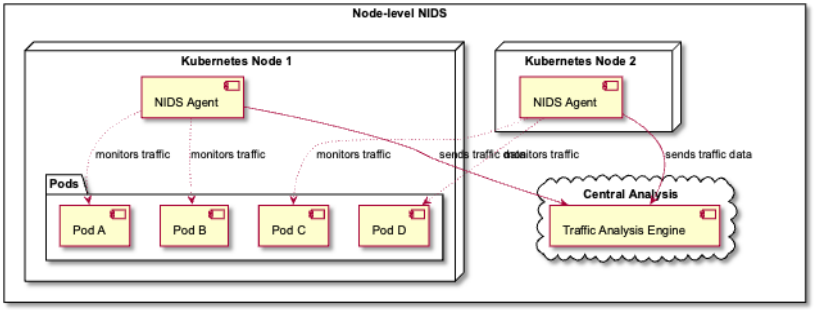


Fig. 2. Node-level NIDS

Service/Pod-level NIDS implementation is deployed as sidecars or service mesh proxies, monitoring traffic specific to associated services and providing

application-context awareness [5]. Examples include service mesh proxies (Envoy with WAF capabilities) and specialized security sidecars.

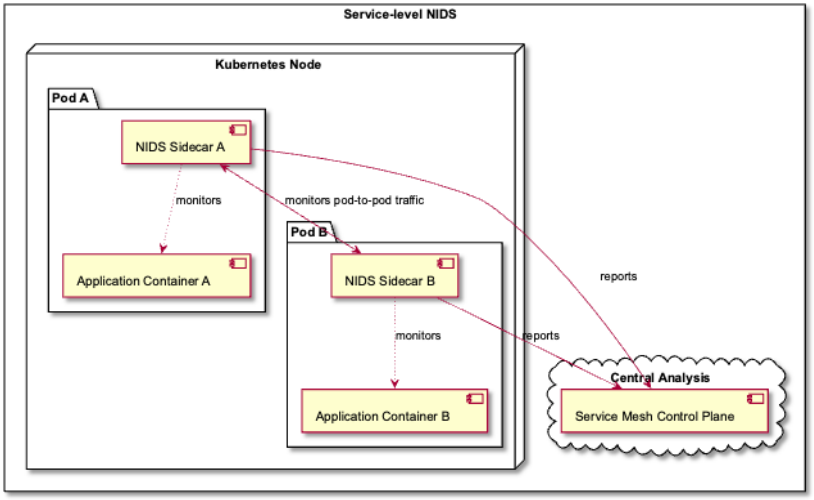


Fig. 3. Service/Pod-level NIDS

Kubernetes API-aware monitoring approaches leverage Kubernetes-specific APIs and resources, integrating directly with admission controllers, audit logs, and custom resources to provide container-aware intrusion detection [6]. Implementation typically involves operators and custom controllers, with key monitoring points including API server requests, resource changes, and pod lifecycle events.

Conclusion.

Containerized environments like Kubernetes require specialized IDS approaches that address their security challenges while maintaining performance and scalability [4]. Hybrid detection methodologies implemented through a combination of node-level and service-level monitoring provide comprehensive coverage that aligns with NIST security controls.

As a component of security frameworks, intrusion detection must be implemented in Kubernetes environments to address the threat landscape of containerized applications. Future research directions include improving detection accuracy for container-specific attack vectors and reducing resource overhead [3].

References

1. Neha Gupta, Vinita Jindal, Punam Bedi, "A Survey on Intrusion Detection and Prevention Systems", *SN Computer Science*, vol.4, no.5, 2023.

2. Zhiying Wang, Feifei Zhang, Hao Wang, Xiangcong Zhang, Weizhi Lu, Chan Zhang, Lei Wang, Bingjie Wang, "Network Intrusion Detection Method for Smart

Grid Based on PCA-ISBO-GRU-AM", *2024 7th International Conference on Renewable Energy and Power Engineering (REPE)*, pp.97-101, 2024.

3. Abdinasir Hirsi, Mohammed A. Alhartomi, Lukman Audah, Adeb Salh, Nan Mad Sahar, Salman Ahmed, Godwin Okon Ansa, Abdullahi Farah, "Comprehensive Analysis of DDoS Anomaly Detection in Software-Defined Networks", IEEE Access, vol.13, pp.23013-23071, 2025.

4. Shahriar Mohammadi, Vahid Allahvakil, Mojtaba Khaghani, "Effect of Network Traffic on IPS Performance", *Journal of Information Security*, vol.03, no.02, pp.162, 2012.

5. Chandramouli, R., & Butcher, Z. "Building Secure Microservices-based Applications Using Service-Mesh Architecture", NIST Special Publication 800-204A, 2020.

6. Souppaya, M., Morello, J., & Scarfone, K. "Application Container Security Guide", NIST Special Publication 800-190, 2017.

UDC 534.23, 517.97

Petro V. Lukianov, PhD
(NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute")

The problem of minimizing propeller blade noise

The problem of optimizing the shape of the propeller blade in terms of the criterion of minimum noise of aerodynamic origin is presented. The system of Euler-Ostrogradsky equations is written using the calculus of variations. This system of equations is supplemented by the Karman-Guderley equation, as well as the boundary condition of not flowing through a solid blade. As a result, a mathematically closed system of four equations for minimizing propeller noise is obtained. To find a single solution to this system of differential equations, additional boundary conditions are added at the blade's leading and trailing edges, as well as at both ends of the blade. Thus, a boundary value problem is formulated to find the optimal (i.e., extreme) shape of the blade surface, the sound potential that generates noise of minimum power on this surface.

Introduction

The shape of the rotor blade surface has a significant influence on the aerodynamic properties of the aircraft, and also affects on the noise power of aerodynamic origin generated by the interaction of the propeller and the blade. Therefore, finding the optimal shape of the propeller blade surface with minimal noise is one of the tasks that needs to be solved every time when designing a helicopter or air taxi propeller.

Existing approaches to solving the problem of minimising propeller noise can be divided into three ways: 1) the use of calculus of variations to formulate the problem of minimising the functional, which is the optimisation criterion [1]; 2) non-gradient methods, evolutionary aogorhythms; 3) gradient methods [2]. An analysis of existing works has shown that the second and third approaches are used for two-dimensional problems based on one of the known aerodynamic profiles, the shape of which is varied. However, we would like to solve the problem not only for the cross-section of the rotor blade, but for the blade as a whole. That is, to formulate the problem globally as a problem of mathematical physics, which gives a solution in the form of an optimal surface, not just an optimal blade cross-section.

To achieve this objective, the variational method is used below to formulate the problem of minimising the noise of the aerodynamic origin of the propeller.

Optimisation of blade shape for minimum sound power

The following ratio is known from acoustics [3] for sound power:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int\limits_{(\Omega)} E d\Omega = -\int\limits_{(S_+)} \bar{W} dS = -\int\limits_{(S_+)} p\bar{v} dS \ , \qquad (1)$$

where $E, \overline{W}, p, \overline{v}$ - are, respectively, the density of sound energy, the density of the sound power flux, the sound pressure and the vector of the oscillatory velocity of particles in a sound wave. The last integral in expression (1) is actually the sound power I:

$$I = \int\limits_{(S_+)} p\overline{v}dS \tag{2}$$

Thus, we need to minimise the functional (2). Since the rotor blades of a helicopter or air taxi rotor perform rotational periodic motion with a frequency of ω, the sound pressure and oscillatory velocity can be considered as harmonic functions of time in the first approximation, and therefore there is no direct dependence $p, \overline{v}$ on the time variable t in expression (2). Further, for harmonic sound vibrations, a linear relationship between the sound potential and pressure is known:

$$p = -i\omega\rho\varphi \tag{3}$$

In expression (3) i, ω, ρ, φ - are the imaginary unit, blade rotation frequency, air density, and sound potential are denoted by respectively. The right-hand side of expression (3), at a fixed rotational speed ω and approximately constant air density, is only a function of the sound potential φ, because $i\omega\rho = const$. Since the vibrational velocity in a sound wave is related to the sound potential:

$$\overline{v} = -\nabla\varphi = -(\varphi_x^{'}, \varphi_y^{'}, \varphi_z^{'}), \tag{4}$$

then the minimised functional (2) will take the following form:

$$I = -const \cdot \int\limits_{(S_+)} \varphi\nabla\varphi d\overline{S} \tag{5}$$

It is clear that the constant makes sense only in terms of the physical dimension and order of the power value in general. However, in the process of minimisation, we are actually minimising the integral itself without the constant, which we will take into account at the end for the final value of the power value. Next, we take into account the formulas for the transition from the surface integral of the 2nd kind to the surface integral of the 1st kind:

$$I = const \cdot \int\limits_{(S)} [\varphi\varphi_x^{'} \frac{-y_x^{'}}{\sqrt{1 + (y_x^{'})^2 + (y_z^{'})^2}} + \varphi\varphi_y^{'} \frac{-y_z^{'}}{\sqrt{1 + (y_x^{'})^2 + (y_z^{'})^2}}]dS \tag{6}$$

Thus, we finally have the functional (6) for the optimisation problem.

Necessary conditions for the existence of an extremum of the functional

Denote the sub-integral expression in (6) by:

$$F = \varphi\varphi_x^{'}\frac{-y_x^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}} + \varphi\varphi_z^{'}\frac{-y_z^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}} = F(x,z,y(x,z),\varphi(x,z)) \,. \qquad (7)$$

Then the functionality (6) will take the following form:

$$I = const \cdot \int_{(S)} F(x,z,y(x,z),\varphi(x,z))dS \,. \qquad (8)$$

According to the theory of calculus of variations, for the existence of an extremal of the functional (8), it is necessary (a necessary condition) to fulfil the system of Euler-Ostrogradsky equations [4]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial F}{\partial \varphi_x^{'}}) + \frac{\partial}{\partial z}(\frac{\partial F}{\partial \varphi_z^{'}}) - \frac{\partial F}{\partial \varphi} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial F}{\partial y_x^{'}}) + \frac{\partial}{\partial z}(\frac{\partial F}{\partial y_z^{'}}) = 0 \end{cases} . \qquad (9)$$

Since $F = \varphi\varphi_x^{'} \cdot n_x + \varphi\varphi_z^{'} \cdot n_z$, we have the following:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial F}{\partial \varphi_x^{'}}) + \frac{\partial}{\partial z}(\frac{\partial F}{\partial \varphi_z^{'}}) - \frac{\partial F}{\partial \varphi} = \frac{\partial}{\partial x}(\varphi \cdot n_x) + \frac{\partial}{\partial z}(\varphi \cdot n_z) - \varphi_x^{'} \cdot n_x - \varphi_z^{'} \cdot n_z =$$
$$= \varphi_x^{'} \cdot n_x + \varphi \cdot n_x^{'} + \varphi_z^{'} \cdot n_z + \varphi \cdot n_z^{'} - \varphi_x^{'} \cdot n_x - \varphi_z^{'} \cdot n_z = \varphi \cdot (n_x^{'} + n_z^{'}) = 0 \,. \qquad (10)$$

We assume that $\varphi \neq 0$, then the first necessary condition is the condition:

$$n_x^{'} + n_z^{'} = \frac{\partial n_x}{\partial x} + \frac{\partial n_z}{\partial z} = 0 \,. \qquad (11)$$

Since

$$\overline{n} = (n_x, n_y, n_z) = (-\frac{y_x^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}}, -\frac{y_z^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}}, \frac{y_z^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}}) \,, \qquad (12)$$

then after substituting (12) into (11) and performing the differentiation, we finally have:

$$n_x^{'} + n_z^{'} = \frac{\partial n_x}{\partial x} + \frac{\partial n_z}{\partial z} = \frac{2y_x^{'}y_z^{'}y_{xz}^{''} - y_{xx}^{''} - y_{xx}^{''} \cdot y_z^{'2} + -y_{zz}^{''} - y_{zz}^{''} \cdot y_x^{'2}}{[1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2]^{3/2}} = 0 \,,$$

Or, since the denominator is always positive:

$$2y_x^{'}y_z^{'}y_{xz}^{''} - y_{xx}^{''} - y_{xx}^{''} \cdot y_z^{'2} + -y_{zz}^{''} - y_{zz}^{''} \cdot y_x^{'2} = 0 \,. \qquad (14)$$

We add boundary conditions to equation (14):

$$z = 0 : y(x,0) = y_1(x); z = R : y(x,R) = y_2(x),$$
$$x = 0 : y(0,z) = \alpha_0 + \theta z; x = c : y(c,z) = \beta_0 + \theta z \qquad (15)$$

In boundary conditions (18) $R, c, \alpha_0, \beta_0, \theta$ - are the blade radius, chord length in the blade cross-section, angle of attack of the initial section of the leading edge, angle of attack of the trapped section of the trailing edge, and blade torsion are respectively. The value of blade torsion and its sign are determined in each calculation case separately. The blade can taper towards the end, so the value of the blade chord also varies along the blade span. The law of change of torsion.

The second equation of system (9) relates the unknown shape of the blade surface to the sound potential:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\frac{\partial F}{\partial y_x^{'}}) + \frac{\partial}{\partial z}(\frac{\partial F}{\partial y_z^{'}}) = \frac{\partial}{\partial x}[\frac{\partial}{\partial y_x^{'}}(\varphi\varphi_x^{'}\frac{-y_x^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}} + \varphi\varphi_z^{'}\frac{-y_z^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}})] +$$
$$+\frac{\partial}{\partial z}[\frac{\partial}{\partial y_z^{'}}(\varphi\varphi_x^{'}\frac{-y_x^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}} + \varphi\varphi_z^{'}\frac{-y_z^{'}}{\sqrt{1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2}})] = 0 \qquad (16)$$

The process of differentiation is quite cumbersome, so we will only give the final equation:

$$(\varphi_x^{'2} + \varphi_{xx}^{''}\cdot\varphi)(1+(y_z^{'})^2) + (\varphi_z^{'2} + \varphi_{zz}^{''}\cdot\varphi)\cdot(1+(y_x^{'})^2) - 2\cdot(\varphi_x^{'}\cdot\varphi_z^{'} + \varphi\cdot\varphi_{xz}^{''})y_z^{'}y_x^{'}]\times$$
$$\times(1+(y_x^{'})^2+(y_z^{'})^2) + \varphi\varphi_x^{'}\cdot[-2y_z^{'}\cdot y_{zx}^{''} + 6y_z^{'}(y_x^{'})^2\cdot y_{zx}^{''} - 3y_x^{'}y_{xx}^{''} - 2y_{zx}^{''}(y_z^{'})^3 -$$
$$-3(y_z^{'})^2 y_x^{'}y_{xx}^{''} - y_x^{'}y_{zz}^{''} - (y_x^{'})^3 y_{zz}^{''} - 2y_x^{'}(y_z^{'})^2 y_{zz}^{''}] - \varphi\varphi_z^{'}\cdot[-2y_x^{'}\cdot y_{zx}^{''} + 2(y_x^{'})^3\cdot y_{zx}^{''} +$$
$$+y_z^{'}y_{xx}^{''} + y_{xx}^{''}(y_z^{'})^3 + 4(y_z^{'})^2 y_x^{'}y_{zx}^{''} + 2y_z^{'}y_{xx}^{''} + 3y_z^{'}y_{zz}^{''} + 3(y_x^{'})^2 y_z^{'}y_{zz}^{''}] = 0 \qquad (17)$$

For equation (17), it is necessary to set boundary conditions:

$$z = 0, y = y_1(x) : \varphi = \varphi_0(x); z = R, y = y_2(x) : \varphi = \varphi_1(x). \qquad (18)$$

It should be recalled that the expression for sound power (2) was taken from classical linear acoustics. However, the calculation of the sound level in dB (SPL) is also based on simplified relations from linear acoustics. However, we are considering the problem of aerodynamic sound generation by the interaction of the blade and the flow. We use the Karman-Guderlei equation to model the sound generation process in an approximate way:

$$\nabla^2\varphi - \frac{1}{a_\infty^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2} - M_1^2[(1+(1+\nu)\varphi_x)\varphi_{xx}] = 0. \qquad (19)$$

Equation (19) is an additional condition imposed on the unknown sound potential φ. Formally, it would be necessary to introduce Lagrange multipliers as functions of coordinates (x,z) and add equation (24) multiplied by Lagrange multipliers to the functional F. But the resulting system of equations is very complicated, and the Lagrange multipliers require additional conditions for their definition. Unfortunately, these additional conditions do not exist, and the Lagrange multipliers are not separable, as is the case for simple problems. Therefore, we will do without setting the problem to a conditional extremum. The following boundary condition (non-flow) is added to the Karman-Guderlei equation:

$$c\delta(1+\varepsilon c\varphi_x)y'_x = \varepsilon\varphi_y \qquad (20)$$

Thus, the system of equations (14), (17), (19), (20) forms a closed system of equations for minimising noise of aerodynamic origin.

References

1. A. Miele .Theory of Optimum Aerodynamic Shapes.-Academic Press, New York, 1965,p.455.
2. Morteza Monfaredi. The Continuous Adjoint-based Aeroacoustic Shape Optimization by Coupling the Ffowcs-Williams and Hawkings Analogy with the URANS equations. - PhD thesis. Athens, 2021,p.177.
3. Eugen Skudrzuk. The Foundations of Acoustics.-Springer Science & Bisness Media, 2012,p.760.
4. M.P. Moklianchuk. Calculus of variations. Extreme problems.-2004,*R&C* Dinamica,p.430.

УДК 519.681.2

О.Г. Піскунов, к.ф-м.н., Н.П. Тупко, к.ф-м.н., В.Г. Хребет, к.ф-м.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Алгебраїчне тестування функцій дійсної змінної з урахуванням метричних вимог

Розглянуто приклади використання мови формальних специфікацій RSL для формулювання умов димового тестування функцій із властивостями метрики

У процесі тестування застосунку, в рамках дипломної роботи [1, с.68], були апробовані декілька різних алгоритмів обчислення площі багатокутника на еліпсоїді. Перший — за допомогою тріангуляції Делоне з обчисленням площі трикутника на еліпсоїді ([2]), а також ще два відомі способи (взяті з бібліотеки мови Python та форуму GeoGis.Info) для безпосереднього обчислення площі за сферичним надлишком. У результаті їх застосування виявилось, що обчислення за допомогою останніх двох способів давали суттєво хибні результати на малих полігонах. У деяких випадках результат обчислень виявлявся навіть від'ємним. Таким чином, зазначені функції можуть слугувати прикладом для дослідження та виявлення проблем, пов'язаних із використанням чисел з плаваючою крапкою. Загальне уявлення про тематику дослідження можна отримати з монографії [3].

В обох алгоритмах безпосереднього обчислення площі ключову роль відіграє функція розв'язання оберненої геодезичної задачі. Зокрема, ця функція дозволяє за заданими двома точками на еліпсоїді визначити найкоротшу відстань між ними та початковий азимут. Відповідно, розробку функцій обчислення площі доцільно починати з реалізації та тестування функцій для розв'язання основних геодезичних задач, які в свою чергу повинні задовольняти чотирьом умовам метрики. З метою налагодження їхньої коректності, як основу алгебраїчного тестування (див. [4]), доцільно використовувати аксіоматичні властивості відстані — зокрема, аксіоми тотожності, додатності, симетричності та трикутника. Для формалізації вимог до створення димових тестів у роботі застосовується мова формальних специфікацій RSL (RAISE Specification Language), а також відповідна утиліта для перевірки синтаксису (див. [5]). У зв'язку з цим введено сигнатури функцій, що реалізують розв'язання прямої та оберненої геодезичних задач (див. [6]):

```
scheme geoA =      extend geoBase with  class
  value -- direct   task

     dirGeoT  : Latitude >< Longitude >< Meter >< Radian
                        -> Latitude >< Longitude >< Radian
    ,invGeoT  : Latitude >< Longitude >< Latitude >< Longitude
                        ->   Meter >< Radian >< Radian
    , invAzi:  Radian  ->  Radian end
```

Для розробки димових тестів можемо переформулювати аксіоми метрики наступним чином:

- Аксіома тотожності стосовно до функцій, які розробляються:

```
scheme identity = extend geoA with class axiom
  [identity_dirGT]
    all B: Latitude, L:Longitude, A:Radian :-
          (B, L, invAzi(A)) = dirGeoT(B, L, 0.0, A)
,[identity_invGT]
   all B: Latitude, L:Longitude :-
     let (S, A, AI) = invGeoT (B, L, B, L)
       in (S, A) = (0.0, invAzi(AI)) end
 end
```

В аксіомі identity_dirGT функція invAzi обчислює зворотний азимут до початкового. Хоча переміщення по еліпсоїду не відбувалося, це все ж може мати певний сенс. Через особливості визначення геодезичних задач друга аксіома накладає додаткове, порівняно з аксіомою тотожності, обмеження на азимути.

- Аксіома додатності:

```
scheme positivity = extend geoA with class axiom
  [positivity_dirGT]
   all B: Latitude, L:Longitude, S: Meter, A:Radian:- S > 0.0 =>
        let (B1, L1, AI) = dirGeoT(B, L, S, A) in (B1, L1) ~= (B,L) end
 ,[positivity_invGT]
   all B,B1: Latitude, L,L1: Longitude :- (B, L) ~= (B1, L1) =>
let     (S, A, AI) = invGeoT (B, L, B1, L1) in S > 0.0 end
end
```

- Аксіома симетричності:

```
  scheme symmetry = extend geoA with class axiom
    [symmetry_dirGT]
     all B: Latitude, L:Longitude, S: Meter, A:Radian:-
        let (B1, L1, AI) = dirGeoT(B, L, S, A)
     in   (B, L, A) = dirGeoT(B1, L1, S, AI)   end
  ,[symmetry_invGT]
  all B,B1: Latitude, L,L1:Longitude  :-
    let (S, A, AI)   =      invGeoT (B, L, B1, L1)
      in (S, AI, A)   =    invGeoT (B1, L1, B, L) end
 end
```

У цих аксіомах, порівняно з базовою аксіомою симетричності, можливо додатково ввести обмеження на прямий A та зворотний азимут AI. В інших випадках це обмеження для тестування автоматично враховується в інших тестах із попарним обчисленням функцій, наведених у [6].

- Аксіома трикутника:

```
scheme triangle = extend geoA with class axiom
 [triangle_dirGT]
  all B: Latitude, L:Longitude, S,S1:Meter, A, A1:Radian :-
    let (B1, L1, AI) = dirGeoT (B, L, S, A) in
```

```
    let (B2, L2, A2I) = dirGeoT (B1, L1, S1, A1)
     in let (S2, A2, A2I) = invGeoT (B, L, B2, L2)      end end
        in   S + S1 >= S2   end
,[triangle_invGT]
  all B,B1,B2: Latitude, L,L1,L2:Longitude :- let
      (S, A, AI) = invGeoT(B, L, B1, L1),
      (S1, A1, A1I) = invGeoT(B1, L1, B2, L2),
       (S2, A2, A2I) = invGeoT(B2, L2, B, L)
         in   S + S1 >= S2   end
  end
```

Висновок

Таким чином:

- аксіоми метрики дозволяють легко формулювати умови для алгебраїчного тестування зазначених функцій;
- синтаксис мови RSL є досить зручним для цих цілей.

Список літератури

1. Сіренко А.Г. Оцінка розміру області антропогенної діяльності за даними повітряного спостереження [Дипломна робота бакалавра]. Київ: НАУ, ФКНТ, Кафедра ПМ, 2024. 77 с. URL: https://drive.google.com/file/d/10u4-qhKpAYsUKtUwCwzNsFLepyIxu9Yw/view (дата звернення: 04.04.2025).
2. Савчук С.Г. Вища геодезія: підручник. 2-ге вид., доповнене. Житомир: ЖДТУ, 2005. 316 с.
3. Cody W., Waite W. Software manual for the elementary functions. Prentice-Hall, 1980. 289 p.
4. Піскунов О.Г., Тупко Н.П., Топіха Н.В. Формальний погляд на тестування функцій дійсного аргументу // XI Міжнародна науково-технічна Internet-конференція AI&AT-2024. К.: НУХТ, 2024. С. 218–219. Інтернет-ресурс: http://kist.ntu.edu.ua/konferencii/53_konf_2024.pdf.
5. George C. RAISE Tool User Guide. 2008. URL: https://raisetools.github.io/material/documentation/ug.pdf.
6. Піскунов О.Г., Тупко Н.П. *RAISE* Specification Language*: Розробка через тестування*. К.: KAI.EDU.UA, 2025. Інтернет-ресурс: https://www.researchgate.net/publication/390516635.

UDC 004.9

N. Zosimovych, PhD
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

IoT Drone Controllers Simulation Platform

With the improvement of customer-ranking products, drones have been good carriers for a handful of Internet of Things applications, principally as a part of edge calculation to transfer things, collect data, or supervise recipients. Proposed paper creates a 3D drone dynamics simulation module on the initial platform. To complete the simulation process, a force investigation is made for the drone to create a physical model based on Newtonian mechanics and Euler angles, and a Proportion Integral Differential-based control model is settled based on this physical model, which performs a fixed-point control for the simulation. The module leads weather influences into the physical model through an environmental computational model and displays weather impacts to the user interface. Was add a background customization purpose and a formation mission task to the primary simulation and optimize the interface arrangement structure for creation mission. The drone simulation platform in proposed paper resolves the problem that the primary simulation system is adequate and considerably upgrades the usability and stability of drones working in the IoT area.

Introduction

All known that Breguet designed the first example of quadrotor in 1907. Multirotor, mainly quadrotors, develop an investigation hot spot [1]. For example, in Japan, the miniature quadrotor, showed in the marketplace like a toy in the beginning of 21st century [2].

From 2013, the PX4 designer group and 3D Robotics built the opensource autopilot hardware Pixhawk, which developed the steadfastness of the manufacture. In the past 10 years, UAV (or drone) companies, such as DJI, Parrot, Yuneec and others, have issued numerous mini quadrotor drones.

There is also a great requirement for UASs in the IoT (Internet of Things) area, such as in boundary computation and cloud processing range [3], communication spaces [4], and many other areas. Establishing a UAS has become an existence for purposes in many domains [5]. For instance, we can use UASs to supply freight [6], monitor stores, maintain public protection, etc.

UAVs are susceptible to certain climate circumstances when flying outside [7], so it is required to study weather requirements when forming a simulation requirement for UAS. We supplied out the force study for the flying drone. We created a physical model built on Newtonian mechanics and Euler angles. Therefore, a PID-based control model is established according to the physical model. We perform intelligent control on the quadrotor in a physical imitation to widespread the complete simulation.

In the proposed paper, the weather-persuading aspects are announced into the physical model of a hexacopter over an environmental calculation model, and a technique to evaluate the environmental limitations grounded on the weather is offered, consequently entirely adding the weather prompting issues.

The Design Process Background

Corresponding to the rotor position, the shape of quadrotors is split into two main categories: a cross shape and X-shape [1]. The cross-shaped quadrotor usually is cross-symmetrical, and its basic four rotors are distributed in four directions: front, rear, left, and right. The X-shape quadrotor is X-shaped symmetrical, with the main part in the center of the drone, and the four rotors allocated on the four corners.

During the last decade, there have been countless studies about the dynamic model of drones (as hexacopter, as octocopter too). Some of these publications [8–13] use the Newton–Euler method, which analyses dynamics and motion equations based on Newton's second and Euler laws, to establish a model. Other publications [13–15] use the Euler–Lagrange method, which determines a dynamics model using Lagrangian mechanics to explicit the drone as a physical system with six degrees of freedom.

Research has been carried out in relation to the replication of drones under wind environments. Khan and Nahon proposed a dynamic model of the rotor moving in wind [16]. The model gets the differential thrust model though Momentum Theory (MT) and Blade Element Theory (BET) to compute generation velocity in real time. Authors then differentiates the thrust of the blade air foil piece and combines to find the total thrust.

Fernando and his co-authors [17] use the Newton–Euler method to model quadrotor dynamics. Tabassum and his group [18], and Massé and others [13] proposed a look-up table method for calculating the total force of the rotor and wind interaction based on Khan's model. Refs. [8, 15, 19] used a method based on a PID controller. The work of [9] adopted an adaptive inverse control method. Ref. [12] used the ADRC (Active Disturbance Rejection Control) algorithm to build models.

Methodology

AIoT is the combination of AI and IoT (Internet of Things) [10]. AI has continually depended on big data sets to build efficient algorithms. IoT might use alive data to AI to build additional complicated algorithms and use "sense" to real-time data. AI could be used to transform IoT data into beneficial data for improved decision-making processes.

Significance, AIoT is evenly important for both tools. During a mission, if a drone carries out machine learning procedures to all the data collected by its numerous sensors, it might make moment-to-moment assessments around how to respond to its position. For example, in response to wildfire, drones could be redirected to give up fire retardant.

Centred on the positions and datasets surrounded by their IoT-enabled sensors, they might determine individually the greatest place to drop the material. These terms would include the wind direction and speed; existing temperature; and the percentage of fire inserted [10].

Combining the information from the drone sensors and the data point from the IoT, UAS might acquire valuable situational insight for independent decision making. A possible expansion of drone missions could contain UAVs that find out of houses, prove how many people are in a relatively failed structure, and with other records inputs, such as data from social media, building types, and well-being data on

residents, the drone could evaluate if a trapped specific is like diabetic and needs insulin or so [10].

Our simulation hexacopter model will be executed with Unity [1]. As Unity's coordinate system model will be employed, which has a left-handed coordinate system with the x-axis to the right, the y-axis up, and the z-axis onward.

This model will use Euler angles to outline the attitudes of the drone. The Euler angle is a natural rigid body approach version method. By decomposing the rigid body rotation into three basic spins over a fixed axis, the revolution express is converted into a three-dimensional vector representation [9].

Computed by triangular alteration, the relation between the angular velocity $\omega = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$ and Euler angle's rate of change $\dot{\theta}$ is [1, 15]:

$$\begin{pmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -sin\theta \\ 0 & cos\psi & sin\psi cos\theta \\ 0 & -sin\varphi & cos\varphi cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \\ \dot{\varphi} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Physical Modeling

The proposed paper will use the Newtonian method to build the drone dynamics model. According to that, the hexacopter drone force analysis in the running state is shown in Fig. 1.

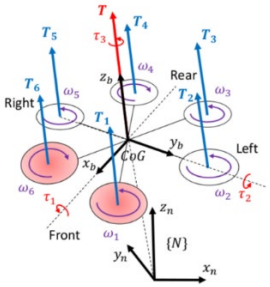


Fig. 1. Drone diagram of the force

Results and Discussion

The control model determined by this element for the drone is usually built on the model specified by [1]. The assumption of the control model will be discussed and explained in this section.

PID (Proportional Integral Derivative) controller depend on of a proportional unit, integral unit, and derivative unit.

The input of the PID controller is the error rate of the regulated capacity e(t), and the output is u(t). They are all utilities of time t. A normal PID controller can be stated by the subsequent expression [1]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i C_{drag} \int_0^t e(\tau)d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t). \quad (2)$$

where K_p, K_i, and K_d, all non-negative, indicate the factors for the proportional, integral, and derivative conditions, correspondingly.

For discrete time controllers, permanent integration of the integral part and immediate differentiation of the derivative part are unreasonable. Hence, this type of controller usually uses summation instead of integral and difference as an alternative of differentiation [1]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \sum_{\tau=0}^{t} e(\tau) \quad + K_d\big(e(t) - e(t-1)\big) \qquad (3)$$

The data flow plot in Fig. 2 defines the general shape and data flow of our simulation module. The preliminary structure information and every command data are handled from the bottom-end web page terminals when progressing this simulation module. The preliminary outline file is read through the core interactive segment, and then forwards to the motion stage storage, physical model and control model fragment, and environment model segment, to accomplish the preliminary background arrangement.

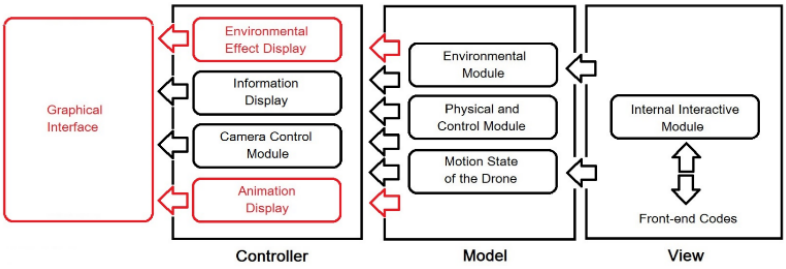


Fig. 2. Data flow diagram

Internal Interactive Module (Fig. 3) comprises two fragments of effort: environmental venues for simulated sights and distribution of control commands throughout the preliminary stage.

When the model is commenced and throughout the simulation process, the web page can use the Unity's own data conducting method to initiation internal functions to post data to it and call some internal procedures [25].

Throughout the mission, the module takes drone flying commands. After truncation of each discrete instruction and deciding accuracy of the instruction, the unit will forward the instruction to the command queue in the control model. If the instruction is wrong (or unsuitable), the component will state as an error. This motion module executes the physical model and control model explained above. The computation procedure is as displayed in Fig. 3 [1].

As Fig. 3 shows, the computation of the controller includes four stages [1]:

1. Estimate the target location as the anticipated location according to the content of the control.

2. Control the position of the drone: cantered on the predictable position, the existing position, the estimated speed, and the recent speed, the passing PID controller with a two-layer PID controller is employed to start the location control model of the drone. Then the three-dimensional acceleration vector is computed, as required of the drone.

3. Control attitude of the drone: the acceleration module, which is determined by the position controller, of the two trends will be set into a pitch and a roll estimated

attitude. Linked with the estimated yaw attitude of the input, we use alternative informal PID controller with a two-layer PID controller to determine the model of the attitude control. Finally, we evaluate the angular acceleration on the three-attitude needed for the drone.

4. The angular acceleration value of the lift acceleration, pitch, yaw, and rolling are given to all six rotors. Lastly, the rotor speed can be found.

It can be noticed that the drone can move well under control without weather specifications and can reach the target position. In brief, the model can execute stable flight under the impact of environmental reasons and can clearly prove the variation in the transfer of the drone under the impact of environmental influences.

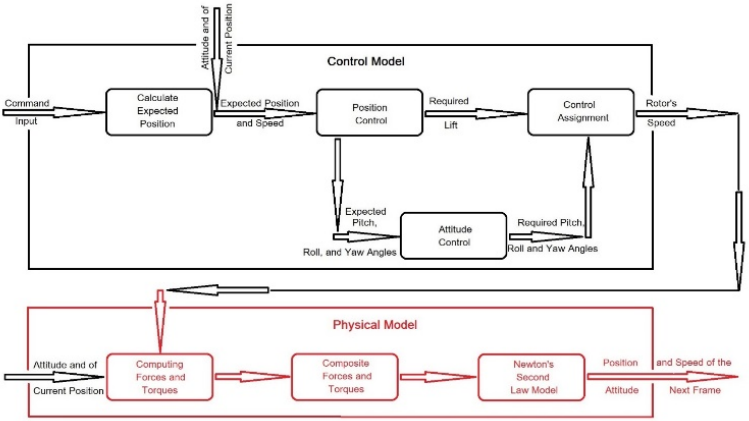


Fig. 3. Control and physical models

Conclusion

Was established a 3D drone dynamic simulation module on the initial simulation program. Grounded on Newtonian mechanics and Euler angles, the physical model is verified. The model runs a fixed-point control for the reproduction. We also created weather affect influences into the model through an environmental computational model. The model acted effectively and practically simulated the drones' movement under numerous circumstances.

It is supposed that simulation module could be suitable in the IoT area. A drone, used as a sensor or data gatherer, is an essential piece in edge processing. Proposed simulation model can be applied to adjust controlling sense or stability of drones, as they are controlled by operators or as self-controlled.

For the future, it will appropriate establish more environmental influences into proposed model. For example, how a drone will be disturbed in a tiny space and where the airflow made by a drone itself cannot be ignored.

References

1. Xinxi L., Zhihuan X. Application of IoT Quadrotor Dynamics Simulation. - MDPI, Electronics, Vol. 11, Issue 4, 2022.-20 p.
2. Borra P. Gyrosucer by Keyence.-Geosities.-2009-2p.
3. An Overview of Cloud Computing and Leading Cloud Service Providers, Int. Journ. of Comp. Eng. & Techn., 15(3).-2004.- P. 122-133.
4. Healey P.G.T., White G., Eshghi A., Light A. Communication Spaces, Comp. Supported Cooperative Work (CSCW), 17(2-3).- 2008- P. 169-193.
5. Marchese M., Moheddine A., Moheddine A. IoT and UAV Integration in 5G Hybrid Terrestrial-Satellite Networks, Sensors, 19(17).-2019.- P. 3704.
6. Google Plans Drone Delivery Service for 2017. BBC News.-2015-1 p.
7. Ren Z., Li H., Zhao Y., Zhang D. The study of wind resistance testing equipment for unmanned helicopter, Proc. Conf., IEEE 2nd Advanced Information Technol., Electronic and Automation Control Conference (IAEAC).-2017.-17 p.
8. Sen Y., Zhongsheng W. Quad-rotor UAV Control Method Based on PID Control Law, Int. Journ. of Advanced Network Monitoring and Controls, Vol. 2, No. 1.-2017.-16 p.
9. Zosimovych N. Hierarchical Flight Control System for Tilt-Rotor Drones, Journ. of Eng. and Applied Sc. Technol., Vol. 6(5).- 2024.-P. 1-7.
10. Zosimovych N. Artificial Intelligence Techniques Application in UAS, Transactions on Eng. and Computing Sc., Vol. 11, No. 1.-2023.-P. 45-61.
11. Rubio J. de J., Pérez-Cruz J.H., Beltrán Z.Z., Salinas J. Comparison of Two Quadrotor Dynamic Models, IEEE Latin America Transactions 12(4).- 2014.-P. 531-537.
12. Duc M.N., Trong T.N. The quadrotor MAV system using PID control, Conf. Proc. Mechatronics and Automation (ICMA), IEEE Int. Conf., Beijing, China.- 2015.- P. 506-510.
13. Masse C., Gougeon C., Nguyen D.-T., Saussié D. Modeling and Control of a Quadcopter Flying in a Wind Field: A Comparison Between LQR and Structured $\mathscr{H}\infty$ Control Techniques, Int. Conf. on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).- 2018.-P. 1408-1417.
14. Suresh H., Sulficar A., Desai V. Hovering control of a quadcopter using linear and nonlinear techniques, Int. Journ. Mechatronics and Automation, Vol. 6, No. 2/3.- 2018.-P. 120-129.
15. Zosimovych N. Hierarchical Flight Control System for Tilt-Rotor Drones, Transactions on Eng. and Computing Sc., 12(3).- 2024.- P. 73-87.
16. Khan W., Nahon M. A Propeller Model for General Forward Flight Conditions, Int. Journ. of Intelligent Unmanned Systems Vol. 3 (2/3).-2015.- 14 p.
17. Fernando H.C.T.E., de Silva A.D. Munasinghe S.R., Modelling, simulation and implementation of a quadrotor UAV, IEEE 8th Int. Conf. on Industrial and Information Systems.-2013.-15 p.
18. Tabassum A., Vuppala R., Bai H., Kara K. Variance Reduction of Quadcopter Trajectory Tracking in Turbulent Wind, IFAC-Papers OnLine Vol. 54, Issue 20.- 2021.-P. 102-107.

19. Zosimovych N. A Flight Control System for Smart Tilt-Rotor Drone, SADI Int. Journ. of Sc., Eng. and Technol., Vol. 12, No 1.-2025.-18 P.
20. Kim H.J., Shim D.H. A flight control system for aerial robots: Algorithms and experiments. Control Engineering Practice, 11(12).-2003.- P. 1389-1400.
21. Tran N.K., Bulka E., Nahon M. Quadrotor control in a wind field. Proc. of the Int. Con. on Unmanned Aircraft Systems, Denver, CO, USA.-2015.- 12 P.
22. Khan W., Nahon M. A propeller model for general forward flight conditions. Int. Journ. Intell. Unmanned Syst. 3-2015.- P. 72–92.
23. Thunder S550 Hexacopter Frame Kit W/PCB.-2025.- 1 P.
24. Zhai Y.J., Lin Z.Y. Design of Software-Defined-Satellite-based PID Attitude Control Application in Python. In Proceedings of the 2018 IEEE 4th Inf. Technol. and Mechatronics Eng. Conf. (ITOEC), Chongqing, China.-2018, P. 133–137.
25. Zosimovych N., Singh A. Tilt-Rotor Drone Flight Control System Modeling. In: D.K. Singh, S. Hegde, A. Mishra, Recent Developments in Mechanics and Design. INCOME 2024.-Lec. Notes in Mech. Eng. Springer, Singapore.- P. 87–97.

УДК 681.5+004.94

Д.П. Кучеров, д.т.н., В.Г. Ткаченко, к.т.н., Н.Ф. Халімон, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Моделювання виконавчих механізмів бі-коптера в системі управління з ПІД-регулятором

У доповіді розглядається двороторна літаюча машина гібридного типу, що поєднує традиційний політ, де колесо є звичайним вантажем, але й кочення по поверхні на одному колесі, балансуючи роторами. Наявність роторів дає можливість би-коптеру як об'їжджати перешкоди, а й перестрибувати через них. Наявність двох роторів з механізмом нахилу призводить до ускладнення системи управління. В доповіді пропонується підхід щодо визначення математичної моделі бі-коптера, що є корисним при налаштуванні відповідних ПІД-контролерів.

Бі-коптер (рис. 1) на відміну від мультироторних машин має більш дешеву конструкцію, оскільки для реалізації польоту за обраним маршрутом йому потрібно всього два мотори та стільки ж сервомеханізмів для управління ними. На відміну від квадрокоптера, в якому керування польотом здійснюється регулюванням моменту, що крутить, на кожному моторі, а маневрування здійснюється зменшенням або збільшенням тяги конкретного двигуна, бі-коптер для цього використовує нахильний механізм для кожного мотора, що дозволяє здійснювати маневри, та варіювати вектором тяги. При цьому бікоптер має вдвічі менше механізмів керування, отже, легше, що у свою чергу позначається на більшому часі автономної роботи апарату за рахунок зменшенні потреби в елетроживленні.

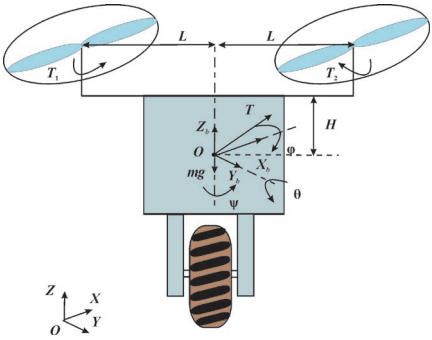


Рис. 1. Зовнішній вигляд бі-коптера

Для визначення математичної моделі бі-коптера вводиться нерухома система координат XOY, яка пов'язана із земною поверхнею, і рухома система координат $X_bO_bY_b$, центр якої пов'язаний із центром мас бі-коптера. У цій системі координат площина XOY – горизонтальна, в якій вісь OX спрямована у бік руху

бі-коптера, вісь OY перпендикулярна до неї, вісь OZ – вертикальна, осі утворюють праву трійку координат. У цій системі координат орієнтація бі-коптера здійснюється Ейлерівською системою координат θ, φ, ψ так, що кут тангажу θ є кут у вертикальній площині між осями O_bZ_b та віссю OZ нерухомої системи координат, кут крену φ - кут у вертикальній площині між осями O_bX_b, а ψ – кут нишпорення у горизонтальній площині між осями O_bY_b та віссю OY нерухомої системи координат.

Рух у повітряному просторі бі-коптера по вертикалі здійснюється зміною швидкості обертання пропелерів за умови їх узгодженого положення в горизонтальній площині. Кут тангажу змінюється нахилом площини обертання обох пропелерів у вертикальній площині. Кут крену встановлюється збільшенням швидкості обертання пропелера одним із моторів. Кут нишпорення встановлюється нахилом осей обертання пропелерів у протилежні сторони щодо вертикальної площини. Рух вперед і назад здійснюється керуванням швидкістю обертання пропелерів та зміною кута тангажу. Бічний рух здійснюється зміною кута нишпорення.

Загальна структура системи управління рухом бі-коптера складається із таких контролерів навігаційного, позиційного, кутової орієнтації та обчислювачів тяги та нахилів представлена на рис. 2. Навігаційний контролер задає бажані координати x_d, y_d та z_d, які відповідають деякій траєкторії руху бі-коптера. Контролер позиції на основі поточного V_d і бажаного положення V_r створює тягові зусилля, що розвиваються моторами. Контролер кутової орієнтації також на підставі відмінностей у бажаній Ω_d та Ω_r кутової орієнтації формує відповідні зусилля δ_1 та δ_2 для зміни нахилів моторів бікоптера. Для підвищення точності окремих підсистем передбачено відповідні зворотні зв'язки.

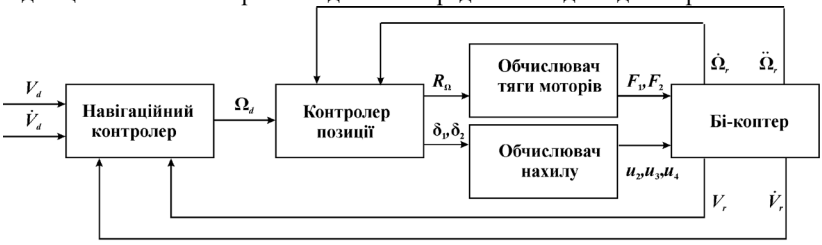


Рис. 2. Структура системи управління з бі-коптером

В якості контролера позиції передбачається використання ПІД-контролера, який формує тягові зусилля на підставі відхилень реального положення бі-коптера від бажаного. Нехай відхилення бажаної та поточної позицій бі-коптера становлять величину

$$e_V = V_d - V_r, \tag{1}$$

тоді тягове зусилля, що створюється ПІД-регулятором

$$u_R = K_p^V e_V + K_i^V \int e_V dt + K_d^V \dot{e}_V \tag{2}$$

де K_p^V, K_i^V, K_d^V – коефіцієнти передавання відповідних блоків ПІД-регулятора контролера позиції, які залежать від параметрів об'єкта управління.

Аналогічний підхід може бути використаний при визначенні кутової орієнтації. У припущенні, що помилка виміру кутової швидкості визначається виразом

$$e_\Omega = \Omega_d - \Omega_r, \tag{3}$$

тоді крутні моменти в кутових площинах, створювані додатковим ПІД-регулятором бокових зусиль, визначаються відповідно до виразу

$$u_\delta = K_p^\Omega e_\Omega + K_i^\Omega \int e_\Omega dt + K_d^\Omega \dot{e}_\Omega, \tag{4}$$

де $K_p^\Omega, K_i^\Omega, K_d^\Omega$ – коефіцієнти відповідних блоків ПІД-регулятора, що використовується для керування боковим рухом.

За відомими значеннями кутів нахилу δ_1, δ_2 управляючі сигнали на сервомотори можуть бути обчислені з такого матричного рівняння

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b\Omega_1^2 \cos\delta_1 \\ b\Omega_1^2 \sin\delta_1 \\ b\Omega_2^2 \cos\delta_2 \\ b\Omega_2^2 \sin\delta_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Кути нахилу δ_1 та δ_2 встановлюються відповідно до бажаного напрямку руху по кутових координатах.

Основні параметри безколекторного мотора RCINPOWER SmooX 2306 Plus 2280KV, які використовуються в якості виконавчого механізму бі-коптера, наведені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1.

Параметри мотора

Параметр	**Значення**
тип	RCINPOWER SmooX 2306 Plus 2280KV
опір обмотки, мОм	40
конфігурація	12N14P
діаметр статора, мм	23
довжина статора, мм	6,6
маса, г	33
струм холостий, А максимальний, А	 1,95 40
KV-рейтинг, обертів на вольт	2280

Точна передатна функція мотора може бути визначена експериментальними даними, але при цьому треба мати додаткові прилади для

отримання даних за результатами розгінної кривої або приблизно за параметрами таблиці 1. В останньому випадку передатна функція мотору $W(s)$ для управління боковим рухом може бути отримана у вигляді відношення зображень за Лапласом кутової швидкості і вхідної напруги.

$$W(s)=\frac{\Omega(s)}{U(s)}=\frac{K_e}{(Ls+R)(Js+B)+K_eK_e}. \quad (6)$$

В формулі (6) введені позначення: L – індуктивність обмотки статора; R – опір обмотки; K_e – коефіцієнт зворотної електро-рушійної сили; K_t – коефіцієнт моменту; J – момент інерції ротора; B – коефіцієнт тертя. За даними таблиці 1 передатна функція отримана у вигляді

$$W(s)=\frac{0.0042}{2.04\cdot10^{-8}s^2+8.2\cdot10^{-6}s+1.764\cdot10^{-5}}. \quad (7)$$

Моделювання виконавчого механізму бі-коптера з мотором RCINPOWER SmooX 2306 Plus 2280KV в системі управління з ПІД-регулятором в середовищі Simulink Matlab показано на рис. 3. На рисунку введені позначення $u(t)$ – вхідний сигнал у формі сходинкової функції, $y(t)$ – реакція системи управління на вхідний сигнал і $e(t)$ – сигнал помилки.

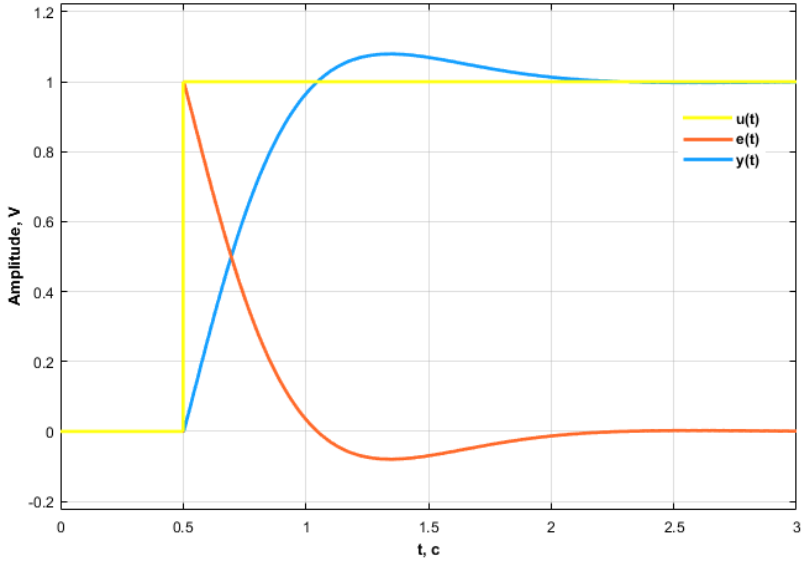


Рис. 3. Функції $u(t)$, $e(t)$ і y(t) в системі управління з ПІД-контролером літакової частини бі-коптера

Налаштовування ПІД-контролера відбувалося за вбудованим ПІД-тюнером, в результаті отримані такі параметри ПІД-контролера:

$K_p^{\Omega} = 0.00576$, $K_i^{\Omega} = 0.02475$, $K_d^{\Omega} = -7.816 \cdot 10^{-5}$, $N = 8.292$. За результатами моделювання визначені показники системи управління помилка сталого режиму $\theta_{ст} \approx 0$ рад, час встановлення вихідного сигналу $t_{вст} \leq 1.1$ *с*, час регулювання $t_{рег} \leq 2.3$ *с*, перерегулювання $\sigma \leq 15$ %, що задовольняє загальним вимогам до типу систем управління, що розглядається. Параметри навігаційного ПІД-контролера можуть бути виконані аналогічним чином.

Висновок

У доповіді надано підхід до побудови математичної моделі бі-коптера на основі конструкції, що поєднує властивості літаючої та колісної машин. Відмінною характеристикою моделі є наявність тільки одного колеса для переміщення по поверхні. Математична модель планера бі-коптера побудована на основі геометрії реального бі-коптера та є адекватною за наявними даними у літературних джерелах. Параметри ідентифікації математичної моделі передбачається використовувати в алгоритмах налаштування ПІД-регулятору із застосуванням орієнтовних параметрів отриманих за результатами моделювання.

Запропонована модель доцільна для використання у місцевості зі складним ландшафтом для транспортування великого вантажу при колективному її застосуванні.

Список літератури

1. Kucherov, D., Shmelova, T., Poshyvailo, O., Tkachenko, V., Miroshnichenko I. and Ogirko, I., 2023. Mathematical Model of Damping of UAV Oscillations in the Cargo Delivery Problem: 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, pp. 1-6. doi: 10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312855.

2. Kucherov, D.P., (2005), Synthesis of an adaptive controller for fixed-time control of a spinning body under the presence of bounded noise, Journal of automation and information science, 37(1), 29-38. Режим доступу: http://www.dl.begellhouse.com/ru/journals/2b6239406278e43e,5aa280c9630a07e4, 55b990ef5fa0b065.html.

3. Kucherov D., Fang X., Wang Z., Xu Z., Fu X., Identification of parameters of the mathematical model of a dynamic object of critical infrastructure. Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції ІТБ-2024. – Київ: Інжиніринг. p. 143 – 146.

4. RCinPower Smoox 2306 Motor (1880kV / 2280kV / 2580kV). Режим доступу: https://www.myfpvstore.com/motors/rcinpower-smoox-2306-5-motor-1880kv-2280kv-2580kv/

UDC 519.622.2

Victor Repeta, PhD in Physics and Mathematics
Lesia Pavliukh, Doctor of Engineering Sciences
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Multidimensional mathematical model of biological wastewater treatment

This paper presents the results of research and improvement of a mathematical model of a closed water system of the "consumer-resource" type, in which the resource is phosphorus (P-PO_4^{3-}) and various nitrogen impurities (N-NH_4^+, N-NO_2^- ma N-NO_3) and the consumer is the microalgae Euglena gracilis. The case is considered when additional impurities do not enter the reservoir.

Introduction. Among the pressing problems of our time, a special place is occupied by the problem of wastewater treatment from harmful impurities. The most popular methods of treatment include mechanical, physical and chemical, and biological. It should be noted that biological treatment is becoming increasingly popular. In [1], a mathematical model was proposed - a system of nonlinear ordinary differential equations that describes the interaction of the microalgae Euglena gracilis with phosphorus impurities. The basis for the construction of this system and its generalizations was the mathematical model of Lotka and Volterra [2], which was proposed to describe the interaction of a population of predators and a population of prey. In our case, the predators are the microalgae Euglena gracilis, and the victims are impurities in the water. Paper [3] presents the results of a study of the interaction of microalgae with phosphorus (P-PO_4^{3-}) and nitrogen (N-NH_4^+) impurities. The results obtained can naturally be generalized to the multidimensional case when wastewater contains several types of nitrogen impurities in addition to phosphorus.

Results. Let us denote by C_m the concentration of microalgae, C_{i1} the concentration of phosphorus impurities (P-PO_4^{3-}), C_{i2}, C_{i3}, C_{i4} the concentrations of nitrogen impurities (N-NH_4^+, N-NO_2^- and N-NO_3^-), respectively. At the initial time $t = 0$ the concentrations of microalgae and impurities are equal to

$$C_m(0) = C_{m0},\ C_{i1}(0) = C_{i10}, C_{i2}(0) = C_{i20},\ C_{i3}(0) = C_{i30},\ C_{i4}(0) = C_{i40}. \quad (1)$$

To describe the dynamics of changes in these concentrations, we propose a system of nonlinear differential equations of the form

$$\begin{cases} \dfrac{dC_m}{dt} = q \cdot \dfrac{C_m}{C_{m0}} \cdot \sum\limits_{k=1}^{4} \alpha_k \cdot T_{2k-1}\left(C_{ik}, C_m\right) - \gamma C_m, \\ \dfrac{dC_{i1}}{dt} = -\beta_1 \cdot q \cdot C_m \cdot T_2\left(C_{i1}, C_m\right), \dfrac{dC_{i2}}{dt} = -\beta_2 \cdot q \cdot C_m \cdot T_4\left(C_{i2}, C_m\right), \\ \dfrac{dC_{i3}}{dt} = -\beta_3 \cdot q \cdot C_m \cdot T_6\left(C_{i3}, C_m\right), \dfrac{dC_{i4}}{dt} = -\beta_4 \cdot q \cdot C_m \cdot T_8\left(C_{i4}, C_m\right). \end{cases} \quad (2)$$

The trophic functions $T_{2k-1}\left(C_{ik}, C_m\right)$ and $T_{2k}\left(C_{ik}, C_m\right)$ (here $k = \overline{1; 4}$) are as follows

$$T_{2k-1}(C_{ik},C_m)=\frac{1-\left(1-\dfrac{C_{ik}}{C_{ik0}}\right)^n}{\left(1+\delta_{4k-3}\left(\dfrac{C_{ik}}{C_{ik0}}\right)^{n_{4k-3}}\right)\left(1+\delta_{4k-2}\left(\dfrac{C_m}{C_{m0}}\right)^{n_{4k-2}}\right)},$$

$$T_{2k}(C_{ik},C_m)=\frac{\dfrac{C_{ik}}{C_{ik0}}\dfrac{1}{C_{m0}}}{\left(1+\delta_{4k-1}\left(\dfrac{C_{ik}}{C_{ik0}}\right)^{n_{4k-1}}\right)\left(1+\delta_{4k}\left(\dfrac{C_m}{C_{m0}}\right)^{n_{4k}}\right)}.$$

System (2) is a natural generalization of the system proposed in [1], in the case of the presence of phosphorus impurities and nitrogen impurities of three types in wastewater. If $C_{i2}=C_{i3}=C_{i4}=0$, $\alpha_2=\alpha_3=\alpha_4=0$, $\beta_2=\beta_3=\beta_4=0$, are substituted in this system, then system (1) will coincide with the system given in [1].

The parameters $\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3,\alpha_4$ characterize the process of increasing the concentration of microalgae due to the absorption of phosphorus ($P\text{-}PO_4^{3-}$) and nitrogen ($N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_2^-$ та $N\text{-}NO_3^-$) impurities, respectively; the parameter γ characterizes the rate of decrease in the concentration of algae due to natural processes; the parameters β_1,β_2,β_3 and β_4 characterize the rate of decrease in the concentration of phosphorus and nitrogen impurities, respectively, in the water environment due to interaction with algae.

All parameters take only positive values. We will assume that the parameter γ takes a certain value close to zero, in this work $\gamma = 0.02$.

At the initial moment $t=0$, the inequalities are true (there are five in total):

$$\frac{dC_m(0)}{dt}=\sum_{k=1}^{4}\alpha_k\cdot\frac{q}{(1+\delta_{4k-3})(1+\delta_{4k-2})}-\gamma C_{m0},$$

$$\frac{dC_{ik}(0)}{dt}=-\beta_k\cdot\frac{q}{(1+\delta_{4k-1})(1+\delta_{4k})},\quad (k=1;2;3;4),$$

from which, after taking into account the eight inequalities-requirements of $q=(1+\delta_{2k-1})(1+\delta_{2k})$, where $k=\overline{1;8}$, $q=4$, we obtain:

$$\frac{dC_m(0)}{dt}=\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4-\gamma C_{m0},$$

$$\frac{dC_{i1}(0)}{dt}=-\beta_1,\ \frac{dC_{i2}(0)}{dt}=-\beta_2,\ \frac{dC_{i3}(0)}{dt}=-\beta_3,\ \frac{dC_{i4}(0)}{dt}=-\beta_4.$$

Thus, the sum of the values of parameters $\alpha_1,\alpha_2,\alpha_3$ and α_4 is equal to the sum of the initial growth rate of the microalgae concentration and the specific mortality rate γ multiplied by the initial value of the microalgae concentration:

$$\alpha_1+\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4=\frac{dC_m(0)}{dt}+\gamma C_{m0}.$$

The values of parameters $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ and β_4 are equal to the absolute values of the rates of decrease in the concentrations of phosphorus ($P\text{-}PO_4^{3-}$) and nitrogen ($N\text{-}NH_4^+$, $N\text{-}NO_2^-$ та $N\text{-}NO_3^-$) impurities, respectively, at the initial time point $t = 0$:

$$\beta_k = \left| \frac{dC_{ik}(0)}{dt} \right|, \quad (k = \overline{1;4}).$$

Example. Table 1 and Figures 1-5 show the results of calculations of changes in the concentrations of microalgae and phosphorus and nitrogen impurities over 7 days of their interaction in wastewater.

Table 1.

Calculation results

Days	0	1	2	3	4	5	6	7
C_m	120.0	165.1	267.7	451.4	674.0	836.4	970.2	1072.8
$P\text{-}PO_4^{3-}$	7.0	5.52	2.68	0.70	0.11	0.01	0.001	0.000
$N\text{-}NH_4^+$	50.0	47.2	42.2	32.1	18.2	8.64	3.75	1.53
$N\text{-}NO_3^-$	18.0	15.0	10.6	5.12	1.88	0.74	0.32	0.15
$N\text{-}NO_2^-$	2.0	0.55	0.04	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000

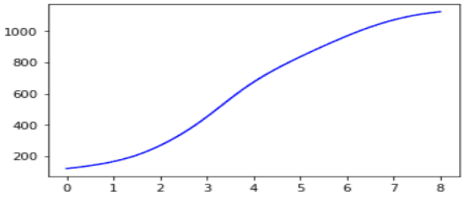


Fig 1. Dynamics of microalgae biomass concentration changes in wastewater

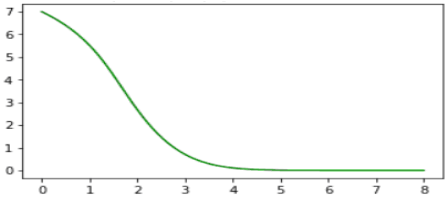


Fig 2. Dynamics of changes in phosphorus ($P\text{-}PO_4^{3-}$) concentration in wastewater

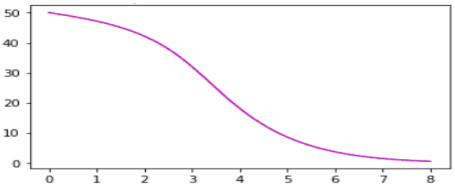


Fig 3. Dynamics of changes in nitrogen concentration ($N\text{-}NH_4^+$) in wastewater

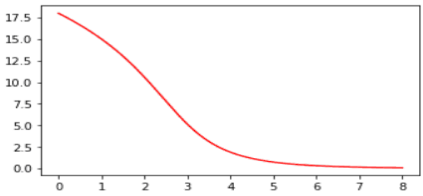


Fig 4. Dynamics of changes in nitrogen concentration ($N\text{-}NO_3^-$) in wastewater

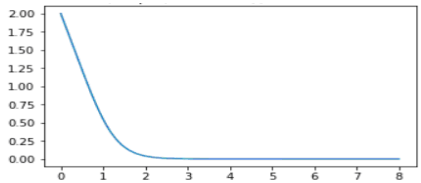


Fig 5. Dynamics of changes in nitrogen concentration ($N\text{-}NO_2^-$) in wastewater

Conclusion. The proposed mathematical model in the form of a system of differential equations (2) with initial conditions (1) describes the dynamics of changes in the concentrations of euglena microalgae and phosphorus and nitrogen impurities in the process of their interaction. The developed model allows for a deeper study of phytoremediation of wastewater by microalgae.

References

1. Viktor Repeta, Lesia Pavliukh, Sergii Shamanskyi. (2023). Mathematical Model of Biogenic Elements and Microalgae Interaction in Wastewater/ XVI міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2023», 18-20 квітня 2023 року. Київ: НАУ. С.15.27-15.31.

2. Volterra V., 1931. Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie. P.: Gauthier–Villars. 214 p.

3. В. К. Репета, Л. І. Павлюх, С. Й. Шаманський. Математична модель біологічного очищення стічних вод/ XIX Міжнародна наукова конференція імені академіка Михайла Кравчука, 11–12 жовтня 2023 року. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. С.52-53.

УДК 621.3

Ю.Г. Ведміцький, к.т.н., доцент
(Вінницький національний технічний університет, Україна)

Про тривіальну інваріантність передатної функції до функції вхідної дії

В роботі сформульовано та доведено теорему про тривіальну інваріантність передатної функції стаціонарного електричного кола до функції вхідної дії. Змістова сутність теореми визначає умови та накладає обмеження на застосування операторного методу під час розв'язування фундаментальної задачі Коші.

Хибна практика, з якою, на превеликий жаль, раз у раз доводиться стикатися в технічній літературі та техногенному довкіллі і яка зумовлена неналежними діями під час розв'язування задачі Коші за допомогою *операторного методу* аналізу, наприклад, лінійних електричних кіл (як динамічних систем), породжує невідворотне бажання вкотре акцентувати увагу на питаннях умов застосовуваності зазначеного методу і змушує сформулювати та довести теорему про *тривіальний характер інваріантності передатної функції системи до функції вхідної дії*.

Змістова сутність теореми полягає в тому, що передатна функція електричного кола визначає його динамічні властивості *незалежно* (!) *від вхідної дії* лише за нульових значень початкових умов. У разі порушення цієї умови передатна функція динамічної системи *стає залежною* (!) *від характеру функції вхідної дії*, що унеможливлює і, власне, визначення передатної функції, і, зрештою, її практичне використання.

Теоретичні основи електротехніки є точною наукою [1-7]. Як і вища математика, як і фундаментальна фізика, які формують її вихідний теоретичний базис.

Задачу розв'яжемо в узагальненому вигляді.

Для цього розглянемо довільне лінійне електричне коло з одним джерелом електричної енергії (е.р.с. або струму), де джерело слугуватиме генератором збурення динамічної системи дією $x(t)$. Реакцією слугуватиме функція $y(t)$, яка за фізичним змістом виявлятиме себе або як миттєвий струм в довільній вітці електричного кола, або як миттєва напруга на будь-якій його ділянці.

Отже, сформулюємо та доведемо теорему.

Теорема. ***Інваріантність передатної функції лінійної стаціонарної (непараметричної) електричної системи до функції вхідної дії є тривіальною.***

Доведення. Математичний зв'язок між дією та реакцією на неї в лінійній стаціонарній динамічній системі із зосередженими параметрами встановлюється математичним оператором, що належить до класу лінійних звичайних диференціальних рівнянь:

$$\sum_{k=0}^{n} a_k \frac{d^k y}{d t^k} = \sum_{s=0}^{m} b_s \frac{d^s x}{d t^s}, \tag{1}$$

отриманих на підставі фізичних законів, які підпорядковують собі силові та енергетичні процеси, що спостерігаються в технічній системі, а також математичних співвідношень, які виявляють основні властивості окремо узятих основних елементів, з яких складається система. У разі електричного кола із зосередженими параметрами такими фізичними законами слугують закони Кірхгофа, а математичними співвідношеннями – компонентні співвідношення.

Оскільки розв'язок заявленої задачі має бути представлений в операторній формі, скористаємося інтегральним перетворенням Лапласа і перейдемо до зображень: спочатку вхідної дії та реакції на неї електричного кола

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt}\, dt = L\{x(t)\},$$

$$Y(p) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-pt}\, dt = L\{y(t)\},$$

а потому – і функцій лінійних комбінацій лівої і правої частин диференціального рівняння (1):

$$L\left\{\sum_{k=0}^{n} a_k \frac{d^k y}{d t^k}\right\} = L\left\{\sum_{s=0}^{m} b_s \frac{d^s x}{d t^s}\right\}.$$

Відносно отриманого алгебраїчного рівняння (3) скористаємося лінійною властивістю інтегрального перетворення Лапласа

$$\sum_{k=0}^{n} a_k L\left\{\frac{d^k y}{d t^k}\right\} = \sum_{s=0}^{m} b_s L\left\{\frac{d^s x}{d t^s}\right\}.$$

Теорема про диференціювання оригіналу, відповідно до якої:

$$L\left\{\frac{d^s x}{d t^s}\right\} = p^s X(p) - \left[p^{s-1} x(0_+) + p^{s-2} x'(0_+) + \cdots + p\, x^{(s-2)}(0_+) + x^{(s-1)}(0_+)\right] =$$

$$= p^s X(p) - \sum_{\tau=0}^{s-1} p^{\tau}\, x^{(k-\tau-1)}(0_+),$$

$$L\left\{\frac{d^k y}{d t^k}\right\} = p^k Y(p) - \left[p^{k-1} y(0_+) + p^{k-2} y'(0_+) + \cdots + p\, y^{(k-2)}(0_+) + y^{(k-1)}(0_+)\right] =$$

$$= p^k Y(p) - \sum_{v=0}^{k-1} p^{v}\, y^{(k-v-1)}(0_+),$$

завершує процедуру математичних перетворень.

Тоді математичний зв'язок між функціями зображень вхідної дії $X(p)$ та реакції на неї $Y(p)$ набуває вигляду:

$$\sum_{k=0}^{n} a_k \left[p^k Y(p) - \sum_{v=0}^{k-1} p^{v}\, y^{(k-v-1)}(0_+)\right] = \sum_{s=0}^{m} b_s \left[p^s X(p) - \sum_{\tau=0}^{s-1} p^{\tau}\, x^{(k-\tau-1)}(0_+)\right],$$

звідки

$$Y(p)\sum_{k=0}^{n}a_k p^k = X(p)\sum_{s=0}^{m}b_s p^s + \\ +\sum_{k=0}^{n}\sum_{v=0}^{k-1}a_k y^{(k-v-1)}(0_+)\,p^v - \sum_{s=0}^{m}\sum_{\tau=0}^{s-1}b_s x^{(k-\tau-1)}(0_+)\,p^\tau. \quad (2)$$

З урахуванням (2) для *передатної функції* остаточно отримуємо:

$$K_y(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \\ = \frac{\sum_{s=0}^{m}b_s p^s}{\sum_{k=0}^{n}a_k p^k} + \frac{\sum_{k=0}^{n}\sum_{v=0}^{k-1}a_k y^{(k-v-1)}(0_+)\,p^v - \sum_{s=0}^{m}\sum_{\tau=0}^{s-1}b_s x^{(k-\tau-1)}(0_+)\,p^\tau}{\sum_{k=0}^{n}a_k p^k} \times \frac{1}{X(p)}.$$

Теорему доведено**.**

Висновок

В роботі сформульовано та доведено теорему про тривіальну інваріантність передатної функції стаціонарного електричного кола до функції вхідної дії. Змістова сутність теореми визначає умови та накладає обмеження на застосування операторного методу під час розв'язування фундаментальної задачі Коші.

Список літератури

1. Теоретичні основи електротехніки: підручник / В. С. Бойко, В. В. Бойко. – К.: ІВЦ "Політехніка", 2004. – 272 с.
2. Математичні методи ідентифікації динамічних систем / Б. І. Мокін, В. Б. Мокін, О. Б. Мокін. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 263 с.
3. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола: підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив, за ред. проф. Ю. О. Карпова. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. – 456 с.
4. Теорія автоматичного керування : підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук. – К. : Либідь, 2007. – 657 с.
5. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 392 с.
6. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підручник / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацив, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький ; під ред. проф. Ю. О. Карпова – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 377 с.
7. Ведміцький Ю. Г. Тектологія динамічних систем і явище гіперсилової взаємодії в структурних рівняннях узагальненого електричного кола / Ю. Г. Ведміцький // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2018. – №2. – С. 1-11.

УДК 681.5

А.С. Чуйков, к. ф.-м. н.,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз стійкості систем автоматичного управління на основі фінітизованого годографа Михайлова

Розглядається геометричний критерій Михайлова стійкості систем автоматичного управління та два методи фінітизації годографа: безпосередня фінітизація та фінітизація комплексної площини. Представлені результати математичного моделювання та приклади стійких і нестійких систем.

Асимптотична стійкість лінійних систем автоматичного управління (САУ) еквівалентна від'ємності усіх дійсних частин нулів характеристичного многочлена – знаменника передаточної функції $D(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \ldots + a_1 p + a_0$. Необхідною умовою асимптотичної стійкості САУ є додатність усіх коефіцієнтів рівняння. Вона є достатньою і при $n \in \{1,2\}$. З 1938 року відомий геометричний критерій стійкості: для того, щоб САУ була стійкою, необхідно і достатньо, щоб годограф Михайлова при зміні частоти від 0 до ∞, починаючись на дійсній додатній півосі при $\omega = 0$, послідовно обходив проти годинникової стрілки, ніде не обертаючись в нуль, послідовно n квадрантів координатної площини, де n – порядок системи.

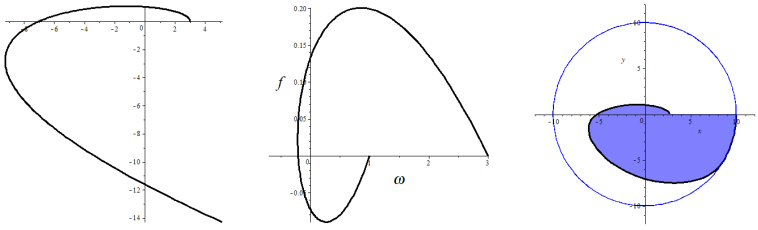
Годограф будується з характеристичного рівняння $D(p) = 0$ заміною $p := i\omega,\ i = \sqrt{-1}$ [2]. При цьому крива $D(i\omega) = u(\omega) + iv(\omega),$ де

$$u(\omega) = \mathrm{Re}\, D(i\omega) = a_0 - a_2\omega^2 + \ldots, \quad v(\omega) = \mathrm{Im}\, D(i\omega) = a_1\omega - a_3\omega^3 + \ldots,$$

розглядається на нескінченій півосі $0 \le \omega < \infty$. Проблема практичного застосування критерію Михайлова, особливо для систем високого порядку, полягає у складності побудови та аналізу нескінченного годографа. У 70-ті роки Залмен Філєр запропонував фінітизацію годографа за рахунок перетворення аргументу $\omega = t/(1-t)$ і функції $f(t) = (1-t)^n D(it/(1-t))$. Нескінчений годограф рівняння заміниться скінченою кривою. Можна взяти й іншу заміну: $\omega = \mathrm{tg}t,\ \ f(t) = \cos^n t\, D(i\,\mathrm{tg}t).$ Годограф буде мати схожий вигляд.

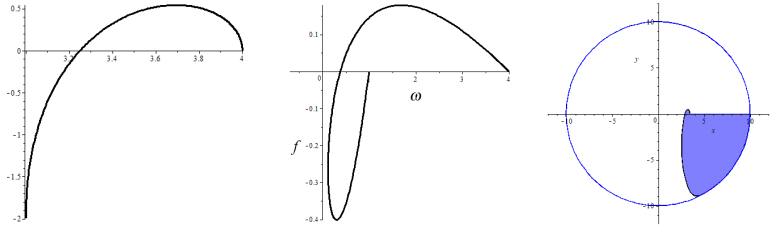
Замість фінітизації годографа можна здійснити фінітизацію точок комплексної площини: $\tilde{z} = \dfrac{z}{|z|} \cdot \dfrac{1-q^{|z|}}{1-q}$. Тоді годограф $F(w) = \dfrac{f(i\omega)}{|f(i\omega)|} \cdot \dfrac{1-q^{|f(i\omega)|}}{1-q}$ буде міститись у крузі радіуса $R = \dfrac{1}{1-q}$ при $0 < q < 1$.

Наприклад, нефінітні та фінітизовані годографи для характеристичних многочленів $D_1(p) = p^4 + p^3 + 7p^2 + 2p + 3$ та $D_2(p) = p^4 + 4p^3 + 2p^2 + 2p + 4$ зображені на рис. 1 і рис 2 відповідно. Стійкий годограф охоплює початок координат, нестійкий – ні.



а) б) в)

Рис. 1. Нефінітний годограф а), фінітний годограф б) і годограф на фінітній площині в) стійкої САУ



а) б) в)

Рис. 2. Нефінітний годограф а), фінітний годограф б) і годограф на фінітній площині в) нестійкої САУ

Якщо немає потреби будувати годограф, то можна підрахувати кут повороту його радіус-вектора за допомогою задачі Коші

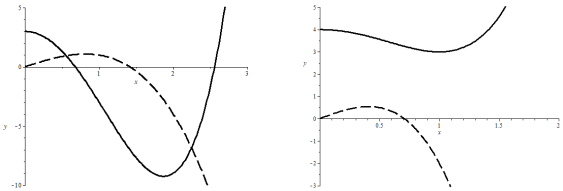
$$\varphi' = \frac{v'\cos\varphi - u'\sin\varphi}{\sqrt{u^2+v^2}}, \quad \varphi(0) = 0.$$

Якщо він прямує до nπ/2, це свідчить про стійкість. Для вище наведених прикладів знаходимо значення кутів повороту радіуса-вектора стійкої φ_1 та нестійкої φ_2 САУ:

Таблиця 1.

ω	0	1	2	3	5	10	20	30	50
φ_1	0	2,82	3,56	5,50	6,03	6,18	6,23	6,25	6,26
φ_2	0	-0,58	-1,17	-0,99	-0,70	-0,39	-0,20	-0,13	-0,08

Можна замінити побудову годографа безпосереднім використанням алгебраїчного критерію А.В. Михайлова: корені многочленів $u(\omega)$ і $v(\omega)$ стійкої САУ повинні бути почережні – між парою послідовних коренів $u(\omega)$ повинен бути один корінь многочлену $v(\omega)$, і навпаки (рис. 3). При цьому не треба проходити всю піввісь – є верхня межа дійсних коренів.



а) б)

Рис. 3. Графіки $u(\omega)$ і $v(\omega)$ для стійкої а) і нестійкої б) САУ

Ситуацію також пояснює рис. 4 з графіком функції $\Phi(\omega) = \text{arctg}(v(\omega)/u(\omega))$. Нулі функції u є точками розриву Ф, а нулі функції v є коренями функції Ф. Для стійкості треба, щоб між двома послідовними нулями лежала одна точка розриву функції $\Phi(\omega)$ і навпаки.

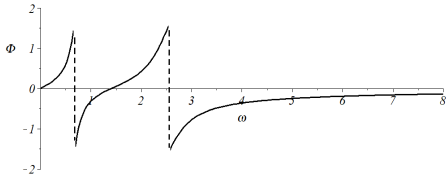


Рис. 4. Графік $\Phi(\omega) = \text{arctg}(v/u)$

Висновок

Реалізовані два способи фінітизації годографа Михайлова – безпосередня фінітизація та фінітизація точок комплексної площини. За допомогою пакета символьних обчислень Maple 17 побудовані відповідні годографи.

Список літератури

1. Боровська Т.М. Теорія автоматичного управління : курс лекцій. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 256 с.

2. Філєр З. Ю., Музиченко О. І. Коливання та стійкість систем із запізненнями. Інформаційні технології в освіті, науці і техніці. Матеріали VI Всеукраїнської конференції молодих науковців ІТОНТ-2008. 5-7 травня 2008 року. – Черкаси: ЧНУ, 2008. – С. 45.

3. Філєр З.Ю. Проблеми нескінченності у математиці, фізиці та філософії. Комбінаторні конфігурації та їх застосування. 5-й Міжвузівський науково-практичний семінар. – Кіровоград: КК-ТК, 2008. – С. 84 – 95.

4. Філєр З.Ю., Чуйков А.С. Стійкість лінійних систем із запізненням. Проблеми та інновації в природничо-математичній, технологічній і професійній освіті: збірник матеріалів XV-ї Міжнародної науково-практичної онлайн-інтернет конференції, присвяченій 95-й річниці з Дня народження академіка Національної академії педагогічних наук С. У. Гончаренка, м. Кропивницький, 20-24 червня 2023 року / Відп. Ред.. М. І. Садовий, Кропивницький: РВВ ЦДУ ім. В. Винниченка, 2023. 136 с.

УДК 621.45.02:

І.М. Яворський, д.ф.-м.н, проф.; Р.М. Юзефович, д.т.н., проф..;
О.В. Личак, к.т.н., ст. досл.
(Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Україна)
Є.В. Сбродов, асп.
(Національний університет "Запорізька політехніка", Україна)
Ю.І. Торба, к.т.н.
(Акціонерне товариство "Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро "Прогрес" імені академіка О.Г. Івченка", Україна)

Дослідження моделі вібраційного сигналу газотурбінного двигуна

Проаналізовано модель вібраційного сигналу газотурбінного двигуна у вигляді суми регулярної і випадкової складових.

Відомо [1–4], що вібрації газотурбінного двигуна з розбалансованим ротором характеризуються піковими значеннями їх амплітудного спектру чи спектру потужності в точці, яка визначається першою гармонікою частоти обертання ротора. Амплітудний спектр, як правило, визначається за допомогою перетворення Фур'є необробленого сигналу. Спектр потужності є результатом застосування періодограми або спектрального перетворення Блекмана-Тьюкі. Слід зазначити, що багато відомих методик відповідають різним представленням вібраційного сигналу [5, 6]. Використовуючи перетворення Фур'є дослідники вважають [7, 8], що часові ряди є відрізками детермінованих коливань, а при розрахунку спектрів потужності вони розглядають їх як реалізації стаціонарних випадкових процесів.

Вібраційна діагностика є ефективним і надійним інструментом для забезпечення безпеки, надійності та економічності експлуатації авіаційних двигунів. Її основною задачею є виявлення несправностей, які ще не призвели до відмов або аварій. Аналіз ознак дефектів і оцінка їх розвитку ґрунтуються на ретельному дослідженні структури вібраційного сигналу з урахуванням особливостей діагностованого двигуна. Для опису такої структури необхідно використовувати математичну модель сигналу, яка містить набір характеристик, що дозволяють оцінити технічний стан механізму. Ключовими властивостями вібраційних сигналів авіаційного двигуна є повторюваність, пов'язана з циклічним характером роботи обертових деталей та вузлів, і стохастичність, яка зумовлена випадковими змінами: зміни навантаження, коливання параметрів мастильного шару, зміни сил тертя, зміни жорсткості опор, турбулентність та інші випадкові фактори.

Методи вібраційної діагностики, розроблені у Фізико-механічному інституті ім. Г. В. Карпенка НАН України у відділі методів та засобів відбору та обробки діагностичних сигналів на основі моделей сигналів у вигляді періодичних та майже періодично корельованих випадкових процесів (ПКВП) [8], у тому числі виділення модулюючих стаціонарних компонентів і використання кореляційного ПКВП-аналізу, з якими пов'язані важливі дані про характер та ступінь розвитку дефектів, забезпечують проведення широкого

комплексу статистичних досліджень властивостей вібраційних сигналів для встановлення технічного стану газотурбінних двигунів.

Припустимо, що аналізований сигнал вібрації газотурбінного двигуна $\xi(t)$ є сумою стаціонарного випадкового процесу $\eta(t)$ та майже періодичної функції

$$s(t)=\sum_{k=-M}^{M} c_k e^{i\omega_k t},$$

де M – це кількість гармонік, а ω_k і c_k їх частоти та амплітуди. Значення вибірки сигналу $\xi(nh)$ отримані для $n\in[-K,K]$, $2K=\dfrac{\Theta}{h}$, Θ – довжина реалізації, h – інтервал вибірки. Тоді для дискретного у часі перетворення Фур'є сигналу [7, 8] отримуємо:

$$\hat{c}_\xi(\omega)=\frac{h}{2\pi}\sum_{n=-K}^{K}\left[\eta(nh)+s(nh)\right]e^{-i\omega_k nh}. \qquad (1)$$

Математичне сподівання (1) дорівнює:

$$E\hat{c}_\xi(\omega)=\frac{h}{2\pi}\left[m_\eta\sum_{n=-K}^{K}e^{-i\omega_k nh}+\sum_{k=-M}^{M}c_k\sum_{n=-K}^{K}e^{-i(\omega-\omega_k)nh}\right],$$

де $m_\eta=E\eta(nh)$ є середнє значення $\eta(nh)$. Беручи до уваги, що $h\le\dfrac{\pi}{\omega_M}$ і використовуючи формулу для суми геометричної прогресії отримуємо:

$$\sum_{n=-K}^{K}e^{-i\omega nh}=1+\sum_{n=1}^{K}\left(e^{i\omega nh}+e^{-i\omega nh}\right)=\varphi(\omega,K),$$

де

$$\varphi(\omega,K)=\frac{\sin\omega\left(K+\dfrac{1}{2}\right)h}{\sin\omega\dfrac{n}{2}}.$$

Отже,

$$E\hat{c}_\xi(\omega)\approx\frac{h}{2\pi}\left[m_\eta\varphi(\omega,K)+\sum_{k=-M}^{M}c_k\varphi(\omega-\omega_k,K)\right].$$

Оскільки, $\varphi(0,K)=2K+1$, то для великих K отримуємо:

$$E\hat{c}_\xi(\omega)\approx\frac{\Theta}{\pi}c_k. \qquad (2)$$

Це означає, що ми не можемо визначити амплітуди гармонік для сигналу $\xi(t)=\eta(t)+s(t)$ за допомогою перетворення Фур'є, оскільки значення (2)

відрізнятимуться залежно від довжини реалізації θ і $E\hat{c}(\omega_k) \to \infty$ коли $\theta \to \infty$. При цьому спектральні властивості випадкового процесу взагалі не характеризуються. Ці властивості можна описати за допомогою вищих моментних функцій випадкового процесу.

Перші відомі результати в цій галузі були отримані Н. Вінером та А. Хінчиним [9, 10], які ввели концепцію спектральної густини потужності як перетворення Фур'є від кореляційної функції:

$$R_\xi(u) = E\overset{\circ}{\xi}(t)\overset{\circ}{\xi}(t+u),\ \overset{\circ}{\xi}(t) = \xi(t) - m_\xi(t),$$

$$f_\xi(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} R_\xi(u)e^{-i\omega u}du. \qquad (3)$$

Для оцінки спектральної густини потужності на основі експериментальних даних можна використати метод корелограм Блекмана-Тьюкі:

$$\hat{f}_\xi(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-u_m}^{u_m} \hat{R}_\xi(u)k(u)e^{-i\omega u}du,$$

де $\hat{R}_\xi(u)$ є оцінкою кореляційної функції:

$$\hat{R}_\xi(u) = \frac{1}{K}\sum_{n=1}^{K}\left[\xi(nh) - \hat{m}\right]\left[\xi(nh+u) - \hat{m}\right],\ \hat{m} = \frac{1}{K}\sum_{n=1}^{K}\xi(nh), \qquad (4)$$

$k(u)$ – кореляційне вікно, а u_m – точка усічення корелограми.

Дискретна оцінка (3) має вигляд:

$$\hat{f}_\xi(\omega) = \frac{h}{2\pi}\sum_{n=-L}^{L}\hat{R}_\xi(nh)k(nh)e^{-i\omega nh}, \qquad (5)$$

де $L = \frac{u_m}{h}$. Асимптотичне наближення математичного сподівання (5) знаходимо наступним чином:

$$E\hat{f}_\xi(\omega) = \frac{h}{2\pi}\sum_{n=-L}^{L}R_\xi(nh)k(nh)e^{-i\omega nh}.$$

Усереднена в часі кореляційна функція сигналу (у стаціонарному наближенні) має вигляд:

$$\hat{R}_\xi(nh) = \hat{R}_\eta(nh) + \sum_{k=-M}^{M}|c_k|^2 e^{i\omega_k nh}. \qquad (6)$$

Припустимо, що кореляційне вікно є прямокутним:

$$k(u) = \begin{cases} 1, |u| \le u_m, \\ 0, |u| > u_m. \end{cases}$$

Тоді, використовуючи [10], отримуємо

$$E\hat{f}_{\xi}(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty} f_{\eta}(\omega_1)\lambda(\omega-\omega_1)d\omega_1+\frac{h}{2\pi}\sum_{k=-M}^{M}|c_k|^2\varphi(\omega-\omega_k,L).$$

Оскільки $\varphi(0,L)=2L+1$, то пікові значення $E\hat{f}_{\xi}(\omega)$ пропорційні до u_m. Тому, шукаючи ці піки, ми можемо достовірно оцінити лише частоти гармонійних компонентів.

Висновки

Показано, що у випадку представлення вібраційного сигналу сумою регулярного і випадкового процесів, оцінювання його спектральної густини методами Фур'є-аналізу призводить до отримання неслушних результатів, тобто значення амплітуд та потужності гармонік будуть пораховані з великими похибками. Тому, виявлення гармонік та оцінку їх амплітуд необхідно здійснювати використовуючи модель вібраційного сигналу у вигляді ПКВП.

Список літератури

1. Djaidir B., Hafaifa A., Kouzou A. Faults detection in gas turbine rotor using vibration analysis under varying conditions. *J. theoretical and applied mechanics.* 2017. V. 55, no. 2. P. 393–406. doi: 10.15632/jtam-pl.55.2.393

2. Fábry S., Češkovič M. Aircraft gas turbine engine vibration diagnostics. *Review Articles.* 2017. V. 5, no. 4, P. 24–28. doi: 10.14311/MAD.2017.04.04

3. Pérez-Ruiz J.L., Luis J., Tang Yu, Loboda I., Miró-Zárate L. A. An Integrated Monitoring, Diagnostics, and Prognostics System for Aero-Engines under Long-Term Performance Deterioration. *Aerospace,* 2024, 217, V. 11, no. 3. doi: 10.3390/aerospace11030217

4. Rath N., Mishra R., Kushari A. Aero engine health monitoring, diagnostics and prognostics for condition-based maintenance: an overview. *Int. J. Turbo Jet. Engines*, 2022. doi: 10.1515/tjeng-2022-0020

5. Marinai L., Probert D., Singh R. Prospects for aero gas-turbine diagnostics: a review. *Appl. Energy*, 2004, V. 79, no. 1. P. 109–126. doi: 10.1016/j.apenergy. 2003.10.005

6. Napolitano A. Cyclostationary processes and time series: Theory, applications, and generalizations. Elsevier, Academic Press, 2020. doi: 10.1016/C2017-0-04240-4

7. Kay S.M. Modern Spectral Estimation: Theory and Application. New Jersey: Prentice-Hall, 1988.

8. Яворський І.М. Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013.

9. Wiener N. Generalized harmonic analysis. *Acta Mathematica,* 1930, Vol. 55, P. 117–258.

10. Khinchine A. Korrelations Theorie der stationare stochastichen Processes. *Math. Ann.,* 1934, 109, P. 604–615.

UDC 519-24

N. Zosimovych, Cand of Eng. Sc., Prof.
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Monte Carlo Simulation of the Ukrainian and Russian War Results

In proposed publication, based on the classical Lotka-Volterra "predator-prey" model, the situations of the end of the Ukrainian - Russian war are simulated under the following three conditions: winning (return of occupied Ukrainian territories), freezing of the conflict, and losing (loss of Ukrainian statehood) for Ukraine and Russia. The model is implemented using the Monte Carlo statistical modeling method by generating initial conditions 10 times. The limitations for the simulations consider the current state of war in Ukraine, the Russian Federation, and global economic trends.

1. **Introduction**

The Monte Carlo simulation model of the results of the Ukrainian and Russian war is a simulation model that allows us to assess the possible results of multi-year military aggression, considering the randomness and uncertainty of numerous factors. Typically, the Monte Carlo method is used for multiple simulations of scenarios with random parameters, to obtain a probability distribution of the results.

Monte Carlo Simulation is basically grounded on the generation of random variables. Random variables are numbers whose values result from the outcomes of a random phenomenon, and they play an essential position in modeling the uncertainty inherent in international and military systems. In a Monte Carlo simulation, these variables are generated according to specific probability distributions that reflect the inherent processes being studied. For example, in military simulations, outcomes can be modelled using a lognormal distribution, given the empirical observation that the return of occupied territories is usually normally distributed, while the territories themselves and the Ukrainian population are non-negative and distorted quantities [1].

But, as the entire history of modern humanity shows, war can be described as predator-prey model (Lotka-Volterra). The Lotka-Volterra model is a widely used pair of first-order nonlinear differential equations used to interpret the dynamics of two species: a predator and a prey. It uses various mathematical concepts such as linear algebra, calculus, as well as ordinary differential equations to implement the constraints into real life situations [2].

The aim of this study is to simulate the Lotka-Volterra model using the Monte Carlo method.

According to the Monte Carlo simulation for the war, let us build it structure [2]:

1.Objectives:

(a) Duration of the war – From 24.02.2022.

(b) Territorial results – Even before full-scale occupation the Russian terrorists' invaders occupied Crimea, most territories of Lugansk and Donetsk Oblasts. And to this day, the occupation authorities of Russia continue to try to integrate the occupied territories into the Russian financial and legal systems. Meanwhile, Russian troops use Ukrainian civilians and infrastructure to support

Russia's military efforts in Ukraine, as the TOT (Temporarily Occupied Territories) currently include a significant part of the Kherson, Zaporizhia, Donetsk, Luhansk regions and the Autonomous Republic of Crimea. This creates serious obstacles to the life of the peaceful Ukrainian population in these territories.

(c) Casualty ranges - The defenders neutralized the enemy's manpower the most during the full-scale war - 933,980 invaders were eliminated and wounded. Updated figures were announced by the General Staff of the Armed Forces of Ukraine (on April 14, 2025).

The day before, on April, 14 2025, ukrainian soldiers neutralized 59 artillery systems (a total of 26,222), 42 armored combat vehicles (22,130), 19 tanks (10,622), two air defense systems (1,130) of the invaders.

In the sky, the fighters shot down another 119 enemy drones of the operational-tactical level (a total of 32,544), and on the ground they burned 179 units of automotive equipment and tanker trucks (a total of 44,129), two - special equipment (3,801) [3].

(d) Economic affect

(e) Probability of escalation.

2. **Methodology**

Hypothetically, the predator can destroy all prey and so, the latter will become extinct. But if this happens the predator will also become extinct. It is possibly that the over cyclic leads into the fact that "Prey species will be increased by predator in during of time". An important problem of ecology is to investigate the coexistence questions of the two species. To this end, it is accepted to take a mathematical interpretation of this predator-prey problem and to use it to predict populations behavior of various species at different times. For this purpose, the model may be built on the following two assumptions:

1- Prey dies if it is eaten by predator.

2- Predator only dies because of natural causes.

Consider the following initial value problem [4]:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy, \ x(0) = x_0; \\ \frac{dy}{dt} = -ky + dxy, y(0) = y_0. \end{cases} \quad (1)$$

The functions $x(t)$ and $y(t)$ represent the populations of prey and predator at time t, respectively. And the numbers x_0, y_0 denote the initial dimensions of prey and predator, respectively.

Initially, we consider

$$\frac{dx}{dt} = ax - bx^2 - cxy. \quad (2)$$

The derivative $\frac{dx}{dt}$, growth rate of prey population, is influenced by three different terms. In fact, the prey species is increased by its current population shown as ax, where a is a non-negative constant. The term of ax is the birth rate of prey. It is negatively affected by the true death rate of prey which is shown by the term of $-bx^2$, where b is non-negative constant and bx^2 is the true death rate of prey. It is also reduced by the death rate of prey shown by the term $-cxy$, where c is non-negative constant [4].

Now consider $\frac{dy}{dt} = -ky + dxy$. The derivative $\frac{dy}{dt}$, the growth rate of predator population, is influenced by two different terms. Indeed, the predator species is decreased by the current predator population shown by the term $-ky$, where k is a non-negative constant real number. It is increased by prey-predator interactions which is shown by the term dxy, where d is non-negative constant. Let [4]:

$\frac{dx}{dt} = x(a - bx - cy)$, $\frac{dy}{dt} = y(-k + dx)$.

Now, we are getting to solve the next equations:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 0: \ x = 0 \ or \ x = \frac{a-cy}{b}; \\ \frac{dy}{dt} = 0: \ y = 0 \ or \ x = \frac{k}{d}. \end{cases} \quad (3)$$

The first equilibrium point is origin. The second of equilibrium point is $(\frac{a}{b}; 0)$. To get the third point of equilibrium, we should make equal the variable x in system (3).

And thus, we perceive that

$y = \frac{-kb+ad}{cd}$.

Hence tertiary of equilibrium point is $\left(\frac{k}{d}; \frac{-kb+ad}{cd}\right)$. Now, to search the stability of the equilibrium points, we initial need to find the Jacobian matrix which may be found as results [4]:

$$J(x,y) = \begin{bmatrix} a - 2bx - cy & -cx \\ dy & -k + dx \end{bmatrix}.$$

3. **Results and Discussion**

Let build modelling conditions the stability of equilibrium points in a case of war results.

Since for basis one eigenvalue is negative $(-k)$ and the other positive $(+a)$, origin is uneven.

(1) $\left(\frac{a}{b}; 0\right)$:

$$\lambda_1 = a, \qquad \lambda_2 = \frac{-kb + ad}{cd}.$$

If $\lambda_2 = \frac{-kb+ad}{cd} < 0$ (i.e. $ad < kb$) then the above equilibrium point is stable. But if If $\lambda_2 = \frac{-kb+ad}{cd} > 0$ (i.e. $ad > kb$) then above equilibrium point is uneven (or unstable).

(2) $\left(\frac{k}{d}; \frac{-kb+ad}{cd}\right)$:

$$\lambda_1 = \frac{1}{2d}\left(-kb + \sqrt{k^2b^2 + 4dk^2b - 4akd^2}\right)$$

$$= \frac{-1}{2}\left(\frac{kb - i\sqrt{-k^2b^2 - 4dk^2b + 4akd^2}}{d}\right);$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2d}\left(-kb - \sqrt{k^2b^2 + 4dk^2b - 4akd^2}\right)$$
$$= \frac{-1}{2}\left(\frac{kb + i\sqrt{-k^2b^2 - 4dk^2b + 4akd^2}}{d}\right).$$

This point is stable, because both real parts are negative. The imaginary numbers imply that it will be periodic.

Case 1: Stability of Ukrainian active military resistance ($ad > kb$)

In this case, $\frac{a}{b}$ is the stable point for the Ukrainian military efforts in a occupants terroristic-free force, and $\frac{k}{d}$ the term of is the critical point for the Ukrainian military resisting against Russian occupants. This case holds true without initial conditions until $x_0 > 0$, and $y_0 > 0$.

Case 2: Stability of Ukrainian active military resistance ($ad < kb$)

For the second case, when $\frac{a}{b}$ is less than $\frac{k}{d}$, we arrive at an interesting conclusion. When $ab < kd$, then for the Russian occupant's equation, the critical point becomes a negative number. So, y= $\frac{-kb+ad}{cd}$ results in a negative number. So, in the second case, the occupant's military force will die out regardless of the initial conditions. Therefore, the solution would be converged to the occupants terroristic-free force stable point.

Case 3: For the third case, we pay attention to the question: What will happen if all the constants are the same? A simple glance at the equations tells us that this would be like the second case: We get $\frac{a}{b} = \frac{k}{d} = 1$, yet the critical point would be $(1;\ 0)$ which is on the $y-$axis and identical to the stable point for the Ukrainian force against occupants terroristic-free force. So here the occupant's military force dies out again.

Case 4: stability of both forces ($b = 0$)

Let $b = 0$, which implies it is the model into the simplest form of the prey-predator model – model resisting Ukrainian forces against Russian aggressors. The new equations look like this:

$\frac{dx}{dt} = x(a - cy),\ \ \frac{dy}{dt} = y(-k + dx).$

So, the critical point becomes $(\frac{k}{d}; \frac{a}{b})$ and we get an ellipse around the above critical point. The shape and size depend on the constants and initial conditions. So, both the Ukrainian force and Russian aggressor's populations increase and decrease in the above cyclic pattern.

Case 5: Now for the fifth case, we suppose the question: What does happen if $x(t) = y(t)$? This is pretty much like the first case, since $ab > kd$. The only significant impact is the location of the critical point.

Now let us back to the simulation results. First, the situation for Ukraine and Russia was simulated based on the available casualty ranges - equation (1). Each simulation using the Mote Carlo method generated results 10 times [5]. For each state (Win, Freeze, Loze) of every warring country, the results of the Lotka-Volterra model were obtained – equation (3). Possible simulation results are presented in Fig. 1.

Average data for contemporary simulation are next: For Ukraine (Win=20 %, Freeze=42 %, Loze=45 %); for Russian Federation (Win=40 %, Freeze=34 %, Loze=29 %). According to the simulation results, Ukraine's chances of winning are unlikely, the most likely outcome in a long war may be defeat in the war (loss of territory and statehood). For both countries, under the influence of the US and President Trump, freezing the military conflict for a long time may be possible (Korean or Cyprus scenarios) - approximately 40 %.



Fig. 1. Contemporary simulation results

In modern changing world, and primarily due to the probable global economic crisis accelerated by the influence of American President Donald Trump, an economic recession is quite real. First, this applies to the price of oil on the world market. If Urals oil reaches $55 or less per barrel during a quarter or longer, this will greatly undermine the financing of the war by the aggressor country. But the same negative dynamics are possible for Ukraine: there is an obvious US tendency to completely stop military aid to Ukraine from the US and NATO, even on the condition of purchasing weapons and ammunition, and a reduction in aid from European countries. In this case, we will have to rely only on the Ukrainian production of weapons, ammunition and ammunition, with moderate support from Great Britain, France, Germany and Poland.

Average data in the case of global economic crisis are next (Fig. 2): For Ukraine (Win=24 %, Freeze=40 %, Loze=58 %); for the Russian Federation (Win=55 %, Freeze=33 %, Loze=27 %). According to the modeling results, Ukraine's chances of winning are insignificant and are almost twice as small as Russia's. In this case, we will have to rely only on the desire for victory of the Ukrainian defense forces and

army. Russia's slight decrease in the likelihood of defeat in this war is explained by significant strategic reserves and the successful transfer of the Russian economy to military production. The chances of both countries freezing active military action remain the same as in the previous case.

	Ukraine			Russian Federation		
	Win	Freeze	Lose	Win	Freeze	Lose
1	0.33	0.30	0.87	0.63	0.30	0.26
2	0.33	0.28	0.87	0.63	0.21	0.26
3	0.22	0.28	0.29	0.42	0.20	0.26
4	0.22	0.57	0.29	0.42	0.49	0.13
5	0.11	0.57	0.87	0.63	0.49	0.26
6	0.22	0.10	0.87	0.21	0.02	0.39
7	0.22	0.17	0.29	0.63	0.09	0.39
8	0.22	0.57	0.29	0.63	0.49	0.26
9	0.22	0.57	0.29	0.63	0.49	0.13
10	0.33	0.57	0.87	0.63	0.49	0.39
	2.40	3.99	5.80	5.46	3.27	2.73
Average	**0.24**	**0.40**	**0.58**	**0.55**	**0.33**	**0.27**

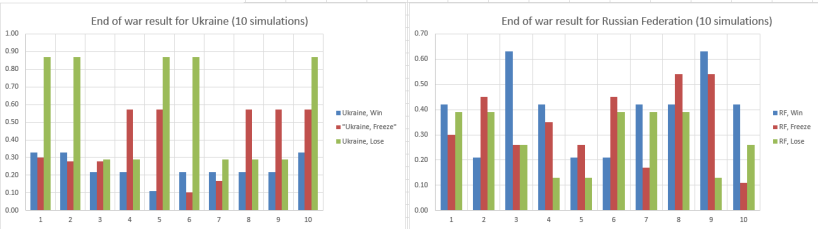


Fig. 2. Simulation results in case of global economic crisis

Conclusion

The Lotka-Volterra Predator-Prey Model in political and military application can be expanded to include other variables. We can polish the equations by adding more variables and get a better picture of the applied simulation. But with more variables, the model becomes more complex and would require more AI or computer resources.

A mathematical Lotka-Volterra Predator-Prey Model was built, and a simulation was carried out using the Mote Carlo method of the possible results of the Ukrainian - Russian war, considering modern political, military-economic situations and for the case of a probable global economic crisis.

According to the simulation results, Ukraine's chances of winning are unlikely in a short term, the most likely outcome in a long war may be defeat in the war (loss of territory and statehood). For both countries, under the influence of the US and President Trump, freezing the military conflict for a long time may be possible like Korean or Cyprus scenarios.

In case of global economic crisis to the modeling results, Ukraine's chances of winning are insignificant and are almost twice as small as Russia's. In this case, we will have to rely only on the desire for victory of the Ukrainian defense forces and army only.

References

1. Majka M., Monte Carlo Simulation in Financial Modelling. Research Gate, Sept. 2024. Available online: https://www.researchgate.net/publication/384466839_Monte_Carlo_Simulation_in_Financial_Modelling
2. Rammal D., Lotka-Volterra Predator-Prey Models. Academia, 2020, Available online: https://www.academia.edu/43192876/Lotka_Volterra_Predator_Prey_Models
3. Ліснічук М. Мінус 1310 окупантів і 19 танків: озвучено втрати російських військ за добу. 14.04.2025 07:37. Available online: https://war.obozrevatel.com/ukr/minus-okupantiv-i-tankiv-ozvucheno-vtrati-rosijskii-vijsk-za-dobu.htm
4. Sardara A.K., Hanifb M., Asaduzzamana Md., Md. Biswas H.A., Mathematical Analysis of the Two Species Lotka-Volterra PredatorPrey Inter-specific Game Theoretic Competition Model. Advanced Modeling and Optimization, Vol. 18, Num. 2, 2016. Available online: https://camo.ici.ro/journal/vol18/v18b6.pdf
5. McLeish Don L., Monte Carlo Simulation and Finance. SAS Publisher, California, USA, Sept. 2004, PP. 329. Available online: https://sas.uwaterloo.ca/~dlmcleis/s906/chapt1-6.pdf

УДК 539.595

Р.В. Ткаченко
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Деякі нелінійні властивості при русі циліндра, частково заповненого рідиною, що знаходиться на рухомій платформі, під дією гармонічної сили

На основі варіаційного підходу і методів нелінійної механіки побудовано математичну модель руху циліндричного резервуару, частково заповненого рідиною, закріпленого пружиною до рухомої платформи. Виявлено наявність явища антирезонансу при нелінійних коливаннях циліндра і рідини на бічній поверхні і всередині циліндра.

Задачі динаміки рідини з вільною поверхнею в резервуарах при різних способах закріплення продиктовані потребами сучасної техніки. Резервуари з рідиною, які знаходяться на рухомій платформі, використовуються в інженерних конструкціях в машинобудуванні, літакобудуванні, ракетній техніці, засобах транспортування та збереження рідинних вантажів. В математичному плані такі задачі описуються рівняннями неоднорідної структури:зв‘язна нелінійна система звичайних диференціальних рівнянь і нелінійна крайова задача з вільною границею. Аналітичні розв’язки цих нестаціонарних нелінійних крайових задач до теперішнього часу не одержані, тому застосовуються наближені методи, засновані переважно на варіаційних алгоритмах і методах нелінійної механіки.

Метою цієї роботи є наявність антирезонансів при дослідженні нелінійних коливань сумісного руху жорсткого циліндра, частково заповненого рідиною, пружно закріпленого на платформі, до якої прикладена гармонічна сила.

Постановка задачі. Розглянемо рух у горизонтальній площині абсолютно твердого циліндричного резервуару, частково заповненого рідиною з вільною поверхнею, приєднаного пружиною до платформи, яка сама здійснює складний рух. У початковий час система «платформа – резервуар з рідиною» перебуває у спокої.

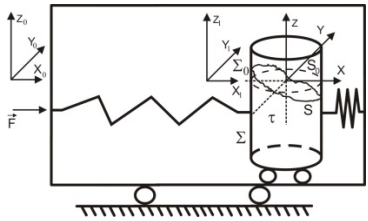


Рис. 1. Загальний вигляд механічної системи

Тут позначено: τ – область, що займає рідина в даний момент часу, S – збурена вільна поверхня рідини, S_0 – вільна поверхня рідини в незбуреному стані. Система координат $Oxyz$ пов’язана с резервуаром, $O_1x_1y_1z_1$ – з

платформою, $O_0x_0y_0z_0$ – умовно нерухомою системою координат. Точка O знаходиться в центрі незбуреної вільної поверхні рідини. В незбуреному стані точки O_0 і O співпадають. Позначимо $z = \xi(x, y, t)$ – невідоме рівняння вільної поверхні рідини у збуреному стані. Вважаємо, що рідина однорідна, нестислива, ідеальна. В початковий момент часу відсутні вихрові рухи рідини, впливом поверхневого натягу на коливання рідини нехтуємо. До платформи прикладено гармонічну силу $F = A\cos(\omega t)$, де аналізувалися варіанти $\omega = 3.0$; 3.5; 3.8; 4.0; 4.1; 4.13; 4.14; 4.147; 4.157; 4.2; 4.3; 4.5; 4.8; 5.2; 5.5. Податливі пружини з малими жорсткостями не розглядалися, щоб обмежити рух циліндра. Порівняння проводилося із жорстким защемленням. Математична модель руху системи будується на основі варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського і кінематичних граничних умов. Використовується варіаційний підхід з концепцією розділення змінних, запропонований О.С.Лімарченко [1]. Позначимо: ε_x – рух циліндра відносно початкового положення, u_x – рух циліндра відносно платформи, V_x – швидкість руху резервуара. Для чисельних розрахунків приймалася модель, яка включає 12 форм коливань [2]. Проведено розрахунки у вказаній моделі та в моделі без пружини, де маса резервуара збільшена на масу, відповідну масі рами попередньої моделі. Співвідношення мас рідини, резервуара, рами в безрозмірному вигляді відповідно M_l=32141,59 кг, M_{res}=0,25 M_l, M_{fr}=5 M_l. Використовували такі жорсткості пружини: с=50 кН/м, 100кН/м, 200 кН/м, 500 кН/м, 2000 кН/м. Переходячи до дискретної моделі отримаємо систему звичайних диференціальних рівнянь лінійних відносно других похідних невідомих величин, яка в загальному вигляді має вигляд

$$\sum_{n=1}^{N} p_{rn}(a_k, t)\ddot{a}_n + \sum_{n=N+1}^{N+3} p_{rn}(a_k, t)\ddot{\varepsilon}_{n-N} + \sum_{n=N+4}^{N+6} p_{rn}(a_k, t)\ddot{u}_{n-N-3} + q_r(a_k, \dot{a}_l, t)$$
$$r = \overline{1, N+6} \qquad (1)$$

Тут a_i – амплітудні параметри збудження форм власних коливань рідини [2]. Ця модель враховує взаємний вплив всіх компонентів системи одне на одного.

В результаті чисельних розрахунків знайдено $\frac{\xi}{R}$, $\frac{a_3}{R}$, $\frac{u}{R}$, ε/R, тобто коливання амплітуд вільної поверхні рідини, збурення першої осесиметричної форми, відносне переміщення резервуару стосовно рами і стосовно початкового положення.

Антирезонанс – це явище, коли при модуляції коливань рідини існують невеликі проміжки на протязі 3-5 періодів, де коливання майже відсутні, а потім знову наростає збудження. Наприклад на рис.1 приведено значення амплітуд збурень вільної поверхні рідини при жорсткості с=50 кН/м, А=662Н, $\omega = 3.8$.

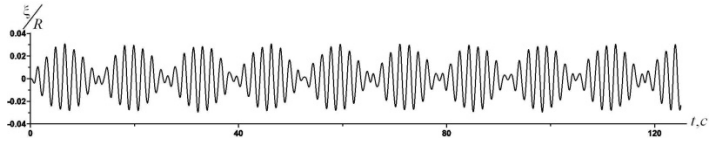


Рис. 2. Значення амплітуд збурень вільної поверхні рідини при c=50 кН/м, A=662Н, $\omega = 3.8$.

Антирезонанс має місце для всіх жорсткостей в околі частот $\omega = 3.8$; 4.0; 4.1; 4.13; 4.14 для всіх значень $\frac{\xi}{R}$, $\frac{a_3}{R}$, $\frac{u}{R}$, ε/R при наявності пружини.

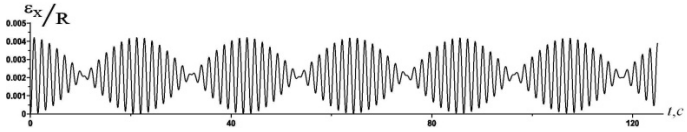


Рис. 3. Значення амплітуд руху циліндра при c=50 кН/м, A=662Н, $\omega = 3.8$.

В околі $\omega = 4.0$, 4.3 амплітуди коливань зміщені вверх відносно середнього значення. При цих же значеннях частоти для ε/R антирезонанс існує і при відсутності пружини, але амплітуди коливань зменшаться. При $\omega =$ 4.3 антирезонанс відбувається з впливом вищих гармонік.

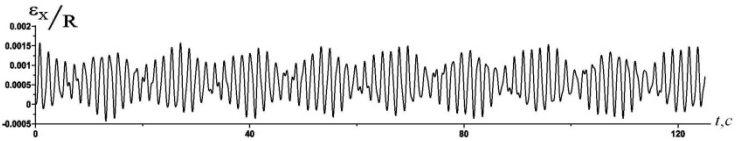


Рис. 2. Значення амплітуд руху циліндра при c=100 кН/м, A=535Н, $\omega = 4.3$.

Висновок

Встановлено, що при дослідженні нелінійних коливань сумісного руху жорсткого циліндра, частково заповненого рідиною, пружно закріпленого на платформі, до якої прикладена гармонічна сила, суттєво проявляється нелінійний ефект – антирезонанс в околі частот $\omega = 3.8$; 4.0; 4.1; 4.13; 4.14 при наявності пружини, а при $\omega = 4.3$ і при відсутності пружини.

Список літератури

1. O. Limarchenko, G. Matarazzo, V. Yasinsky Rotational motion of structures with tanks partially filled by liquid. – Kyiv, 2003

2. O. Limarchenko, R. Tkachenko Effect of spring fixation on dynamics of cylindrical reservoir with liquid on movable platform. – International Applied Mechanics, 2014.-50.– №3.–с. 69–76. (in Russian).

УДК 519.175.4 + 681.142

О.Д. Глухов, к.ф.-м.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Мультикаркаси і зв'язність графів

Розглянуто задачу оцінки ймовірності зв'язності графів при випадковому видаленні частини їх ребер. Застосовано апарат квазівипадкових графів, зокрема поняття мультикаркаса і зв'язністного полінома графа. Отримано нову оцінку зв'язності для деяких класів 3-реберно зв'язних графів.

Квазівипадкові графи.

Квазівипадкові графи є моделями дискретних систем, структура яких може змінюватись внаслідок випадкового розриву частини зв'язків [1-3].

В цій статті розглядається задача оцінки ймовірності зв'язності деяких класів квазівипадкових графів $G(p)$, що побудовані на основі 3-реберно зв'язних графів G.

Означення 1. Нехай $G = G_n$ - зв'язний граф на n вершинах з множиною вершин G^0 і множиною ребер G_n^1, $|G^0| = n$, $|G^1| = m$, квазівипадковим графом на основі графа G називається граф $G(p)$ з множиною $G^0(p) = G^0$ вершин і з випадковою множиною $U = G^1(p)$ ребер для якої виконуються умови:

$Prob(u \in U) = p,\ u \in G^1$;

$Prob(u \in U) = 0,\ u \notin G^1$.

Мультикаркаси графа і С-поліноми.

Нехай G - зв'язний граф, $U \subseteq G^1$ - деяка множина його ребер, через $G[U]$ будемо позначати мінімальний підграф графа G з множиною ребер $(G[U])^1 = U$.

Означення 2 . Мультикаркасом графа G будемо називати сімейство множин $\{E_j\}_{j=1}^s$, яке задовольняє наступним умовам:

(1) $\forall j\ E_j \subseteq G^1$;

(2) якщо множина W ребер графа G задовольняє умові $\forall j\ W \cap E_j \neq \varnothing$, то граф $G[W]$ буде зв'язним факторграфом графа G (зв'язним підграфом, який містить усі вершини даного графа).

Означення 3 . С-поліномом або зв'язністним поліномом мультикаркаса

$M = \{E_j\}_1^s$ графа G назвемо поліном, визначений наступним чином:

$$C(G, M, x) = \sum_k \xi_k x^k ,$$

де $\xi_k(M) = |\{E \in M : |E| = k\}|$.

Важливість C - полінома випливає з наступного твердження.

Теорема 1 [3]. Якщо G зв'язний граф, M - деякий його мультикаркас, то для ймовірності P зв'язності квазівипадкового графа $G(p)$ на основі графа G має місце наступна оцінка:

$$P \geq 1 - C(G, M, q), \text{ де } q = 1 - p.$$

Гомоморфізми.

Означення 4. Сімейство $\{V_k\}_1^s$ назвемо регулярним розбиттям множини вершин графа G, якщо виконані наступні умови:

1) $G^0 = \bigcup_{k=1}^{s} V_k$,

2) $i \neq j \Rightarrow V_i \cap V_j = \varnothing$,

3) $\forall k \; G[V_k]$ зв'язний підграф графа G.

Означення 5. Регулярним гомоморфізмом f графа G на граф H будемо називати сюр'єктивне відображення множини вершин графа G на множину вершин графа H, при якому кожна вершина графа H отримується в результаті стягування деякого породженого зв'язного підграфа графа G. Таким чином, прообразом кожної вершини графа H є породжений зв'язний підграф графа G (зокрема це може бути тривіальний прообраз, тобто підграф, який складається з однієї вершини). Легко бачити, що регулярний гомоморфізм f графа G на граф H однозначно задається наступним регулярним розбиттям множини його вершин:

$$G^0 = \bigcup_{k=1}^{s} V_k , \; V_k = f^{-1}(v_k), \; H^0 = \{v_k\}_1^s .$$

І навпаки, кожне регулярне розбиття множини вершин графа G задає його регулярний гомоморфізм.

Означення 6. 2-реберно зв'язний граф G на n вершинах будемо називати майже 3-реберно зв'язним, якщо число його 2-реберних розрізів не перевищує n.

Головний результат.

Теорема 2. Нехай $G(p)$ квазівипадковий граф на основі 3-реберно

зв'язного графа G, з n вершинами, $p = 1 - \alpha n^{-0.5}$ і нехай існує таке регулярне розбиття $G^0 = \bigcup_{k=1}^{s} V_k$, що усі графи $G[V_k]$ є майже 3-реберно зв'язними і $f: G \to H$ - відповідний йому гомоморфізм. Нехай, крім того виконуються умови $\forall k \mid V_k \mid \leq cn^{0.5}$, $\mid H^0 \mid \leq cn^{0.5}$, $c\alpha < 1$. Тоді для ймовірності P зв'язності графа $G(p)$ має місце наступна оцінка:

$$P \geq 1 - c\alpha^2 \ .$$

Доведення. Як показано в [3] мультикаркас графа G можна отримати як диз'юнктне об'єднання мультикаркасів графів $G[V_k]$ і мультикаркаса графа H. Для кожного з цих графів F відповідний С-поліном матиме наступний вигляд: $C(F, M, x) = \sum_k \xi_k(M) x^k$. За умовою теореми маємо наступні нерівності: $\mid F \mid = s \leq cn^{0.5}$, $\xi_2 \leq s$, $\xi_k \leq s^k$, $k \geq 3$, звідки й випливає потрібна оцінка для P.

Висновок. Якщо квазівипадковий граф $G(p)$ на основі 3-реберно зв'язного графа G з n вершинами, що задовольняє умовам теореми 2 і $p = 1 - q$, $q = o(n^{-0.5})$, то такий граф буде зв'язним з ймовірністю $P = 1 - o(1)$.

Список літератури

1. Diestel R. Graph Theory, Springer-Verlag, Heidelberg, Graduate Texts in Mathematics, Volume 173, 2017. — 428 P.
2. Frieze A, Karoński M. Introduction to Random Graphs. Cambridge University Press; 2024. — 576 P.
3. Глухов А.Д., Квазислучайные графы и структурная устойчивость сложных дискретных систем . Электронное моделирование, т. 38, №5, 2016, с.35-41.
4. Glukhov O.D. On the connectivity of quasi-random graphs. Електронне моделювання, т. 46, №6, 2024 , с.3 -7.

УДК 517.9

Г.В. Тугай
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Про нові точки дискретного спектра при сингулярних збуреннях

Показано, що можна побудувати за один крок сингулярно збурений позитивний оператор з точкою дискретного спектра будь-якої скінченої кратності та побудувати сингулярні збурення рангу один для строго додатного самоспряженого оператора A та для його квадрата A^2 так, що обидва вони розв'язують задачу на власні значення із спільним власним вектором.

Нехай $A \geq 1$ – самоспряжений оператор у гільбертовому просторі H з нормою $\|\cdot\|$ і скалярним добутком $(\cdot,\cdot)$. З оператором A пов'язана так звана A - шкала гільбертових просторів:

$$\mathsf{H}_{-k} \subset \mathsf{H}_0 \equiv \mathsf{H} \subset \mathsf{H}_k \equiv \mathsf{H}_k(A), k > 0, \qquad (1)$$

де $\mathsf{H}_k = \mathrm{Dom}\, A^{k/2}$ з позитивною нормою $\|\varphi\|_k := \left\|A^{k/2} f\right\|, \varphi \in \mathrm{Dom}\, A^{k/2}$ та H_{-k} – поповнення H за негативною нормою $\|h\|_{-k} := \left\|A^{-k/2} h\right\|, h \in \mathsf{H}$ [1]. Символ $\subset$ в (1) – позначення щільного неперервного вкладення просторів.

Сингулярні збурення з кратною точною спектра

Теорема 1. Нехай A – додатний самоспряжений оператор в гільбертовому просторі H, E – дійсне число та $\psi_i \in \mathsf{H}_{+1}, i = 1,...,n \geq 2$ – ортогональні вектори, що задовольняють умову: $\mathrm{span}\{\psi_i\} \cap \mathsf{D}(A) = 0$. Нехай $\tilde{A} = A_n$ – сингулярно збурений оператор рангу n відносно A, що розв'язує задачу на власні значення [1]:

$$A_n \psi_i = E\psi_i, i = 1,\ldots,n.$$

Тоді A_n можна записати у вигляді узагальненої суми:

$$A_n = A \dotplus T_n,$$

де

$$T_n = -\sum_{i,j=1}^{n} \beta_{ij}^{(n)} \langle \cdot, (\mathbf{A} - E)\psi_i \rangle (\mathbf{A} - E)\psi_j, \mathbf{A} \equiv \mathbf{A}_0 = A^{\mathrm{cl}} : \mathsf{H}_{+1} \to \mathsf{H}_{-1}.$$

Тут

$$\beta_{ij}^{(n)} = (-1)^{i+j} \frac{|M_n^{ji}|}{|M_n|},$$

де

$$M_n = \left(c_{ij}\right)_{i,j=1}^{n}, c_{ij} = \langle \psi_i, (\mathbf{A} - E)\psi_j \rangle, i, j = 1,\ldots,n,$$

$|M_n^{i,j}|$ – мінор матриці M_n, отриманий викреслюванням і-го рядка та j-го стовпчика.

Задача на власні значення для H_{-4} збурень

Використаємо метод розвинутий в [1].

Нехай $A..c>1$ необмежений самоспряжений оператор з $\mathsf{D}(A)\subset\mathsf{H}$. Нагадаємо, що згідно з [1] самоспряжений оператор $\tilde{A}\neq A$ називається (чисто) сингулярно збуреним відносно A (запишемо $\tilde{A}\in\mathsf{P}_s(A)$), якщо множина $\mathsf{D}=\{\varphi\in\mathsf{D}(A)\cap\mathsf{D}(\tilde{A}):A\varphi=\tilde{A}\varphi\}$ є щільною в H.

Введемо через A розширений оснащений простір [1], який є частиною А-шкали гільбертових просторів:

$$\mathsf{H}_{-4}\supset\mathsf{H}_{-2}\supset\mathsf{H}\supset\mathsf{H}_{+2}\supset\mathsf{H}_{+4},$$

де $\mathsf{H}_{+2}=\mathsf{D}(A),\mathsf{H}_{+4}=\mathsf{D}(A^2)$ з нормами графіків A і A^2 відповідно.

За визначенням (див. [1]) кожне H_{-4} - суперсингулярне збурення рангу один оператора A задається вектором $\omega\in\mathsf{H}_{-4}\setminus\mathsf{H}_{-2}$. Однак для A^2 цей вектор ω утворює H_{-2} - сингулярне рангу один збурення, яке можна побудувати за допомогою формули Крейна для резольвент. Визначимо сингулярно збурений оператор $\tilde{A}^2$:

$$(\tilde{A}^2)^{-1}=(A^2)^{-1}+b_0(\cdot,\eta)\eta,$$

де $\eta=(A^2)^{-1}\omega\in\mathsf{H}$, а b_0 - фіксоване додатне число.

Оператор $\tilde{A}^2$ розв'язує задачу на власні значення $\tilde{A}^2\varphi=\lambda\varphi$ з $\lambda>0$ і φ, що визначаються через ω та b_0 з рівняння

$$b_0(\varphi,\eta)\eta=\left(\lambda^{-1}-(A^2)^{-1}\right)\varphi\left(A^2-\lambda\right)\lambda^{-1}(A^2)^{-1}\varphi,$$

де

$$\lambda b_0(\varphi,\eta)A^2(A^2-\lambda)^{-1}\eta=\varphi,$$

$$\lambda b_0(\varphi,\eta)\left(A^2(A^2-\lambda)^{-1}\eta,\eta\right)=(\varphi,\eta).$$

Маємо

$$\left(\tilde{A}^2\right)^{-1}\varphi=(A^2)^{-1}\varphi+b_0(\varphi,\eta)\eta=\frac{1}{\lambda}\varphi.$$

Таким чином

$$\varphi=A^2(A^2-\lambda)^{-1}\eta,\ \text{ і }\ \eta=(A^2-\lambda)^{-1}A^{-2}\varphi\ ,$$

$$b_0=\frac{1}{\lambda\left(A^2(A^2-\lambda)^{-1}\eta,\eta\right)}.$$

Тепер побудуємо пов'язаний $\tilde{A}^2$ оператор $\tilde{A}$, що розв'язує задачу на власні значення: $\tilde{A}\varphi = \sqrt{\lambda}\varphi$ і є H_{-2} - сингулярним рангу один збуренням для A.

Покладемо

$$\mu = (A - \sqrt{\lambda})A^{-1}\varphi, \quad p_0 = \frac{1}{\sqrt{\lambda}\left(A(A-\sqrt{\lambda})^{-1}\mu, \mu\right)}$$

і визначимо:

$$\tilde{A}^{-1} = A^{-1} + p_0(\cdot, \mu)\mu.$$

$$\tilde{A}^{-1} = A^{-1} + \frac{\left(\cdot, A(A+\sqrt{\lambda})^{-1}\eta\right)}{\sqrt{\lambda}\left(A^2(A^2-\lambda)^{-1})^{-1}\eta, A(A+\sqrt{\lambda})^{-1}\eta\right)} A(A+\sqrt{\lambda})^{-1}\eta. \qquad (2)$$

Теорема 2. Нехай у сепарабельному гільбертовому просторі H для додатного самоспряженого оператора $A..c > 1$, задано суперсингулярне збурення рангу один у вигляді вектора $\omega \in \mathsf{H}_{-4} \acute{\Gamma} \mathsf{H}_{-2}$. І нехай оператор $\tilde{A}^2$ є сингулярно збуреним відносно A^2 і визначається за допомогою формули Крейна. Припустимо, що $\tilde{A}^2$ розв'язує задачу на власні значення $\tilde{A}^2\varphi = \lambda\varphi$. Тоді визначений формулою (2) оператор розв'язує задачу на власні значення: $\tilde{A}\varphi = \sqrt{\lambda}\varphi.$

Список літератури

1. Koshmanenko V., Dudkin M., The Method of Rigged Spaces in Singular Perturbation Theory of Self-Adjoint Operators, Operator Theory: Advance and Applications, BirkhÄauser, 253, 201
2. Tuhai H., On new points of the discrete spectrum under singular perturations, Methods Funct. Anal. Topology – 2018. – 24, no. 3, –p. 288-296

UDC 517.95

I. S. Klius, PhD, I. V. Shevchenko, PhD.
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Problem with integral conditions for partial differential equations

The correctness of a problem with integral conditions for the partial differential equations is investigated. The conditions of existence and uniqueness of the solution to a problem are established. The metric theorem of the estimation from below of the small denominators of the problem is proved.

Problems with integral conditions for the partial differential equations are, in general, conditionally correct [1] and their solvability in many cases related to the problem of small denominators. By using the method of separation of variables, we provide explicit formulas for solutions of the considered problems in the form of series based on systems of the orthogonal functions. Moreover, we establish the conditions for the unique solvability of the problems in the corresponding functional spaces.

On the basis of modern methods and results of the metric number theory, we prove the metric theorems on lower estimates of small denominators, which arise during the study of the considered problems.

Let us introduce the following notations: Ω_p is a p -dimensional torus $\left(R/2\pi Z\right)^p$, $Q_p=\left(0,T\right)\times\Omega_p$; $x=\left(x_1,...,x_p\right)\in\Omega_p$, $k=\left(k_1,...,k_p\right)\in Z^p$, $\left|k\right|=\left|k_1\right|+...+\left|k_p\right|$, $\left(k,x\right)=k_1x_1+..+k_px_p$; $D=\left(i\partial/\partial x_1,...,i\partial/\partial x_p\right)$; $W^{\gamma}_{\alpha,\beta}$ is a space of functions $\varphi\left(x\right)=\sum_{|k|\geq 0}\varphi_x\exp\left(ik,x\right)$ for which the norm

$$\left\|\varphi\left(x\right);W^{\gamma}_{\alpha,\beta}\right\|=\sum_{|k|\geq 0}\left|\varphi_x\right|\left(1+\left|k\right|\right)^{\alpha}\exp\left(\beta\left|k\right|^{\gamma}\right)$$

is finite; $C^n\left(\left[0,T\right];W^{\gamma}_{\alpha,\beta}\right)$ is a space of functions $u\left(t,x\right)=\sum_{|k|\geq 0}u_k\left(t\right)\exp\left(ik,x\right)$ with the finite norm

$$\left\|u\left(t,x\right);C^n\left(\left[0,T\right];W^{\gamma}_{\alpha,\beta}\right)\right\|=\sum_{j=1}^{n}\sum_{|k|\geq 0}\max_{t\in[0,T]}\left|u_k^{(j)}\left(t\right)\right|\left(1+\left|k\right|\right)^{\alpha}\exp\left(\beta\left|k\right|^{\gamma}\right).$$

We consider the problem:

$$L\left[\frac{\partial}{\partial t},D\right]u\left(t,x\right)\equiv\frac{\partial^2u\left(t,x\right)}{\partial t^2}+A_1\left(D\right)\frac{\partial u\left(t,x\right)}{\partial t}+A_1\left(D\right)u\left(t,x\right)=0\,,\ \left(t,x\right)\in Q_p,\quad(1)$$

$$\int_0^{t_1}u\left(t,x\right)dt=\varphi_1\left(x\right),\ \int_0^{t_1}tu\left(t,x\right)dt=\varphi_2\left(x\right),\ x\in\Omega_p\,,\ 0<t_1<T\,,\qquad(2)$$

where $A_j=\left(\xi_1,...,\xi_p\right)\in\sum_{|s|\leq N_j}A_{js}\xi_1^{s_1}...\,\xi_p^{s_p}$, $A_{js}\in C$, $\left|s\right|\leq N_j$, $j=1,2$.

The choice of the domain Ω_p implies that the functions $u(t,x)$, $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x)$ are 2π-periodic with respect to $x_1, ..., x_p$.

The solution of the problem (1), (2) we find in the form of the series

$$u(t,x) = \sum_{|k|\geq 0} u_k(t) \exp(ik,x)$$

Let $u_{kq}(t)$, $q = 1,2$, $k \in Z^p$ be the solutions to the Cauchy problem

$$L(d/dt,k)u_{kq}(t) = 0,$$

$$u_{kq}^{(j-1)}(0) = \delta_{kq}, \quad j = 1,2,$$

where δ_{kq} is Kronecker's symbol.

We denoted by $\lambda_j(k)$, $j = 1,2$ the roots of the characteristic equation

$$L(\lambda,k) = 0 \text{ and } \Delta(k) = \det \left\| \int_0^{t_1} t^{j-1} f_{kq}(t)\, dt \right\|_{j,q=1}^2 ; \quad \gamma = \max\{N_1, N_2/2\},$$

$$M_1 = \max\left\{0, \sup\left\{\operatorname{Re} \lambda_j(k) \Big/ \left(1+|k|\right)^y, \ j = 1,2, \ k \in Z^p\right\}\right\},$$

$$M_2 = -\min\left\{0, \inf\left\{\operatorname{Re} \lambda_j(k) \Big/ \left(1+|k|\right)^y, \ j = 1,2, \ k \in Z^p\right\}\right\}.$$

Theorem 1. For the solution of the problem (1), (2) to be unique in space, $C^2\left([0,T]; W^{\gamma}_{\alpha,\beta}\right)$ it is necessary and sufficient that the condition be satisfied

$$\Delta(k) \neq 0, \quad k \in Z^p. \tag{3}$$

Remark 1. If for all $k \in Z^p$ the roots $\lambda_1(k), \lambda_2(k)$ are real numbers, then condition (3) is satisfied.

Theorem 2. Let condition (3) be satisfied and let there exist constants ω, δ such that for all (except a finite number) vectors $k \in Z^p$ the inequality holds

$$\left|\Delta(k)\right| \geq \left(1+|k|\right)^{-\omega} \exp\left(-\delta |k|^{\gamma}\right) \tag{4}$$

If $\varphi_1(x), \varphi_2(x) \in W^{\gamma}_{\alpha+\alpha_0,\beta+\beta_0}$, $\alpha_0 = \omega + 5\gamma$, $\beta_0 = \delta + 2M_1 T$, then in the space $C^2\left([0,T]; W^{\gamma}_{\alpha,\beta}\right)$ there is a unique solution to the problem (1), (2), which depends directly on the functions $\varphi_1(x), \varphi_2(x)$.

Theorem 3. For almost all (with respect to the Lebesgue measure in R) numbers $t_1 \in (0,T]$ and for the arbitrary fixed coefficients A_{js} of the equation (1), the inequality (4) holds for $\omega > 5(p+2\gamma)$, $\delta = 2M_2 T$ for all (except for a finite number) vectors $k \in Z^p$.

Theorem 4. Let $\varphi_1(x), \varphi_2(x) \in W^{\gamma}_{\alpha+5(p+3\gamma),\beta+2(M_1+M_2)T}$. For almost all (with respect to the Lebesgue measure in R) numbers $t_1 \in (0,T]$ and for the arbitrary fixed coefficients A_{js} of the equation (1) in the space $C^2\left([0,T]; W^{\gamma}_{\alpha,\beta}\right)$ there exists the unique solution to the problem (1), (2), which depends continuously on the functions $\varphi_1(x), \varphi_2(x)$.

Conclusion

It was established the conditions for the existence, uniqueness and continuous dependence on the right parts of the integral conditions of the solution of the problem for the partial differential equations.

The results complement scientific researches that have been studied in [2-4]. They can be used in the studying of specific practice problems which are modeled by means considered in the problem.

References

1. Ptashnyk B. Y. Incorrect borderline problems for partial differential equations. - Kyiv : Nauk. dumka, 1984. - 264 p.
2. Klyus I.S., Ptashnyk B.Y. Multipoint problem for equations with partial derivatives, not solved with respect to the highest derivative in time // Ukr. Mat. Zh. – 1999. – Vol. 51, No. 12. – P. 1604–1613.
3. Vasylyshyn P.B., Sawka I.J., Klyus I.S. Multipoint nonlocal problem for the factorized equation with dependent coefficients in conditions.- Mathematical Carpathian publications. - 2015 - 2, No. 2. - P. 27-32. https://doi.org/10.15330/cmp.7.1.22-27.
4. Klyus I.S., Vasylyshyn P.B., Konovaliuk V.S. "Multipoint problem for pseudodifferential equations".- Proceeding on the National Aviation University. - K.: NAU , 2015. – No. 3. - S. 72-75 . https://doi.org/10.18372/2306-1472.64.9039

UDC 519.6+004.4

L.I. Hladka, PhD in Physical and Mathematical Sciences,
O.A. Serdyuk, PhD in Technical Sciences
(National Bohdan Khmelnytsky University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine)

Numerical Methods as a Tool for Developing Applied Competencies in IT and Business Analytics

This paper explores the educational value of numerical methods in developing practical skills for IT students. It provides examples of interdisciplinary integration with business analytics and startup project development.

Introduction. In the context of the ongoing digital transformation of the economy, the training of IT specialists must go beyond traditional professional education. The growing demand for professionals capable of data-driven decision-making, modeling, business process analysis, and rapid adaptation to changes poses new challenges to higher education. In this regard, numerical methods are no longer perceived solely as a theoretical mathematical discipline but become a key component in the development of applied competencies — particularly in the fields of business analytics, investment analysis, and startup project development.

At our university, based on the educational programs for Information Systems and Technologies and Applied Mathematics, we implement an interdisciplinary approach aimed at gradually forming analytical modeling skills within the Numerical Methods course. These skills are further applied in project-based learning — especially during the implementation of student-led startup ideas in the "StartUp Projects" course. Such continuity between mathematical modeling and entrepreneurial application ensures that students see the relevance of their mathematical knowledge in real-world innovation processes.

Developing Analytical Thinking Through Numerical Methods

The Numerical Methods course includes core topics of computational mathematics: interpolation, numerical differentiation and integration, solving systems of linear and nonlinear equations, and ordinary differential equations. The emphasis is not only on theoretical understanding but also on practical implementation using widely adopted digital tools.

To develop analytical thinking, we offer a variety of practice-oriented assignments. For example:

1. Modeling system behavior based on empirical datasets, such as simulating the load on a server depending on user activity patterns;
2. Approximating functional relationships, including the creation of predictive models for sales, web traffic, or energy consumption;
3. Numerical forecasting of financial indicators, where students predict revenue or stock price movements using time series approximation;
4. Optimization problems, such as cost minimization or resource allocation under constraints, which reflect typical challenges in IT management and logistics.

These tasks foster the ability to think in terms of models and evaluate the accuracy and feasibility of different solutions. Students are encouraged to compare multiple numerical approaches (e.g., different interpolation or integration techniques) and justify their selection based on accuracy, computational cost, and interpretability.

Moreover, course assignments are increasingly based on real or realistic datasets from business, economics, and engineering. This enhances the contextual learning effect and supports the development of domain knowledge alongside computational competence.

Integration with the "StartUp Projects" Course

The StartUp Projects course is implemented as a project-oriented educational module. Within this framework, student teams design their own digital product concepts, develop functional prototypes, model market dynamics, analyze competitors, and formulate an investment strategy. Skills obtained from the Numerical Methods course are actively and deliberately applied during this project development phase.

Selected examples of student projects that demonstrate such integration include:

1. Investment portfolio analysis using historical data on stocks, cryptocurrencies, and precious metals. Students employed numerical integration to calculate moving averages and used variance to assess investment risks under different diversification scenarios;
2. Demand forecasting for digital services, where linear and polynomial regressions were applied to estimate usage trends and predict monthly active users based on prior campaign performance;
3. Advertising efficiency modeling, in which students analyzed the relationship between ad spending and platform engagement using regression analysis and error estimation techniques.

Such interdisciplinary projects highlight the transformation of abstract mathematical knowledge into actionable business insights. They also foster teamwork, critical thinking, and entrepreneurial initiative — competencies that are highly valued in the current labor market.

Use of Digital Tools and Technologies

A key component of both courses is the use of modern digital tools for implementing numerical methods. Core platforms used in the educational process include:

1. Python (NumPy, SciPy, pandas, matplotlib) — for developing scripts that perform calculations, visualize data, and automate analytical workflows;
2. MS Excel / Google Sheets — which offer a low-entry barrier for rapid prototyping, preliminary data analysis, and clear presentation of results;

In addition, students receive initial training in basic data science techniques such as:

1. Data preprocessing and cleansing;
2. Data visualization and dashboarding;
3. Hypothesis testing;

4. Scenario analysis using parameter sweeps.

The use of these digital tools ensures that students become not only users of numerical algorithms, but also confident developers of analytical pipelines. As a result, graduates are well prepared for careers in fields such as data analytics, financial modeling, logistics, and software development for decision support systems.

Conclusions

Integrating numerical methods into the training of IT students provides an effective way to combine fundamental mathematical knowledge with applied digital skills. This interdisciplinary, practice-oriented approach ensures:

1. A deeper understanding of mathematical foundations behind modern technologies used in data analytics and business decision-making;
2. The development of analytical competencies that are increasingly critical in roles such as business analyst, product manager, or data scientist;
3. A motivational boost to studying complex mathematical topics by demonstrating their applicability in innovation, entrepreneurship, and startup culture.

Such an approach not only improves educational outcomes but also strengthens students' confidence in their ability to solve real-world problems, laying a solid foundation for their future professional development.

References

1. Novak, K. (2022). *Numerical Methods for Scientific Computing: The Definitive Manual for Math Geeks* (2nd ed.). Equal Share Press.
2. Aggarwal, C. C. (2021). *Machine learning for data analytics: Foundations, techniques, and applications* (2nd ed.). Springer.
3. Borovska, A., & Chorna, A. (2020). Development of applied mathematical competence of future IT specialists by means of numerical methods. *CEUR Workshop Proceedings*, 2731, 12–21.

УДК 534-21:537.226.86

Н.О. Бабкова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Порівняльний аналіз коливань кільцевих перетворювачів енергії при нестаціонарних збуреннях із різних п'єзокерамічних матеріалів

Проводиться порівняльний аналіз коливань кільцевої пластини під дією нестаціонарного механічного тиску з різними частотами навантаження.

П'єзоелектричні елементи пластинчастої форми є найбільш поширеними електромеханічними перетворювачами у широкому частотному діапазоні та при імпульсних електричних та механічних збудженнях. У роботах [1-4] у різний спосіб вивчалися товщинні коливання пластинчастих перетворювачів. При цьому не враховувалася конфігурація перетворювачів у площині перебігу хвильових процесів.

У разі тонких перетворювачів цей недогляд можна усунути, якщо обмежитися теорією їх механічного деформування наближення плоского напруженого стану і лінійним розподілом електричного потенціалу по товщині.

П'єзокерамічні елементи – використовуються в пристроях, що перетворюють механічну дію в електричний сигнал (прямий п'єзоефект). В елементах збуджуються різні види коливань. В залежності від основного призначення п'єзокерамічні матеріали розділяються на функціональні групи і підгрупи. Сегнетомякі матеріали застосовуються в високочутливих приймачах звукових і ультразвукових коливань, матеріали середньої сегнетожорсткості в приймально-передавальних пристроях, високо стабільні матеріали в частотно-селективних пристроях та інші. Тому є необхідність в проведенні порівняльного аналізу коливань під дією нестаціонарного механічного тиску при різних частотах навантаження з різних матеріалів, а саме: ЦТС-19, PZT-4, РХЕ-5.

Матеріали пластини – п'єзокераміка.

ЦТС-19: $s_{11}^E = 15{,}2 \cdot 10^{-12}\, м^2/Н$, $c_{12}^E = -6{,}1 \cdot 10^{-12}\, м^2/Н$,

$d_{13} = -125 \cdot 10^{-12}\, Кл/Н$, $\varepsilon_{33}^S = 1360 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\, Ф/м$, $\rho = 7740 кг/м^3$

PZT-4: $s_{11}^E = 12{,}3 \cdot 10^{-12}\, м^2/Н$, $c_{12}^E = -7{,}78 \cdot 10^{-12}\, м^2/Н$,

$d_{13} = -123 \cdot 10^{-12}\, Кл/Н$, $\varepsilon_{33}^S = 1300 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} Ф/м$, $\rho = 7500 кг/м^3$

РХЕ-5: $s_{11}^E = 15{,}4 \cdot 10^{-12}\, м^2/Н$, $c_{12}^E = -5{,}8 \cdot 10^{-12}\, м^2/Н$,

$d_{13} = -178 \cdot 10^{-12}\, Кл/Н$, $\varepsilon_{33}^S = 1750 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} Ф/м$, $\rho = 7600 кг/м^3$

В даній роботі вивчається динаміка кільцевої пластини при різних частотах нестаціонарного механічного збурення та визначення електрорушійної сили(ЕРС) такого перетворювача енергії.

Коливання кільцевої пластини в загальному випадку описуються рівнянням руху

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = \rho \frac{\partial^2 u_r}{\partial t^2}.$$

Товщина пластини h координата r змінюється в межах $R_0 \le r \le R_1$.

Для тонких пластин вважаємо, що електричний потенціал всередині тіла змінюється по лінійному закону

$$\varphi = \frac{U(t)}{h} z,$$

$$E_z = -\frac{U(t)}{h},$$

тут $U(t)$ - шукана електрорушійна сила перетворювача, яка визначається з умови рівності нулеві струму при розімкнутих електродах. При $t = 0$ отримуємо вираз для знаходження електрорушійної сили

$$U(t) = \frac{\pi h k_p^2}{d_{13} A_{пл} (1 - k_p^2)} (R_1 u_r(R_1, t) - R_0 u_r(R_0, t)),$$

$k_p^2 = \frac{2 d_{13}^2}{s_{11}^E (1 - \nu_E) \varepsilon_{33}^T}$ - планарний коефіцієнт електромеханічного зв'язку.

Задача розв'язується чисельними методами.

Висновок

Проведені дослідження дозволяють визначити електрорушійну силу для кільцевих п'єзокерамічних пластин при нестаціонарному механічному тиску з різними частотами навантаження. Максимальні значення ЕРС виникають в п'єзокерамічній пластині при збудженні на резонансних частотах. Для матеріалів, на яких проводились дослідження, найбільше значення ЕРС виникало в пластині із матеріалу РХЕ-5, а найменше - ЦТС-19. Біля першого резонансу майже в 1.44 рази, а біля другого в 2 рази. Між резонансами значення ЕРС майже не відрізняються.

Список літератури

1. Шульга Н.А., Болкисев А.М. Колебание Пьезоэлектрических тел. – К: Наук. думка, 1990.-228с.

2. Шульга М.О., Карлаш В.Л. Резонансні електромеханічні коливання п'єзоелектричних пластин. – К: Наукова думка, 2008. – 270 с.

3. Шульга Н.А., Григорьева Л.А. Порівняльний аналіз вимушених упругоелектричних товщинних коливань шарів з викривленими границями //Прикл. механика. – 2011. – 47, №2. –С. 86-95.

4. Шульга Н.А., Григорьева Л.А., Бабкова Н.А Нестаціонарні коливання круглих п’єзоэлектрических тонких пластин при електричному збуренні //Прикл. механика. – 2014

УДК 004.89

В.О. Темніков, докт. техн. наук, проф., А.В. Темніков
(Київський авіаційний інститут, Україна)

Моделі оцінювання функціонального стану персоналу на основі перцептивних обчислень і нечіткої логіки

У роботі досліджено математичний апарат оцінювання функціонального стану персоналу із використанням інтервальних нечітких множин, лінгвістичних змінних та перцептивних обчислень. Розглянуто підхід до формування агрегованих оцінок та ранжування кандидатів для прийняття обґрунтованих управлінських рішень в умовах невизначеності.

Зменшення впливу людського фактору на безпеку критично важливих технологічних процесів вимагає ефективного контролю функціонального стану (ФС) працівників, зокрема на етапі професійного добору. Складність такої оцінки зумовлена багатофакторністю впливів, значною кількістю контрольованих показників та необхідністю залучення експертів з різних галузей знань, передусім медицини. Особливої актуальності набуває контроль психофізіологічного стану, який включає сенсомоторні реакції, концентрацію та переключення уваги, зорову та слухову пам'ять, стійкість до стресу, швидкість прийняття рішень та здатність діяти в екстремальних умовах. На сучасному етапі існує суперечність між потребою в комплексному оцінюванні ФС та відсутністю універсального інформаційного інструментарію, здатного забезпечити обґрунтовану підтримку осіб, що приймають управлінські рішення [1]. Вирішення цієї проблеми передбачає розробку інформаційних технологій та математичних моделей, які дозволять здійснювати багатовимірний аналіз і прогнозування змін психофізіологічних характеристик персоналу.

Для розв'язання споріднених задач пропонується технологія Human Digital Twin (цифровий двійник людини), яка дозволяє в реальному часі моделювати стан працівника на основі даних з біосенсорів, когнітивного моніторингу та штучного інтелекту [2]. У 2022 році було представлено Driver Digital Twin — систему, що прогнозує індивідуальну поведінку водіїв, зокрема зміну смуги руху, на основі бази даних та реального часу [3].

Ефективне прийняття управлінських рішень у сфері професійного добору та моніторингу працівників, діяльність яких пов'язана з підвищеним рівнем відповідальності та ризику, вимагає наявності інтегрованої інформаційної підтримки. Запропонована концепція інтелектуальної підтримки прийняття рішень ґрунтується на узагальненій схемі інформаційних зв'язків між об'єктами контролю, експертними оцінками та особами, що приймають рішення. Розробка інформаційної системи, на даних засадах забезпечить обґрунтоване порівняння кандидатів за сукупністю показників ФС, що охоплюють не лише психофізіологічні характеристики, а й індикатори стану здоров'я та професійної компетентності — знання, навички й уміння. Оцінювання, яке здійснюється із залученням експертів

з медицини, техніки та суміжних галузей знань, дозволяє формалізувати процес добору персоналу та мінімізувати суб'єктивність управлінських рішень.

Управління ФС працівників, діяльність яких пов'язана з підвищеним ризиком, вимагає наявності системи інформаційної підтримки прийняття рішень (СІППР), здатної інтегрувати як кількісні, так і якісні оцінки. Узагальнена схема такої системи включає суб'єкта оцінювання, особу, що приймає рішення (ОПР), та функціональні блоки збору, обробки й аналізу інформації на основі єдиної бази знань і даних. Для забезпечення об'єктивності та повноти оцінювання застосовується багаторівнева модель показників ФС, до якої входять психофізіологічні характеристики, індикатори здоров'я та професійної підготовки. Експертні оцінки здійснюються як у числовій, так і в лінгвістичній формах, що дозволяє враховувати інформацію, яку не формалізовано у числовому вигляді.

Запропонована інформаційна технологія базується на зважених графових моделях з лінгвістичними вхідними вузлами, що дозволяє здійснювати агрегування оцінок із урахуванням значущості кожного з факторів (1). Призначення ваг у лінгвістичній формі, з подальшою чисельною обробкою, підвищує зручність для експертів і зменшує суб'єктивність інтерпретацій. Система забезпечує ранжування кандидатів на основі інтегральних оцінок, що формуються за допомогою ієрархічного об'єднання оцінок різних експертів, кожен із яких працює у своїй профільній галузі.

$$F = \sum_{i=1}^{n} \mu(w_i) \cdot \mu(l_i), \qquad (1)$$

де $\mu(w_i)$ – функція перетворення ваги і-го критерію, $\mu(l_i)$ – числове представлення лінгвістичної оцінки і-го показника.

Для ефективного контролю ФС персоналу, діяльність якого пов'язана з підвищеним рівнем напруження та відповідальності, доцільно використовувати багаторівневу систему оцінювання, яка охоплює стаціонарний, перманентний та внутрішньозмінний контроль. У стаціонарному режимі здійснюється фіксація готовності суб'єктів до виконання професійних обов'язків; перманентний контроль забезпечує безперервний моніторинг із метою виявлення потенційно критичних відхилень; внутрішньозмінний контроль орієнтований на оперативну діагностику і підтвердження ідентичності суб'єкта.

Оцінювання здійснюється за агрегованими та фізіологічними показниками, зокрема, індексом напруженості Баєвського, що характеризує стан серцево-судинної системи, а також параметрами мовних сигналів. Агреговані оцінки можуть набувати вигляду нечітких інтервалів або лінгвістичних змінних. Оскільки якісні показники ФС є неформалізованими, застосування теорії нечітких множин і перцептивних обчислень є ключовим для інтеграції людського знання у процес прийняття рішень.

Перцептивна модель оперує трьома основними етапами обробки: лінгвістичні оцінки експертів кодуються у вигляді нечітких множин; далі здійснюється обчислення з використанням CWW (Computing With Words) —

трансформації слів у слова; на завершення результат декодується у вигляді агрегованої оцінки, придатної для практичного використання (2).

$$f: \widetilde{W}_1 \times \widetilde{W}_2 \times \cdots \times \widetilde{W}_n \to \widetilde{W}_{out}, \quad (2)$$

де $\widetilde{W}_i$ – нечіткі множини, що відповідають лінгвістичним оцінкам вхідних змінних, а $\widetilde{W}_{out}$ – підсумкова лінгвістична оцінка.

Для побудови інформаційної системи, здатної до ефективного превентивного та оперативного управління ФС працівників, формується масив даних, що містить показники фізіологічного стану, психофізіологічних характеристик та рівня професійної готовності. Кожен захід оцінювання формалізується у вигляді вектора-стовпця значень показників, а для відстеження динаміки змін застосовується матричне подання, в якому рядки відповідають параметрам, а стовпці — контрольним моментам. На основі вектору вагових коефіцієнтів здійснюється узагальнення інформації шляхом лінійного агрегування.

Щоб відобразити нечіткість і суб'єктивність експертних оцінок, використовуються інтервальні нечіткі множини типу 2 (ІНМ2), кожна з яких має верхню та нижню функції належності, які задають межі невизначеності. Мовні оцінки представляються як трапецієподібні ІНМ2, які уможливлюють операційне маніпулювання словами в обчислювальному середовищі [4]. Для об'єднання лінгвістичних оцінок застосовується CWW-перетворення за допомогою лінгвістичного середньозваженого оператора (LWA), що дозволяє агрегувати експертні вердикти із урахуванням вагової значущості кожного параметра (3).

$$\tilde{A} = LWA(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \ldots, \tilde{p}_k; w_1, w_2, \ldots, w_k) = \bigoplus_{j=1}^{k} \left(w_j \otimes \tilde{p}_j\right), \quad (3)$$

де $\tilde{p}_j$ – ІНМ2, що відповідає оцінці показника, w_j – відповідна вага.

Результати CWW-перетворення надалі використовуються для ранжування кандидатів; при цьому ранжування базується на обчисленні центроїдів кожної ІНМ2 (4) і порівнянні отриманих значень. Таким чином, забезпечується прозоре і обґрунтоване оцінювання кандидатів до виконання критичних за нервово-емоційним навантаженням видів робіт.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(w_j \cdot Centroid(\tilde{p}_{ij})\right)}{\sum_{j=1}^{k} w_j}, \quad (4)$$

де $\tilde{p}_{ij}$ – оцінка j-го показника для і-го кандидата у вигляді ІНМ2, w_j – вага показника.

Ефективне управління якістю трудової діяльності працівників у сферах із високим ступенем ризику вимагає створення інструментів, що дозволяють здійснювати обґрунтований відбір кандидатів на основі комплексного аналізу їхнього ФС. Відповідно до запропонованої концепції, підтримка ОПР, реалізується через інформаційну технологію, яка передбачає формалізацію експертних оцінок у вигляді мовних змінних, їх обробку методами перцептивних обчислень і агрегування через графові моделі.

Основою технології є представлення показників стану здоров'я, психофізіологічних характеристик і професіоналізму у вигляді слів, які

моделюються як IHM2. Подальша обробка за допомогою CWW-перетворювачів дозволяє здійснювати узагальнення експертних оцінок і формувати інтегральні показники, на основі яких виконується ранжування кандидатів.

У перспективі передбачається створення СІППР з професійного добору персоналу, заснованої на перцептивних обчисленнях, інтервальних нечітких множинах типу 2 та лінгвістичному моделюванні. Система поєднуватиме переваги Explainable AI [5], генеративної семантики для обробки експертних висловлювань, а також цифрових двійників стану людини. Передбачено використання адаптивного CWW-перетворювача, що динамічно навчається на зібраних даних, та візуальних засобів обґрунтування управлінського вибору в умовах багатокритеріальної невизначеності. Регулярне застосування такої системи дає змогу підвищити надійність, безпечність і стабільність функціонування критично важливих підрозділів.

Список літератури

1. Pavlenko, P., Tavrov, D., Temnikov, V., Zavgorodniy, S., & Temnikov, A., 2018. The method of expert evaluation of airports aviation security using perceptual calculations. Proceedings of the 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), pp.406–410.
2. Zhang, Y., Wang, Y., & Liu, Z. (2023). From Digital Human Modeling to Human Digital Twin: Framework from a Human Factors Perspective. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 36, Article 98.
3. Liao, X., Zhao, X., Wang, Z., Zhao, Z., Han, K., Gupta, R., Barth, M. J., & Wu, G. (2022). Driver Digital Twin for Online Prediction of Personalized Lane Change Behavior. *arXiv preprint arXiv:2211.01294*.
4. Wiktorowicz, K., 2023. T2RFIS: Type-2 Regression-Based Fuzzy Inference System. Neural Computing and Applications, 35, pp.20299–20317.
5. Castellano, G., Scaringi, R., Vessio, G. & Zaza, G., 2024. Integrating Graph Neural Networks and Fuzzy Logic to Enhance Deep Learning Interpretability. *Proceedings of the EXPLIMED Workshop at ECAI 2024*.

УДК 004.8: 37.013.42

Вікторія Шевель, Андрій Темніков
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Концептуальна модель системи кар'єрного консультування для студентів

У роботі описано концептуальну модель інтелектуальної системи кар'єрного консультування для студентів на основі методів штучного інтелекту, обробки природної мови та аналізу ринку праці. Застосування методів запропоновано у контексті прийняття рішень студентами щодо вибору освітньої траєкторії та майбутньої професії.

У сучасних умовах швидкої трансформації ринку праці та цифровізації освіти особливої актуальності набуває розробка систем, що спрямовані на індивідуалізацію кар'єрних маршрутів студентів. У рамках даної роботи ставиться теоретична задача створення концептуальної моделі інтелектуальної системи кар'єрного консультування, яка поєднує інструменти штучного інтелекту, методи прикладної математики та алгоритми обробки природної мови. Об'єктом дослідження виступають процеси прийняття рішень студентами щодо побудови власної професійної траєкторії. Предметом — математичні моделі, алгоритми класифікації та рекомендаційні механізми, що можуть бути покладені в основу цифрової платформи підтримки таких рішень.

Актуальними викликами для студента при виборі майбутньої роботи в Україні є [1]:

1. Невизначеність ринку праці та його швидка трансформація
2. Розрив між освітою та реальними потребами бізнесу
3. Низька доступність кар'єрного консультування та аналітики ринку
4. Недооцінка власних навичок до комунікації і соціальної адаптації
5. Міграційні ризики та конкуренція за якісні можливості
6. Невизначені кар'єрні маршрути в нових галузях (IT, екологія, біотехнології)

Завдання полягає в тому, щоб формалізувати множину вхідних даних (академічна успішність, освітні вподобання, текстові характеристики курсів, відгуки студентів та аналітика ринку праці) та запропонувати структуру системи, яка зможе генерувати персоналізовані освітньо-кар'єрні поради. Особливу увагу приділено можливостям використання великих мовних моделей (LLM) як основи для діалогової взаємодії із користувачем і для інтерпретації відкритих текстових джерел — описів професій, компетентностей і освітніх програм. Водночас проаналізовано доцільність застосування методів кластеризації, логістичної регресії та рекомендаторних моделей, що поєднують кількісні оцінки з лінгвістичними характеристиками. Результатом є логічна архітектура системи, яка може бути використана як основа для подальшої практичної розробки кар'єрного консультанта нового покоління.

Для вирішення задачі створення системи кар'єрного консультування для студентів, фахівцям у сфері інформаційних технологій та прикладної математики пропонується застосувати такі математичні методи. Ці методи сприятимуть ефективному аналізу даних, побудові рекомендацій та прогнозуванню кар'єрних шляхів.

1. Класифікація профілів студентів.

Методи машинного навчання, зокрема логістична регресія та дерева рішень, дозволяють класифікувати студентів за різними ознаками, такими як академічна успішність, інтереси та навички. Це сприяє формуванню індивідуальних рекомендацій щодо вибору кар'єрного шляху [2, 3].

Одна з базових задач — бінарна або багатокласова класифікація студентів за академічними, психологічними та поведінковими параметрами.

У випадку логістичної регресії доцільно застосувати:

$$P(y = 1|x) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_n x_n)}},$$

де: y — клас (наприклад, схильність до технічної/гуманітарної спеціальності), $x=(x_1,\ldots,x_n)$ — вхідні характеристики студента, β_i — ваги, що підлягають навчанню.

2. Побудова рекомендаційних систем.

Алгоритми колаборативної фільтрації та контентної фільтрації використовуються для створення рекомендаційних систем, які пропонують студентам відповідні курси, стажування або вакансії на основі їхніх уподобань та поведінки [2, 3].

Колаборативну фільтрацію через матричну факторизацію пропонується проводити як:

$$R \approx U \cdot V^T,$$

де $R \in \mathbb{R}^{m \times n}$ — матриця оцінок (наприклад, як студенти оцінюють курси або професії), $U \in \mathbb{R}^{m \times k}$, $V \in \mathbb{R}^{n \times k}$ — матриці прихованих факторів для користувачів і предметів.

Це дозволить побудувати прогнозовані оцінки:

$$\hat{r}_{ij} = u_i^T \cdot v_j.$$

3. Аналіз ринку праці.

Методи обробки природної мови (NLP), такі як тематичне моделювання та аналіз тональності, дозволяють аналізувати великі обсяги текстових даних з описів вакансій та ринкових звітів. Це допомагає виявити тенденції на ринку праці та адаптувати рекомендації відповідно до актуальних вимог [2, 3].

Для тематичного моделювання пропонується застосувати Latent Dirichlet Allocation (LDA):

$$P(w|d) = \sum_{k=1}^{K} P(w|z = k) \cdot P(z = k|d),$$

де w — слово, d — документ (наприклад, опис вакансії), z — прихована тема.

Це дозволить структурувати великі масиви вакансій і описів курсів за тематикою, і пропонувати студенту те, що відповідає його профілю.

4. Прогнозування кар’єрних шляхів.

Моделі прогнозування, зокрема нейронні мережі та моделі на основі часових рядів, пропонується використати для передбачення можливих кар’єрних траєкторій студентів. Це дозволить оцінити ймовірність успіху в певній професійній сфері та надати рекомендації щодо подальшого розвитку.

Для передбачення ймовірності успішного працевлаштування через N років можна використати рекурентні нейронні мережі (RNN) або моделі часових рядів [2, 3].

Пропонується використовувати спрощену регресійну модель з часовими мітками:

$$y_t = \alpha + \sum_{i=1}^{p} \beta_i \cdot y_{t-i} + \sum_{j=1}^{q} \gamma_j \cdot x_{t-j} + \varepsilon_t$$

де y_t — успішність у працевлаштуванні на часі t, x_{t-j} — історичні освітні/соціальні параметри, ε_t — шум.

5. Інтеграція великих мовних моделей (LLM).

Використання великих мовних моделей дозволить створити інтерактивні системи кар’єрного консультування, які можуть відповідати на запитання студентів, надавати поради та пояснення щодо вибору професії або освітньої програми.

Однією з ключових технологій є векторне подання навичок та професій, яке реалізується через моделі embedding-класу. Такі моделі, як word2vec або skill2vec, дозволяють перетворити професії, навички, назви курсів та опис вакансій у багатовимірні вектори. Це дає змогу порівнювати їх математично — за допомогою косинусної подібності або кластеризації — та будувати рекомендаційні системи без ручного аналізу контенту. Наприклад, дві професії з близькими векторами можна вважати "суміжними" або взаємозамінними в системі. [4]

У ході подальшої роботи передбачається реалізація окремих функціональних модулів запропонованої системи кар’єрного консультування. Зокрема, доцільним та технічно досяжним є впровадження наступних елементів:

1. Модуль взаємодії з LLM для генерації індивідуальних освітніх і кар’єрних рекомендацій

Заплановано використати відкриті великі мовні моделі (наприклад, Alpaca, LLaMA або Mistral) для побудови діалогової системи, яка буде адаптивно реагувати на запити студента. На основі короткої анкети або живого діалогу модель формуватиме поради щодо вибору спеціалізації, курсів або стажувань. Особливу увагу буде приділено логіці запитання–відповіді, пояснюваності рекомендацій та етичному контролю. Розробка охоплює інтеграцію API, попередню обробку введених текстів та побудову шаблонів відповідей.

2. Система збору та аналізу вакансій з відкритих джерел

Планується створити модуль автоматичного збору даних про вакансії з онлайн-ресурсів (Work.ua, Djinni, LinkedIn API) з подальшою обробкою

ключових полів: назва посади, вимоги, географія, заробітна плата. Математичну основу становитимуть методи статистичного аналізу та тематичного моделювання (LDA, кластеризація, embedding-порівняння). Це дозволить будувати динамічні карти ринку праці та порівнювати їх із освітніми траєкторіями студентів.

3. NLP-система для аналізу відкритих відгуків про професії, курси та освітні програми

У подальших етапах буде реалізовано систему, яка збиратиме текстові відгуки з відкритих джерел та класифікуватиме їх за професіями, напрямами навчання, викладачами чи курсами. Технологічною основою буде застосування NLP-пайплайнів для токенізації, аналізу тональності, виявлення ключових тем. Метою є створення бази студентського досвіду, що дозволяє майбутнім користувачам системи краще оцінювати освітні й професійні перспективи.

Усі вищезазначені модулі можуть реалізовуватися як незалежні компоненти, однак їх узгоджена інтеграція забезпечить побудову прототипу цілісної системи підтримки кар'єрних рішень для студентів.

Список літератури

1. ILO and Ministry of Economy of Ukraine, 2021. Future of Work 2030: How to Prepare for Change in Ukraine. International Labour Organization Country Office for Ukraine. [Available online: https://www.ilo.org/kyiv/information-centre/publications/WCMS_825980/lang--en/index.htm]

2. Sinha, A., R. Gupta and N. Chatterjee, 2022. Envisioning Tomorrow: AI Powered Career Counseling. Proceedings of the International Conference on Education and Artificial Intelligence Technologies, ACM Press. doi: 10.1145/3556783.3556891

3. Tian, H., K. Dey and L. Xu, 2023. Career Guidance and Roadmaps to Success Using GPT-Model. Technical Report, Stanford NLP Group. [Available online: https://arxiv.org/abs/2303.09017]

4. Kowsari, R., T. Meenpal, S. Alharbi and M. Heidari, 2021. Skill2vec: Machine Learning Approach for Job and Skill Recommendation. In Proceedings of the 2021 International Conference on Computing, Communication and Informatics (ICCCI), IEEE. doi: 10.1109/ICCCI50826.2021.9509797

UDC 539.3

Liashenko Yana, PhD,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)
Bondarenko Liudmyla, PhD
(National Transport University, Ukraine)

Construction of a mathematical model of nonlinear deformation of a composite polymer material of a heterogeneous structure

A mathematical model has been constructed to predict the deformation of a composite material, the matrix of which is a polymer material containing dispersed inclusions or pores. The influence of the concentration of inclusions, their shapes and sizes on the deformation process of this material has been taken into account.

The interest in composite materials is caused to the fact that their inherent set of properties and features significantly distinguishes them from homogeneous materials. This is primarily high strength and low density, as well as the ability to control mechanical and physical characteristics when creating a structural material. In particular, composite materials are one of the most innovative and sought-after materials in the aviation industry. They are extremely important in the production of aircraft, providing high strength and lightness of structures, which consequently reduces fuel consumption and reduces the load on the aircraft engine. Composites can be used to create various parts of aircraft, including the fuselage, wings, tail, nose and doors. These materials have high strength and corrosion resistance, which makes them ideal for use in extreme temperatures and humidity. Moreover, composites can be easily molded into any shape, which allows you to create structures with unusual geometry.

The properties of composites depend primarily on the properties of the original components: reinforcing elements and matrix. In addition, their combination gives the effect of synergy, connected with the appearance of properties that are not characteristic of isolated original components. Composites are distinguished by a wide range of useful and unique properties, and their rational combination allows you to obtain effective structures with a high degree of weight perfection and a given anisotropy of the physical and mechanical characteristics of the material.

The mechanical characteristics of the composite are determined by the ratio of the properties of the reinforcing elements and the matrix, as well as the strength of the bonds between them. The effectiveness and productiveness of this material depend on the correct choice of the initial components and the technologies for their combination. These factors must ensure a strong connection between the specified components while preserving their initial characteristics. As a result of the combination of high-strength inclusions and the matrix, a complex of composite properties is formed, which reflects not only the initial characteristics, but also additionally includes properties that the individual components do not have.

Composite binders, the polymers, are known to exhibit creep deformations under the action of stresses, which, concequently, are accompanied by the appearance of microcracks and microvoids at the boundaries of crystalline grains. As

a result, the effective cross-sectional area that accepts the load decreases, and the creep rate increases.

Let's consider the deformation of an isolated inclusion of canonical form in an infinite environment with linear or nonlinear viscous properties. Assume, there is an axisymmetric load on a sufficiently distant boundary. The stress concentration on the interfacial surface of the inclusion depending on its shape and the physical and mechanical properties of the matrix and the composite material as a whole should be investigated. The matrix of the composite material is considered to be isotropic and has viscoelastic properties. The dependence of the strain rate $\dot{\varepsilon}_{ij}$ on the stresses σ_{ij} is assumed to be power law, in particular, for one-dimensional tension [1]

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 (\sigma / \sigma_0)^n \qquad (1)$$

Here $\dot{\varepsilon}_0$ and σ_0 are values of the strain rate and stresses of the initial state. The stiffness index n varies from unity to infinity.

For a three-dimensional stress-strain state, equation (1) takes the form [2]

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{3}{2}\dot{\varepsilon}_0 (\sigma_e / \sigma_0)^{n-1} s_{ij} / \sigma_0 ,$$

where s_{ij} is a deviator of the stress tensor, σ_e are effective stresses

$$s_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3}\sigma_{mm}\sigma_{ij} ; \qquad \sigma_e = \left(\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij}\right)^{\frac{1}{2}} .$$

Hence, $\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2\eta}\sigma_e^{n-1} s_{ij}$, where η is viscosity parameter, which is determined by the relationship [3]

$$\eta = \frac{\sigma_0^n}{3\dot{\varepsilon}_0} .$$

These relations define both materials of linear viscous Newtonian solid at n=1 and rigid-plastic Prandtl solid at $n \to \infty$. Let us consider inclusions of axisymmetric shape and such that they can be described by the equation

$$\frac{x_1}{b^2} + \frac{x_2}{b^2} + \frac{x_3}{a^2} = 1 .$$

The stress at a sufficiently distant boundary ∂B of the region B of the composite material is denoted by: $\sigma_{11} = \sigma_{22} = T$; $\sigma_{33} = S$; $x \in \partial B$, where the coordinate system coincides with the principal axes of the spheroid.

Thus, if we denote $\sigma = S - T$,

then $\sigma_e(x) = |\sigma| , \qquad x \in \partial B$

$$\dot{\varepsilon}_{33}(x) = \dot{\varepsilon} ; \qquad \dot{\varepsilon} = \frac{1}{3\eta}|\sigma|^{n-1}\sigma , \qquad x \in \partial B .$$

Consider a linear problem

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijkl}\,\dot{\varepsilon}_{kl}\,. \qquad (2)$$

Let us write law (2) in the form [4]

$$\sigma_{ij} = 2\eta(e_{ij} + \frac{\nu}{1-2\nu}e_{mm}\sigma_{ij})\,,$$

where ν is Poisson's ratio.

If the tensor Q relating the stress σ_{ij}^{∞} at the remote boundary and the strain rate of the inclusion [5] is introduced

$$\bar{\sigma}_{ij} = Q_{ijkl}e_{kl}^{i}\,; \qquad \bar{\sigma}_{ij} = \sigma_{ij}^{\infty}\,,$$

then

$$Q_{ijkl} = \lambda_{ijkl} - \lambda_{ijmn}S_{mnkl}\,.$$

Here S_{ijkl} is an Eschebi tensor. If we denote $w=a/b$ the ratio of two semi-axes [8], then

$$\beta = I_b / (2\pi) = \begin{cases} w(1-w^2)^{-3/2}[\arccos w - w(1-w^2)^{1/2}], & w<1 \\ w(w^2-1)^{-3/2}[w(w^2-1)^{1/2} - arcchw], & w>1 \end{cases}.$$

To determine the local stress distribution at the boundary of a spheroidal inclusion in a multicomponent material, a solution constructed by the theory of potentials and integral transformations was used [4,5].

The obtained equations are true for arbitrary types of spatial reinforcement. The derivation of calculation formulas is connected with the specification of an explicit form of the density of the distribution of inclusions in directions. Expressions for the tensor coefficients of stress concentrations in inclusions and the matrix material of the composite material are:

$$\sigma_i = K_{ci}(H)\sigma^M\,, \qquad \sigma_m = K_{cm}(H)\sigma^M\,,$$

where

$$K_{ci}(H) = \lambda_i \frac{A_i\lambda^{-1} + B_i(\tilde{E}_{(1)}, H_{(1)})}{\sigma^M}\,;$$

$$K_{cm}(H) = \lambda_m \frac{A_m\lambda^{-1} + B_m(\tilde{E}_{(1)}, H_{(1)})}{\sigma^M}\,. \qquad (3)$$

Here σ^M is stress at the remote boundary of a given element. Operator relations (3) contain rational functions of integral viscoelasticity operators.

Conclusion.

Thus, a mathematical model of the deformation of composite materials was constructed taking into account the dependence of stresses on inclusions that are randomly placed in the medium and have a spheroidal shape. Spherical and disk-shaped inclusions were considered as particular cases. The long-term strength of composite products depends on the magnitude of the average or maximum stresses per cycle of

loading in the matrix material and in the inclusions, the number of cycles, etc. In this regard, the work studies microstructural stresses, calculates effective parameters: and determines their dependence on the shape, orientation and volumetric concentration of inclusions.

References

1. Guz A.N. Description and investigation of some non-classical problem of fracture mechanics and corresponding mechanisms // Int. Appl. Mech.-2000.-36.-N12 (Прикл. механика.-2000.-36.-№12, С.3-37.
2. Kachanov M. Effective elastic properties of cracked solids: critical review of some basic concepts // Appl. Mech. Rev. – 1992. – 45. – № 8. – p. 304 – 335.
3. Маслов Б.П., Ляшенко Я.Г. Врахування пошкодженості середовища при прогнозуванні довготривалої міцності геологічних порід неоднорідної структури // В збірн. “Вісник НТУ”, 2008, № 17, С. 390-393.
4. Maslov B.P. Combined Numerical and Analytical Determination of Poisson’s Ratio for Viscoelastic Isotropic Materials // Int. Appl. Mech. – 2018. – 54, N 2. – P. 220 – 230.
5. Маслов Б.П. Нелінійна спадкова повзучість ізотропних композитів випадкової структури // Прикл. механика.-2022.-58.- №1.-С.85-101.

УДК 351: 65.012.8 (477)

Н.М. Кічата, асистент, Я.Ю. Шило,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Комплексний підхід до управління ризиками та забезпечення безпеки авіаційної інфраструктури як об'єкта критичної інфраструктури

Важлива роль у забезпеченні безпеки авіаційної інфраструктури належить ефективному управлінню ризиками. В статті запропоновано комплексний підхід до забезпечення безпеки авіаційної інфраструктури як складової критичної інфраструктури, використовуючи кількісні методи оцінювання загроз для авіаційних об'єктів.

Розробка сучасної системи захисту критичної інфраструктури (КІ) ґрунтується на низці теоретичних підходів, спрямованих на забезпечення безпеки та стійкості ключових об'єктів і послуг, які мають життєво важливе значення для суспільства. Основні теоретичні принципи цієї системи включають вивчення самої критичної інфраструктури, а також аналіз ризиків та потенційних загроз, що можуть вплинути на її функціонування [1]. Забезпечення безпеки в авіації є багаторівневим процесом, що включає технічні, організаційні, правові та людські аспекти. До авіаційної інфраструктури як об'єкта КІ належать: аеропорти, центри управління польотами, паливні сховища, ключові зв'язки з іншими видами транспорту. Проектування системи захисту має передбачати здатність інфраструктури до витривалості та швидкого відновлення після надзвичайних ситуацій, що включає розробку відновлювальних планів для послуг та об'єктів [2]. Одним із ключових елементів у забезпеченні безпеки критичної інфраструктури є тісна співпраця між різними зацікавленими сторонами, такими як державні органи, приватні підприємства, громадські організації, а також міжнародна взаємодія, створення необхідної законодавчої та нормативної бази для захисту інфраструктури та впровадження новітніх технологій, таких як системи моніторингу, кіберзахисту та засоби для виявлення і реагування на загрози.

Забезпечення безпеки КІ зосереджує увагу на прогнозуванні потенційних кризових ситуацій, що можуть виникнути внаслідок її функціонування в Україні. Авіаційна інфраструктура, як складова критичної інфраструктури, потребує особливого підходу до оцінки ризиків, оскільки її безперебійна робота залежить від ефективного управління загрозами, включаючи природні катастрофи, техногенні аварії, кібератаки та терористичні акти. Основним завданням органів державного управління у сфері авіаційної інфраструктури має бути виявлення та прогнозування можливих кризових ситуацій, що потребує постійного моніторингу, аналізу ризиків та оперативного реагування на загрози, пов'язані з функціонуванням авіаційних об'єктів [3]. Пріоритетними напрямами забезпечення безпеки авіаційної інфраструктури як складової критичної інфраструктури є: вдосконалення нормативно-правової бази щодо авіаційної безпеки та розвитку системи державного управління у цій сфері; посилення заходів фізичної та

кібербезпеки для авіаційних об'єктів; розвиток міжвідомчої та міжсекторальної взаємодії між державними органами, приватними операторами та міжнародними авіаційними організаціями; створення ефективних механізмів обміну інформацією про потенційні загрози між державними структурами, авіаційними компаніями та службами безпеки; запровадження заходів для запобігання авіаційним інцидентам і техногенним аваріям, а також розробка ефективних протоколів кризового реагування з мінімізацією наслідків; розширення міжнародного співробітництва у сфері авіаційної безпеки, включаючи обмін найкращими практиками, технологіями та аналітичними даними.

На сьогодні існує низка методологій для оцінки загроз і небезпек, а також для розробки стратегій управління ризиками [4]. Такі оцінки допомагають державним органам, операторам аеропортів і авіакомпаніям краще розуміти потенційні інциденти та їхній вплив на функціонування аеропортів, систем керування повітряним рухом і авіаційної логістики. Аналіз ризиків забезпечує необхідну інформацію для ухвалення рішень щодо пріоритетних заходів безпеки, мінімізації наслідків кризових ситуацій та ефективного управління ризиками. Це допомагає визначити найбільш дієві механізми реагування на кіберзагрози, техногенні аварії та інші загрози, що можуть вплинути на авіаційну інфраструктуру.

Щоб враховувати загрози та небезпеки при аналізі забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ), зокрема авіаційної інфраструктури, необхідно здійснювати комплексний підхід до оцінки ризиків, це включає: ідентифікацію потенційних загроз та небезпек (проведення аналізу існуючих і можливих загроз); оцінку ймовірності та наслідки цих загроз (використовуючи кількісні і якісні методи); розробку стратегій мінімізації ризиків (створення ефективних стратегій для запобігання загрозам та зменшення їх наслідків); створення єдиної системи моніторингу та раннього виявлення загроз; розроблення планів дій на випадок надзвичайних ситуацій (для забезпечення швидкого реагування та відновлення після аварій чи катастроф); співпраця з усіма зацікавленими сторонами; постійне оновлювання знань та технологій (здійснення регулярних переглядів оцінок ризиків та оновлення стратегій захисту, враховуючи технічні інновації). Особлива увага повинна бути приділена систематизації правових та адміністративних основ підготовки і підвищення кваліфікації фахівців, що займаються захистом критичної інфраструктури, - розвиток компетенцій фахівців сприятиме підвищенню стійкості авіаційної інфраструктури та ефективності її захисту від потенційних загроз.

До ключових факторів, що визначають рівень ризику для авіаційної інфраструктури, належать: очікувані наслідки (масштаби інфраструктурних, економічних, екологічних та соціальних втрат, що можуть виникнути внаслідок реалізації загрози); ймовірність реалізації загрози; невизначеність у прогнозуванні (складність передбачення загроз через нестачу інформації, змінні зовнішні фактори або динамічний розвиток подій); географічний масштаб впливу (територіальна поширеність наслідків ризику, що може варіюватися від локального до національного або міжнародного рівня);

стійкість до ризиків (здатність авіаційної інфраструктури протистояти загрозам); можливість швидкого відновлення після кризових ситуацій; тривалість негативного впливу на функціонування об'єктів авіації; загроза для людей та держави [5].

Врахування цих факторів у процесі аналізу ризиків авіаційної інфраструктури дозволяє розробляти ефективні стратегії управління загрозами, спрямовані на підвищення стійкості авіаційних об'єктів та мінімізацію можливих негативних наслідків для національної та міжнародної безпеки

Інтеграція кількісних методів у комплексний підхід до забезпечення безпеки авіаційної інфраструктури дозволяє підвищити точність оцінки загроз і об'єктивно визначити рівень ризиків для авіаційних об'єктів. Кількісні методи дозволяють створювати математичні моделі, які оцінюють ймовірність виникнення певних загроз та визначають можливий масштаб їхнього впливу на авіаційну інфраструктуру [6,7]. Це дає змогу краще розуміти потенційні наслідки для авіаційних об'єктів і вибирати найбільш ефективні стратегії захисту.

Крім того, кількісні методи оцінки дозволяють моделювати каскадні ефекти, коли одна загроза викликає низку інших небезпечних подій. Наприклад, аварія на авіаційному об'єкті або в системі аеронавігації може призвести до збоїв у роботі транспортних потоків, впливаючи на авіаперевезення та безпеку пасажирів. Моделювання таких ланцюгів подій дозволяє виявити потенційно уразливі місця в авіаційній системі та розробити превентивні заходи для їхнього усунення.

Використання кількісних методів також дозволяє точно визначити рівень можливих збитків для авіаційних об'єктів залежно від різних сценаріїв загроз. Це допомагає оптимізувати використання ресурсів для запобігання надзвичайним ситуаціям та реагування на них. Наприклад, кількісна оцінка ризиків дозволяє ефективно розподіляти бюджет на превентивні заходи, тренування персоналу, модернізацію технологічних процесів та відновлення після інцидентів, що підвищує загальну безпеку авіаційної інфраструктури.

Такий підхід дає змогу поєднати методи оцінки ризиків з реальними проблемами безпеки в авіаційній галузі, що забезпечує впровадження кількісних моделей у практичні заходи для захисту авіаційної інфраструктури.

Висновки:

Комплексний підхід до управління ризиками та забезпечення безпеки авіаційної інфраструктури як об'єкта критичної інфраструктури є необхідним для ефективного реагування на різноманітні загрози та забезпечення стабільної роботи авіаційних об'єктів. Це включає застосування сучасних методів оцінки ризиків, інтеграцію кількісних моделей для прогнозування ймовірних загроз, а також розробку адаптивних стратегій реагування, які дозволяють оптимізувати ресурси для запобігання інцидентам і ефективно планувати заходи з реагування та відновлення.

Кількісна оцінка ризиків є важливим елементом цього підходу, оскільки дає змогу точніше визначити рівень можливих збитків, оцінити ймовірність виникнення загроз та виявити найбільш уразливі місця в системі. Водночас важливими складовими є систематичний моніторинг загроз, міжсекторальна співпраця, вдосконалення правової та організаційної бази, а також професійна підготовка фахівців, які здатні ефективно реагувати на виникнення кризових ситуацій.

Поєднання принципів забезпечення безпеки критичної інфраструктури з авіаційною сферою дозволяє створити інтегровану систему управління ризиками, яка враховує як фізичні, так і кібернетичні загрози, а також організаційні виклики. Такий підхід сприяє зменшенню ризиків та підвищенню стійкості авіаційних об'єктів до надзвичайних ситуацій, забезпечуючи комплексне реагування на можливі загрози. Отримані результати дозволяють розробляти ефективні стратегії зниження ризиків і оптимізувати заходи щодо запобігання та реагування на інциденти в авіаційній сфері. Завдяки такому підходу можна підвищити стійкість і безпеку авіаційної інфраструктури, що є важливим елементом національної та міжнародної безпеки.

Список літератури

1. Єрменчук О. П. Складові національної інфраструктури. Науковий вісник ДДУВС. 2017. № 4. С. 109 – 115.
2. Zio, E. *Challenges in the vulnerability and risk analysis of critical infrastructures,* Reliability Engineering and System Safety, 152, 2016. pp. 137-150
3. Гора І.В., Батюк О.В. Окремі питання захисту об'єктів критичної інфраструктури: зарубіжний досвід. *Соціально-правові студії*. 2021. Вип. 1 (11). С. 132-139.
4. Yasser Almoghathawi, Kash Barker, Laura A. Albert Resilience-driven restoration model for interdependent infrastructure networks / Reliability Engineering & System Safety/ Volume 185, May 2019. P. 12-23.
5. Кузьменко Ю.В., Бондар В.В. Захист об'єктів критичної інфраструктури: адміністративно-правове забезпечення. Юридичний бюлетень. 2021, № 21. С. 67-72.
6. Гнатюк, С., Поліщук, Ю., Сотніченко, Ю., Жаксигулова, Д. Аналіз кращих світових практик щодо захисту критичної інформаційної інфраструктури. Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка». Том 2, №10. 2020. С. 184 – 196.
7. Корченко А.О. Метод оцінки рівня критичності для систем управління кризовими ситуаціями / А.О. Корченко, В.А. Козачок, А.І. Гізун // Захист інформації. 2015. Т. 17, № 1. С. 86-98.

UDC 656.71: 504.75.025.1

K.I. Kazhan[1], PhD, V.M. Makarenko[1], PhD, V.I. Tokarev[1], DSc,
O.I. Zaporozhets[2], DSc
([1]State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine
[2]Institute of Aviation ILOT, Poland)

Single-event scenario noise modelling for novel environmentally friendly aircraft types

An approach for aircraft noise forecasting was proposed to assess the acoustic properties of future aircraft types (first of all, with electric, hybrid, and hydrogen power plants). The noise modelling results are presented for the hybrid regional aircraft.

Modular approach for environmental assessment of novel aircraft types

Further sustainable aviation development requires simultaneous advancements in energy efficiency, emissions reduction, and aircraft noise mitigation. According to the EU Clean Aviation SRIA (2021), achieving a 65% reduction in perceived noise, 90% reduction in NO_x, and 75% reduction in CO_2 by 2050 compared to year 2000 levels is essential for climate-neutral air transport. While emission and fuel-related progress are being realized through alternative fuels and propulsion systems, aircraft noise remains a persistent barrier, particularly in communities surrounding airports. To address this, the EFACA project proposes a multilevel framework for assessing the acoustic performance of novel aircraft technologies. In this context, the electrification of aviation has become a key [1]: through the adoption of hybrid-electric propulsion (HEP) systems, liquid hydrogen (LH_2)-fuelled engines.

The assessment of noise-reduction technologies for next-generation aircraft requires a comprehensive framework capable of capturing the complex interdependencies between environmental impacts – noise, emissions, fuel burn [2].

I. Aircraft Design Level. At this level, the Aircraft Design Space (ADS) is used to evaluate the environmental performance of aircraft concepts, including noise, fuel burn, and emissions. The ADS integrates performance modelling tools—such as NoiTra and NoBel – with aircraft geometry, engine characteristics, and operational procedures to assess compliance with certification standards, including ICAO Annex 16, Volume I.

II. Operational Scenario Airport Level expands the analysis to include operational, infrastructural, and air traffic elements and incorporates airport layouts, arrival and departure procedures, fleet composition, and temporal traffic variations. Within FSDS, noise assessment is performed using tools such as AEDT, INM, IsoBella, and NoiTra.

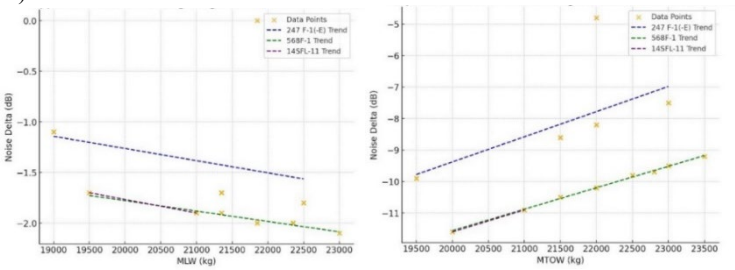
III. Fleet and Strategic Planning Level. The proposed modelling framework supports the projection of noise impacts under long-term fleet replacement scenarios. By comparing the reference and baseline aircraft contributions to total noise exposure, the benefits of new technologies are quantified not only for individual operations but also for their cumulative effect on communities near airports

Noise modelling at the aircraft level focuses on evaluating the acoustic performance of specific aircraft configurations under standardized operational conditions. This analysis is conducted for both reference and baseline aircraft models

using a consistent methodological approach, allowing for an accurate comparison of noise impacts and the potential benefits of noise reduction technologies.

Reference aircraft type for HEP technology

The reference aircraft model is used as a base platform for designing new aircraft – the baseline model. Key acoustic metrics are calculated at relevant ground observer locations, including those defined by ICAO certification procedures. The reference aircraft selected for the analysis of hybridization by HEP Technology is the ATR72-600 (AT76), equipped with Pratt & Whitney PW127XT turboprop engines (AEDT 3d ID: 1671). The noise of the AT76 is 14.1 lower than a regional jet and 8.8 EPNdB below the ICAO Chapter 14 limit, making an ATR aircraft's noise footprint one-third that of a regional jet. Practice indicates significant progress in silencing turboprop engines in comparison with the noise emitted even by new generations of aircraft propeller blades. The acoustic characteristics of the ATR 72 were evaluated for different types of propellers installed on both previous-generation engines and the currently used PW127XT (fig. 1). The analysis focused on the linear relationship between EPNL and key mass parameters – MTOW and MLW – during departure and approach operations. The results revealed a total difference of ~0.5 EPNL dB in approach noise and ~2.5 EPNL dB in departure noise between ATR 72-series equipped with Hamilton Sundstrand 568F-1 propellers (6 blades) and those with 247 F-1(-E) propellers (4 blades).



a) b)

Fig.1. Comparison of acoustic performance of ATR 72 variants equipped with 247 F-1(-E) propellers (4 blades) and Hamilton Sundstrand 568F-1 propellers (6 blades) for: a) approach and b) departure stages Source: ANP Substitution database

Table 1 presents noise certification data for the AT76. The type of flight operation significantly influences noise contour distribution, with noticeable differences between the take-off and landing phases.

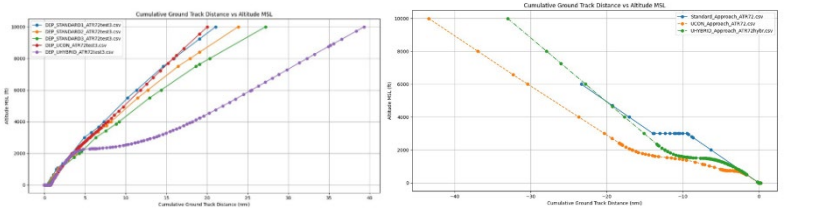
Baseline aircraft type for HEP technology

Two user-defined profiles were developed: UCON, representing a model profile that could be applied for a conventional ATR76 aircraft, and UHYBRID, modeling a hybrid-electric version based on the ATR76 platform. These profiles were compared against the standard ANP profiles used in noise certification to identify differences in trajectory, speed, and thrust application. The results (Fig. 2) reveal that while altitude and speed trends are generally consistent, significant deviations in thrust behavior—especially during the descent and departure phases.

Table 1

Certificated and calculated EPNL for ATR 72 versions at certification points

Source & AC type	Lateral	Flyover	Approach
Noise DB Cert for ATR-72-500, PW 127F	82.5	80.5	92.2
EASA Cert Database: ATR72-212A, PW127F	82.5-82.6	76.3-81.2	92.1-92.5
AT72 (NPDs correction + 5. & +2.)	95.7	88.4	93.6
AT76 (ANP v.2.3)	90.7	83.4	91.6
AT76 for the EFACA HEP flight profiles	82.4	75.9	92.2
AT76 for UCON flight profiles	81.3	79.1	92.7
EFACA HEP (NPDs correction - 4. & -2.)	78.9	72.1	91.3



a d

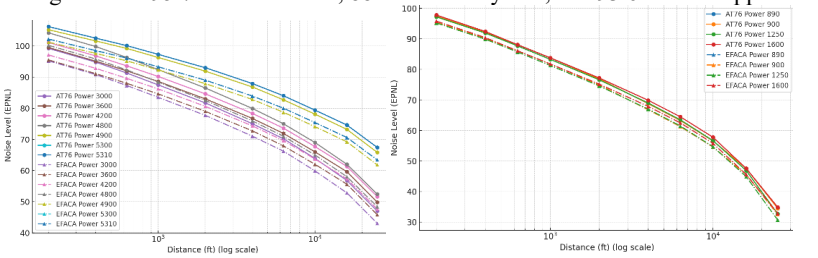
Fig.2. AT72 variations' profiles for departure (a) : DEP_STANDARD 1–3 – ANP standard profiles; DEP_UCON and DEP_UHYBRID, and arrival (b) stages: Standard_Approach – ANP profile; UCON_Approach and UHYBRID_Approach

NPDs correction. The results of individual sources modeling allow to clarify the necessity of NPD correction for ECAFA HEP aircraft in comparison with the AT76. These corrections reflect the updated thrust levels and power settings identified through flight profile modeling. Specifically, a reduction of 4 dB in departure NPDs and 2 dB in approach NPDs was implemented for the EFACA HEP configuration (Fig. 3), based on comparative spectral analysis and the modeling outputs. Additionally, the NPD curves for the previous-generation ATR-72 were analyzed and adjusted by applying a correction of +5 EPNdB for departure and +2 EPNdB for approach, reflecting the higher noise levels observed in comparison with the current generation AT76.

Moise modelling results

The resulting EPNL and SEL values, as well as the corresponding contour areas, were assessed for all aircraft configurations, using both certification points and airport-specific layouts. The standard ANP profiles (v. 2.3) with no NPD correction were used as a reference, with a 100% contour area defined for the baseline case. The

noise modeling was carried out under standard atmospheric conditions, using the baseline infrastructure of the EFACA reference airport. The calculated results demonstrate significant improvements in noise reduction achieved through both technological improvements and hybrid-electric propulsion implementation (table 1). The previous-generation AT72 exhibits the highest noise levels among all configurations: 95.7 EPNdB lateral, 88.4 EPNdB flyover, and 93.6 EPNdB approach.



a) b)

Fig. 3. NPD for EFACA HEP aircraft in comparison with reference aircraft AT 76: a) departure NPDs; b) approach NPDs before (solid) and after (dotted) corrections

When applying custom EFACA flight profiles for the AT76, two configurations were analyzed:

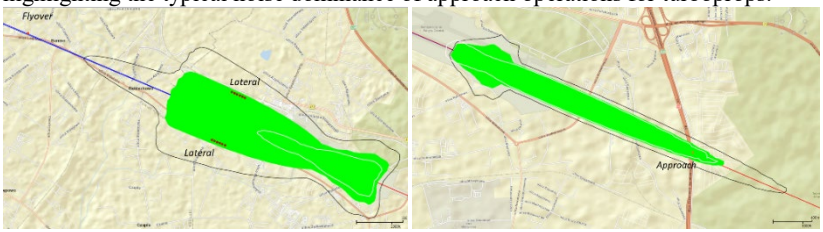
• UHYBRID - AT76 with HEP flight profiles yields even lower noise values: 82.4 dB lateral, 75.9 dB flyover, and 92.2 dB approach.

• UCON - conventional aircraft with EFACA-calculated trajectory demonstrates a further reduction in lateral noise (81.3 EPNdB) but a slightly higher flyover level (79.1 EPNdB) compared to the HEP case.

The EFACA HEP aircraft configuration, incorporating both hybrid-electric propulsion and NPD corrections, achieves the lowest noise levels across all certification points: 78.9 EPNdB lateral, 72.1 EPNdB flyover, 91.3 EPNdB approach. The greatest benefits are observed at lateral and flyover certification points, where thrust settings and flight dynamics can be more flexibly optimized

Fig. 4 illustrates the noise exposure contours (90 EPNdB) for various ATR-72 aircraft versions – AT72 (black line), AT76 (green area), and the EFACA HEP hybrid concept (white line) – compared against ICAO certification points for departure and approach operations. In Fig. 4, the EFACA HEP configuration shows a noticeably reduced lateral and flyover noise footprint compared to the conventional AT72 and AT76 variants. In Fig. 4 the AT76 (based on ANP v2.3 database) shows that both lateral and approach certification points fall within the 90 dB noise contour, while the flyover point lies outside it. The older AT72 variant produces a noticeably larger footprint 71.4% larger than that of the AT76 – demonstrating higher noise typical of the previous generation. The EFACA HEP configuration exhibits a significantly reduced footprint during departure – 50% smaller than AT76 – and does not encompass any of the certification points, indicating a substantial improvement in departure noise reduction. Even the 90 EPNdB noise contour for the HEP during departure remains entirely within the airport boundaries and closes shortly after lift-off. In contrast, this objective is not achieved during the approach, where the contour

extends beyond the airport area. Unlike departure, however, the approach phase generates a longer, more elongated footprint, especially for conventional variants, highlighting the typical noise dominance of approach operations for turboprops.



a) b)

Fig. 4. ICAO certification points for EPNL assessment in comparison with noise contour 90 EPNdB during the departure (a) and approach (b) for various versions of the ATR-72: AT72 – black line; AT76 – green area; EFACA HEP white line

Conclusion

The results confirm that hybrid-electric propulsion offers measurable noise reduction benefits during both take-off and landing, with the most significant improvements observed during departure. At the same time, they indicate a potential gap in fully meeting long-term noise reduction targets for future aircraft equipped with disruptive propulsion systems. However, this gap may be mitigated through further optimization of airframe noise, as well as the integration of other elements of the balanced approach recommended by ICAO - such as land-use planning, noise abatement procedures, and preferential routing. However, to assess the contribution of HEP aircraft to the overall acoustic environment and the potential noise annoyance in the airport vicinities, it is essential to rely on evaluations conducted at the airport level, taking into account realistic operational scenarios, fleet composition, airport capacity, and other local factors. At further levels of assessment, the contribution of baseline and reference aircraft noise is analyzed in overall airport and fleet noise exposure for current and future forecasted air traffic scenarios.

The results of this study were obtained within the framework of the EFACA project (GA 101056866).

References

1. Zamarreño, M., Pérez, F., Delgado Jurado, R., Arnaldo Valdes, R. M., Gomez, V. F. (2024) An overview of the possibilities, current status, and limitations of battery technologies to electrify aviation. Journal of Physics: Conference Series, 2716(1), 012012.

2. Makarenko, V., Tokarev, V., Kazhan, K., Synylo, K., Yakushenko, O., Zaporozhets, O. (2024) Analysis of fuel consumption and noise of a regional turbo-propeller aircraft with a hybrid power plant. International Journal of Sustainable Aviation, 10(4), pp. 315–349.

UDC 551.58:629.735

M.M. Radomska, PhD
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

The contribution of aviation to global climate changes: current view and perspective research

The current view on the input of aviation on the Earth climate system is given. The areas of uncertainties about the indirect effects of air transport are considered and the recommendations on the further research areas are given

Estimation of aviation input into greenhouse emissions

The aviation industry is among the major contributors to climate change due to high energy-intensity. The burning of fossil fuels during flight is the aviation industry's biggest climate impact, but emissions from ground handling equipment and the private cars of passengers and staff travelling to and from the airport also contribute. In addition, greenhouse gas emissions arise from the production of energy used in airport buildings.

The IPCC [1] estimates that aviation accounts for approximately 2.5% of all human-generated CO2 emissions. If EU is considered alone than the share of aviation emissions is between 3.8% and 4% of total EU greenhouse gas emissions [2-4]. Among all modes of transport aviation is the second largest emitted after the road transport with the overall contribution of 13.9% of transport emissions [3].

At the same time, the IPCC estimates that aviation's contribution could increase to 5% of the total contribution by 2050 if no measures are taken to limit these emissions with the highest predicted value of 15%. This significant contribution is due to the fact that air travel is one of the human activities with the highest carbon footprint. Studies have shown that less than 10% of the world's population flies by plane regularly [5], so this relatively small share is responsible for all the emissions from the aviation [6]. But with increasing incomes, the situation changes.

Aviation has been growing faster than rail, road or sea transport since 1990 and over the thirty years from that date increased by about four times. This includes both cargo and passenger transportation. Total distance travelled in 2019 was close to 8 trillion km, about the same distance as in a light year [7]. The ICAO also predicts that by 2050, international aviation emissions could triple compared to 2015.

In 2020-2021, there was a significant decrease in demand and total air traffic due to COVID-19 pandemic. Demand recovered quickly and in 2023 emissions reached almost 950 Mt CO_2, which is more than 90% of the pre-COVID-19 level [8]. It is also worth noting that the pandemic has not affected passenger traffic to the same extent as cargo. In particular, total international air cargo volumes increased by 9% compared to 2019, with the most noticeable growth in the Asia-Pacific region and Latin America [9].

In addition, more than 1,400 new routes have been launched in the post-pandemic period – more than double the number added in 2016. Most of them are in Europe and Asia-Pacific region, with China and USA holding the biggest number in terms of separate countries [10]. Even though a considerable part of them could be closed in the coming years, this still means increase in the volume of emissions.

At the same time, improved design and technology since 1990 have also led to aviation becoming more than twice as energy efficient – from 2.9 MJ of energy one passenger-kilometre in 1990 to 1.3 MJ in 2019 [7]. However, the type of fuel and its carbon content haven't changed, since biofuels and other alternatives haven't gained much popularity by now. Still, this efficiency improvement has partially offset emissions from increased demand: while global aviation emitted around 0.5 billion tonnes in 1990, in 2019 it was around 1 billion [11].

Accounting the growing demand for air travel, barriers to further improving its efficiency and the type of fuel used, aviation's share of global emissions is likely to grow. Moreover, aviation is one of the hardest sectors to decarbonize, and while other sectors are improving, the lag between them and aviation will be growing thus increasing the share of aviation in the total greenhouse emission levels.

Indirect climate effects of aviation

Additional issue of aviation and climate interaction is that it is not limited to the direct emissions from the aircrafts. It also includes effects related to NOx emissions, the formation of inversion contrails and potential effects on cirrus clouds. These effects are complex and there is still scientific uncertainty about them.

In addition to CO2 emissions from fuel combustion, aircraft also affect the concentration of other atmospheric gases and pollutants. They cause short-term increases in the concentration of water vapor, soot, sulfur aerosols, and water traces, but long-term decreases in ozone and methane. The effects of these interventions in the atmosphere are also ambiguous with some leading to warming and other – to cooling.

According to the IPCC [1] estimations, the total climate impact of aviation through these effects is approximately 2.7 times greater than the impact of CO_2 emissions alone. This is supported by a report from the European Aviation Safety Agency (EASA), which indicates that non-CO_2 impacts of aviation activities account for more than half (66%) of the total climate impact of aviation [12].

The studies of the effects of non-CO_2 factors of aviation are ongoing and they are now accounted in the general climate system dynamics in the radiation forcing components. Whereas radiative forcing is an artificially derived and not measured parameter, there are still debates about the method of calculation, units of measurement and interpretation of the results, which greatly affects the resulted values.

Since the first presentation of the radiative forcing in 1981, a range of revisions and updates have taken place. If at the start of the process the focus was placed on solely gases, the Second Report of the IRSS in 1995 has showed the impact of aerosol components, which also come from aviation. The Third IPCC Report in 2001 took into account the effects of aircraft inversion trails for the first time. However, this report has also used a new reference line – the beginning of the industrial era in 1750, rather than from 1860, which have further highlighted the impact of aviation.

The later studies have shown that the assessment of radiative impacts must be evaluated accounting the secondary effects of emissions on ozone and aerosols, which also have impact on climate system [13]. Current estimates of radiation impact are from the 2021 IRSS Sixth Report present aircraft inversion trails as a separate category, which contribute to temperature increases [14].

Taking all these effects into account, Klöwer and al. estimate that today, with a total contribution to greenhouse gas emissions of 2.5%, aviation accounts for approximately 4% of the global temperature increase due to the greater radiative forcing of factors other than carbon dioxide [15].

Conclusion

While aviation is a known contributor to climate changes its specific effect needs further research and studies. In particular, non-CO2 factors must be given more attention and interactions between aviation induced ozone impacts and climate effects should be further researched to get insights in their possible management. Another important step towards decarbonization of aviation is working on reduction of carbon footprint from airports, which should be considered coupled with flights, since the volumes of transportation tailor the volumed of on-ground emissions.

References

1. IPCC, 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. https://doi.org/10.1017/9781009325844
2. ICAO, 2022. Climate change: climate risk assessment, adaptation and resilience. Key steps in aviation organisation climate change risk assessment and adaptation planning. https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/Climate-Change-Climate-Risk-Assessment,-Adaptation-and-Resilience.aspx
3. ICAO, 2023. Trends in Emissions that affect Climate Change. Retrieved from: https://www.icao.int/environmental-protection/pages/climatechange_ trends.aspx
4. Čubić, M., & Török, A. (2024). Comparison of the impact of the COVID-19 pandemic and technological developments on emissions of CO2 in the air transport. *Journal of Applied Engineering Science*, *22*(3), 583-592. https://doi.org/10.5937/jaes0-48984
5. Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation: Implications for climate change. Global Environmental Change, 65, 102194. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194
6. Hannah Ritchie (2024) - "What share of global CO_2 emissions come from aviation?" Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: https://ourworldindata.org/global-aviation-emissions
7. Bergero, C., Gosnell, G., Gielen, D., Kang, S., Bazilian, M., & Davis, S. J. (2023). Pathways to net-zero emissions from aviation. Nature Sustainability, 6(4), 404-414.
8. International Energy Agency, 2024. Tracking Aviation. https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation
9. Accenture, 2024. The current state of air cargo market dynamics. Research Report. Accenture Cargo Capacity Tracking Database, Accenture Cargo Analysis. Retrieved from: https://www.accenture.com/us-en/insights/travel/air-cargo-capacity

10. Fulton D. (2021) Network experimentation: why new airline routes in europe are hitting an all-time high. OAG Schedules Analyzer. Retrieved from: https://www.oag.com/blog/airline-routes-europe-network-experimentation#route

11. Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., ... & Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric environment*, *244*, 117834. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834

12. Lee, D., Arrowsmith, S., Skowron, A., Owen, B., Sausen, R., Boucher, O., ... & van Wijngaarden, L. (2020). Updated analysis of the non-CO2 climate impacts of aviation and potential policy measures pursuant to EU Emissions Trading System Directive Article 30 (4). Final report. European Union Aviation Safety Agency. Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD:2020:277:FIN

13. Neale, R. E., Barnes, P. W., Robson, T. M., Neale, P. J., Williamson, C. E., Zepp, R. G., ... & Zhu, M. (2021). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochemical & Photobiological Sciences*, *20*(1), 1-67.

14. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3−32, doi:10.1017/9781009157896.001.

15. Klöwer, M., Allen, M. R., Lee, D. S., Proud, S. R., Gallagher, L., & Skowron, A. (2021). Quantifying aviation's contribution to global warming. *Environmental Research Letters*, *16*(10), 104027. DOI 10.1088/1748-9326/ac286e

UDC 615.012(043.2)

A.D. Kustovska, PhD, O.L.Matvieieva, PhD,
V.V. Yefymenko, PhD, I.L.Trofimov, PhD.
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Innovative approaches to the validation of chemical processes in pharmaceutical production

Modern approaches to the validation of chemical processes in pharmaceutical production are highlighted. The concepts of Quality by Design (QbD) and Process Analytical Technology (PAT) are analyzed as a means of ensuring consistent product quality, reducing risks, and optimizing processes in accordance with modern regulatory requirements.

One of the key requirements for modern pharmaceutical production is to ensure the quality, efficacy and safety of medicinal products at all stages of their life cycle. In this context, chemical process validation plays a special role, providing scientifically based confidence in the stability and reproducibility of manufacturing procedures [1, 2].

In response to the increasing complexity of chemical synthesis, increased regulatory requirements (ICH Q8, Q9, Q10) and the need to reduce production costs, innovative concepts have been actively implemented in recent decades: Quality by Design (QbD) and Process Analytical Technology (PAT). These approaches are based on a deep understanding of the process, analysis of critical quality parameters and risk management, which allows ensuring product quality at the production stage, and not only at the final inspection. The use of QbD and PAT contributes to the transition to continuous production, increasing process reliability and adaptability to changes in technological conditions.

Quality by Design (QbD) is a modern, science-based approach to the development and validation of pharmaceutical products and processes, based on a systematic understanding of the critical parameters that affect the quality of the finished product. The concept was formally introduced in the ICH Q8(R2) document “Pharmaceutical Development” [3] and has become a key element of pharmaceutical regulatory policy in the EU, the US and other countries.

The traditional approach to validation in pharmaceutical manufacturing often focuses on final quality control, which involves detecting deviations only at the last stage of production. The lack of intervention at early stages can lead to significant costs for product recycling or disposal, as well as delays in the production process. The QbD concept assumes that the quality of a drug product should not only be checked at the final stage, but should be established at all stages of development and production. This approach helps reduce process variability, reduce production risks, and increase the efficiency of regulatory procedures. Table 1 shows a comparison of traditional validation and QbD.

Table 1

Comparative characteristics of traditional validation and QbD

Parameter	Traditional validation	QbD
Quality control approach	Delayed quality control	Built-in control at all stages
Problem detection	After the production process	Early development
Flexibility to change	Limited adaptability	High adaptability to change
Cost	High cost of correction	Cost reduction through proactive control
Integration with the production process	Separate from the production process	Real-time integration

The QbD implementation scheme consists of several key stages (Fig. 1):

At the stage of defining the quality targets of the product (QTPP), the main characteristics of the future medicinal product are formulated, including the release form, route of administration, dissolution profile, stability and safety.

Identification of critical quality attributes (CQA) consists in determining the properties that have the greatest impact on the quality, efficacy and safety of the product (e.g. purity, solvent residues, degree of crystallization, etc.).

At the stage of determining critical process parameters (CPP), chemical process variables (temperature, pH, reaction time, mixing speed, etc.) are identified that can affect CQA.

The development of the Design Space involves determining the permissible range of CPP changes, within which CQA compliance is ensured. For this, statistical and experimental methods are used (for example, DoE - Design of Experiments),

The Control Strategy is to determine the monitoring and control system of the process: use of PAT, automation, incoming control of raw materials, verification of intermediate products, etc.

In this case, continuous improvement of the process occurs. Data collected during production is used to optimize the process, increase its efficiency and product quality.

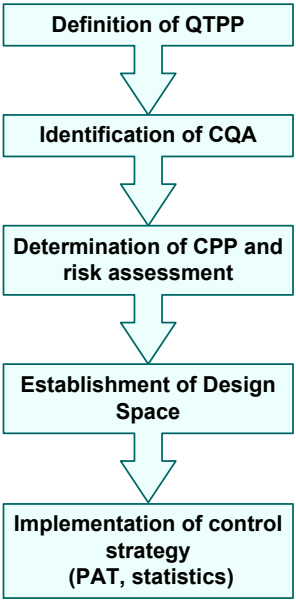


Fig. 1. Scheme of QbD implementation in a chemical process

Thus, by properly defining critical process parameters and establishing a design space, QbD allows you to obtain optimal conditions for stable production activities. This approach ensures a reduction in variability between product batches, ensuring consistent quality of the finished product. Built-in control methods at each stage of production allow you to detect and eliminate deviations in real time, which significantly reduces risks and costs. The QbD approach allows you to significantly reduce development and production time, as the number of corrections and checks at later stages is reduced.

Process Analytical Technology (PAT) is an approach that uses analytical tools to monitor and control critical process parameters in real time. This approach is an integral part of the QbD concept, as it allows you to dynamically adjust the production process based on the data obtained.

PAT includes:

— online or offline monitoring of critical process parameters;
— real-time analysis using various analytical methods;
— process modeling, which provides the ability to predict and adjust parameters based on the analysis of current data;
— adaptive process control to maintain stable product quality.

The main parameters of PAT are presented in Figure 2.

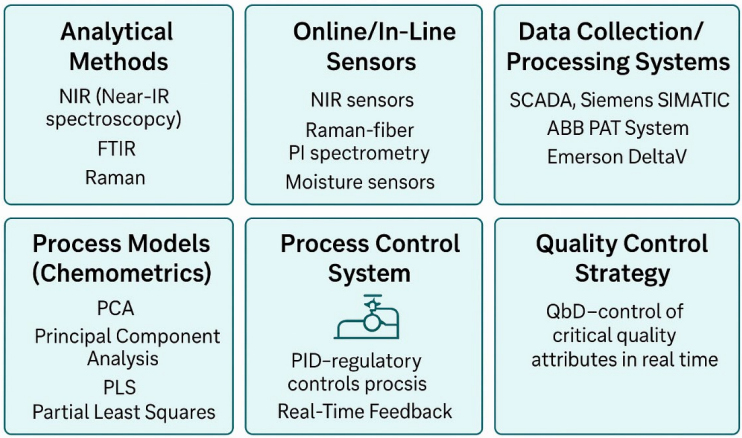


Fig. 2. The main parameters of the PAT

The implementation of QbD and PAT provides the validation process with such advantages as increased reliability and predictability of processes, reduced number of non-conformities and re-validation, flexibility in production changes without risk to quality, better compliance with GMP requirements and requirements of international regulators, and increased level of trust from regulatory authorities and consumers.

Examples of the implementation of innovative approaches, in particular the experience of Pfizer, demonstrate the effectiveness of these strategies in a practical context [4,5].

Conclusion

Modern approaches to the validation of chemical processes in pharmaceutical production are considered, in particular the concepts of Quality by Design (QbD) and Process Analytical Technology (PAT), which play a key role in the formation of reliable, flexible and controlled technological processes.

The implementation of QbD allows you to identify critical quality parameters at the development stage and create a design space that ensures process stability even under changing conditions. The integration of PAT provides continuous monitoring and control of chemical reactions in real time, which helps to increase reproducibility, reduce waste and ensure product quality right first time.

Thus, the application of QbD and PAT is a promising direction for improving the validation of chemical processes and increasing the competitiveness of pharmaceutical production in the conditions of the modern regulatory environment.

References

1. СТ-Н МОЗУ 42-3.5:2016. Лікарські засоби. Валідація процесів. – [Electronic resource]. – Режим доступу: https://www.dls.gov.ua/wp-content/uploads/2019/02/Настанова-ЛЗ-Валідація-процесів.pdf.

2. СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2020. Лікарські засоби. Належна виробнича практика (GMP). – [Electronic resource]. – Access mode: https://www.dls.gov.ua/wp-content/uploads/2020/05/Настанова-СТ-Н-МОЗУ-42-4.0_2020.pdf.

3. International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use (ICH). Q8(R2) Pharmaceutical Development. - 2009. – Access mode: https://www.ich.org/page/quality-guidelines.

4. FDA. NDA 200153 – Chemical Review for Atorvastatin Calcium / U.S. Food and Drug Administration. – 2013. – Access mode: https://www.accessdata.fda.gov/drugsatfda_docs/nda/2013/200153Orig1s000ChemR.pdf.

5. Shah R.B. Using PAT in OSD Manufacturing // Pharmaceutical Technology. – 2020. – [Electronic resource]. – Access mode: https://www.pharmtech.com/view/using-pat-in-osd-manufacturing.

УДК 665.753(043.2)

В.П. Циганенко, асп., І.Л. Трофімов, к.т.н., І.М. Закієв, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вплив естерів рослинних олій на протизносні властивості дизельних палив

Метою роботи було проведення експериментальних досліджень щодо впливу естерів рослинних олій на протизносні властивості дизельних палив нафтового походження. Представлені результати експериментальних досліджень протизносних властивостей традиційних та альтернативних дизельних палив на основі біокомпонентів отриманих з ріпакової та соняшникової олій.

При експлуатації дизельної техніки можуть виникати відмови деяких систем, що пов'язано із підвищенням рівня зношування деталей. Збільшення довговічності, надійності та економічності дизельних двигунів є комплексною проблемою. Однією з важливих умов реалізації надійності та довговічності, що покладені у конструкцію двигуна, є покращення експлуатаційних властивостей дизельного палива [1].

Протизносні властивості палив для дизельних двигунів визначають надійність та ресурс роботи паливних агрегатів двигуна, зокрема їх пар тертя. Пари тертя працюють в режимах тертя кочення, тертя ковзання і комбінованого тертя при різних навантаженнях, температурах, тиску, швидкості відносного руху в умовах рідкого і граничного змащування [2].

У процесі експерименту було досліджено протизносні властивості дизельного палива, метилових естерів жирних кислот (МЕЖК) соняшникової (МЕС) і ріпакової олій (МЕР) та сумішей дизельного палива з метиловими естерами жирних кислот соняшникової і ріпакової олій. Біокомпоненти були представлені у вигляді зазначених сумішей та відповідали вимогам EN 14214 [3].

Для проведення експериментальних досліджень було використано прилад «Micron-gamma» для дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів [4]. Особливістю приладу є застосування диференційного датчика коротких переміщень, що вимірює глибину проникнення індентора відносно поверхні досліджуваного зразка.

Мікротрибологічне випробування методом «pin-on-disk» дозволяє вимірювати коефіцієнт тертя і зносостійкість при зворотно-поступальному русі (терті) контртіла. Зворотно-поступальний рух відбувається за допомогою додаткового предметного столу. При проведенні досліджень було використано пару металів, а саме: індентор з надтвердого матеріалу та зразок з алюмінієвого сплаву. Для проведення досліджень достатньо використовувати краплю досліджуваної речовини.

Зношування є величиною, що обернена зносостійкості, тобто:

$$I = \Delta V/(N \cdot P) \qquad (1)$$

де: N (м) – величина пробіга, P (Н) – навантаження, ΔV – об'мна втрата зразка.

Зношування зразка і контртіла, що нормується за шляхом пробігу та навантаженню, дозволяє дозволяє порівнювати трибологічні випробування за різних умов.

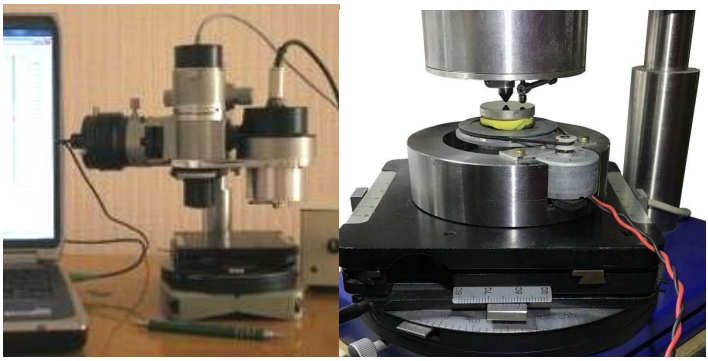


Рис. 1. Зовнішній вигляд приладу «Micron-gamma»

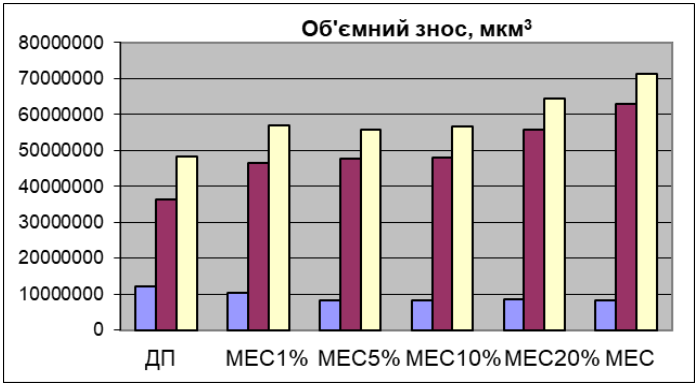


Рис. 2. Об’ємний знос ДП, МЕС та їх сумішей

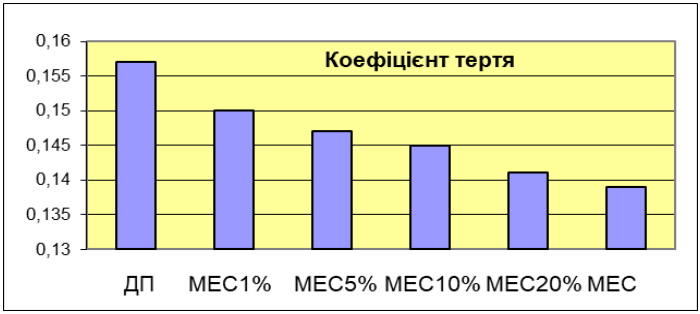


Рис. 3. Коефіцієнти тертя ДП, МЕС та їх сумішей

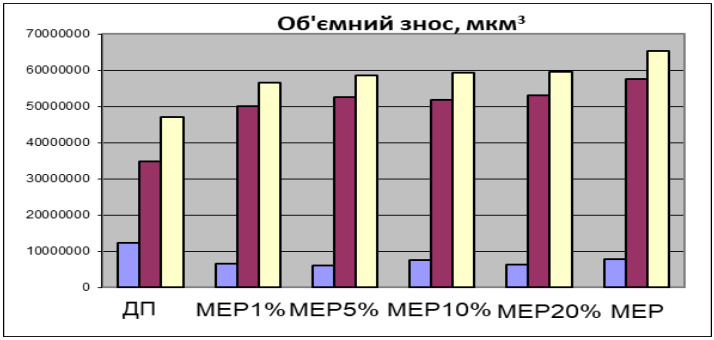


Рис. 4. Об’ємний знос ДП, МЕР та їх сумішей

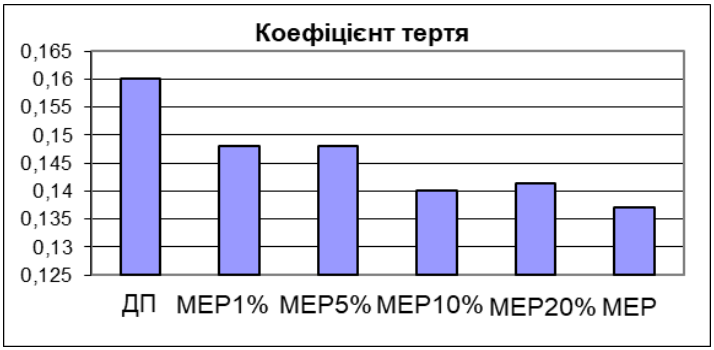


Рис. 5. Коефіцієнти тертя ДП, МЕР та їх сумішей

Висновок

Дослідження зразків дизельного палива, метилових естерів жирних кислот (МЕЖК) соняшникової (МЕС) і ріпакової олій (МЕР) та сумішей дизельного палива показали, що додавання метилових естерів жирних кислот соняшникової (МЕС) і ріпакової олій (МЕР) призвели до зростання величини зношування (див. рис. 2 та 4). Це можливо за рахунок наявності метилового спирту в метилових естерах жирних кислот олій, що призводить до розчинення граничних плівок на поверхнях тертя та, як наслідок, до зростання величини зношування.

Якщо приймати дизельне палива за контрольний зразок, то можна зробити висновок, що додавання метилових естерів жирних кислот соняшникової і ріпакової олій спричиняє негативний вплив на змащувальні властивості традиційних дизельних палив. Окрім того, цікавим є зменшення коефіцієнту тертя при додаванні МЕЖК соняшникової або ріпакової олій до трафіційного дизельного палива.

Отримані результати експериментальних досліджень можуть бути використані для подальших наукових досліджень з метою отримання доказової бази щодо використання впливу естерів жирних кислот на протизносні властивості традиційних дизельних палив.

Список літератури

1. Трофімов І. Л., Свирид М. М., Циганенко В. П., Макаров А. С. Вплив електромагнітного поля на протизносні властивості альтернативних дизельних палив. *Проблеми тертя та зношування*. 2023. №4 (101). С. 42–51.

2. Iakovleva, A., Boichenko, S.V., Lejda, K., Vovk, O.A., Kuszewski, Kh.: Antiwear Properties of Plant—Mineral-Based Fuels for Airbreathing Jet Engine. Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 53(1), 1–9 (2017).

3. Liquid petroleum products - Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications - Requirements and test methods.

4. Патент на корисну модель № 30003 Україна, G01N 3/40 / С.Р. Ігнатович, І.М. Закієв, В.І. Закієв, Є.П. Дворник (Україна). – 200709512; Заяв. 21.08.2007; Опубл. 11.02.2008, Бюл. № 3. – 4с.

УДК 621.89:665.355.2

Ю.В. Ілляшенко, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Зміни показників якості рослинних моторних олив у процесі експлуатації

У статті досліджено зміну фізико-хімічних характеристик біологічних моторних олив у процесі їх використання. Визначено чинники деградації складу та перспективи їх регенерації.

Вступ

За умов зростання вимог до екологічної безпечності та стійкості транспортних систем, значного поширення набувають рослинні моторні оливи. Вони є альтернативою для мінеральних та синтетичних основ завдяки їх біорозкладаності та низькій токсичності. Однак, негативний вплив експлуатаційних чинників суттєво змінює їх якісні показники.

Серед основних біологічних базових рідин найбільш поширеними є олії з ріпаку, соняшника, сої та касторової рослини. Вони мають добрі змащувальні властивості, але їх використання в двигунах внутрішнього згоряння вимагає адаптації рецептури. Біооливи широко використовуються у скандинавських країнах, Канаді та США, особливо в умовах підвищеної екологічної чутливості (лісова техніка, авіація малої потужності, сільське господарство).

Крім екологічних переваг, важливо враховувати й соціально-економічні чинники: рослинні оливи виробляються з відновлюваних ресурсів, здебільшого локального походження, що сприяє енергетичній безпеці та підтримці сільського господарства. Їх застосування може знизити залежність від імпортованих нафтопродуктів, що особливо актуально для країн з нестабільним енергетичним ринком.

Метою роботи є дослідження змін експлуатаційних властивостей рослинних моторних олив, визначення основних факторів деградації та можливостей покращення їх стабільності.

Методика дослідження

Об’єктом дослідження є рослинні моторні оливи на основі ріпакової та соняшникової олії з додаванням протизношувальних і антиокиснювальних присадок. Зразки олив піддавалися моделюванню експлуатаційних умов з використанням стенду з імітацією роботи двигуна внутрішнього згоряння. Тривалість випробування становила 100 мотогодин.

Використано такі прилади:

- віскозиметр KV-300 для визначення кінематичної в’язкості;
- спектрометр ІЧ-діапазону для виявлення продуктів окислення;
- термогравіметричний аналізатор STA 6000 для визначення термічної стабільності;
- лабораторна центрифуга для відбору осадів;
- прилад Karl Fischer Titrator для вимірювання вмісту вологи.

Для аналізу застосовувалися стандартизовані методики відповідно до ASTM D445 (в’язкість), ASTM D664 (кислотне число) та ISO 4406 (чистота рідини). Особливу увагу приділяли порівняльній оцінці характеристик до та після експлуатації.

Результати та аналіз

У процесі моделювання експлуатаційного навантаження спостерігалося поступове зростання кислотного числа, що свідчить про окислення базової основи оливи. Показник в’язкості зменшувався на 10–15%, що є ознакою термічного руйнування ланцюгів жирних кислот. ІЧ-спектри підтвердили утворення продуктів полімеризації та окислення (зокрема пероксидів і карбоксильних груп).

Паралельно спостерігалося зростання кількості мікрочастинок, що утворюються внаслідок механічного зношення, особливо в системах без фільтрації. Вміст вологи також збільшувався, що може призводити до утворення кислотних залишків та зменшення антикорозійних властивостей.

Зольність зростала внаслідок накопичення твердих часток і присадкових залишків. У ріпакових оливах зберігалася краща термічна стабільність порівняно із соняшниковими завдяки вищому вмісту мононенасичених кислот.

У таблиці 1 наведено динаміку зміни показників основних властивостей досліджуваних зразків.

Таблиця 1

Зміна експлуатаційних характеристик рослинних олив за 100 мотогодин

Показник	Початкове значення	Після 100 годин
Кінематична в’язкість (мм²/с)	42,1	36,8
Кислотне число (мг KOH/г)	0,84	1,75
Зольність (%)	0,01	0,05
Вміст води (%)	0,03	0,14
ІЧ-поглинання (відн. од.)	0,12	0,34

Такі зміни свідчать про необхідність регулярного моніторингу параметрів біоолив та обмеження строку їх використання. Перспективним напрямом є поєднання біооснов із синтетичними присадками нового покоління, зокрема на основі наноструктурованих оксидів.

Висновки

1. Рослинні моторні оливи зазнають суттєвих змін у процесі експлуатації, що проявляється у зміні в’язкості, кислотного числа, вмісту води та появі продуктів окислення.
2. Найбільше деградують показники термічної стабільності, змащувальної здатності та кислотності, що потребує вдосконалення рецептур олив.
3. Використання присадок-антиоксидантів і вологоабсорбентів значно покращує експлуатаційні характеристики, однак не забезпечує повної стабільності за жорстких умов роботи.

4. Найперспективнішими є рецептури на основі ріпакової олії з підвищеною термоокиснювальною стійкістю та збалансованим складом поліфункціональних присадок.

5. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію стабілізуючих пакетів, використання нанотехнологій та вивчення адаптивної поведінки біоолив у сучасних ДВЗ.

Список літератури

1. Гуревич С.М., Іванченко І.М. Біоразкладані моторні оливи. — Київ: Техніка, 2020. — 152 с.

2. Zeman S., Bartuli E. Biodegradable lubricants in automotive applications. — Tribology International, Vol. 72, 2018, pp. 43–50.

3. Коробко О.О. Фізико-хімічні властивості біомасляних основ. — Харків: ХНАМГ, 2019. — 96 с.

4. Moser B.R. Influence of chemical modification on cold flow properties of vegetable oils. — Industrial Crops and Products, Vol. 27, 2021, pp. 1–7.

5. ГОСТ 33-2000. Нефтепродукты. Метод определения кислотного числа. — Москва: Изд. стандартов, 2000. — 10 с.

6. Gawrilow I., Friedrich H. Advanced tribological testing of vegetable oil-based lubricants. — Lubricants Journal, Vol. 5, 2022, pp. 23–35.

7. Biresaw G., Adhvaryu A. Biolubricants: Science and Technology. — Cambridge: Woodhead Publishing, 2020. — 389 p.

8. Pinter G., Baderna D. Vegetable Oils as Engine Lubricants: Challenges and Opportunities. — Green Chemistry Letters and Reviews, Vol. 15, 2023, pp. 112–126.

УДК 577.15:519.24:615.2

В.Л. Чумак, д.хім.н., М.Р. Максимюк, к.хім.н., А.А. Копаниця
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Визначення параметрів рівняння Михаеліса-Ментен при створені ліків з використанням ферментів

Проведено аналіз використання рівняння Михаеліса-Ментен за незначних концентрацій субстрату. Представлені результати математичного моделювання кінетики ферментативного каталізу та пропозиції щодо вибору концентраційного інтервалу субстрату.

Виробництво ліків за допомогою ферментів – це важливий напрямок у фармацевтичній промисловості, який відноситься до біотехнології та біокаталізу. Ферменти тут відіграють ключову роль, оскільки дозволяють проводити реакції з високою селективністю, ефективністю та екологічною чистотою.

Ферментативний синтез – це використання ферментів (білків-каталізаторів) для перетворення вихідних речовин (субстратів) на бажані лікарські сполуки. Він може бути альтернативою чи доповненням до класичного органічного синтезу.

Переваги використання ферментів:

• Висока специфічність: ферменти можуть вибірково впливати лише на потрібні ділянки молекули.

• М’які умови: реакції відбуваються за кімнатної температури, нормального тиску та нейтральному pH.

• Екологічність: менше відходів, часто не потрібне використання токсичних розчинників.

Приклади застосування:

1. Отримання антибіотиків.

Наприклад, фермент пеніцилінацилаза використовується для отримання 6-амінопеніцилановоі кислоти (6-APA) - ключової проміжної сполуки для пеніцилінів.

2. Синтез противірусних препаратів.

Деякі ферменти застосовуються для ферментативного отримання нуклеозидних аналогів, що використовуються у терапії ВІЛ та гепатиту.

3. Модифікація природних сполук.

Ферменти можуть модифікувати складні рослинні молекули, перетворюючи їх на більш активні чи стабільні форми.

4. Виробництво хіральних сполук.

Це особливо важливо для ліків, де активність залежить від конфігурації молекули (наприклад, S або R-енантіомер).

Основним рівнянням кінетики ферментативного каталізу є рівняння Михаеліса-Ментен, яке **в**изначає кінетику ферментативних реакцій, допомагає у розробці ліків (наприклад, під час інгібування ферментів), використовується для моделювання біохімічних шляхів отримання ліків.

Рівняння Міхаеліса-Ментен та його похідні відіграють величезну роль у розробці та тестуванні ліків, особливо тих, які взаємодіють з ферментами (інгібітори, активатори, тощо).

Дослідження залежності швидкості ферментативної реакції від концентрації субстрату за незмінної концентрації ферменту довели, що зі збільшенням концентрації субстрату швидкість реакції спочатку збільшується, а потім перестає змінюватися, що підтверджує рівняння Міхаеліса-Ментен, оскільки залежність швидкості реакції від концентрації субстрату описується таким рівнянням:

$$V = \frac{V_{\max} S}{k_m + S}, \tag{1}$$

де k_m – константа Міхаеліса, V_{max} – максимальна швидкість, S – концентрація субстрату.

Знаючи величини k_m та V_{max}, можна змоделювати реакцію ферменту із субстратом, визначити, за яких умов фермент насичується, розрахувати ефективність інгібіторів, налаштувати дозування ліків, якщо вони впливають на цей фермент.

Значення k_m та V_{max} розраховують за експериментальними даними з залежності швидкості ферментативної реакції від концентрації субстрату перетворюючи рівняння Міхаеліса-Ментен до лінійного вигляду [1]:

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_{\max}} + \frac{k_m}{V_{\max}} \frac{1}{S}.$$

Розрахунок k_m та V_{max} за рівнянням (1) у випадку якщо k_m <<<S за експериментальними даними супроводжується невизначеністю, так як рівняння (1) трансформується до лінійного вигляду:

$$V = \frac{V_{\max}}{k_m} S = const * S$$

Для розрахунків коефіцієнтів рівнянь за експериментальними даними звичайно використовують метод найменших квадратів, мінімізуючи функцію цілі:

$$F(k_m, V_{\max}) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{V_{\max} \mathrm{S}_{i,екс}}{k_m + \mathrm{S}_{i,екс}} - V_{i,екс} \right)^2 \tag{2}$$

Для ілюстрації наявності явища неповної мультиколініарності [2] та його впливу на неоднозначність розрахованих величин k_m та V_{max} змоделюємо кінетику ферментативного каталізу якщо k_m <<<S. Розрахунки проведемо у середовищі MS Excel з використанням мови програмування Visual Basic for Applications/

Для прикладу візьмемо наступні значення:

$$K_m = 500 \quad \mu M$$

$$V_{\max} = 100 \quad \mu M / хв$$

та розрахуємо за рівнянням (1) значення величин швидкостей ферментативної реакції враховуючи можливу експериментальну похибку визначення швидкості 1% за рівнянням:

$$V_{екс} = V_{розр} + 0,01 V_{розр} (2Rnd - 1),$$

де величина $2Rnd - 1$ приймає випадкові значення від -1 до +1.

Rnd - оператор мови програмування Visual Basic for Applications (генератор випадкових чисел від 0 до 1).

Програма мовою Visual Basic for Applications:

```
Sub МИХАЄЛИС_МЕНТЕН()
Dim N As Integer, I As Integer
Dim Vmax As Double, Km As Double, S As Double, V As Double
N = Worksheets("Лист11").Cells(4, 4)
Vmax = Cells(36, 2).Value
Km = Cells(35, 2).Value
For I = 1 To N
 S = Cells(I, 1).Value
 V = Vmax * S / (Km + S)
 Randomize   ' Initialize random-number generator.
 V = V + 0.01 * V * (2 * Rnd - 1)
 Worksheets("Лист11").Cells(I, 2) = V
 Next I
 End Sub
```

Використання програми надає можливість визначити «експериментальні» дані:

V	0	0,198	0,399	0,598	0,799	0,987	1,196	1,37	1,563	1,754
S	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

«Експериментальні» дані добре описуються лінійною залежністю (рис.1), так як коефіцієнт детермінації R^2=0,9998.

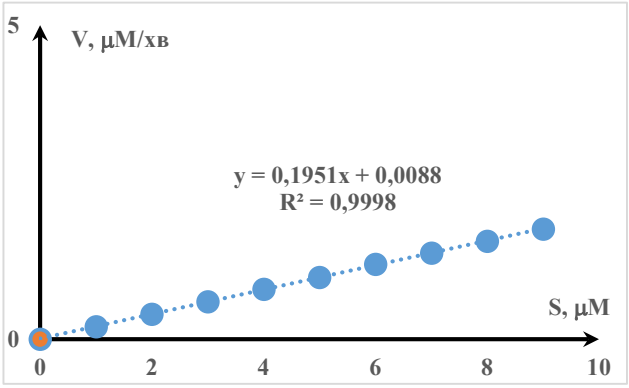


Рис1. Залежність швидкості ферментативної реакції від концентрації субстрату.

Подальша обробка «експериментальних» даних з метою мінімізації функцію цілі (рівняння 2) та, відповідно, розрахунок величин k_m та V_{max} на основі «експериментальних» даних було проведено з використанням надбудови MS Excel «Пошук рішення» з використанням програми:

```
Function Fmeta_MIXAEL_MENTEN(Vmax, Km, NT)
 Dim x As Double, I As Integer
 Dim N As Integer
 Dim V As Double, S As Double, z As Double, y As Double
 N = NT
 x = 0
 V = 0
 S = 0
 For I = 1 To N
 x = Cells(I, 1).Value
 z = Vmax * x / (Km + x)
 y = Cells(I, 2).Value
 V = z - y
 S = S + V ^ 2
 Next I
 Fmeta_MIXAEL_MENTEN = S
 End Function
```

В результаті отримали значення k_m =2061, V_{max} = 406, які значно відрізняються від значень математичної моделі.

Використання програми Function Fmeta_MIXAEL_MENTEN(Vmax, Km, NT) надало можливість побудувати просторовий графік (рис.2)

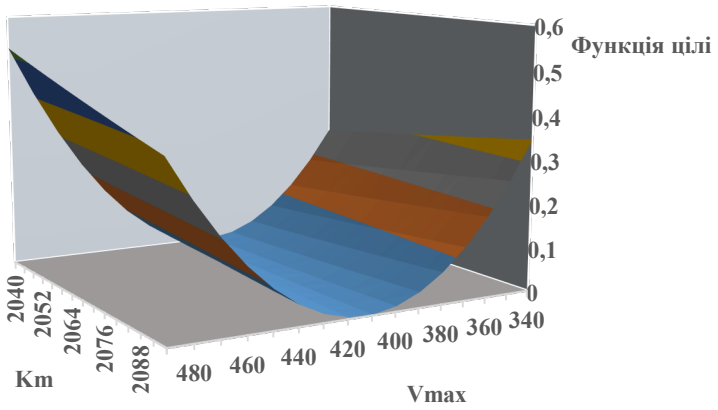


Рис.2. Залежність функції цілі від значень коефіцієнтів рівняння Міхаеліса—Ментен.

Як видно з графіка функція цілі має вигляд каньйону (яру) , що свідчить про наявність мультиколініарності і відповідно приводить до великих похибок при розрахунках коефіцієнтів рівняння

Висновки

Таким чином проведений аналіз використання рівняння Михаеліса-Ментен за незначних концентрацій субстрату підтвердив наявність неповної мультиколініарності.

Результати математичного моделювання кінетики ферментативного каталізу показали великі похибки при розрахунках коефіцієнтів рівняння Міхаеліса-Ментен.

Список літератури

1. Основи наукових досліджень: підруч. / В. Л. Чумак, С. В. Іванов, М. Р. Максимюк. – Вид. 2-ге, виправлене. – К. : НАУ, 2012. – 360 с. ISBN 978-966-598-806-9

2. Бегун С. І., Сахарук М. О. (2020) Мультиколінеарність та її вплив на оцінку параметрів моделі. Молодий вчений (4), С. 272-276. https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-4-80-56

УДК 665.6

Р.С. Акчурін. аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оптимізація процесів регенерації відпрацьованих мастильних матеріалів

Розглянуто технологічні аспекти регенерації відпрацьованих мастил, зокрема методи збору, очищення та відновлення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів. Описано принципи роботи установок, що використовують фізичні, хімічні та термічні методи, а також подано схеми відповідного обладнання. Обґрунтовано доцільність впровадження ресурсозберігаючих технологій та альтернативних екологічно безпечних рішень.

На машинобудівних підприємствах мінеральні мастила широко застосовуються для змащування двигунів, транспорту та іншого обладнання, а також як змащувально-охолоджувальні рідини у технологічних процесах. Через значні обсяги використання та високу вартість мастильних матеріалів, їхнє повторне використання шляхом очищення є особливо актуальним.

Відновлення властивостей відпрацьованих масел відбувається на спеціальних станціях і потребує тривалого технологічного процесу. На вибір способу регенерації впливають тип мастила, рівень забруднення, а також його склад і кількість. Для оптимізації процесу збирання та подальшої переробки відпрацьовані нафтопродукти умовно поділяють на три групи:

– перша група: моторні мастила та їхні суміші з індустріальними при температурі 50˚С;

– друга група: індустріальні, турбінні та компресорні мастила, що підлягають регенерації;

– третя група: суміші відпрацьованих нафтопродуктів, включаючи бензин, гас, дизпаливо та мастила.

Застосування єдиної технології для кожної групи є більш економним порівняно з індивідуальною переробкою кожного виду мастила, однак економічна доцільність досягається лише на спеціалізованих підприємствах.

Місця збору таких відпрацьованих мастил повинні бути обладнані спеціальними складськими приміщеннями з сучасними засобами пожежної безпеки та сигналізації. Там мають бути окремі марковані ємності об’ємом 4–5 м³ для кожної групи мастил і нафтопродуктів. Горловини резервуарів обладнані герметичними кришками та захисними сітками з кількістю отворів не менше 900 на см² для запобігання потраплянню сміття та вологи. Якщо резервуари встановлені в неопалюваних приміщеннях, для зимового періоду передбачається підігрів і теплоізоляція.

Методи очищення мастил поділяються на фізичні (відстій, фільтрування, сепарація, промивка), фізико-хімічні, хімічні та комбіновані. Найпростішим та найпоширенішим є фізичний метод.

Станція «СММ-Р» від торгівельної марки GlobeCore працює наступним чином. Відпрацьовані змащувально-охолоджувальні рідини накопичуються в одній ємності, звідки насосом подаються в іншу, де змішуються з

деемульгатором ДОР-22. Його витрата регулюється витратоміром і запірною арматурою. Далі суміш нагрівається до 110–120˚С і подається в електролізер. Масляна плівка знімається за допомогою барабана, а відстояна вода збирається окремо, очищується у флотаційному блоці та повертається в процес. Осад з домішками осідає внизу та відводиться за допомогою скребків у спеціальні ємності.

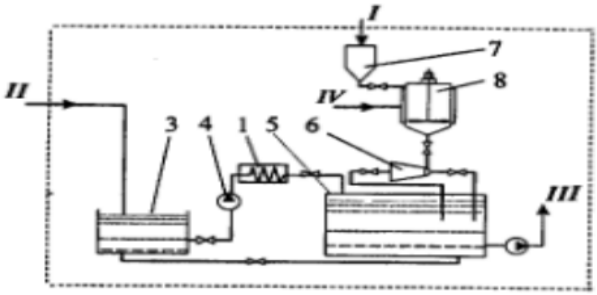


Рисунок 1 - Схема установки «СММ-Р» для утілізації МОР

Для стабілізації відпрацьованого мастила застосовують трубчасті печі, в яких постійно регенерується близько 1% мастила, що знаходиться в обороті. Основний процес розділення компонентів здійснюється у ректифікаційній колоні.

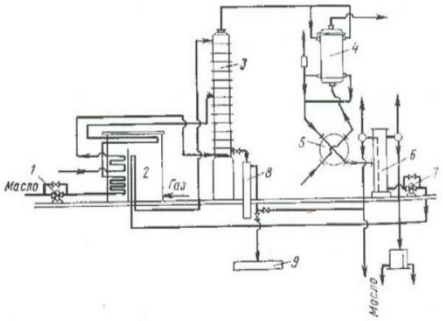
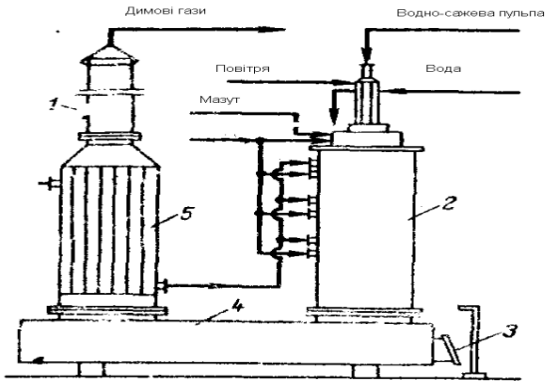


Рисунок 2 - Технологічна схема установки регенерації мастил

Мастило насосом подається через секції трубчастої печі, де нагрівається до температури близько 300˚С, після чого направляється в ректифікаційну колону, куди додатково вводиться перегріта водяна пара. Під впливом гарячої пари більша частина мастила випаровується. На верхній тарілці колони відбувається процес ректифікації: пари конденсуються, і полімерні компоненти осідають, стікаючи вниз через гідрозасувку до збірника полімерів. Пари масла і води з верхньої частини колони відводяться до конденсатора і холодильника, де охолоджуються технічною водою.

У сепараторі відбувається відстоювання масла від води, після чого масло повертається у виробничий цикл. Частина цього масла додатково подається через нагрівальний елемент трубчастої печі назад на верхню тарілку колони для забезпечення процесу зрошення. Через повітряний конденсатор і сепаратор безперервно видаляються шкідливі речовини, такі як сірководень і синильна кислота, що викликають корозію обладнання. У результаті вихід регенерованого мастила становить 80–90%.

У випадку, якщо мастила не підлягають регенерації, їх утилізують шляхом спалювання. В такому випадку мастило подається через форсунку в камеру згоряння, внутрішня поверхня якої викладена вогнетривким матеріалом. При температурі близько 900˚С відбувається випаровування вологи. Оскільки теплоти, що виділяється під час горіння мастила, недостатньо для повного випаровування всієї суспензії, до камери додатково подають рідке або газоподібне паливо.



1-димова труба; 2-піч; 3-мембрана; 4-боров; 5-повітропідігрівач
Рисунок 4 - Піч для спалювання відпрацьованих мастил

Термічний метод знезараження дозволяє ефективно усунути неприємні запахи, видалити тверді частки та одночасно слугує джерелом додаткової теплової енергії. Проте основним його недоліком є утворення оксидів азоту, які негативно впливають на довкілля.

Для очищення газоподібних викидів можна застосовувати зернистий фільтр, який забезпечує вловлювання горючих компонентів шляхом їх конденсації. Фільтруючим середовищем у таких системах є шари зернистих природних або синтетичних матеріалів, стійких до високих температур та хімічно агресивних умов.

Незважаючи на теоретичну можливість повного очищення та повернення мастилам їх первинних властивостей, практична реалізація цього процесу ускладнюється через громіздкість та високу вартість відповідного обладнання. Тому доцільно орієнтуватися на альтернативні підходи, зокрема

впроваджувати технології з мінімальним утворенням відходів та максимальним збереженням ресурсів.

Висновок

Таким чином, проаналізовано та узагальнено сучасні методи регенерації відпрацьованих мастил, зокрема із застосуванням ректифікаційних колон, термічного знешкодження та зернистих фільтрів, що дозволяє ефективно очищати мастильні матеріали та повертати їх в обіг.

Запропонований підхід до організації збору та регенерації мастил доцільний для машинобудівних підприємств, де спостерігається значне споживання мастильних матеріалів, і може сприяти підвищенню ресурсозбереження, зниженню екологічного навантаження та зменшенню експлуатаційних витрат.

Список літератури

1. F. . Danane, A. C. . Ahmia, A. . Bakiri, and N. . Lalaoui, “Experimental regeneration process of used motor oils”, *J. Ren. Energies*, vol. 17, no. 2, pp. 345 -, Jun. 2014.
2. H.A. Durrani Re-Refining Recovery Methods of Used Lubricating Oil International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, 3 (3) (2014), pp.

UDC 629.7:001.895

Y.Y. Kurhanska
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Occupational health and safety solutions: Poland's experience

The text analyses Poland's occupational safety and health (OSH) system, highlighting legal foundations, institutional roles, recent inspection strategies, and challenges. It emphasises the need for improved awareness, education, and preventive measures to enhance workplace safety and promote long-term improvements in OSH standards, evolving labour market conditions.

Occupational safety and health (OSH) are critical components of labour policies aimed at ensuring safe working environments and promoting the well-being of workers. In Poland, the basic legal act which provides for the right to safe and healthy working conditions is the Constitution of the Republic of Poland. The means of implementing this right is defined by law, namely the Labour Code. OSH regulations are primarily governed by them as well, which outlines the rights and responsibilities of employers and employees concerning workplace safety.

The basic Code regulation in the field of OSH can be found in Section X of the Code, specifically, in Section VII on the protection of women at work, and Section IX on the protection of young people at work. The organisational system of labour protection can be divided into a nationwide and cross-workplace system.

The Ministry of Family, Labour, and Social Policy is the central body responsible for developing and implementing occupational safety and health (OSH) policies in Poland. Several institutions operate under its purview to enforce OSH regulations:

1) National Labour Inspectorate (PIP): conducts inspections to ensure compliance with labour laws and OSH standards.
2) State Sanitary Inspection (PIS): monitors sanitary and hygienic conditions in workplaces.
3) Office of Technical Inspection (UDT): oversees the safety of technical equipment and installations.
4) State Mining Authority (WUG): Regulates safety in the mining sector.

Worth noting that Poland's economy is characterised by small enterprises, a high migration factor, long working hours and new workplace challenges, like most European countries in current conditions. Therefore, proper assessment and documentation of occupational risks are important in order to maintain a high level of occupational health and safety, apply preventive measures, foresee hazards, develop appropriate strategies and information policies, and organization of safe workflow [1].

The scope of actions aforementioned body National Labour Inspectorate (PIP) is both direct (inspections of workplaces and compliance, analytics of statistical data) and through numerous sideway paths like marketing campaigns and educational programs. This body presents all the main functions in OSH, including preventing, measuring and assessing work-related accidents and diseases.

The outbreak of the Russian–Ukrainian war on 24 February 2022 had a significant impact on the NLI's activities, which were adapted to the increased influx of foreigners fleeing the hostilities and entering the Polish labour market [2]. According to PIP Annual Activity Reports, 61,695 inspections were carried out in 2023, compared to 59,570 in 2022. Therefore, the best way to assess the progress and changes in OSH for Poland is to compare the developments made during the period 2021-2022, as shown in Table 1.

Table 1

Activity of PIP in 2021-2022: statistical comparison (in thousands)

	2021	2022
Number of inspections	55,8	59,6
Number of inspected entities	45,4	48,3
Instructions in improvement notices	189,8	234,3
Decisions issued regarding OSH	175,7	211,7

Totally, in 2022, 749.9 thousand consultations were provided, including 273.7 thousand during inspections, among which 11.4 thousand pieces of advice were provided to foreigners. During such inspections, 665 notifications of the suspicion of a crime were sent to the prosecutor's office.

A primary function of the National Labour Inspectorate is to avert workplace hazards and reduce the frequency of occupational accidents by means of its supervisory and inspection activities. 2022 became the year of setting the nationwide, three-year strategic programme by the Inspectorate. It has since concentrated its inspection and prevention efforts on three priority areas: construction sector oversight and preventive measures; monitoring and control of chemical risks in work environments; enhanced supervision of business operations.

In 2022, the first part of that three-year initiative began, namely "Strategy of Inspection and Prevention for the Construction Sector". The primary aim of this program is to strengthen the NLI's impact on companies engaged in construction activities by combining supervisory inspections with preventive, educational, and awareness-raising efforts. These actions are carried out as part of the "Construction Site. STOP Accidents!" campaign. The campaign was implemented across multiple levels, with its core activities centered around on-site training sessions for employers and entrepreneurs, conducted by labour inspectors who specialise in construction site safety. These practical sessions were held directly at active construction sites, making them accessible and relevant to current working conditions.

In addition to on-site training, the SLI offered a broader educational program that included seminars, conferences, and informational meetings, organised in collaboration with the Polish Chamber of Construction Engineers, the Polish Association of Construction Engineers and Technicians, and various technical universities.

The findings from the National Labour Inspection's 2022 activities indicate that, although there have been some signs of progress, such as a gradual decline in the number of fatal and serious workplace accidents, the overall level of occupational health and safety still falls short of desired standards.

This shortfall can be attributed to a combination of external (macroeconomic) and internal (microeconomic) factors influencing how businesses operate. Among the key challenges facing companies today are: sustaining sales amid intensifying competition and globalisation, maintaining high product and service quality, boosting productivity, and, more recently, dealing with labour shortages or difficulties in recruiting qualified personnel [3].

Improving occupational safety and health in Poland will require continuing a comprehensive approach addressing both existing challenges and emerging risks in the labour market. One of the key areas for development is the expansion of education and awareness campaigns. Despite ongoing efforts, there remains a general lack of knowledge about occupational hazards among workers, employers, subcontractors, and cooperating entities. E-learning platforms tailored to different sectors could also help small and medium-sized enterprises and subcontractors meet safety requirements more effectively.

Another vital step is to strengthen the role and capacity of labour inspectors. This includes increasing the number of inspectors and enhancing their training to keep up with growing risks linked to automation and innovative factors. Inspectors should be provided with advanced digital tools to allow real-time monitoring, data collection, and more efficient inspection procedures. Introducing preventive inspection visits, where guidance takes precedence over penalties, could also foster a more cooperative relationship between regulators and businesses to achieve mutual benefits.

Creating a workplace culture that prioritises prevention is essential for sustainable change. The establishment of internal safety committees and the appointment of safety officers can contribute to ongoing risk assessment and proactive improvements. Regular safety briefings and mandatory risk assessments should become standard practice, particularly in high-risk industries like construction and manufacturing.

Conclusion

Poland has made progress in strengthening its occupational safety and health (OSH) system through legal frameworks, institutional oversight, and targeted inspection campaigns. The National Labour Inspectorate's efforts in 2022, particularly within the construction sector, demonstrated a proactive approach to reducing workplace accidents and raising awareness. However, overall safety standards still fall short, with challenges linked to economic pressures, workforce shortages, and limited OSH awareness. Addressing these issues requires expanding education and training, especially for small enterprises and foreign workers. Strengthening the role of labour inspectors and using digital tools for real-time monitoring can improve enforcement and efficiency. Creating a strong workplace culture focused on prevention is essential for long-term safety improvements. A collaborative approach among government, employers, and workers will be key to ensuring safer working environments across Poland.

References

1. Republic of Poland – Government Portal for Entrepreneurs. Occupational health and safety regulations in Poland. Retrieved from https://www.biznes.gov.pl/en/portal/0018272.

2. Chief Labour Inspectorate (Poland). (2023). Report on the State Labour Inspection's activity in 2022. [PDF file].

3. European Agency for Safety and Health at Work. (n.d.). *Poland's approach to supporting OSH compliance*. European Agency for Safety and Health at Work. Retrieved from https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Polands-approach-to-supporting-OSH-compliance_EN.pdf.

4. European Agency for Safety and Health at Work. (n.d.). *Polish sector prevention and inspection programmes - Case study PL5*. European Agency for Safety and Health at Work. Retrieved from https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Polish-sector-prevention-inspection-programmes-Case-PL5_EN.pdf.

5. European Agency for Safety and Health at Work. (n.d.). *Prevention and inspection: Key to Polish occupational safety and health compliance model*. European Agency for Safety and Health at Work. Retrieved from https://osha.europa.eu/en/highlights/prevention-and-inspection-key-polish-occupational-safety-and-health-compliance-model.

6. National Labour Inspectorate. (2021). *Report on the National Labour Inspectorate's activity in 2021*. National Labour Inspectorate. Retrieved from file:///C:/Users/%D0%9B%D0%B8%D0%B7%D0%B0/Downloads/Report%20on%20the%20National%20Labour%20Inspectorate%E2%80%99s%20activity%20in%202021.pdf.

УДК 544.2/.6:664:665.5

Н.В. Гаюк[1], к.х.н., Г.В. Сокольський[2], д.х.н., О.О. Борщ[1] д.с/г н.
(Білоцерківський національний аграрний університет[1], Україна)
(Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського[2], Україна)

Дослідження взаємодії титан(IV) оксиду з HF у присутності/відсутності NH_4^+

Дослідження щодо встановлення умов електрокристалізації манган(IV) оксидів з суспензійних електролітів за допомогою підходів електролітичного допування для одержання багатокомпонентних композитних матеріалів MnO_2/TiO_2/ГНТ/ІНТ. Основною задачею у плануванні експерименту є стратегія щодо концентрації, природи добавок в електроліт, його лігандного складу для забезпечення заданого фазового складу манган(IV) оксиду, а також функціональності інших компонентів. Важливим завданням у даному дослідженні є забезпечити максимальний рівномірний розподіл всіх компонентів з максимальним ступенем гомогенізації, дисперсності компонентів та контрольованою агломерацією.

Для фото(електро)каталітичних застосувань, де задіяна поверхня, має бути забезпечена її максимальна розвиненість та присутність нанотрубок, що, за літературними даними [1],сприяєохопленню в транспорті маси (заряду) при поверхневих шарів. Алюмосилікатні нанотрубки в цьому сенсі відносно мало досліджені. Фотокаталітичні “coupling” ефекти можливі в даних умовах при поєднанні діоксиду титану з діоксидом мангану за умови значно меншої ширини забороненої зони.

Стабільне співвідношення вмісту іонів у анодному продукті виконується при незмінності співвідношення концентрацій відповідних іонів в електроліті. Зміни лігандного складу електроліту є додатковим інструментом впливу на співвідношення катіонів у анодному продукті, що дозволяє зблизити/розвести потенціали виділення відповідних оксидних фаз в умовах, коли співкристалізація компонентів є можливою [2].

Завдання електрокристалізації композитів складу TiO_2/MnO_2/ГНТ/ІНТ нами вирішувалося 2 шляхами: по-перше, введенням TiO_2 у вигляді компоненту суспензійного електроліту, по-друге, за допомогою Ti^{3+} катіону, здатного до окиснення на аноді. Максимально рівномірний розподіл ГНТ/ІНТ у продукті має забезпечити їх введення до складу електроліту із додатковою стадією вакуумування для галуазитних нанотрубок.

Суспензія анатазу та/або рутилу в умовах експерименту з електрокристалізації у флуорвмісному електроліті проявляє здатність до розчинення. Отже, становило інтерес вивчити та використати особливості даного процесу. Для цього використовували спектрофотометричні методи. Титан(IV) утворює в кислотному середовищі з додаванням гідроген пероксид комплексну сполуку:

$TiO^{2+} + H_2O_2 = [TiO(H_2O_2)_2]^{2+}$, забарвлену у жовтий колір. Дана реакція використовується в кількісному фотометричному аналізі розчинів, що містять титан. Оптичну густину розчину титанового комплексу вимірюють при λ=400 –

500 нм [3] на фотоколориметрі КФК-2. Подібні комплекси також утворюються при розчиненні титанової кислоти H_2TiO_3 у розчинах, що містять H_2O_2. При pH>10 у розчинах, що містять пероксид водню й іони титану, присутні інші комплекси – $[Ti(O_2)_2(OH)_2]^{2-}$ або $[TiO(O_2)(OH)_2]^{2-}$. Вони схильні до полімеризації й утворенню гелів або осадів [4]. Слід зазначити, що експеримент з електроосадження та вивчення комплексоутворення розчинених катіонів титану з HF проводили в умовах низьких pH < 3 — 4.

Використано метод зсуву рівноваги для встановлення умов розчинення діоксиду титану залежно від концентрації ліганду — флуоридної кислоти у присутності або відсутності катіонів амонію. Дані результати є важливими для залучення підходів електролітичного допування з метою цілеспрямованого впливу розчиненої форми діоксиду титану на процес електрокристалізації мангану діоксиду. Використовували рутильну поліморфну модифікацію титану діоксиду як найбільш термодинамічну форму в умовах експерименту. Одержані серії суспензійних розчинів із різною концентрацією HF та постійним вмістом суспендованого діоксиду титану. Важливим компонентом електроліту електросинтезу манган(IV) оксиду є катіони амонію. Можлива роль катіонів амонію як зовнішньо сферних катіонів, або лігандів випливає з літературних даних. Тому експеримент із розчинення діоксиду титану планували у відсутності / присутності катіонів амонію.

Таблиця 1.

Співвідношення компонентів HF/TiO_2у серії розчинів із різною концентрацією HFта суспендованим діоксидом титану у присутності/відсутності катіонів амонію.

№	TiO_2(рутил), г/л	TiO_2(рутил), моль/л	2,0 M HF, мл	HF, моль/л	HF: TiO_2	$(NH_4)_2SO_4$, моль/л
1	16,0	0,2	5,0	0,1	0,5 : 1,0	1,5
2	16,0	0,2	10,0	0,2	1,0 : 1,0	1,5
3	16,0	0,2	15,0	0,3	1,5 : 1,0	1,5
4	16,0	0,2	20,0	0,4	2,0 : 1,0	1,5
5	16,0	0,2	25,0	0,5	2,5 : 1,0	1,5
6	16,0	0,2	30,0	0,6	3,0 : 1,0	1,5
7	16,0	0,2	35,0	0,7	3,5 : 1,0	1,5
8	16,0	0,2	40,0	0,8	4,0 : 1,0	1,5
9	16,0	0,2	45,0	0,9	4,5 : 1,0	1,5

Розчини набували жовтого забарвлення при додаванні однакової кількості гідроген пероксиду, їх оптична густина вимірювалася на фотоколориметрі. Для експерименту використовували 2,0 M HF, яку готували з концентрованої HF (40%). Концентрація розчину $(NH_4)_2SO_4$ становила 1,5 моль/л та була постійною в експерименті. Маса TiO_2 рутильної модифікації у вигляді суспензії становила в перерахунку на моль/л — 0,2; H_2O_2 додавали 1мл (0,02 моль/л) за методикою [5]. Змінною була тільки концентрація HF(Таблиця 1.)

Розчини готували в колбі на 100 мл, після досягнення рівноваги розчин слабо жовтого кольору відділяли від осаду і вносили в кювету та визначали

оптичну густину при λ= 315 – 540 нм. У кислотних розчинах пероксидні комплекси титану мають смуги поглинання між 350- 450 нм за даними [6].

Крім того досліджували масу одержаних осадів TiO_2 (Таблиця 1). Діоксид титану, який не розчинився в ході реакції, висушували до сталої маси при 100ºС та зважували. Розчинення TiO_2 при сталій концентрації флуоридної кислоти практично не змінювалося в присутності катіонів амонію: при максимальному співвідношенні HF / TiO_2 в зразках №4, 5 розчинялося 6,25% мас., а при введенні $(NH_4)_2SO_4$ розчинення становило 6,48% мас.

Залежність концентрації розчиненого діоксиду титану від молярного співвідношення HF/TiO_2 у серії розчинів із різною концентрацією HF та суспендованим титану діоксидом при відсутності/присутності катіонів амонію показано на Рисунок 1, 2. Відсутності катіонів амонію спостерігаємо (Рисунок 1.) чітко виражену полочку після досягнення співвідношення флуоридного комплексу розчинної форми Ti^{4+} від концентрації ліганду — флуорид-іонуF/TiO_2 1:1, тому його слід віднести до стабільних комплексів [7]. Присутність катіонів амонію, при досягнені співвідношення F : TiO_2 = 4 : 1 домінуючим станом катіону титану(IV) в розчині буде монофлуоридний. Отже присупністьамонію не стабілізує комплексну сполуку зі зростанням концентрації флуорид-іону розчинність падає, що зумовлено утворенням більш стабільного безамонійного комплексу.

Розглянемо поведінку фторидних комплексів за зміною забарвлення пероксидних комплексів титану (IV). Співвідношення титану до пероксиду водню в даних умовах становить 1:1. Константа нестійкості пероксидного комплексу ($K = [TiO^{2+}][H_2O_2]/[Ti(O_2)^{2+}]$) дорівнює 10^{-5} — 10^{-4} [6]. Константа дисоціації забарвленого комплексу [6] становить $K= 9{,}0\cdot10^{-5}$.

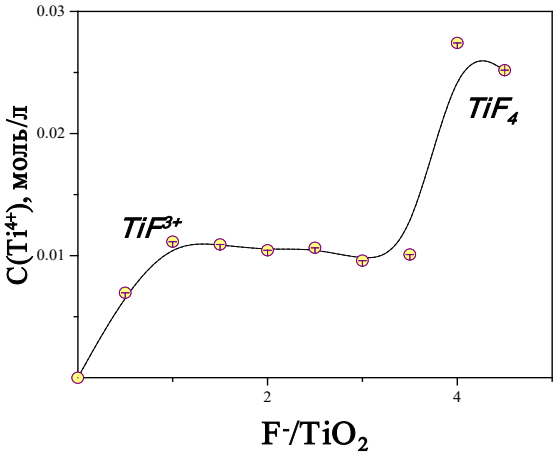


Рис. 1. Залежність концентрації розчиненого титану діоксиду від молярного співвідношення HF/TiO_2в серії розчинів із різною концентрацією HF та

суспендованим титан діоксидом у відсутності катіонів амонію.

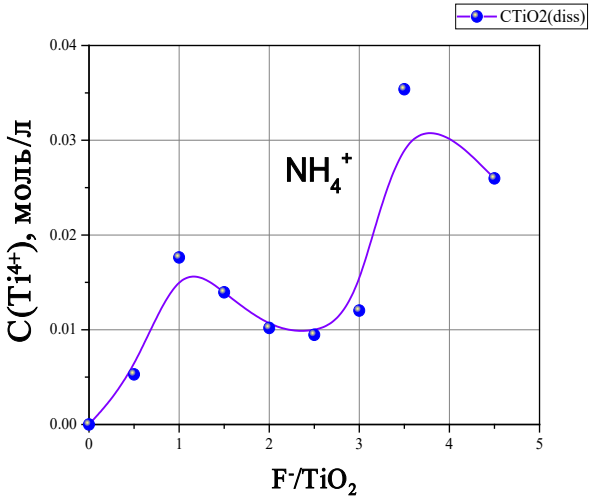


Рис. 2. Залежність концентрації розчиненого титану діоксиду від молярного співвідношення HF/TiO2в серії розчинів із різною концентрацією HF та суспендованим діоксидом титану з присутністю катіонів амонію.

При дії гідроген пероксиду на кислотні розчини, що містять титан(IV), утворюються розчинні комплексні сполуки, забарвлений у жовтий або оранжево-жовтий колір в залежності від концентрації титану (Рисунок 3.):

$TiO^{2+} + H_2O_2 = [TiO(H_2O_2)]^{2+}$ (1.1)

Експериментально визначений інтервал значень оптичної густини знаходився в межах максимальної відтворюваності результатів вимірювань, тобто D = 0,14 — 1,9 [8] (Рисунок 3) для діапазону довжини хвиль 400 -500 нм.



Рис. 3.Зміна забарвлення інтенсивності гідроген пероксидного комплексу

Висновок

Зміна забарвлення пероксидних комплексів титану із зростанням відношення F^-/TiO_2 є результатом утворення більш міцних і стійкихфлуоридних комплексів титану. У діапазоні, що відповідає області існування монофлуоридного комплексу, відбувається лінійне зменшення концентрації гідрогенпероксидного комплексу в безамонійному та амонійному розчинах зі збільшенням співвідношення HF/TiO_2 (Рисунок 1, 2).

На наш погляд, причина кореляції розчинності титан діоксиду із вмістом флуорид-іону пов'язано із термодинамічними чинниками стабілізації різних комплексних іонів у розчині та принципово не відрізняється від досліджень поведінки сполук металів та лігандів у розчинах. В умовах гетерогенного процесу контрольованого поверхнею, збільшення концентрації флуорид-іону буде збільшувати поверхню контакту цих іонів з поверхнею.

Список літератури

1. Meo P. Cyclodextrin–calixarene co-polymers as a new class of nanosponges/ P.Meo, G.Lazzara, L.Liotta, R.Noto //Polymer Chemistry. – 2014. –5(15). – P. 4499-4510.
2. Горощенко Я.Г. Хімія титану / Я.Г. Горощенко. – Київ: НауковаДумка, 1970. – 415 с
3. Гаюк Н.В. Вплив фазового скаладу титан (IV) оксиду та його властивостей на можливості практичного застосування/ А.В. Леонов, С.М.Баланчук, Н.В.Гаюк, Г.В.Сокольський// Стан і перспективи розвитку хімічної, харчової та парфумерно-косметичної галузей промисловості за тематичним напрямком «хімічні технології»: Всеукраїнські конференції (м. Херсон, 22-23 травня 2018р.). –Херсон, 2018. – 85С.
4. Донцова Т.А. Механізм фото каталізу на поверхні TiO2 / Т.А. Донцова, І.В. Бредихін // Наукові вісті НТУУ «КПІ». –2013. – №3. – С.114-118.
5. Методи синтезу та електрокаталітичні властивості електродів на основі нанодисперсного TiO2 / Воробець В. С., Алонцева В. В., Колбасов Г. Я. // Наукові записки НаУКМА. Т. 157: Хімічні науки і технології. – 2014. – С. 50-55.
6. Скопенко В.В. Експериментальні методи в координаційній хімії: Навч. посібник/В.В.Скопенко, В.Я.Зуб, І.О.Фрицький, Р.Д.Лампека.- К.: Видавничо-поліграф. центр "Київський університет", 2008.- 447с.
7. Tang, H. Electrical and optical properties of TiO2 anatase thin films/ H. Tang, K. Prasad, R. Sanjines, P. E. Schmid, F. Levy // Journal of Applied Physics. – 1994. – V.75. – №.4. – P. 2042-2047.
8. Кичкирук, О. Ю. (2018). Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз.

УДК 629.735.07

О.М. Тихенко, д.т.н., проф.,
Л.М. Черняк, к.т.н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Перспективи відновлення участі України у програмі CORSIA

Обґрунтовано важливість відновлення повноцінної участі України у схемі компенсації та скорочення викидів карбону для міжнародної авіації (CORSIA). Проаналізовано потенційні переваги та виклики, пов'язані з відновленням участі у програмі, включаючи екологічні та інші аспекти. Обґрунтовано стратегічне значення активної участі України в програмі CORSIA у боротьбі зі зміною клімату та забезпечення сталого розвитку авіаційного сектору України.

Авіаційний сектор, будучи важливим рушієм глобальної економіки та мобільності, водночас є значним джерелом викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу (CO_2). У контексті зростаючої глобальної стурбованості щодо зміни клімату та відповідно до рішення 39-ї сесії Асамблеї Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) у жовтні 2016 року, ICAO було розроблено схему компенсації та скорочення викидів вуглецю для міжнародної авіації (CORSIA) як глобальний ринковий механізм для стабілізації викидів CO_2 від міжнародних авіарейсів на рівні 2020 року.

Україна, як повноправний член ICAO, брала активну участь у підготовчому етапі та першій фазі добровільної участі в CORSIA. Однак, повномасштабне вторгнення росії у 2022 році та пов'язані з цим обмеження в повітряному просторі країни об'єктивно призвели до тимчасового припинення активної участі українських авіаперевізників у цій програмі.

У контексті післявоєнного відновлення та євроінтеграційних прагнень України, відновлення повноцінної участі у CORSIA набуває особливого стратегічного значення. Це не лише сприятиме виконанню міжнародних зобов'язань у сфері боротьби зі зміною клімату, але й позитивно вплине на репутацію країни та відкриє нові можливості для сталого розвитку авіаційного сектору.

Загалом CORSIA є першим глобальним галузевим механізмом, спрямованим на скорочення викидів CO_2 від міжнародних авіарейсів. Схема передбачає, які авіакомпанії, які здійснюють міжнародні рейси між державами-учасницями, зобов'язані компенсувати зростання своїх викидів вище базового рівня 2020 року шляхом придбання сертифікованих одиниць скорочення викидів.

Впровадження програми CORSIA складається з кількох етапів: пілотний етап (2021–2023 рр.) та перший етап (2024–2026 рр.): добровільна участь держав. Другий етап (2027–2035 рр.): обов'язкова участь для всіх держав, які мають операторів, що здійснюють міжнародні рейси.

Механізм програми CORSIA базується на принципі «вуглецево-нейтральне зростання з 2020 року» (Carbon Neutral Growth from 2020 - CNG2020). Це означає, що загальний обсяг викидів CO_2 від міжнародної авіації не повинен перевищувати рівень 2020 року.

Україна приєдналася до добровільної пілотної фази CORSIA (2021–2023) та першої фази (2024–2026).

З 2019 року українські авіаперевізники, що здійснювали міжнародні рейси, були зобов'язані здійснювати моніторинг викидів CO_2, подавати плани моніторингу та звіти про викиди до Державної авіаційної служби України. Ці звіти підлягали верифікації іноземними верифікаторами, оскільки в Україні на той момент не було сертифікованих CORSIA верифікаторів. Для впровадження етапу MRV діяли Авіаційні правила України, що встановлювали технічні вимоги та адміністративні процедури. Але, через закриття повітряного простору, більшість українських авіакомпаній припинили виконання регулярних міжнародних рейсів. Це означає, що їхні поточні викиди CO_2 від міжнародної авіації є мінімальними або нульовими, на даний момент у них відсутні зобов'язання щодо компенсації викидів в рамках CORSIA. Проте, Україна залишається офіційним учасником програми CORSIA.

Відновлення повноцінної участі України в програмі CORSIA після завершення воєнних дій матиме низку важливих переваг для нашої держави:

- активна участь сприятиме зменшенню загального обсягу викидів парникових газів від українського авіаційного сектору, що є важливим внеском у боротьбу зі зміною клімату та досягнення цілей Паризької угоди;
- участь у глобальній ініціативі з декарбонізації авіації підвищить екологічну репутацію України на міжнародній арені, демонструючи її відповідальність та прагнення до сталого розвитку. Це може позитивно вплинути на імідж країни в цілому та сприяти залученню інвестицій;
- економічні переваги (у довгостроковій перспективі): хоча на початковому етапі участь у CORSIA може призвести до певних витрат для авіакомпаній на моніторинг, верифікацію та компенсацію викидів, у довгостроковій перспективі це може стимулювати впровадження більш екологічно чистих технологій та практик в авіаційному секторі, що призведе до зниження операційних витрат та підвищення конкурентоздатності. Крім того, участь у CORSIA може відкрити доступ до міжнародних механізмів фінансування «зелених» проєктів в авіації;
- інтеграція до міжнародних стандартів: Відновлення участі в CORSIA є важливим кроком на шляху інтеграції України до європейського та світового авіаційного простору, демонструючи її готовність дотримуватися міжнародних норм та стандартів у сфері екологічної безпеки.
- участь у CORSIA сприятиме довгостроковій стійкості української авіаційної галузі, забезпечуючи її адаптацію до глобальних тенденцій у сфері екологічної відповідальності та підтримуючи її конкурентоздатність на майбутнє.

Відновлення участі України в CORSIA після періоду вимушеної перерви може супроводжуватися певними викликами. Зокрема, українські авіакомпанії, які зазнали значних збитків внаслідок воєнних дій, можуть мати обмежені фінансові ресурси для покриття витрат, пов'язаних з CORSIA (моніторинг, верифікація, компенсація). Для подолання цього виклику можуть бути розглянуті механізми державної підтримки або залучення міжнародної фінансової допомоги.

Відновлення повноцінного функціонування аеропортів та авіаційної інфраструктури, включаючи системи моніторингу викидів, є необхідною умовою

для ефективної участі в CORSIA. Для ефективної імплементації вимог CORSIA необхідно адаптувати національне законодавство у сфері авіації та охорони навколишнього середовища до міжнародних стандартів.

Працівники авіакомпаній та відповідних державних органів повинні мати необхідні знання та навички для забезпечення належного моніторингу, звітування та верифікації викидів відповідно до вимог CORSIA. Необхідно організувати відповідні навчальні програми та тренінги.

Для успішного відновлення участі України в програмі CORSIA необхідний скоординований підхід, що включає чіткий план дій, забезпечення державної підтримки та активну співпрацю з міжнародними організаціями.

Висновок

Відновлення повноцінної участі України у програмі CORSIA є стратегічно важливим кроком для забезпечення екологічної стійкості її авіаційного сектору та підтвердження її прагнення до інтеграції в міжнародні зусилля з боротьби зі зміною клімату. Незважаючи на існуючі виклики, активна участь у CORSIA відкриває екологічні, репутаційні та економічні переваги для України. Успішна імплементація вимог програми CORSIA вимагає скоординованих зусиль з боку держави, авіакомпаній та міжнародних партнерів, а також чіткого стратегічного бачення сталого розвитку авіаційного сектору України в умовах глобальних екологічних викликів. Відновлення участі в CORSIA стане важливим сигналом про відповідальну позицію України на міжнародній арені та її готовність будувати екологічно стійке майбутнє.

Список літератури

1. Annex 16 - Environmental Protection - Volume IV - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), 2nd Edition, July 2023. 124 p.
2. IATA CORSIA Handbook, January 2024. URL: https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/corsia-handbook.pdf
3. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). URL: https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx
4. Escobar N., Seber G., Skalsky R., Wögerer M., Jung M., Malina R. Spatially-explicit land use change emissions and carbon payback times of biofuels under the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). Science of the Total Environment. 2024. DOI: https://www.doiorg.10.1016/j.scitotenv.2024.174635

UDC 504.045

K.V. Synylo, Associate Professor, A.I. Krupko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Modelling emission indexes throughout mission profile for supersonic aircraft

Modelling emission indexes of Nox throughout mission profile for supersonic aircraft by BFFM2 and P3T3 methods within SENECA project

1.Main tasks of SENECA project

The primary goal of SENECA (LTO noiSe and EmissioNs of supErsoniC Aircraft) project is to provide a basis for decision making of environmentally friendly supersonic aircraft design taken into account the detailed modelling of the emissions, the LTO noise and the local/global environmental impacts.

SENECA aims to develop four different SST aircraft platforms including the airframes (WP2) and the engines (WP3) ranging from supersonic business jets designed for cruise Mach numbers of Ma=1.4 and Ma=1.6 up to large airliners designed for 100 passengers and cruise Mach numbers of Ma=1.8 and Ma=2.2. The development includes a Multi-Disciplinary Design Optimization (MDO) targeting firstly to meet at least the current noise regulations for subsonic aircraft during take-off and landing and secondly to reduce the emission levels.

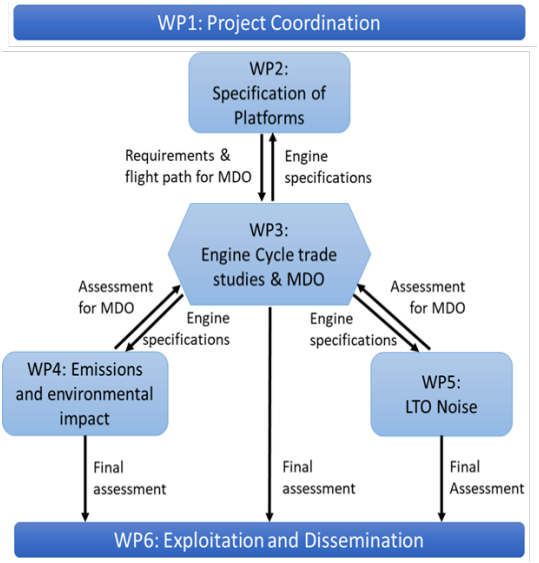


Fig. 1: SENECA project structure

2.Methodology of aircraft emission and dispersion calculation

The main purpose of PolEmiCa is to provide dispersion (pollution) and inventory (emission) calculations for aircraft engine emissions during the LTO cycle of aircraft movement within the airport area. It also includes aircraft emissions from take-off procedures, Auxiliary Power Unit (APU) and Ground Support Equipment (GSE), Figure 2 [1, 2].

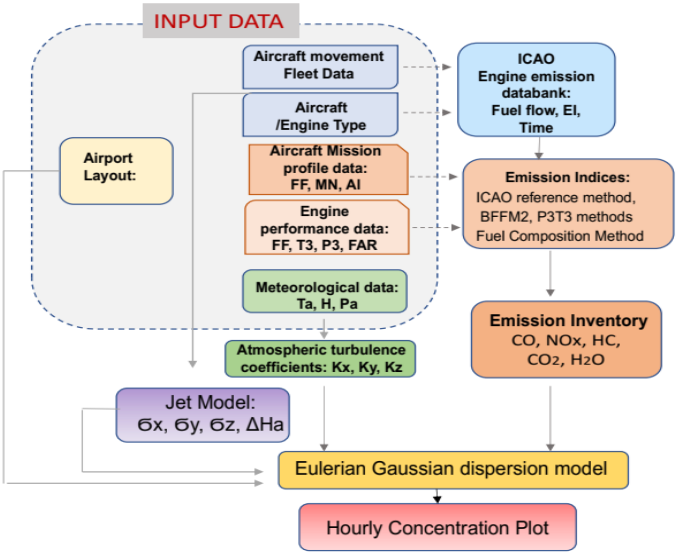


Fig. 2. PolEmiCa model - emission inventory and LAQ tasks (aircraft contribution*)*

PolEmiCa uses the BFFM2 and P3T3 methods to predict engine emissions over a flight path based on flight conditions (flight profile data), engine performance data (fuel flow, fuel-air ratio, P3, T3) and meteorological conditions (temperature, humidity, atmospheric pressure) [3, 4].

3. Results: Modelling of EIs for business jets (Ma=1.6)

Emission indices of NOx (EINOx) have been calculated for supersonic business jets (Ma=1.6) using BFFM2 and P3T3 methods.

Cranfield University (WP2) provided the finalized cycle design of the SENECA M1.6 supersonic business jet engine. The engine performance data were modelled for the engine surrogate model (deck) and the flight cases (supersonic mission - 4000 nmi, supersonic mission - 2000 nmi, subsonic mission - 4000 nmi, subsonic mission - 2000 nmi). Details of the engine cycle and annulus design and the LTO cycle NOx emission indices are also given in Table 1.

Table 1

Performance Cases for LTO Emissions (subsonic and supersonic ICAO)

Case Title	Case Number	User specified thrust %MTO	Combustor inlet temperature	Combustor inlet pressure	Combustor inlet air flow	Fuel Flow	EI NOx
			T030	P030	W031	WFE	EI NOx
			[K]	[atm]	[kg/s]	[kg/s]	[g/kg]
ICAO100	100	100%	742.0	16.8	50.8	1.05	9.33
ICAO085	85	85%	704.5	14.7	46.3	0.86	7.83
ICAO065	65	65%	654.5	12.0	40.0	0.63	6.30
ICAO034	34	34%	585.7	8.2	29.3	0.37	6.04
ICAO030	30	30%	572.6	7.5	27.3	0.34	4.77
ICAO015	15	15%	535.0	5.6	21.3	0.24	3.79
ICAO007	7	7%	515.6	4.5	17.9	0.20	3.40
ICAO0058	5	5%	510.8	4.3	17.1	0.19	3.30

Engine performance data (T3, P3 and fuel flow) and EINOx at ICAO points were used to estimate the reference EINOx, the reference combustor inlet pressure corresponding to the combustor inlet temperature and the reference fuel flow in the flight condition using the appropriate P3T3 and BFFM2 methods.

The EINOx were calculated using the BFFM2 method and the P3T3 method (module of the PolEmiCa complex model) [1, 3, 4] for each of the four mission profiles mentioned. The distribution of meteorological parameters (temperature, pressure) was estimated according to the ICAO Standard Atmosphere Manual (ICAO-Doc 7488/3). The certification data in the ICAO database are corrected to a humidity of 0.00634 g of water per kg of dry air (60% relative humidity, ISA day).

Figure 3 and Figure 4 respectively show the dependence of the modelled EINOx on distance throughout the supersonic mission profile for the 2000 nmi range and the supersonic mission profile for the 4000 nmi range.The EINOx calculation results correlate well between the BFFM2 and P3T3 methods throughout the flight profiles considered.

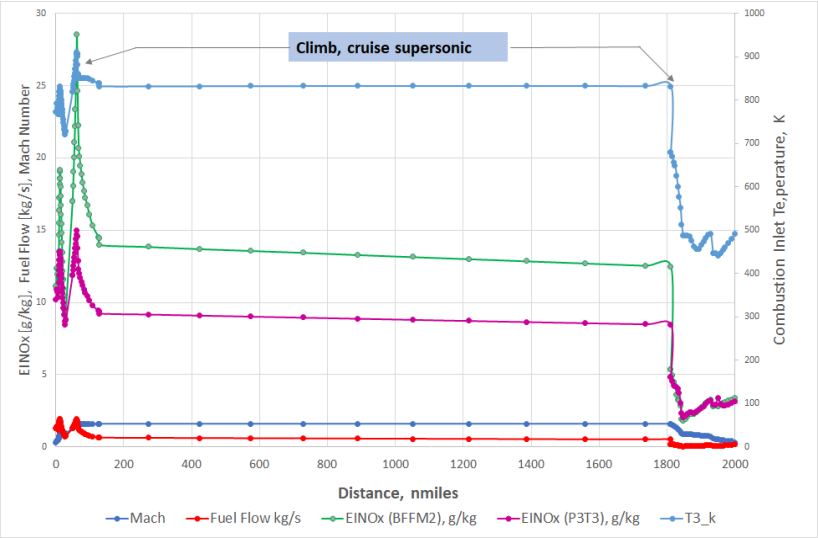


Figure 3. Distribution of modelled EINOx throughout the supersonic mission profile for the 2000 nmi range

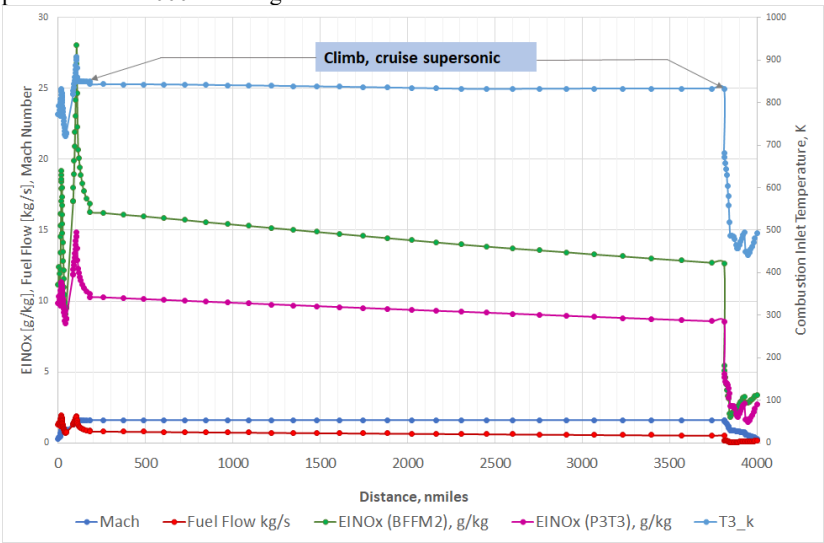


Figure 4. Distribution of modelled EINOx throughout the supersonic mission profile for the 4000 nmi range

In addition, EINOx were calculated using the NASA model [5] for the supersonic mission profile (4000 nmi), Figure 5.

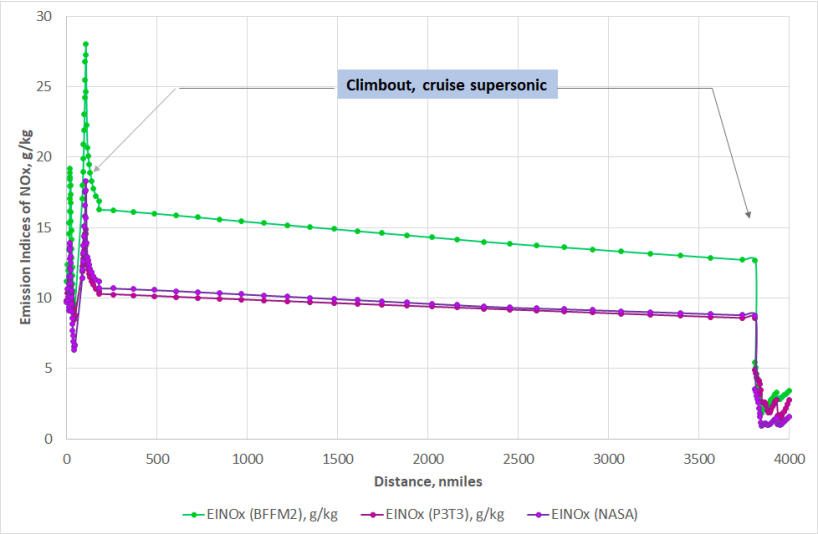


Figure 5. Distribution of EINOx calculated by BFFM2, P3T3 and NASA methods throughout the supersonic mission profile for the 4000 nmi range.

Conclusions:

The EINOx calculation results demonstrates correlation between the three methods considered (BFFM2, P3T3, NASA model) for the take-off and climb subsonic conditions. The difference between BFFM2 and P3T3 was found in the climb and cruise supersonic conditions. The observed difference is due to the fact that BFFM2 (the version used) does not include correction factors for pressure (kp) and temperature (kt) as a function of Mach number, which is quite important for the supersonic case [6]. The NASA model correlates quite well with the P3T3 results.

References

1. Zaporozhets O. Synylo K. New and Improved LAQ Models for Assessment of Aircraft Engine Emissions and Air Pollution in and Around Airports // On board a sustainable future: ICAO Environmental Report 2016, International Civil Aviation Organization 999 University Montreal, QC, Canada H3C 5H7, 2016 – 250p, Pp 82-84

2. Synylo K., Kurtenbach R., Zaporozhets O., Wiesen P. Modelling of aircraft emissions in the airport area // 2nd ECATS Conference Making aviation environmentally sustainable – Athens, 2016. – P.67 – 71.

3. Duchene N., *Synylo K.* P_3T_3 NO_x Model of turbofan engine // The International Symposium on Sustainable Aviation, 9 – 11 July 2018: abstracts. – Rome, 2018. – P. 103.

4. Duchene N., *Synylo K.* NOx emission model of turbofan engine // International Journal of Sustainable Aviation. – 2014. – № 1. – P. 72–84 (Web of

Sciences)
5. N+3 Advanced Concept Studies for Supersonic Commercial Transport Aircraft Entering Service in the 2030-2035 Period – 2011. – P.39
6. Roberta Fusaro, Nicole Viola, Diego Galassini Sustainable Supersonic Fuel Flow Method: An Evolution of the Boeing Fuel Flow method for Supersonic Aircraft using Sustainable Aviation Fuels. – Aerospace 2021, 8, 331

УДК 665.753.4+502/504

С.І. Проценко[1],
д.пед.н., к.хім.н., проф. О.В. Кофанова[2]
к.т.н., к.е.н., доцент О.Є. Кофанов[2],
([1]Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
([2]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна)

Використання біорозкладних добавок до дизельного палива як перспективний напрям поліпшення його характеристик та забезпечення принципів декарбонізації і зеленої економіки

Розглянуто перспективність використання біорозкладних добавок до дизельного палива як одного з ефективних підходів до зменшення викидів шкідливих речовин та покращення експлуатаційних характеристик пального. Проаналізовано результати досліджень щодо впливу різних типів екологічно безпечних присадок на показники двигунів. Особливу увагу приділено можливостям зниження вуглецевого сліду транспортного сектору та досягненню цілей декарбонізації в контексті переходу до моделі зеленої економіки.

Обмеженість вуглеводневих ресурсів, інтенсифікація змін клімату та зростаюче забруднення навколишнього середовища, особливо у великих міських агломераціях, зумовлюють нагальну потребу в розробці інноваційних рішень, спрямованих на підвищення ефективності використання енергоресурсів і зменшення рівня шкідливих викидів. У цьому контексті важливого значення набуває забезпечення принципів декарбонізації та зеленої економіки.

Одним із перспективних напрямів є модифікування дизельних палив (ДП) шляхом застосування екологічно безпечних присадок і біорозкладних добавок, які не лише покращують експлуатаційні характеристики пального, а й сприяють зниженню вуглецевого сліду транспортного сектору. Проведені аналіз літературних джерел і патентний пошук свідчать, що розробка таких добавок залишається актуальним і науково важливим завданням.

Метою дослідження є наукове обґрунтування доцільності використання біорозкладних добавок до дизельного палива як ефективного засобу покращення його експлуатаційних характеристик та зниження негативного впливу на довкілля, з урахуванням вимог декарбонізації та принципів зеленої економіки.

Зокрема, автори патенту [1] пропонують змішане паливо, придатне для дизельного двигуна в якому до ДП добавляють н-бутиловий ефір (n-butyl ether) або н-каприловий спирт (n-caprylic alcohol) з об’ємним співвідношенням не більше 20 % кожного (переважно 10 %). Таким чином розробникам вдалося досягти зменшення викидів сажі при використанні сумішевого палива з н-бутиловим ефіром до 67 %, і до 31 % при використанні палива з н-каприловим спиртом. При цьому викиди NO_x суміші палива з н-каприловим спиртом нижчі, ніж викиди суміші палива з н-бутиловими ефіром за такого ж співвідношення компонентів суміші.

Згідно експериментального дослідження [2], яке проводилося на триціліндровому чотиритактному двигуні із запалюванням від стиснення, що працює на різних сумішах метилового ефіру жожоба (jojoba methyl ester – JME) у поєднанні з вуглецевими нанотрубками та без них, авторам вдалося досягти зменшення викидів оксидів азоту NO_x, оксиду вуглецю CO, діоксиду вуглецю CO_2 та незгорілих вуглеводнів UHC на 12,8 %, 14,56 %, 15,25 % і 7,27 % відповідно для 15 % суміші JME. Проте автори зазначили, що відбулося незначне збільшення димності – на 1 %.

У [3] автори провели експериментальне дослідження чистого ДП та трьох видів суміші на одноциліндровому чотиритактному дизельному двигуні. Результати показали, що найбільше скорочення викидів шкідливих речовин відбувається при використанні суміші ДП з 10 % біопалива з відходів шкірки цитрусової рослини Ліметта, видобутого за технологією швидкого піролізу, та присадки нанооксиду родію Rh_2O_3 – CO на 10,5 %, незгорілих вуглеводнів – на 5,5 %, NO_x – на 9,45 % та димності – на 11 %.

Своєю чергою, для покращення якості ДП в роботі [4] авторами запропоновано використовувати спеціальну присадку до палива (octamix), яку було отримано шляхом змішування етанолу, аміачного бору та триоктилборату. В результаті додавання 1 % такої присадки до дизельного палива спостерігається збільшення термічного ККД двигуна на 26,2 % та зниження викидів у відпрацьованих газах, а саме – NO_x на 15,66 %, CO – 46,67 %, CO_2 – 23,63 %, UHC на 24,24 % та димності на 10,71 %.

Авторами наукової роботи [5], запропоновано багатофункціональну присадку «Thermol-D», метою якої також є поліпшення екологічних характеристик дизелів. До складу присадки входять поверхнево-активна речовина, деемульгатор, підсилювач мастильних властивостей, диспергатор, покращувач цетанового числа, антиоксидант і каталізатор горіння. Запропонована композиція з чистим дизелем та суміші дизелю з біодизелем таману (олександрійський лавр, Calophyllum Inophyllum) у концентраціях 0,5 мл, 1 мл і 2 мл. У результаті застосування у паливних сумішах багатофункціональної присадки «Thermol-D» досягається зменшення викидів оксиду вуглецю та незгорілих вуглеводнів на 32–36 % та 20 % відповідно. Крім того, викиди оксидів азоту також зменшуються в межах 18–20,5 % при додаванні до палива 2 % «Thermol-D».

Перспективним напрямом є модифікування дизельного палива шляхом додавання до 2,5 % об. біодобавок [6], що зумовлено як екологічними, так і експлуатаційними перевагами. Дослідження показують, що навіть незначні кількості біодизельної добавки (0,5–2,5 % об.) покращують змащувальні й фрикційні властивості дизпалива, зменшуючи зношування деталей і втрати на тертя завдяки вмісту Оксигену й поверхнево-активних моногліцеридів у біодизельному паливі. При цьому при добавках біодизельного палива 0,5–10 % об. цетанове число та пускові характеристики практично не змінюються, що свідчить про збереження належного рівня експлуатаційних властивостей пального. На рис. 1 показано зміни показника зносу D_u залежно від вмісту у паливній суміші добавки біодизелю.

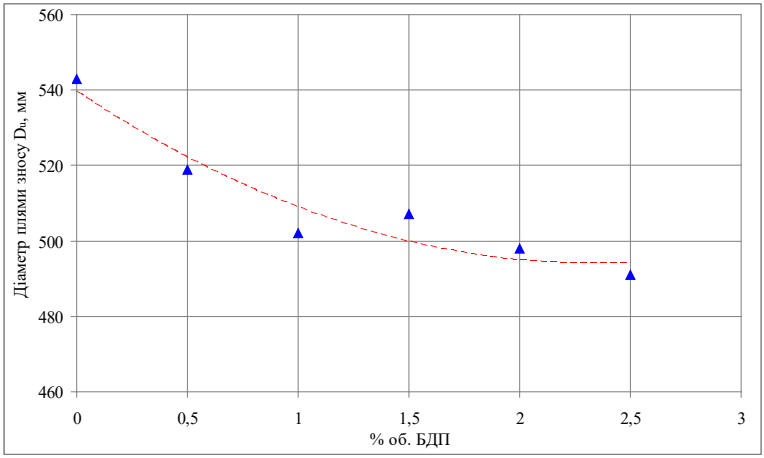


Рисунок 1. Залежність показника зносу $D_и$ модифікованого дизельного палива від концентрації біодобавки.

Висновок

Здійснений патентний пошук і аналіз сучасної наукової літератури засвідчили наявність широкого спектра перспективних напрямів використання біорозкладних добавок до дизельного палива, які здатні не лише покращувати його змащувальні, фрикційні та інші експлуатаційні властивості, а й істотно знижувати рівень токсичних викидів, включно з оксидами азоту, вуглецю, незгорілими вуглеводнями та димністю. Встановлено, що навіть незначні концентрації біодобавок (до 2,5 % об.) не погіршують цетанове число і пускові характеристики пального, що забезпечує стабільну роботу дизельних двигунів. Застосування біодобавок розглядається як ефективний підхід до реалізації принципів декарбонізації та сприяє поступовому переходу до більш екологічно безпечних і сталих транспортних технологій у межах концепції «зеленої» економіки.

Список літератури

1. Mixed fuel suitable for diesel engine and application : пат. CN 113773886 China : C10L 1/04. № 202111133110.1 ; опубл. 10.12.2021. URL: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN345647962&_cid=P22-M94KM6-51746-8 (дата звернення: 12.04.2025).

2. Eco-Friendly Additives: Performance and Emissions Analysis of a Diesel Engine With Jojoba Methyl Ester and CNT Blends / Muhammad Sarfraz Ali та ін. *Wiley International Journal of Energy Research*. 2025, Article ID 5787065, 23 p. URL: https://doi.org/10.1155/er/5787065.

3. Venkatesan K. Comparative Performance and Emissions of CI Engine Fuelled with Diesel and Blends of Mosambi Peel Pyro Oil, Methanol and Nano

Rh_2O_3 with Diesel. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. 2022. Vol. 14, No. 7. URL: https://doi.org/10.4273/ijvss.14.7.19.

4. Impact of a novel fuel additive containing boron and hydrogen on diesel engine performance and emissions / Suleyman Simseka та ін. *Energy Sources*. Vol. 46 : Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. URL: https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1946621.

5. Multi-functional fuel additive as a combustion catalyst for diesel and biodiesel in CI engine characteristics / B. Ashok та ін. *The Science and Technology of Fuel and Energy*. 2020. Vol. 278 : Fuel. URL: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118250.

6. Кофанов, О. Є. Підвищення екологічної безпеки придорожніх територій міста модифікацією складу і властивостей дизельного палива : автореф. дис. … канд. техн. наук : 21.06.01 − екологічна безпека / Кофанов Олексій Євгенович. Київ, 2018. 27 с.

УДК 665

Л.М. Черняк, к.т.н.,
О.М. Тихенко, д.т.н., Т.І. Дмитруха, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
Томаш Манєцкі, д.х н.
(Лодзинський технічний університет, Польща)

Аналіз ролі техногенно трансформованих ґрунтів в зоні впливу аеропортів у кліматичних змінах

Проаналізовано основні джерела впливу аеропортів на екологічний стан ґрунту. Визначено основні тенденції в екологічних рішеннях світової авіаційної спільноти. Проаналізовано можливу роль секвестрації вуглецю в ґрунті в зоні впливу аеропорту, як інструменту боротьби з кліматичними змінами внаслідок дії цивільної авіації.

У сучасних умовах загальносвітового інтенсивного розвитку авіаційної інфраструктури особливої актуальності набувають питання екологічної безпеки галузі цивільної авіації, зокрема збереження екологічного стану ґрунтового покриву в зоні впливу аеропортів. Аеропорти, як складні техногенні об'єкти, є джерелом значного впливу на навколишнє середовище [1], зокрема, забруднення ґрунтів та ґрунтових вод паливно-мастильними матеріалами у результаті виконання технологічних операцій із приймання, зберігання і видачі палив та мастильних матеріалів до заправлення транспортних засобів та при їх обслуговуванні та ремонті. Вплив аеропортів на довкілля за масштабом і характером забруднення подібний до впливу великих промислових, техногенно небезпечних підприємств [2], хоча охоплює значно ширшу територію. Вплив аеропорту поширюється в межах 40 км навколо даного підприємства цивільної авіації, впливаючи я к на екосистеми, так і на здоров'я людей, які проживають в зоні негативного впливу.

У більшості міжнародних досліджень, присвячених оцінці екологічного впливу та впровадженню екологічних програм, питання забруднення ґрунтів і ґрунтових вод розглядаються менш ґрунтовно, ніж слід було б, враховуючи важливу роль ґрунту в забезпеченні стійкості екосистем. Це часто пояснюється зосередженням уваги на проблемах емісії авіаційних двигунів та авіаційному шуму, внаслідок чого інші екологічні аспекти залишаються поза значною увагою, навіть якщо їхній вплив може бути суттєвішим, зокрема у питаннях впливу на кліматичні зміни та біорізноманіття [2]. Але у той же час, відомо [3], що ґрунт відіграє ключову роль у функціонуванні біосфери. Окрім того, збереження ґрунтів є критично важливим для сталого розвитку та збереження біорізноманіття в зоні впливу даних підприємств авіаційної галузі.

Враховуючи актуальність проблеми впливу хімічного забруднення, на екологічний стан ґрунту в зоні впливу аеропортів, метою даного дослідження був аналіз можливого внеску впливу порушених хімічним забрудненням ґрунтів в зоні впливу аеропорту до кліматичних змін та пошук можливих інструментів для посилення ролі ґрунтів у боротьбі з кліматичними змінами.

Насьогодні охорона навколишнього середовища – одна із стратегічних цілей Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО) [4]. До пріоритетних напрямків екологічної політики якої належать боротьба зі змінами клімату та збереження біорізноманіття. Загалом внесок авіаційних перевезень до викиду CO_2 становить приблизно 2%, а увага фахівців при вирішенні науково-практичних завдань, пов'язаних з викидами парникових газів цивільною авіацією, сконцентрована на проблемі впливу викидів зі стаціонарних та нестаціонарних джерел на територія аеропортів, а також під час здійснення польотів літаками та їх вплив.

Серед ключових засад охорони довкілля у сфері цивільної авіації в контексті вирішення проблеми впливу на кліматичні зміни є [5]: проведення досліджень з ефективного використання та відновлення природних ресурсів, впровадження передових технологій у авіаційну галузь, превентивний підхід до природоохоронних заходів, а також забезпечення безпеки польотів і створення екологічно сприятливих умов для здоров'я населення. Що у свою чергу, формує сучасні тенденції у досягненні зменшення кількості викидів парникових газів в зоні вплив уданих підприємств, які полягають у застосуванні альтернативних джерел енергії для зменшення викидів зі стаціонарних джерел та перехід на безпечні авіаційні палива (біопалива).

У той же час, на техногенно навантажені території в зоні впливу аеропорту забруднення нафтопродуктами та іншими токсичними речовинами, що потрапляють у ґрунт, порушують мікробіологічні процеси та негативно впливають на рослинний покрив. Це знижує здатність ґрунту поглинати і зберігати вуглець, зокрема при застосуванні технологій фіторемедіації і знижує роль процесах поглинання парникових газів. Окрім того, хімічне забруднення нафтопродуктами уповільнює природні процеси самоочищення та відновлення ґрунтових екосистем. Для відновлення ґрунтів порушених нафтопродуктами можуть бути застосовані механічні, фізико-хімічні та біологічні методи.

Одним із сучасних напрямків підвищення ролі ґрунтів у запобіганні кліматичним змінам є вплив на секвестрацію вуглецю при відновленні ґрунтів в зоні впливу аеропорту [6], у тому числі через застосування фітотехнологій.

Секвестрація вуглецю – це процес накопичення вуглецю в ґрунті через сільськогосподарські практики. Рослини поглинають CO_2 через фотосинтез і трансформують його у біомасу, яка згодом стає частиною органічної речовини ґрунту. Це не тільки є одним із методів боротьби з глобальним потеплінням, а й покращує структуру ґрунту, його стійкість до посух та злив, а також підвищує врожайність [7-8], що є важливим для сільськогосподарських угідь в зоні впливу аеропорту. Враховуючи той факт, що забруднення нафтопродуктами змінює видовий склад мікроорганізмів, знижує активність азотофіксуючих бактерій і пригнічує процеси гумусутворення в ґрунті, що, у свою черг, унеможливлює нормальний розвиток рослин, важливим є моніторинг за рівнем забрудненням ґрунтів нафтопродуктами в зоні впливу аеропортів з метою своєчасного застосування ефективних технологій відновлення та посилення ролі ґрунтів у зменшенні впливу на кліматичні зміни даних підприємств.

Висновок

Отже, у результаті діяльності аеропорту здійснюється вплив на усі компоненти довкілля. При цьому відбувається порушення ґрунтів під дією хімічного забруднення, що призводить до погіршення його екологічного стану та підвищення рівня фітотоксичності. Враховуючи той факт, що усі відкриті ділянки аеропортів мають бути задерновані та в зоні впливу аеропорту в межах 40 км можуть знаходитись сільськогосподарські угіддя, відновлення хімічно порушених ґрунтів з використанням фітотехнологій, з метою підвищення рівня секвестрації вуглецю, сприятиме зменшенню рівня впливу даних підприємств на кліматичні зміни.

Список літератури

1. Sulej, A.M.; Polkowska, Ż.; Namieśnik, J. Contamination of Runoff Water at Gdańsk Airport (Poland) by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and Polychlorinated Biphenyls (PCBs). Sensors 2011, 11, 11901-11920. https://doi.org/10.3390/s111211901
2. Nunes Luis, Stigter Tibor, Monteiro José, Teixeira Margarida (2011/11/01). Environmental Impacts on Soil and Groundwater at Airports: Origin, Contaminants of Concern and Environmental Risks, Journal of environmental monitoring, 3026, 39, 13.
3. В.О. Романко, В.Ю. Пересоляк, І.В. Калинич. Грунтознавство. Конспект лекцій – Ужгород : УжНУ «Говерла», 2021. – 99 С.
4. https://avia.gov.ua/ohorona-navkolyshnogo-seredovyshha/ [Електронний ресурс]
5. Маджд С.М., Черняк Л.М., Міхєєв О.М. Використання рослин для індикації стану ґрунтів техногенно-навантажених територій. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2020. Т. 1, № 20. С. 68–73. https://doi.org/10.30929/1995-0519.2020.1.68-73
6. L. Cherniak, O. Shevchenko, T. Maniecki, O. Mikhyeyev, O. Shtyka, R. Ciesielski. The Effect of Petroleum Products Pollution on Environmental Soil Condition at Airport Adjacent Territory. NAUKOVYI VISNYK Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2024. No. 4. P. 92–98.
7. https://agrotest.com/article/scho-take-sekvestrats-ya-vugletsyu-ta-chomu-tse-vazhlivo/
8. Вуглець, ґрунт і парникові гази / Т. Ю. Бедернічек. – Чернівці : Друк Арт, 2021. – 32 с. – (Серія: «Conservation Biology in Ukraine». – Вип. 23).

УДК 624.953

А.В. Махінько д.т.н., проф., Д.Є. Рулов аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Конструктивні рішення захисту для ємностей зберігання нафти від ударів БПЛА

Розглядається проблема захисту критичної інфраструктури, зокрема резервуарів для зберігання нафтопродуктів від ударів БПЛА. Проаналізовано підходи прямого та превентивного захисту таких об'єктів. Запропоновано проєктні рішення конструкцій захисних систем, здатних ефективно протистояти атакам і мінімізувати спричинені пошкодження.

Проблема захисту критичної інфраструктури України від повітряних атак, здійснюваних за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), а також інших форм високоточної зброї, набула особливої актуальності в умовах повномасштабної збройної агресії з боку російської федерації. Зокрема, об’єкти паливно-енергетичного комплексу, серед яких резервуари для зберігання нафти та нафтопродуктів, становлять підвищену небезпеку як з точки зору стратегічного значення, так і з огляду на високий рівень потенційних екологічних та техногенних наслідків у разі їх ураження.

На теперішній час в Україні відсутні ефективні технічні засоби та інженерні рішення, які здатні забезпечити надійний захист таких об’єктів від атак БПЛА. Це зумовлено тим, що до початку збройної агресії зазначені споруди не розглядалися як потенційні цілі в умовах воєнного протистояння, а отже не проєктувалися з урахуванням сучасними викликами безпеки. У зв’язку з цим постає нагальна потреба в розробці нових підходів до конструктивного захисту об’єктів зберігання нафтопродуктів, які враховували б специфіку сучасних загроз, технологічні можливості противника та вимоги до швидкого відновлення функціональності об’єктів після ураження.

Загалом захист ємностей зберігання палива може бути прямий та превентивний. Прямий захист – це утворення міцних суцільних екранів на ємності або в безпосередній близькості від неї, здатних витримати пряме влучання БПЛА без суттєвих пошкоджень самої ємності. Превентивний захист – це запобігання влучання БПЛА в ємність шляхом постановки певних перешкод на певній відстані від неї. Тому метою цього дослідження стало конструктивна розробка зазначених систем прямого та превентивного захисту. У процесі дослідження було враховано не лише чинні нормативи з проєктування резервуарів, але й актуальні тенденції у сфері оборонних технологій. Особливу увагу приділено аналізу параметрів сучасних БПЛА, зокрема їхньої кінетичної енергії, вибухової сили та траєкторії наближення до цілі. Зібрані дані дозволили формалізувати вимоги до конструкційного опору запроєктованих захисних систем, що є підставоюю для математичного моделювання ударного впливу.

Реалізацією прямого захисту є створення додаткової захисної оболонки навколо корпуса резервуара із наступним заповненням утвореного об’єму

сипким матеріалом. Ефективність запропонованого способу буде обґрунтована при виконанні певних умов.

По-перше, сипкий матеріал, який безпосередньо буде забезпечує цілісність резервуара повинен мати низьку вартість та високі дисипативні властивості від безпосереднього удару БПЛА або вибухової хвилі у разі дистанційного підриву. Додатково всі елементи вторинної фрагментації зупиняються в тілі захисної оболонки. Окрім цього це має бути негорючий матеріал із високою поглинальною здатністю будь-якої рідини (розлите паливо або протікання рідини, що зберігається у резервуарі). У межах дослідження здійснено порівняльний аналіз матеріалів, які можуть використовуватись у якості наповнювача або несучих елементів захисної оболонки.

По-друге, необхідно передбачити додаткові конструкції в тілі оболонки, які ділять простір між корпусом резервуара та захисною оболонкою на відсіки. Таким чином, влучання БПЛА в певний сектор резервуара не призводить до розсипання всього об'єму сипкої речовини, а тільки тієї частини, що знаходиться в межах ураженого відсіку. При відновлені захисту маємо подібну тенденцію – необхідно поновити тільки уражений відсік резервуара.

По-третє, для захисної оболонки необхідне використання спеціальних листів з високими характеристиками локальному вигину. За можливості важливо забезпечити при цьому ефективні камуфляжні властивості.

Додатковою умовою в даній системі є забезпечення швидкого монтажу захисної оболонки.

Конструкцій перевентивного захисту для об'єктів нафтопаливного комплексу на сьогодні відомо досить багато, оскільки ці рішення активно розробляються країною-агресором для захисту власних об'єктів. Загалом ці системи захисту реалізовані у вигляді сталевих решітчастих каркасів, які влаштовують над покрівлею ємностей або вздовж її корпусу. Головним недоліком таких систем є те, що покрівля залишається не захищеною від падіння уламків БПЛА, а корпус – від елементів вторинної фрагментації (так як решітчастий каркас розташовується на невеликих відстанях від корпуса). Додаткові труднощі виникають із відновленням таких систем після ряду влучань, так як сталеві каркаси отримують значні залишкові деформації і потребують заміни великих фрагментів.

У зв'язку з цим було розроблено принципово нову конструкцію у вигляді похилого захисного екрану утвореного системою вантових елементів. Особливістю системи є регульований рівень захисту. Ефективність запропонованого способу захисту ємностей зберігання палива обумовлена наступними чинниками.

По-перше, в якості вертикальних несучих елементів споруди превентивного захисту використовуються спеціальні залізобетонні стійки заводського виготовлення, що мають велику міцність та деформативність, здатні витримувати сейсмічні впливи інтенсивністю до 9 балів, нечутливі до дії високих температур та впливу елементів вторинної фрагментації при детонації БПЛА. Стійки можуть вкопуватися в землю без необхідності виконання спеціального фундаменту, а у верхній частині мають всі необхідні закладні деталі для влаштування канатів вантової системи. Виробляються стійки

більшістю заводів залізобетонних виробів і не відносяться до дефіцитної продукції.

По-друге, використання канатів замість сталевих колон і балок дозволяє на порядок зменшити металоємність захисної споруди та зменшити трудомісткість монтажних робіт, які виконуються без застосування зварювання, − кріплення канатів до стійок та між собою виконується на спеціальних хомутах та затискачах.

По-третє, за рахунок малої габаритності залізобетонних стійок та гнучкості сталевих вантових елементів захист можна реалізовувати на майданчиках складного рельєфу та конфігурації із розгалуженою мережею технологічних трубопроводів. Зрештою, система превентивного захисту має високі показники відновлюваності, так як безпосередньому відновленню підлягають окремі канати та захисна сітка, влаштування яких у проєктне положення не пов'язано із дотримання чітко регламентованих геометричних розмірів та форми. Навіть при влучанні БПЛА в залізобетонну стійку вся система захисту може бути легко і швидко відновлена шляхом заміни, у тому числі і самої стійки.

Висновки

Запропоновані рішення прямого та превентивного захисту резервуарів для зберігання нафти та нафтопродуктів забезпечують підвищену стійкість до атак БПЛА завдяки використанню спеціалізованих матеріалів, розподілених відсіків, вогнестійких елементів та гнучких конструкцій. Розроблені системи є економічно доцільними, технологічно доступними для масового впровадження та легко відновлюваними після уражень, що робить їх ефективним інструментом підвищення обороноздатності об'єктів паливно-енергетичного комплексу України. Також запропоновані рішення передбачають можливість модульного нарощування елементів системи, що дозволяє адаптувати захист до різних типорозмірів резервуарів.

У рамках подальших досліджень планується впровадження чисельного моделювання сценаріїв удару БПЛА для запропонованих систем захисту, з використанням програмного забезпечення, що дозволить уточнити розподіл напружень та прогнозувати поведінку матеріалів у момент удару.

Список літератури

1. Ширін Л.Н., Денищенко О.В., Барташевський С.Є., Коровяка Є.А., Расцвєтаєв В.О. Зберігання та дистрибуція нафти, нафтопродуктів і газу: навчальний посібник. Дніпро : НТУ«ДП», 2019. 306 с.

2. Махінько А.В., Махінько Н.О., Рулов Д.Є. Конструкція для захисту резервуарів від ударів БПЛА. Заявка на винахід a 2025 00665 від 24.02.2025.

3. Махінько А.В., Махінько Н.О., Рулов Д.Є., Скляренко С.О. Вантова споруда превентивного захисту для ємностей зберігання палива від ударів БПЛА. Заявка на корисну модель u 2025 00816 від 24.02.2025.

УДК 625.717:004.032.26

О.В. Родченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Практичні основи використання штучної нейронної мережі багатошаровий перцептрон при визначенні класифікаційного параметра нежорсткого аеродромного покриття

Розроблено штучну нейронну мережу (багатошаровий перцептрон) для визначення класифікаційного параметра нежорсткого аеродромного покриття PCR для категорії міцності ґрунтової основи D, що забезпечує відхилення для інтерполяції до 0,5%, а для ектрасполяції – до 5%.

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) прийняла новий метод Aircraft Classification Rating / Pavement Classification Rating (ACR-PCR) на заміну методу ACN-PCN (Aircraft Classification Number / Pavement Classification Number). ACR – це класифікаційний параметр літака, що предсталяється як подвоєне значення допустимого навантаження на колеса шасі і виражається у сотнях кілограмів. PCR – це класифікаційний параметр аеродромного покриття, що предсталяється як ACR «критичного» літака при максимальній допустимій злітній масі [1]. У зв'язку із введенням у дію нового методу ICAO ACR-PCR виникла необхідність в адоптації вітчизняної методики до нових вимог з використанням штучного інтелекту.

Упродовж останніх років штучні нейронні мережі (ШНМ) та штучний інтелект (ШІ) загалом стали об'єктом інтенсивних досліджень завдяки широкому спектру їх застосувань у різних науково-технічних галузях – від обробки великих даних до медичної діагностики. Методи, засновані на ШНМ, знаходять практичне застосування в повсякденних технологіях, зокрема в персоналізованій рекламі, віртуальних асистентах, автономних транспортних системах, цивільній інженерії [2], проєктуванні покриттів [3] тощо. Активізацію інтересу до ШНМ, що відбулася близько 2005 року, значною мірою спричинили розробка та впровадження нових архітектур глибинного навчання, зокрема згорткових нейронних мереж (Convolutional Neural Networks, CNN) та глибоких мереж переконань (Deep Belief Networks, DBN). Варто зазначити, що витоки сучасних нейромережевих підходів пов'язані з розвитком багатошарового перцептрона (Multilayer Perceptron, MLP) – однієї з перших архітектур штучних нейронних мереж, що забезпечувала можливість апроксимації нелінійних функцій і розв'язання задач класифікації. На сьогодні моделі, побудовані на основі ШНМ, успішно впроваджуються у багатьох галузях інженерії, сприяючи розвитку нових технологічних рішень і автоматизації складних процесів.

У сфері проєктування та експлуатації аеродромних покриттів, де важливу роль відіграє точне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій, визначення залишкового ресурсу та оцінка несучої спроможності жорстких та нежорстких аеродромних покриттів, використання MLP відкриває нові можливості для підвищення ефективності аналітичних і розрахункових процедур. На відміну від традиційних емпіричних або напіваналітичних

моделей, нейронні мережі дозволяють будувати прогнозні моделі на основі великого обсягу історичних даних, результатів числового моделювання або натурних спостережень.

Багатошаровий перцептрон (БШП) – це тип штучної нейронної мережі, що складається з кількох шарів нейронів: вхідний шар – приймає вхідні дані, приховані шари – один або кілька шарів, що обробляють дані, виявляють закономірності, трансформують вхідну інформацію, вихідний шар – видає остаточний результат (наприклад, класифікацію або прогноз). Основні характеристики БШП: активаційна функція (зазвичай використовуються нелінійні функції, наприклад, ReLU (Rectified Linear Unit), Sigmoid, tanh), процес навчання базується на зворотному поширенні помилки (backpropagation) із використанням градієнтного спуску. Можливості БШП: розпізнавання образів, класифікація, регресійні задачі, обробка природної мови (у базових випадках). Кожен нейрон БШП приймає всі вихідні сигнали попереднього шару, а його вихідний сигнал надсилається всім нейронам наступного шару. Кожен нейрон в БШП характеризується унікальним вектором вагових коефіцієнтів.

Для отримання вихідних даних для навчання штучної нейронної мережі БШП використано комп'ютерну програму ICAO ACR, за допомогою якої визначено класифікаційний параметр ACR для різних значень (від 0 до 1100 кН, з кроком 50 кН) категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору $F_{\text{п}}$ для категорії міцності ґрунтової основи D.

За допомогою мови програмування Python створено структуру штучної нейронної мережі багатошаровий перцептрон для визначення класифікаційного параметра нежорсткого аеродромного покриття PCR для категорії міцності ґрунтової основи D на основі введеного користувачем значення категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору. Модель створена за допомогою бібліотеки Keras, що є частиною TensorFlow [4]. TensorFlow – це популярна бібліотека з відкритим кодом для машинного навчання, розроблена компанією Google. Вона використовується для створення та тренування штучних нейронних мереж, обробки великих масивів даних і реалізації алгоритмів штучного інтелекту [4].

Keras – це високорівнева бібліотека для створення та навчання нейронних мереж. Вона працює поверх TensorFlow, Theano або Microsoft Cognitive Toolkit (CNTK) і забезпечує простий, зручний та гнучкий інтерфейс для розробки моделей глибокого навчання. Основні можливості Keras: дозволяє легко комбінувати різні типи шарів, оптимізаторів та функцій активації для створення нейронних мереж, має простий і зрозумілий API, що підходить як для початківців, так і для досвідчених дослідників, підтримує різні платформи, такі як TensorFlow, Theano, CNTK. Основні компоненти Keras: архітектура штучної нейронної мережі, що може бути послідовною (Sequential) або функціональною (Functional API), шари – основні будівельні блоки нейронної мережі, такі як Dense (щільний), Conv2D (конвульсний), LSTM (для рекурентних мереж), оптимізатори (наприклад, Adam, SGD), функції втрат (наприклад, mean squared error, categorical crossentropy) [4].

Структура ШНМ: вхідний шар (1 штучний нейрон), 2 прихованих шари зі штучними нейронами та активаційною функцією ReLU, вихідний шар (1 штучний нейрон). Створена ШНМ має близько 1,6 млн. параметрів.

Після навчання модель ШНМ збережена у вигляді файлу формату h5. Формат .h5 – це формат HDF5 (Hierarchical Data Format), що використовується для збереження великих обсягів даних, таких як штучні нейронні мережі, що містять параметри моделі та їх архітектуру. Для запуску моделі ШНМ у форматі .h5 розроблено окрему програму мовою Python.

Створена ШНМ забезпечує високу точність результатів: для інтерполяції відхилення складає до 0,5%, для екстраполяції (для значень категорійного нормативного навантаження понад 1100 кН) становить 0,5-5%.

При визначенні величини класифікаційного параметра нежорсткого аеродромного покриття PCR за емпіричною формулою (поліноміальна регресійна модель), отриманою за допомогою Meta Llama 3.3 та OpenAI ChatGPT-4o для значень категорійного нормативного навантаження на чотириколісну опору F_n від інтервалі від 350 до 1100 кН, розбіжність із результатами, отриманими у комп'ютерній програмі ICAO ACR, знаходиться у межах від 1 до 2,5%. При визначенні PCR для значення категорійного нормативного навантаження понад 1100 кН за емпіричною формулою розбіжність з програмою ICAO ACR складає до 9%. Таким чином, розроблена ШНМ забезпечує у 5-18 раз меншу розбіжність у порівнянні з поліноміальною регресійною моделлю.

Висновки

1. Отримано штучну нейронну мережу для визначення класифікаційного параметра нежорсткого аеродромного покриття PCR для категорії міцності ґрунтової основи D.

2. Створена ШНМ забезпечує високу точність результатів: для інтерполяції відхилення складає до 0,5%, для екстраполяції – до 5%.

3. Розроблена ШНМ забезпечує у 5-18 раз меншу розбіжність з ICAO ACR у порівнянні з поліноміальною регресійною моделлю, отриманою за допомогою Meta Llama 3.3 та OpenAI ChatGPT-4o.

4. Розроблена ШНМ споживає мало ресурсів ПК і може працювати як локальний ШІ, що забезпечує конфіденційність і безпеку даних, надає повний контроль над даними, має незалежність від Інтернету та можливість працювати автономно навіть у віддалених локаціях.

Список літератури

1. Doc 9157, Aerodrome Design Manual. Part 3 – Pavements, ICAO 2022. 146p.
2. Lagaros, N. D. (2023). Artificial Neural Networks Applied in Civil Engineering. *Applied Sciences*, *13*(2), 1131. https://doi.org/10.3390/app13021131
3. Miguel Abambres, Adelino Ferreira. Application of ANN in Pavement Engineering: State-of-Art. 2017. hal-02066889v2
4. Géron, A. (2022). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow (3rd ed.). O'Reilly Media.

УДК 656.7.025.2

О.В. Степанчук, д.т.н., проф., О.С. Чернишова, к.т.н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Методи оптимізації форм і розмірів аеровокзальних просторів з урахуванням особливостей руху людських потоків

Розглянуто основні методи визначення форм і розмірів приміщень аеровокзалів з урахуванням умов діяльності пасажирів і персоналу, а також динаміки людських потоків. Проведено аналіз сучасних підходів до проектування аеровокзальних комплексів, акцентовано увагу на аспектах просторової організації, що сприяють оптимізації функціонування аеровокзалу.

Сучасні аеровокзали є складними транспортно-логістичними вузлами, які поєднують функції обслуговування пасажирів, вантажоперевезень та інфраструктурного забезпечення авіаційної діяльності. Вони виконують ключову роль у логістиці пасажиропотоків, поєднуючи функції обслуговування, контролю безпеки та організації пересадок. Аеровокзали є важливими елементами транспортної інфраструктури, які забезпечують комфортне пересування пасажирів та ефективне функціонування авіаційного транспорту. Їх проектування вимагає комплексного підходу, що враховує як техніко-економічні показники, так і соціальні аспекти перебування людей. Зростання обсягів авіаперевезень на 5-7% щорічно обумовлює необхідність вдосконалення методів планування аеровокзальних приміщень. Особливу актуальність набувають питання оптимізації внутрішніх просторів для забезпечення безперебійного руху пасажиропотоків різної інтенсивності. Визначення раціональних форм і розмірів приміщень аеровокзалів відіграє вирішальну роль у підвищенні рівня обслуговування пасажирів. Оптимальне планування простору сприяє зменшенню затримок, уникненню заторів і покращенню умов обслуговування та очікування для усіх категорій людей. Сучасні тенденції в архітектурі аеровокзалів передбачають інтеграцію інноваційних технологій, енергоефективних рішень та доступного середовища для всіх пасажирів та працівників аеропорту. Дослідження в цій галузі дозволяють виявити оптимальні параметри приміщень, що враховують сезонні коливання пасажиропотоку та зростання авіаперевезень. Таким чином, науковий аналіз планування аеровокзальних комплексів є необхідним для розвитку сучасної транспортної системи.

Проектування аеровокзальних комплексів базується на аналізі пасажиропотоків, функціональних зон, ергономічних вимог та нормативних документів. Визначення оптимальних параметрів приміщень аеровокзалів потребує комплексного методологічного підходу, що враховує архітектурні, інженерні, транспортні та соціальні питання При цьому важливо забезпечити гармонійне поєднання естетичних і функціональних характеристик будівлі, що сприятиме комфортному перебуванню пасажирів. Технічні рішення повинні відповідати сучасним вимогам енергоефективності та екологічної стійкості. Особливу увагу слід приділяти безпеці та доступності приміщень для всіх

категорій користувачів, включаючи маломобільні групи населення. Важливим аспектом є також ефективне використання простору з урахуванням перспективного зростання пасажиропотоків. Оптимізація взаємодії між різними функціональними зонами аеровокзалу дозволяє уникнути перевантажень і сприяє зручності пересування пасажирів. Застосування цифрових технологій, таких як автоматизовані системи реєстрації та навігації, сприяє покращенню загального користувацького досвіду.

Сучасні аеровокзали представляють собою високофункціональні просторові структури, в яких планувальні рішення мають враховувати не лише логістику руху пасажирів, але й динамічні зміни соціальних процесів та надзвичайних ситуацій. На фоні зростання глобальної мобільності та збільшення пасажиропотоку ефективність внутрішнього планування стає критичним фактором у забезпеченні безперебійної роботи транспортного об'єкта. Дослідження показують, що понад 60% затримок в аеропортах спричинені саме нераціональною організацією простору, що вказує на необхідність перегляду традиційних підходів до проектування аеровокзалів [1]. В умовах постійних змін навантаження, сезонних піків та форс-мажорних обставин важливим стає впровадження гнучких обємно-планувальних рішень. Одним із таких рішень є концепція модульних зон, які дають змогу оперативно реагувати на зміну умов та ефективно перерозподіляти ресурси. Модульна зона в аеровокзалі — це трансформований простір, який легко адаптується до змін обсягу пасажиропотоку, що дозволяє уникати перевантажень і підвищувати комфорт. Аналіз показує, що завдяки впровадженню таких зон можна зменшити середній час очікування пасажирів на 17–23% у години пікового навантаження [2]. Цей підхід сприяє раціональному використанню площі, покращенню навігації та зменшенню скупчень людей. У сучасній практиці проектування аеровокзалів модульність розглядається не як допоміжний інструмент, а як стратегічний принцип просторової організації. Її застосування дозволяє враховувати як технологічні зміни в авіаційній сфері, так і поведінкові моделі пасажирів. Такий підхід не лише оптимізує процеси всередині терміналів, але й підвищує загальну ефективність функціонування аеровокзалу. Застосування гнучких планувальних схем також сприяє адаптивності об'єкта до майбутніх викликів, зокрема змін у структурі міжнародного авіасполучення. Таким чином, модульні зони стають ключовим фактором у створенні стійкої та комфортної інфраструктури сучасних аеропортів.

Основними методами визначення площ і форм приміщень аеровокзалів є:

- метод прогнозування пасажиропотоків, що передбачає оцінку інтенсивності руху пасажирів на основі проведеного дослідження та аналізі інтенсивності руху людей, пікового навантаження та сезонних коливань за допомогою математичного моделювання та статистичних даних;
- ергономічний підхід, що забезпечує зручність використання приміщень з урахуванням фізичних та психологічних особливостей пасажирів;

- функціонально-просторовий аналіз, який визначає оптимальні взаємозв'язки між зонами та приміщеннями аеровокзалу.

Відповідні методи дозволяють не лише визначити поточні навантаження на інфраструктуру аеровокзалу, але й передбачити майбутні потреби у розширенні площ, збільшенні кількості стоянок реєстрації, зон безпеки тощо. Найбільш перспективним напрямом є інтеграція даних у реальному часі з систем штучного інтелекту для динамічного управління ресурсами.

Раціональна організація внутрішнього простору аеровокзалу передбачає застосування методів функціонального зонування, оптимізації пасажирських потоків, забезпечення гнучкості та масштабованості, ефективної візуальної та навігаційної системи, комфорту та ергономіки, високого рівня безпеки й контролю, а також впровадження сучасних технологій. Зокрема:

- чітке розділення зон прибуття та відправлення, з урахуванням міжнародних та внутрішніх рейсів;
- відокремлення пасажирських зон від службових та технічних приміщень.
- створення транзитної зони для пасажирів з пересадками;
- інтеграція торговельних, сервісних та рекреаційних зон без перешкод для основних пасажирських потоків;
- забезпечення логічного та інтуїтивно зрозумілого маршруту руху пасажира – від входу до посадки (або навпаки);
- зменшення довжини та складності переміщення між ключовими зонами вхід, реєстрація, контроль безпеки, зона очікування, виходи на посадку;
- забезпечення безперешкодного руху для маломобільних груп населення;
- проектування модульних зон, які можуть змінюватися в залежності від пасажиропотоків (наприклад, зони реєстрації, очікування);
- забезпечення можливості перепрофілювання простору під різні завдання (наприклад, у пікові періоди або під час надзвичайних ситуацій);
- зрозуміла система вказівників, табло, інфографіки, багатомовна навігація;
- забезпечення прозорості простору – візуальний контакт між ключовими зонами;
- організація зручних зон очікування з достатньою кількістю місць для сидіння;
- наявність санітарно-гігієнічних приміщень, пунктів харчування, кімнат для відпочинку, дитячих зон;
- якісна вентиляція, освітлення та акустичне середовище;
- розміщення пунктів контролю таким чином, щоб мінімізувати скупчення людей;
- зони контролю мають бути логічно інтегровані у загальний просторовий ланцюг, без створення "вузьких місць";

- впровадження автоматизованих систем реєстрації, самостійного багажного обслуговування, електронних табло, систем безконтактного доступу;
- використання інтелектуальних систем управління потоками пасажирів у режимі реального часу.

Сучасні дослідження доводять, що ефективність аеровокзалів безпосередньо залежить від інтеграції цифрових технологій у планувальні рішення. Зокрема, застосування штучного інтелекту для аналізу пасажиропотоків дозволяє динамічно адаптувати просторову конфігурацію терміналів. Важливим аспектом є також забезпечення енергоефективності через використання відновлюваних джерел енергії та "розумних" систем клімат-контролю. Міжнародний досвід свідчить, що модульність конструкцій знижує експлуатаційні витрати на 15-20% завдяки гнучкості перепланування. Крім того, психологічні дослідження підкреслюють вплив архітектурної естетики на рівень стресу пасажирів, що особливо актуально в умовах пікових навантажень. Впровадження біофільного дизайну з природніми матеріалами та вертикальним озелененням покращує якість повітря та візуальний комфорт. Перспективним напрямком є розробка уніфікованих стандартів планування, що враховують регіональні особливості клімату та культурні традиції.

Висновок

Визначення форм і розмірів приміщень аеровокзалів вимагає комплексного підходу, що включає аналіз пасажиропотоків, ергономічних вимог і просторової організації. Раціональне планування приміщень дозволяє покращити якість обслуговування пасажирів, оптимізувати використання ресурсів та підвищити ефективність функціонування аеровокзальних комплексів.

Список літератури

1. International Air Transport Association (IATA). Airport Development Reference Manual: 10th ed. – Montreal: IATA, 2023. – 450 p.
2. Airports Council International (ACI). Airport Capacity and Demand Management [Електронний ресурс].-2020. Режим доступу: https://igat.icao.int/ated/trainingcatalogue/Profile/1289

УДК 532.5:519.6

Н.О. Махінько, д.т.н., проф.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Архітектурна аеродинаміка: CFD-моделювання вітрових впливів на висотні будівлі

У виконаному дослідженні узагальнені підходи до чисельного моделювання вітрового впливу для висотних будівель, розглянута ефективність різних моделей турбулентності та описаний алгоритм побудови комп'ютерної моделі. Зроблено акцент на необхідності верифікації моделі та адаптації загальних методів CFD до особливостей будівельної аеродинаміки.

Для потреб сучасного будівництва дедалі частіше постає необхідність у якісному прогнозуванні вітрових навантажень. Особливо ця проблема актуальна для висотних споруд, де традиційні аналітичні методи мало придатні для практичного використання. З огляду на це, чисельне моделювання повітряного потоку (CFD-аналіз) стає ключовим інструментом для вирішення завдань будівельної аеродинаміки та кількісного прогнозування інтенсивності вітрових впливів на будівельні конструкції [1-3]. Проте його широке впровадження у проєктну практику пов'язане з низкою проблем. Насамперед, це стосується суб'єктивного вибору вхідних параметрів, складності побудови реалістичної геометричної моделі об'єкта, а також залежності результатів від прийнятої моделі турбулентності та структури обчислювальної сітки. Разом з цим велика кількість наукових досліджень, що з'явилися останнім часом переважно орієнтовані на завдання мікрокліматичного або екологічного спрямування, залишаючи поза увагою особливості аеродинаміку споруд великої поверховості.

Комп'ютерне моделювання вітрового навантаження на будівлі має суттєві відмінності від аналогічних задач в технічних галузях. Будівельні споруди, на відміну від аеродинамічно обтічних тіл, створюють складну картину відривних течій і турбулентних вихорів, що потребує застосування спеціалізованих моделей. Для таких задач класичні підходи з використанням рівнянь Нав'є-Стокса в їх повному вигляді непридатні через надмірну складність обчислень, особливо при високих числах Рейнольдса, характерних для будівельної практики. У зв'язку з цим у CFD-аналізі використовуються наближені моделі турбулентності, серед яких найбільш поширеною для інженерних задач є модель SST, що поєднує два підходи для опису потоків біля стінок та у відривних зонах. Крім неї, застосовуються моделі RANS, RSM, LES, DES та SAS-DES, кожна з яких має свої переваги та обмеження залежно від поставленого завдання.

Вибір відповідної математичної моделі та побудова комп'ютерної моделі споруди налічує декілька етапів. Спершу необхідно визначити головні розрахункові змінні, що найбільше впливають на результат та піддаються експериментальній перевірці. Далі слід обрати фізичну модель потоку (стаціонарна або нестаціонарна постановка), враховуючи умови середовища та характер завдання. На наступному етапі моделюється геометрія споруди разом з

навколишньою забудовою, визначаються габарити розрахункової області, які мають забезпечити достовірність симуляції (рис. 1).

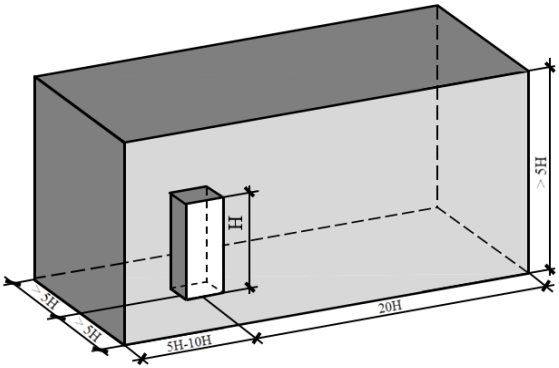


Рис. 1. Вибір розмірів розрахункової області [3]

Формування сітки відбувається з урахуванням складності форми об'єкта, особливо у пристінковій області, де критично важливо врахувати в'язкі ефекти. Сітка має бути досить дрібною в зонах з високим градієнтом швидкості. Використовувані методи дискретизації включають метод кінцевих об'ємів, що на сьогодні визнаний найефективнішим для задач будівельної аеродинаміки завдяки гнучкості у побудові сітки та меншій чутливості до топології тіла. Саме за цим підходом обчислювальна область розбивається на комірки різного типу, які дозволяють детально змоделювати як потік навколо споруди, так і внутрішні турбулентні структури.

Важливо також правильно задати граничні умови, включаючи профілі вітрового потоку на вході, параметри турбулентної енергії, в'язкості та інші характеристики. Зокрема, має враховуватись просторове положення споруди, шорсткість поверхні, вплив суміжних об’єктів та особливості місцевого рельєфу. У разі неправильної постановки граничних умов можуть виникнути значні похибки результатів, які важко виявити без ретельної верифікації. Саме тому моделювання має супроводжуватися порівнянням із результатами натурних або аеродинамічних випробувань.

При переході до розв’язання задачі використовується система рівнянь з багатьма невідомими (тиском, компонентами швидкості, турбулентними параметрами), які вирішуються ітераційно. Початкове стаціонарне моделювання дозволяє перевірити збіжність розрахунків, після чого можливий перехід до нестаціонарного аналізу. Такий підхід дає змогу оцінити змінні у часі навантаження, отримати спектр пульсацій та вплив вітру на конструктивні елементи з урахуванням інерційних ефектів.

У нестаціонарному режимі моделювання потребує додаткових обчислювальних ресурсів. Часова дискретизація виконується таким чином, щоб забезпечити відображення усіх характеристичних частотних компонентів вітрового впливу.

На кожному з етапів моделювання вимагається ретельне налаштування параметрів та аналіз впливу різних чинників, що суттєво впливає на результат. Перевага чисельного моделювання полягає у здатності відтворювати складні умови, які важко реалізувати в реальному експерименті. Водночас цей метод потребує верифікації, тобто співставлення з даними отриманими за використання аеродинамічних труб або натурних досліджень. В іншому разі його результати можуть виявитися некоректними.

Врахування просторової неоднорідності вітрового потоку, варіативності атмосферних умов, сезонних та денних коливань інтенсивності вітру також є важливою складовою якісного CFD-аналізу. Результати моделювання можуть бути використані не лише для оцінки навантаження, а й для визначення зон підвищеної турбулентності, місць можливих конструктивних відмов, а також для оптимізації архітектурної форми будівлі з метою зниження опору та коливань.

Висновок

Таким чином чисельне моделювання вітрових впливів на висотні споруди, за умови виваженого підходу до вибору моделей турбулентності, побудови сітки, формулювання граничних умов і аналізу результатів, стає потужним засобом інженерного аналізу. Він дозволяє оптимізувати проєктні рішення, підвищити надійність будівель і знизити витрати в разі проведення натурних випробувань чи інших фізичних експериментів. Проте ефективність такого напряму залежить від досвіду інженера, обґрунтованого вибору параметрів та наявності достовірних вихідних даних.

Надалі розвиток CFD-моделювання в будівництві залежатиме від удосконалення програмних засобів, розширення експериментальної бази верифікованих прикладів та активного впровадження адекватних моделей турбулентності. Також важливим напрямом є інтеграція CFD-аналізу з системами інформаційного моделювання будівель [4], що забезпечить комплексний підхід до проєктування, де враховуватимуться не лише геометричні та конструктивні характеристики, а й аеродинамічні параметри середовища, в якому функціонуватиме споруда.

Список літератури

1. Idrissi A., Amraoui R., Mghari H. CFD Simulation of Wind Load on tall Modified Building Shapes. Proceedings of 2024 1st Edition of the Mediterranean Smart Cities Conference, MSCC 20242024 1st Mediterranean Smart Cities Conference, 2-4 May 2024. Code 203162.
2. Franke J. Recommendations on the use of CFD in wind engineering. Proceedings of the International Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, von Karman Institute. Belgium, 2004. 19 p.
3. Лапенко О.І., Махінько Н.О. Методи комп'ютерного моделювання в задачах аеродинаміки висотних споруд. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2015. Вип. 123, С. 49-57.
4. Mo L., Lu W. Research on numerical simulation of wind load on high-rise buildings along the street based on BIM model. International Journal of Engineering Systems Modelling and Simulation. 2025. Vol. 16, Issue 1, Pages 52-62.

УДК 681.5:658.26:721(043.2)

С.М. Скребнєва, к.т.н., доцент, К.В. Омельченко, к.т.н., доцент,
І.Л. Машков, вт. викладач.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз ефективності впровадження енергозберігаючих технологій в аеропортобудуванні

У роботі проведено аналіз сучасних енергозберігаючих технологій в міжнародній практиці аеропортобудування. Аеропорти, як важливі інфраструктурні об'єкти, потребують значних енергетичних ресурсів, тому впровадження енергозберігаючих технологій є не лише доцільним, але й необхідним.

У сучасному світі, де питання енергоефективності та екології стають дедалі актуальнішими, важливим є те, як новітні технології можуть змінити підходи до будівництва аеропортів. Серед основних енергозберігаючих технологій, які можуть бути впроваджені в аеропортобудуванні, варто виділити:

Сонячні панелі: Використання сонячної енергії для забезпечення електричних потреб аеропорту не лише знижує витрати на електроенергію, але й зменшує викиди парникових газів. Сонячні панелі є одним з найпоширеніших рішень для забезпечення енергії в аеропортах. Основні переваги використання сонячних панелей забезпечуються: зниженням витрат на електроенергію, а саме аеропорти можуть значно знизити свої витрати на електрику, особливо в денний час, коли споживання енергії є найвищим; екологічними аспектами - використання сонячної енергії зменшує викиди CO_2 та інших забруднюючих речовин, що позитивно впливає на навколишнє середовище; незалежністю від енергетичних компаній - аеропорти можуть стати більш незалежними у своїх енергетичних потребах, що особливо важливо в умовах нестабільності на енергетичних ринках. [5]

Системи рекуперації тепла дозволяють використовувати відпрацьоване тепло, яке генерується під час роботи різних систем (наприклад, вентиляції, опалення, охолодження) для обігріву або охолодження приміщень. Завдяки рекуперації тепла можна знизити споживання енергії на обігрів і охолодження до 30%; зменшити навантаження на основні системи опалення та охолодження, що подовжує їхній термін служби; зниження споживання енергії веде до зменшення викидів забруднюючих речовин. Наприклад, Аеропорт Сан-Франциско використовує системи рекуперації тепла для обігріву адміністративних будівель, що дозволяє знизити витрати на енергію.

Енергоефективні HVAC-системи: Системи вентиляції, опалення та кондиціонування повітря (HVAC) є критично важливими для забезпечення комфортного мікроклімату в аеропортах. HVAC-системи використовують сучасні технології для зменшення споживання енергії. Використання сенсорів для моніторингу температури та вологості дозволяє автоматично регулювати роботу системи, що знижує споживання енергії; висока ефективність - сучасні HVAC-систем, які мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД), що дозволяє зменшити витрати на енергію; фільтрація повітря - системи з

високоефективними фільтрами покращують якість повітря, що є важливим для здоров'я пасажирів та персоналу. Наприклад, Аеропорт Даллас/Форт-Уорт використовує енергоефективні HVAC-системи, що дозволяє знизити споживання енергії на 20%. [4]

Ізоляційні матеріали: Використання сучасних ізоляційних матеріалів є важливим аспектом енергозберігаючих технологій в аеропортобудуванні [1; 2]. Вони допомагають зменшити тепловтрати, що, в свою чергу, знижує витрати на опалення та охолодження. Сучасні теплоізоляційні матеріали, такі як спінений поліуретан або мінеральна вата, забезпечують високу ефективність ізоляції, що дозволяють забезпечити нормативні показники мікроклімату в приміщеннях. Якісна звукоізоляція, яка допомагає зменшити шум від літаків та забезпечити комфорт для пасажирів. Обов'язковим є використання екологічно чистих ізоляційних матеріалів, що суттєво зменшує негативний вплив на навколишнє середовище [1].

Зазвичай, впровадження енергозберігаючих технологій вимагає початкових інвестицій, але економічна ефективність таких рішень є безсумнівною. Аналіз витрат показує, що, хоча початкові витрати можуть бути вищими, з часом вони окупаються завдяки зниженню експлуатаційних витрат. Наприклад, термін окупності інвестицій у сонячні панелі може становити від 5 до 7 років, після чого аеропорт отримує значну економію на електроенергії. Додатково, зниження витрат на енергію може бути використано для покращення інших аспектів обслуговування пасажирів.

Впровадження енергозберігаючих технологій має значний позитивний вплив на навколишнє середовище. Зменшення викидів CO_2 та інших забруднюючих речовин є критично важливим для боротьби зі змінами клімату. Аеропорти, які впроваджують ці технології, можуть суттєво знизити свій екологічний слід. Наприклад, аеропорт Сан-Дієго, завдяки впровадженню енергозберігаючих рішень, зменшив свої викиди CO_2 на 20%, що позитивно вплинуло на якість повітря в регіоні. [4]

Енергозберігаючі технології також впливають на соціальні аспекти, підвищуючи комфортність для пасажирів та персоналу. Системи, які забезпечують оптимальний мікроклімат у приміщеннях, покращують загальне враження від перебування в аеропорту. Крім того, аеропорти, які активно впроваджують енергозберігаючі технології, формують позитивний імідж у суспільстві, що може сприяти залученню нових інвесторів та пасажирів.

Прикладами успішного впровадження енергозберігаючих технологій в міжнародній практиці аеропортобудування є такі відомі авіаційні хаби:

Аеропорт Копенгагена (Копенгаген, Данія) є одним з найбільших аеропортів у Північній Європі, який активно впроваджує енергозберігаючі технології. Аеропорт має одну з найбільших сонячних установок в Європі, яка забезпечує до 30% його електричних потреб. [5] Використання сучасних систем HVAC, які автоматично регулюють температуру та вологість, дозволяє знизити споживання енергії на 20%. [4] Аеропорт також впровадив зелені дахи, які зменшують теплові втрати та покращують якість повітря.




Рис.1 Енергозберігаючі технології в аеропортах Копенгагену та Чангі.

Аеропорт Сан-Дієго (Сан-Дієго, США) також активно впроваджує енергозберігаючі технології, що дозволяє зменшити викиди CO_2 та знизити витрати на енергію. Впроваджені системи рекуперації тепла: аеропорт використовує системи, які дозволяють повторно використовувати відпрацьоване тепло для обігріву адміністративних будівель. Встановлення сонячних панелей на території аеропорту забезпечує близько 20% його електричних потреб.

В аеропорту встановлено систему GridSynergy – комплексне комп'ютеризоване рішення для зберігання енергії. Хмарне програмне забезпечення спирається на минулі та актуальні дані про виробництво та використання енергії в аеропорту для розрахунку оптимальних циклів заряджання та розряджання літій-іонних батарей. GridSynergy постійно освоює нову інформацію та пристосовує свою роботу до енергетичних запитів аеропорту протягом наступних 10 років. [2] Сонячна генерація є лише однією з багатьох ініціатив, передбачених комплексним стратегічним енергетичним планом аеропорту. Він також включає модернізацію освітлення, підвищення ефективності системи клімат-контролю, встановлення додаткових сонячних масивів та акумуляторних блоків, а також будівництво нових об'єктів з урахуванням сучасних стандартів енергоефективності.




Рис. 2 Розміщення сонячних батарей в аеропорту Сан-Дієго

Аеропорт Хітроу (Лондон, Велика Британія) є одним з найбільших аеропортів у світі, який також впроваджує енергозберігаючі технології, а саме використовує сучасні ізоляційні матеріали в будівлях аеропорту зменшуючи тепловтрати, що дозволяє знизити витрати на опалення та охолодження.

Аеропорт активно інвестує в проєкти з відновлювальної енергії, включаючи вітрові та сонячні установки. Впроваджені технології, що зменшують шумове та повітряне забруднення, які позитивно впливають на навколишнє середовище.

Аеропорт Даллас/Форт-Уорт (Техас, США) є одним з найбільших аеропортів у світі, який активно впроваджує енергозберігаючі технології, а саме: енергоефективні HVAC-системи (використання сучасних систем вентиляції та кондиціонування, які автоматично регулюють температуру та вологість, дозволяє знизити споживання енергії на 20%). Аеропорт встановив сонячні панелі, які забезпечують частину його електричних потреб.

Аеропорт Чангі (Сінгапур) є одним з найсучасніших аеропортів у світі, який також впроваджує енергозберігаючі технології. Використовуються системи енергоефективності, такі як сучасні HVAC-систем, які забезпечують оптимальний мікроклімат для пасажирів та знижують споживання енергії. Зелена дахова система аеропорту зменшує теплові втрати та покращує якість повітря. Встановлення сонячних панелей на території аеропорту забезпечує частину його електричних потреб. [4]

Висновок

На основі проведеного аналізу міжнародної практики аеропортобудування, можна зробити висновок, що впровадження енергозберігаючих технологій, таких як сонячні панелі, системи рекуперації тепла, енергоефективні HVAC-системи та сучасні ізоляційні матеріали, є ключовим аспектом у розвитку аеропортів. Ці технології не лише знижують витрати на енергію, але й сприяють покращенню екологічної ситуації та підвищенню комфорту для пасажирів. Впровадження таких технологій є важливим кроком у напрямку сталого розвитку аеропортобудування, вони сприяють зниженню витрат на експлуатацію, зменшенню викидів забруднюючих речовин та покращенню якості життя в регіонах навколо аеропортів.

Список літератури

1. Modern Systems of Heat Insulation Buildings / Oleksandr Lapenko, Svitlana Skrebnieva, Kateryna Omelchenko and Igor Mashkov // Key Engineering Materials. *ISSN: 1662-9795, Vol. 864, pp 128-133. 2020 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland* - DOI: 0.4028/www.scientific.net/KEM.864.128.
2. Стінові огороджуючі конструкції каркасних будівель аеропортів/Скребнєва С.М., Добровольський М.І./ 9 симпозіум X Всесвітній конгрес «Авіація в XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології», 28-30 вересня 2022 р. – Київ: НАУ, 2022. – С.74-77.
3. https://elektrovesti.net/66357_v-mezhdunarodnom-aeroportu-san-diego-k-sushchestvuyushchey-solnechnoy-ustanovke-moshchnostyu-55-mvt-budet-podklyuchena-sistema-khraneniya-energii-na-4-mvt-ch
4. https://www.rbc.ua/rus/travel/peremagae-vzhe-12-raz-aeroport-singapuru-1679574870.html
5. https://www.hybridgreentech.com/post/copenhagen-airport-installs-large-battery-for-green-energy-storage

УДК 624.042

С.О. Скляренко, к.т.н., доцент
(Державний Університет Київський авіаційний інститут)

Проблеми формування фонду захисних споруд України

Проведено аналіз руйнувань промислових будівель та споруд від дії екстремальних навантажень. Висвітлені проблеми наповнення фонду захисних споруд цивільного захисту. Запропоновані основні підходи до формування захищених просторів в будівлях та спорудах

Захищений простір промислових будівель

Більше трьох років повномасштабної агресії призвели до значних втрат об'єктів будівництва, що у грошовому еквіваленті прямих витрат станом на січень перевищило 170 млрд. $. Загальну суму заподіяної шкоди можна оцінити як 7-15 річних бюджетів України (у частині власних надходжень станом на 2025 р.).

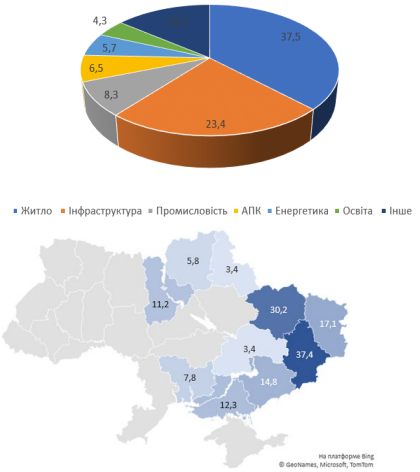


Рис. 1. Питома вага прямих втрат внаслідок руйнування чи пошкодження об'єктів будівництва (інше – різні сектори економіки із вкладами від 0,01% до 2%) та їх розподіл по території України

Серед найбільш постраждалих галузей – житловий сектор (більше третини від загальних пошкоджень); інфраструктурні складові (складова аеропортів становить трохи більше 2%) та об'єкти промисловості – 8,3%. Дуже наближено сукупні втрати по галузям у 2023-2025 роках складають 10-50% від втрат за 2022 рік. Територіально найбільшого впливу зазнали області, що перебувають або перебували під окупацією.

Основоположним документом, що формує стратегію захисту населення під час військового стану є Кодекс цивільного захисту України. На жаль із

початку війни у 2014 р. даний документ не зазнав адекватного оновлення і досі ґрунтується на засадах старої радянської концепції глобальної ядерної війни. Три роки повномасштабного вторгнення об'єктивно показали повний занепад фонду захисних споруд. За часи незалежності існуючі об'єкти були у більшості занедбані, частково розформовані або взагалі демонтовані. Незважаючи на початок бойових дій та більш прискіпливе відношення контролюючих органів до стану сховищ і укриттів на 2022 рік більше 80% даних об'єктів були у стані непридатному до нормальної експлуатації. Особливо дивними були факти, коли у проміжку 2014-2022 років на хвилі популізму фонд захисних споруд був штучно збільшений шляхом «визнання» протирадіаційними укриттями звичайних підвалів або інших непристосованих споруд.

Аналізуючи дослідження 1960-1980-х років можна зробити висновок, що навіть за найкращих часів розквіту «совка» економічно не було можливості наповнити фонд повноцінними захисними спорудами. У ЦКУ із минулого перекочувало положення, що у період військового стану фонд може наповнюватись об'єктами найпростіших укриттів. Крім того у методиках розрахунку приводились саме понижуючі коефіцієнти, які «допускали» втрату несучої здатності за II групою граничних станів і навіть часткове руйнування окремих конструкцій споруд укриття. В свою чергу це призводило до значного здешевлення вартості захисної споруди і більше охоплення даними об'єктами території країни в умовах обмеженого фінансування.

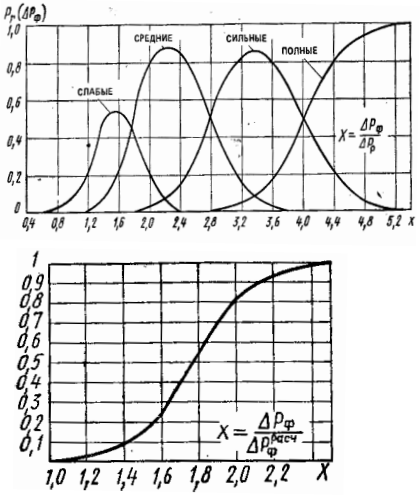


Рис. 2. Дослідження коефіцієнт пониження розрахункового тиску до параметрів руйнування з/б балок та відношення до втрат

Станом на 2025 рік найбільша увага і фінансування досліджень держави зосереджені на критичних галузях енергетики та інфраструктури. Відомі проведені дослідження Генерального штабу України, розроблені

практичні рекомендації, натурні випробування, у 2025 році виділені кошти на проведення наукових розробок Департаментом нормування міністерства розвитку громад. Втрати агропромислового комплексу незважаючи на свої великі значення не можна назвати критичними, у зв'язку із значним розосередженням основних активів та їх значним дублюванням.

Паралельно із цим можна відмічати повний провал заходів по захисту населення, промислових підприємств та закладів освіти. На зазначені дослідження за весь час війни із 2014 р. не було виділено жодного фінансування. ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту", який покликаний саме на укриття населення, закладів освіти, дошкільного виховання дітей та працівників підприємств реанімовано науковцями на громадських засадах. На жаль у своїй основі він ґрунтується на старих позиціях квазістатичного прикладання рівномірно розподіленого навантаження до всіх огороджуючих конструкцій споруд. Загальна політика держави у підходах до будівництва ПРУ базується на утопічній ідеї рівномірного та повноцінного захисту усього населення із максимальним радіусом збору 300-500м. Три роки реалізації даних програм показали їх повну недієвість. Передусім це пов'язано із повною відсутністю коштів на будівництво нових укриттів і відновлення існуючих. Індивідуальне проектування кожного окремого укриття за малої кількості фахового проектного середовища та слабкого вивчення питання призводить до перевитрат державних коштів, виникнення надзвичайно високих корупційних ризиків, будівництва невідповідних об'єктів, витрачання коштів на об'єкти, що не можуть бути добудовані у зв'язку із недостатнім фінансуванням.

Незважаючи на ведення бойових дій смертність населення України на 6-13% нижче аналогічних показників «еталонного» 2019 року. Серед нелетальних випадків переважна більшість (60-80%) шкоди заподіяної населенню пов'язано не враженням уламками бойової частини зброї агресора, надмірним тиском вибухової хвилі чи обваленням будівель і споруд. По даним статистики по м. Харків та м. Херсон близько 87% випадків поранення людей в ході вибухового впливу були від ураження об'єктами вторинної фрагментації, уламками будівельних конструкцій, асфальтобетонного покриття та т.п. захист від яких може бути здійснено значно спрощеними конструкціями.

У 2023-2024 роках були здійснені спроби формування концепції захищених просторів, яка успішно реалізується наприклад в Ізраїлі. Робочими групами було напрацьовані матеріали для впровадження у ДБН В.2.2-15-2019 «Житлові будинки», що на жаль не знайшли своєї подальшої реалізації. Певні успіхи були досягнуті в ході прийняття постанови КМУ №926 від 13.08.2024 р. «Про реалізацію експериментального проекту, щодо створення в будівлях і спорудах закладів освіти захищених просторів (приміщень для фізичного захисту)», яка на жаль має слабку реалізацію через брак фінансування (на тлі вкладення десятків мільйонів по територіальним громадам у безуспішне будівництво нових укриттів).

Набагато складніша ситуація із захистом працівників найбільш чисельних змін промислових підприємств. Розміри виробничих майданчиків,

потенційні ризики виробничих процесів та складні маршрути для евакуації роблять їх надзвичайно складними об'єктами для налагодження оптимальних шляхів захисту. Серед відносно успішних реалізацій можна відмітити лише створення різними виробниками ряду конструктивних рішень окремих споруд «рятувальних капсул», що на жаль не мають ні широкого впровадження, ні жодних рухів у напрямку нормування їх розміщення чи легалізації використання.

Підсумовуючи можна виділити наступні оптимальні кроків подальшого розвитку нормування цивільного захисту населення.

1. Ранжування рівня загроз у відносних показниках із зазначенням тротилового еквіваленту вибухової речовини, параметрів уламків та кругового відхилення (зони навколо об'єкту, що може бути вражена в ході агресії). Картографування рівнів захисту населення залежно від регіону, наповненості об'єктами, що можуть стати ціллю атаки, відстанями до даних об'єктів.
2. Фінансування та розроблення науково обґрунтованих методів розрахунку впливів негативних чинників вибухів на будівлі та споруди: створення кількох методик розрахунку (спрощена квазістатична модель, уточнена модель розрахунку методом прямого динамічного впливу). Перегляд коефіцієнтів запасу і т.ч. шляхом перерахунку економічної доцільності, допущення часткових втрат / руйнувань конструкцій, обґрунтування можливості їх одночасного застосування із дослідженням ймовірностей виникнення аварійних ситуацій (збройного впливу – по різних об'єктах на основі статистичних даних) із коефіцієнтами запасу по навантаженню/призначенню та т.п.
3. Перегляд стратегії на рівні реформування Кодексу цивільного захисту. Легалізація поняття захищеного простору на об'єктах житлових будинків, промислових будівель та споруд, шкіл, дитячих дошкільних закладів, громадських будівель та споруд.
4. Більш широкий збір статистичних даних факторів вибуху, їх наслідків. Створення еталонних верифікаційних моделей для уточнення ряду теоретичних досліджень.
5. Виконати реформування засад із використання проектів повторного використання. Розробити та впровадити типові проекти сховищ та ПРУ для укриття (наприклад для 20, 50, 100, 200, 500, 800, 1000 чол.) із спрощеною процедурою їх реалізації.

Список літератури

1. Убежища гражданской обороны: конструкции и расчёт / В.А. Котляревский. – М.: Стройиздат, 1989. – 606 с.
2. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на початок 2024 року. – Київська школа економіки, 2024. – 38 с.

УДК 624.012.45:691.792

О.Г. Горб, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оцінка міцності сталезалізобетонних конструкцій

Сталезалізобетонні конструкції поєднують переваги сталі та бетону, забезпечуючи високу міцність, жорсткість і економічність. Теорія складених стержнів дозволяє точно розраховувати їхню несучу здатність, враховуючи спільну роботу матеріалів і нелінійні властивості як границі з'єднання, так і основних блоків. Метод забезпечує надійність при проєктуванні складних інженерних споруд.

Сталезалізобетон зайняв чільне місце та залізобетону, знаходять широке застосування у сучасному будівництві. Завдяки високій міцності сталі на розтяг та значній стійкості бетону до стиску, ці конструкції забезпечують оптимальне співвідношення між вагою, міцністю та вартістю. Однак, для ефективного та безпечного використання, необхідно точно оцінювати їхню міцність і несучу здатність. Одним з перспективних методів оцінки є застосування теорії складених стержнів, яка дозволяє враховувати особливості спільної роботи сталевого профілю та бетонного масиву.

Сталезалізобетонні конструкції використовуються в різних інженерних спорудах, включаючи мости, висотні будівлі, тунелі та промислові об'єкти. Їх популярність зумовлена кількома факторами:

- підвищена несуча здатність - комбінація сталі та бетону дозволяє досягти значно більшої несучої здатності порівняно з використанням кожного матеріалу окремо;
- зменшення ваги конструкцій - використання сталі, яка має високу міцність при відносно невеликій вазі, дозволяє зменшити загальну вагу конструкції, що особливо важливо для висотних будівель та мостових споруд;
- підвищена жорсткість - бетон забезпечує сталевому профілю додаткову підтримку, запобігаючи втраті стійкості та збільшуючи загальну жорсткість конструкції;
- вогнестійкість - бетонний шар захищає сталевий профіль від впливу високих температур, підвищуючи вогнестійкість конструкції.
- економічна ефективність - у багатьох випадках сталезалізобетонні конструкції є більш економічно вигідними, ніж традиційні залізобетонні або сталеві конструкції, особливо при великих прольотах та високих навантаженнях.

Основною методикою, яка являється найбільш прийнятною для визначення несучої здатності сталезалізобетонних елементів з урахуванням властивостей способу з'єднання, зокрема клейових [1, 3-5], двох різнорідних матеріалів, є теорія складених стержнів [2]. Ця теорія базується на декількох основних припущеннях:

- сумісність деформацій. Вважається, що сталевий профіль та бетонний масив деформуються разом, тобто між ними відсутнє прослизання. Це

припущення є справедливим, якщо забезпечено надійне з'єднання між сталлю та бетоном за допомогою склеювання чи анкерування;

- лінійний розподіл деформацій. У перерізі конструкції деформації розподіляються лінійно. Це припущення є справедливим для випадків, коли деформації невеликі і матеріал працює в пружній зоні;

- пружна робота матеріалів. На початковому етапі навантаження сталь та бетон працюють пружно, тобто напруження пропорційні деформаціям. Зі збільшенням навантаження матеріал може перейти в пластичну зону;

- врахування нелінійних властивостей матеріалів. На більш пізніх стадіях навантаження необхідно враховувати нелінійні властивості бетону та сталі, тобто залежність між напруженнями та деформаціями стає нелінійною. Це особливо важливо при розрахунку міцності конструкцій, що працюють в умовах великих деформацій.

Розрахунок міцності сталезалізобетонної конструкції за допомогою теорії складених стержнів включає кілька етапів наведених в Табл.1 [2]:

Таблиця 1.

Алгоритм розрахунку сталезалізобетонних елементів за допомогою теорії складених стержнів

Num-ber	Determined value	Formulas
1	compressed and stretched zones bearing capacity checking	$M \le M_c = b \cdot x \cdot f_{cd} \cdot z_c;$ $M \le M_s = A_s \cdot f_y \cdot z_c$
2	inner pair of forces arm	$z_c = h_o - 0{,}4 \cdot x$
3	height of the compressed zone	$x = \frac{(N^0 - T)}{b \cdot f_{cd}}$
4	axial force in rods	$N^0 = \frac{M^0}{v}$
5	total moment	$M^0 = V_0 \cdot \xi_c^2 \cdot b \cdot h_0 \cdot f_{ctk} + A_s \cdot R_s \cdot v + T \cdot v;$
6	shear force	$T \cong \frac{0{,}8M}{h_0}$
7	reinforcement area	$A_s = \frac{2M^0 - Th_0}{f_y h_0}$

Теорія складених стержнів має ряд переваг порівняно з іншими методами розрахунку сталезалізобетонних конструкцій:

- простота та наочність. Теорія є відносно простою у використанні та дозволяє отримати наочне уявлення про розподіл напружень і деформацій в конструкції;

- врахування спільної роботи сталі та бетону. Теорія враховує взаємодію між сталевим профілем та бетонним масивом, що дозволяє отримати більш точні результати;

- можливість врахування нелінійних властивостей матеріалів. Теорія дозволяє враховувати нелінійні властивості бетону та сталі, що особливо важливо при розрахунку міцності конструкцій, що працюють в умовах великих деформацій.

Однак, теорія складених стержнів має і деякі обмеження:

- припущення про сумісність деформацій. Припущення про сумісність деформацій може бути невірним, якщо з'єднання між сталлю та бетоном недостатньо надійне;

- ігнорування впливу поперечних сил. Теорія, як правило, не враховує вплив поперечних сил на міцність конструкції;

- спрощення геометрії конструкції. Теорія може спрощувати геометрію конструкції, що може призвести до похибок у розрахунках.

Висновок

Теорія складених стержнів є ефективним методом оцінки міцності та несучої здатності сталезалізобетонних конструкцій. Вона дозволяє враховувати особливості спільної роботи сталевого профілю та бетонного масиву, а також нелінійні властивості матеріалів. Застосування цієї теорії дозволяє забезпечити надійність та безпеку сталезалізобетонних конструкцій, що використовуються у різних інженерних спорудах. Подальші дослідження у цій області спрямовані на удосконалення теорії та розробку більш точних методів розрахунку, які враховують вплив різних факторів, таких як поперечні сили, усадка бетону, повзучість та інші. Розробка та впровадження удосконалених методів розрахунку сталезалізобетонних конструкцій сприятиме підвищенню їхньої надійності, довговічності та економічної ефективності. Ключові слова: сталезалізобетонні конструкції, міцність, несуча здатність, теорія складених стержнів.

Список літератури

1. Zolotov S., Firsov P., Muhamad H. (2020). Evaluation of Stress-Deformed Condition Level of Glued Materials for the Without Anchor Steel-Concrete Joint. In Lecture Notes in Civil Engineering (Vol. 47, pp. 95–102). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_12.

2. Horb O., Davidenko Y., Skurupiy O., Mytrofanov P. (2020). Application of Bonding Concrete to Reinforcement Using Adhesives in Steel Concrete Composite Structure. Proceedings of the 2020 session of the 13th fib International PhD Symposium in Civil Engineering (Paris, France, August 26-28, 2020). PP. 2 – 9.

3. Brede Markus. (2018). Fracture Mechanics of Adhesive Joints. https://doi.org/10.1002/9783527803743.ch1_04.

4. Mora Veronica, Mieloszyk Magdalena, Ostachowicz, Wieslaw. (2018). Model of moisture absorption by adhesive joint. Mechanical Systems and Signal Processing. 99. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.06.042.

5. Jeevi G., Nayak S., Kader M. (2019). Review on adhesive joints and their application in hybrid composite structures. Journal of Adhesion Science and Technology. 33. 1-24. https://doi.org/10.1080/01694243.2018.1543528.

УДК 69.059.7

О.В. Шевченко, PhD, М.А. Мельник
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості реконструкції будівель з урахуванням принципів сталого розвитку

Дедалі більше сфер впроваджують екологічність у свою діяльність. Такий вид будівництва як реконструкція також має певні напрямки розвитку у цій галузі, тому метою є визначити специфіки введення «зеленої» трансформації в процес реконструкції будівель. Результатами є висвітлення цих особливостей.

Реконструкція будівель та споруд – це процес відновлення або модернізації існуючих будівель або споруд з метою збільшення їх функціональності, безпеки, комфорту та енергоефективності. Велика кількість житлових та будівель громадського призначення в Україні потребують оновлення й реконструкції, проте це супроводжується доволі високим рівнем енергоспоживання та не завжди відповідністю сучасним стандартам комфорту і безпеки. Сучасні тенденції розвитку міст й зростаючі екологічні виклики зумовлюють необхідність переосмислення підходів до реконструкції. Актуалізація використання принципів сталого розвитку, які передбачають забезпечення енергоефективності, екологічної безпеки, економічної доцільності та соціальної відповідальності під час реконструкції будівель, у наш час є необхідною, оскільки глобальні екологічні виклики, зокрема зміна клімату, вимагають зменшення викидів парникових газів і впровадження ресурсозберігаючих технологій у всіх сферах, включаючи будівництво.

Україна приєдналася до світової ініціативи ООН щодо впровадження сталого розвитку та розпочала процес адаптації глобальних цілей (Рис. 1) до національного контексту на період до 2030 року [1], проте зараз ми знаходимося на початковому етапі впровадження цієї концепції. Особливими принципами такого будівництва, що мають враховуватись при реконструкції будівель, є комплексний підхід до проєктування, реалізації та експлуатації об'єкта з урахуванням його впливу на довкілля [2]. Насамперед, це енергоефективність, яка передбачає зменшення споживання енергоресурсів завдяки теплоізоляції, модернізації інженерних систем та використанню відновлюваних джерел енергії. Також важливим є принцип екологічної безпеки, що вимагає використання екологічно чистих, нетоксичних матеріалів і мінімізації утворення будівельних відходів [3]. Економічна доцільність полягає у виборі рішень, які забезпечують ефективне використання ресурсів та зниження витрат протягом життєвого циклу будівлі [4]. Крім того, реконструкція повинна враховувати соціальні аспекти, зокрема забезпечення доступності для всіх категорій населення, збереження культурної спадщини та створення комфортного середовища для проживання і праці.



Рис. 1. Глобальні цілі сталого розвитку України

Сучасне ставлення до реконструкції будівель із врахуванням принципів сталого розвитку має на мені те, що процес реконструкції більше не є лише оновленням фізичного стану будівлі, він тепер став враховувати екологічні й соціальні чинники, що перетворює його на комплексне завдання. Однією з основ таких підходів є ретельне вивчення життєвого циклу будівлі. Тобто це означає, що вплив споруди на довкілля аналізується ще до початку будівельних робіт. Суттєвим є і прагнення зберігати вже наявні конструктивні елементи або повторно використовувати будівельні матеріали, що зменшує обсяг будівельного сміття та витрати на ресурси. Адже це не лише сприяє збереженню архітектурної спадщини, а й відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження.

Запровадження енергозберігаючих технологій також є важливим аспектом екологічної реконструкції. Це можуть бути утеплення огороджувальних конструкції, встановлення енергозберігаючих віконних систем, застосування вентиляції з рекуперацією тепла, використання сонячних батарей або ряд інших джерел відновлюваної енергії. Також не мало важливим у сучасній сталій реконструкції будівель є використання безпечних матеріалів, що не несуть шкоди здоров'ю людини та довкіллю. Це означає відмову від токсичних речовин, а також вибір таких матеріалів, які мають сертифікати екологічності й можуть бути перероблені. Варто додати, що сприятливі умови для мешканців оновлених будівель мають забезпечуватись, а саме: вентиляція приміщень, природне освітлення, стабільний показник температури. Ці параметри найбільше мають впливу на самопочуття та здоров'я людей. Інклюзивності у теперішній час приділяють чималу увагу, адже будівлі мають бути доступними для всіх — незалежно від фізичних можливостей людини чи її віку.

Реконструкція будівель повинна й враховувати усі потенційні ризики, пов'язані з екстремальними погодними явищами на тлі глобальних кліматичних змін. Правильне проєктування та підбір коректних матеріалів забезпечать будівлі стійкість до перегріву, підтоплень чи будь-яких інших негативних впливів зовнішнього середовища.

Висновок

Таким чином урахування принципів сталого розвитку при реконструкції будівель є необхідним кроком для забезпечення енергозбереження, екологічної безпеки та соціальної відповідальності в умовах сучасних глобальних викликів. Застосування енергоефективних технологій, використання екологічно чистих матеріалів, збереження архітектурної спадщини та створення комфортних умов для всіх категорій населення сприяє не лише підвищенню якості життя, а й зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Україна, адаптуючи глобальні цілі сталого розвитку до національного контексту, має можливість реалізувати концепцію сталого будівництва, що допоможе зменшити енергоспоживання, забезпечити безпеку та комфорт в умовах змінюваного клімату, а також сприяти сталому розвитку міст. Перехід до такого підходу в реконструкції будівель дозволить підтримати екологічну рівновагу, створити умови для розвитку інклюзивних, безпечних і стійких міських середовищ.

Список літератури

1. Полтавський національний технічний університет. 74-та конференція. Т.1. – Полтава: ПолтНТУ, 2023. – С. 283-284. URL: https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/11024/1/74-та%20конф%20Т.1-283-284.pdf [Дата звернення: 14.04.2025].
2. Цілі сталого розвитку: Україна. Національна доповідь. Міністерство економіки України, 2017. – Київ, 2017.
3. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) та Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) — міжнародні системи сертифікації сталого будівництва.
4. Державна стратегія регіонального розвитку України на період до 2027 року. – Київ: Кабінет Міністрів України, 2017.

УДК 666.967:620.3(043.2)

П.І. Гришко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз ефективності параметрів модифікації бетону нанотрубками

Проведено аналіз наукових досліджень що до впливу різних параметрів модифікації бетону вуглецевими нанотрубками на міцність бетону. Розглянуті параметри модифікації: розміри нанотрубок, концентрація і спосіб диспергування нанотрубок, вплив добавок. На основі аналізу наукових досліджень визначено ефективність цих параметрів.

Вступ.

Бетон являється основним конструктивним матеріалом у будівництві. Питання підвищення його експлуатаційних характеристик є постійно актуальним питанням. Одним з можливих перспективних напрямків вирішення цього питання є модифікація бетону з використанням нанотехнологій, зокрема, модифікація вуглецевими нанотрубками (ВНТ).

На сьогоднішній день існує велика кількість досліджень впливу модифікації бетону ВНТ на його характеристики. Згідно з проведеними дослідженнями [3,4,5,6], модифікація бетону ВНТ може істотно підвищити його експлуатаційні характеристики, зокрема: міцність бетону на стиск і розтяг, жорсткість, тріщиностійкість і стійкість до агресивного середовища.

Проблематика полягає в великій варіативності, як параметрів модифікації, враховуючи застосування місцевих будівельних матеріалів і тенденцій/технологій будівництва (види та розміри компонентів бетонної суміші, різні типи бетонів, різні способи диспергування ВНТ, наявність різних добавок тощо), так і отриманих результатів досліджень. Окрім того, існують дослідження [2], де не вдалося покращити механічні характеристики бетону за рахунок модифікації ВНТ.

Постановка задачі.

Визначення впливу параметрів модифікації бетону, зокрема: розмірів ВНТ, концентрації та способу диспергування, наявності добавок на підвищення механічних характеристик бетону, як головного критерію ефективності модифікації. Передбачається, що для виготовлення бетонної суміші модифікованого бетону (важкого) будуть використовуватись місцеві будівельні матеріали (портландцемент, річковий пісок і гранітний щебінь). Для модифікації передбачається використовувати багатошарові ВНТ через їх істотно нижчу вартість порівняно з одношаровими.

Результати дослідження.

Розміри ВНТ.

Багатошарові ВНТ, що представлені на ринку, мають діаметр від кількох нм до 100 нм, довжину від 0.5 мкм до 100 мкм. Аналіз досліджень впливу розмірів ВНТ або їх співвідношення сторін на міцність модифікованого ними бетону показує суперечливість результатів досліджень. Деякі дослідження вказують на тенденцію до збільшення міцності бетону на стиск при зменшенні діаметру ВНТ

або збільшення співвідношення сторін [1, 4], разом з тим, при зменшенні діаметру ВНТ зменшується міцність на вигин [1]. Відмічено, що довжина ВНТ має мінімальний вплив на міцність на стиск, а довші ВНТ підвищують значення міцності на вигин [1]. Разом з тим, є результати досліджень [2], що вказують на відсутність значного впливу розмірів ВНТ на ефективність модифікації.

Неоднозначність результатів досліджень впливу розмірів ВНТ на міцність модифікованого ними бетону, може бути пояснена тим фактом, що менші за діаметром і довші ВНТ краще сприяють наноармуванню матеріалу і ефективніше перекривають мікротріщини, але вони більш схильні до агломерації, їх важче рівномірно розподілити по об'єму бетону.

Концентрація ВНТ.

Згідно з результатами більшості досліджень, концентрація ВНТ є одним з головних параметрів ефективності модифікації бетону. В цих дослідженнях, концентрація ВНТ, знаходиться, як правило, в діапазоні значень від 0.01% до 0.2% від маси цементу. Найбільш ефективними концентраціями в розглянутих дослідженнях є значення в діапазоні від 0.05% до 0.1% [3,4,5,6]. В більшості проведених досліджень, збільшення концентрації ВНТ вище певних ефективних значень, приводить до подальшого зменшення міцності бетону. Разом з тим, в дослідженнях, де випробовувались інші типи бетонів (легкі, з геополімерними домішками тощо), величини найбільш ефективних концентрацій ВНТ можуть суттєво різнитись.

Способи диспергування ВНТ.

Основними способами диспергування ВНТ у воді для замішування бетонної суміші є механічне перемішування і ультразвукова обробка. Оскільки ВНТ мають сильну тенденцію до агломерації через сили Ван дер Ваальса, це перешкоджає їх здатності ефективно армувати бетонну матрицю. Основною метою диспергування є подолання цих сил і досягнення рівномірного розподілу окремих ВНТ в бетоні. Ультразвукова обробка є ефективним способом диспергування за умови не перевищення певного часу обробки, після чого міцність модифікованого бетону може знизитись, ймовірно, через пошкодження ВНТ [7].

Наявність добавок.

Дослідження [3,4,7] вказують на ефективність застосування суперпластифікаторів на основі полікарбоксилатного ефіру (ПКЕ) при модифікації бетону ВНТ. Підвищення експлуатаційних характеристик модифікованого бетону при застосуванні суперпластифікаторів відбувається, головним чином, внаслідок покращеного диспергування ВНТ в об'ємі бетонної суміші. Також підвищується стійкість суспензії, пластичність бетонної суміші, знижується водоцементне співвідношення. Відмічається ефективність поєднання ультразвукової обробки водної суспензії ВНТ разом з суперпластифікатором [1].

Висновки.

Аналіз досліджень показав, що ефективність модифікації бетону ВНТ, в тому чи іншому ступені, залежить від прийнятих параметрів модифікації. Дослідження впливу розмірів ВНТ показали суперечність результатів і відсутність значного впливу.

Разом з тим, ключовими факторами ефективності модифікації є:

- концентрація ВНТ: діапазон найбільш ефективних значень концентрації ВНТ для важкого бетону знаходиться в діапазоні від 0.05 до 0.1 % від маси цементу;
- вибір методу диспергування ВНТ і застосування добавок: найбільш ефективним методом диспергування вважається ультразвукова обробка водної суспензії ВНТ разом з суперпластифікатором на основі полікарбоксилату.

Також, можна припустити, що розміри ВНТ, їх концентрація й спосіб диспергування, властивості інших компонентів бетонної суміші, є взаємно пов'язаними параметрами при модифікації бетону і ефективні значення цих параметрів необхідно уточнювати експериментальним шляхом.

Список літератури

1. Mahyar Ramezani, Young Hoon Kim, Zhihui Sun. Mechanical properties of carbon-nanotube-reinforced cementitious materials: database and statistical analysis. Magazine of Concrete Research, June 2019, DOI: 10.1680/jmacr.19.00093
2. Sun, Zhe. Evaluating the effects of carbon nanotubes on concrete. Doctoral dissertation, University of Pittsburgh, 2025, 137p https://d-scholarship.pitt.edu/47065/
3. E.D. Reis, H.F. Resende, A.L. Christoforo, R.M. Costa, F. Gatuingt, F.S.J. Poggiali, A.C.S. Bezerra. Assessment of physical and mechanical properties of concrete with carbon nanotubes pre-dispersed in cement. Journal of Building Engineering. 15 July 2024. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109255
4. Musab Aied Qissab, Shaymaa Tareq. Abbas Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Mechanical Properties of Concrete. Published 2016 Materials Science, Engineering, Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Multi-Walled-Carbon-Nanotubes-on-of-Qissab-Abbas/97fbc1a8ad77552a3f8b935fc2aca08daca5f0f2
5. A. Carriço J.A, Bogas A, Hawreen, M. Guedes. Durability of multi-walled carbon nanotube reinforced concrete. Construction and Building Materials 164 (2018) 121–133 pp. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.221
6. Hawreen, A.; Bogas, J.A. Effect of Multi-Walled Carbon Nanotubes on Mechanical Properties and Microstructure of Concrete. Materials 2019, 12(6). https://doi.org/10.1007/s13369-019-04096-y
7. S. Alrekabi, A. Cundy, A. Lampropoulos, I. Savina. Experimental Investigation on the Effect of Ultrasonication on Dispersion and Mechanical Performance of Multi-Wall Carbon Nanotube-Cement Mortar Composites. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering Vol:10, No:3, 2016. https://cris.brighton.ac.uk/ws/files/396127/document.pdf.

УДК 624.042.8:624.046(043.2)

А.В. Тимощенко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оцінка стійкості висотної каркасно-монолітної будівлі до прогресуючого руйнування за допомогою чисельного моделювання

Досліджено поведінку каркасно-монолітної будівлі при локальній втраті колони за допомогою чисельного моделювання в LIRA-FEM. Порівняно результати розрахунків у квазістатичній та динамічній постановках з урахуванням лінійної та фізично нелінійної поведінки матеріалу. Урахування динаміки та нелінійності підвищує точність оцінки конструктивної поведінки в аварійних умовах.

Після серії світових терористичних актів, зокрема руйнування Всесвітнього торгового центру (WTC) у США у 2001 році, в науковій спільноті активізувалися дослідження, спрямовані на підвищення стійкості будівель до прогресуючого руйнування. Саме з цього часу почали інтенсивно розробляти сучасні підходи до аналітичного, чисельного та експериментального моделювання таких процесів. Особливу увагу зосереджено на впливі втрати окремих вертикальних елементів – колон або стін, здатних ініціювати каскадне руйнування конструкції [4].

Проблема забезпечення стійкості висотних будівель набула нової актуальності в умовах повномасштабної війни в Україні, де внаслідок ракетних обстрілів та вибухових навантажень фіксуються численні локальні пошкодження конструкцій [1]. Показовим прикладом є руйнування житлового будинку на проспекті Лобановського, 6-А в Києві, де вибух призвів до втрати вертикальних несучих елементів і часткового обвалення поверхів.

У сучасних умовах виникає нагальна потреба в удосконаленні методик прогнозування поведінки конструктивних систем, оскільки наразі не існує універсальних алгоритмів оцінювання їх стійкості. Одним із перспективних напрямів дослідження є чисельне моделювання за допомогою програмного комплексу LIRA-FEM, що дає змогу аналізувати сценарії локального руйнування і оцінювати напружено-деформований стан елементів конструкції з урахуванням фізичної та геометричної нелінійностей [1].

У контексті таких розрахунків існує два основні підходи: pushdown і pulldown. Наприклад, згідно з нормативними документами США щодо прогресивного обвалення – UFC 4-023-03: Design of Buildings to Resist Progressive Collapse та GSA Progressive Collapse Guidelines – для квазістатичних розрахунків застосовується частковий pushdown-аналіз, який передбачає збільшення навантаження на горизонтальні елементи, розташовані над видаленою колоною [4]. Для нелінійних динамічних розрахунків використовується частковий силовий pulldown-аналіз, при якому зусилля в елементі, що видаляється, множаться на коефіцієнт динамічності й прикладаються з протилежним знаком [3].

У вітчизняній інженерній практиці більш поширеним є саме pulldown-підхід, який також рекомендується у сучасних методичних підходах, що

ґрунтуються на положеннях ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд».

Для виконання дослідження була побудована чисельна модель 16-поверхової житлової будівлі з монолітним залізобетонним каркасом у програмному середовищі LIRA-CAD. Конструктивна схема включає вертикальні несучі елементи – колони прямокутного перерізу розмірами 600×600 мм – та горизонтальні елементи у вигляді монолітних плит перекриття товщиною 250 мм. Матеріали конструкцій обрано згідно з нормативними вимогами: для колон використано бетон класу С20/25, для плит перекриття – бетон класу С16/20. Армування плит перекриття включає: нижнє та верхнє основне армування сітками ø12 А400С з кроком 200 мм; додаткове армування – 2ø20 А400С з кроком 150 мм як у нижній, так і у верхній зоні перерізу плити. Модель також враховує умови взаємодії споруди з основою – фундамент спирається на пружну ґрунтову основу. Коефіцієнти постелі: С1 – 1962 кН/м3, С2 – 19620 кН/м. Досліджується сценарій локальної втрати несучої здатності крайньої колони на рівні 8-го поверху.

Для порівняння ефективності підходів у межах чисельного моделювання було проведено розрахунок у LIRA-FEM однієї й тієї ж будівлі в квазістатичній постановці з використанням pushdown-методу та в динамічній постановці із застосуванням pulldown-методу. Обидва випадки досліджувалися як у лінійному, так і в нелінійному варіанті розрахунку.

Після втрати несучої колони на 8-му поверсі напруження в плитах перекриття значно зростають у зоні пошкодження. Найбільший вплив локальної втрати колони спостерігається безпосередньо над пошкодженим поверхом і у прилеглих прольотах, що відображено на рисунку 1.

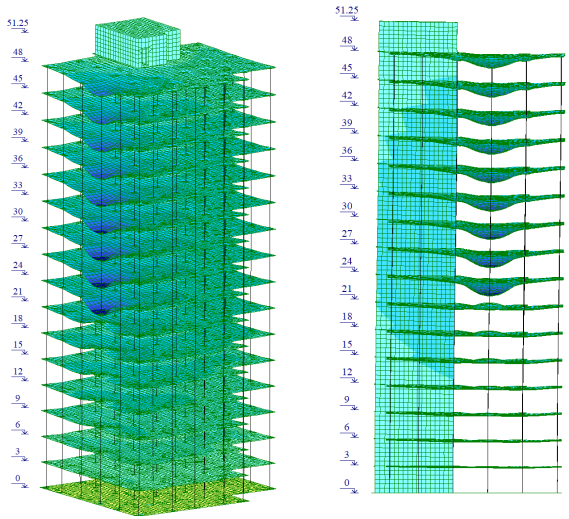


Рис.1. Форма втрати стійкості будівлі

Порівняння лінійного та нелінійного розрахунків у квазістатичній постановці показало, що в умовах локальної втрати колони переміщення плит перекриття є більшими при врахуванні нелінійної поведінки конструкції [2]. Це підкреслює доцільність застосування нелінійного аналізу для більш точної оцінки стійкості споруди у критичних навантажувальних ситуаціях. Відповідні результати переміщень наведені на рисунках 2 і 3.

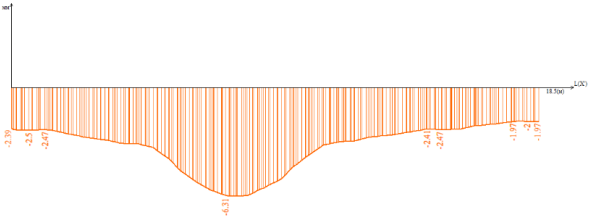


Рис. 2. Ізополя переміщень в плиті перекриття по осі Z
при нелінійному розрахунку

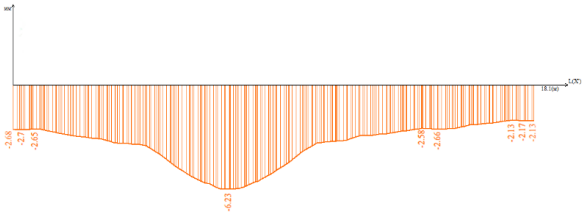


Рис. 3. Ізополя переміщень в плиті перекриття по осі Z
при лінійному розрахунку

Аналогічна залежність спостерігається і в динамічній постановці: зростання переміщень і амплітуд коливань після втрати колони чітко проявляється при переході від лінійного до фізично нелінійного аналізу. Це ще раз засвідчує важливість врахування пластичних властивостей матеріалу при моделюванні аварійних сценаріїв. Результати динамічного розрахунку наведені на рисунках 4 і 5.

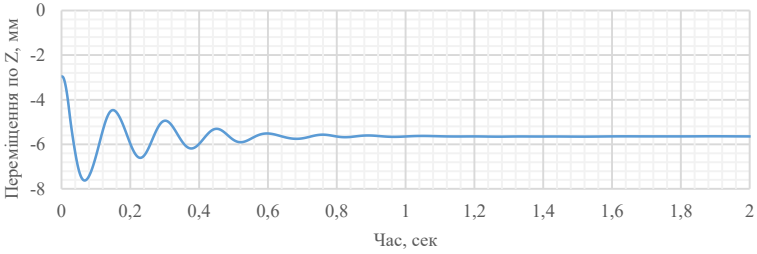


Рис. 4. Графік переміщень плити перекриття по осі Z
при нелінійному динамічному розрахунку

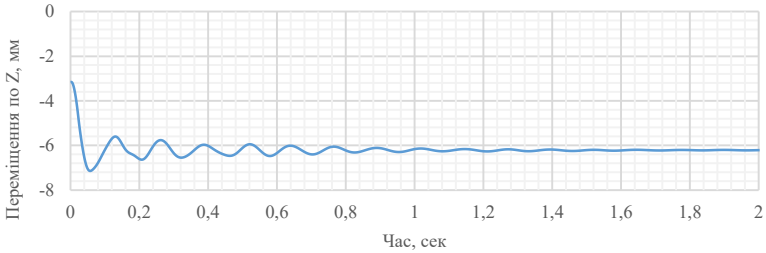


Рис. 5. Графік переміщень плити перекриття по осі Z
при лінійному динамічному розрахунку

Порівняння квазістатичної та динамічної постановок показало суттєві відмінності в поведінці конструкції при втраті колони. У квазістатичному розрахунку не враховуються інерційні ефекти, що призводить до заниження критичних переміщень. Натомість динамічний аналіз дозволяє відтворити реальну швидкість розвитку деформацій та коливань. Урахування фізичної нелінійності в обох випадках призводить до зростання переміщень у плитах перекриття, що свідчить про накопичення пластичних деформацій. Це підкреслює важливість моделювання пластичної поведінки матеріалу для адекватної оцінки залишкової несучої здатності. Застосування обох методів у комплексі забезпечує глибше розуміння механізмів прогресуючого руйнування і дозволяє підвищити точність прогнозування стійкості будівель у критичних ситуаціях.

Список літератури

1. Барабаш М.С., Костира Н.О., Максименко В.П Modeling of Building Structures Resistance to Collapse Failure from Explosive Impact// Advances in Science and Technology – 2024. – Vol. 156. – P.65-74

2. Fatema-Tuz-Zahura, Rahman J., Anila S. A. A comparison of linear static progressive collapse analysis of a typical R.C. framed building with various geometry and configuration of column // Civil Engineering and Architecture. – 2024. – Vol. 12, No. 4. – P. 3094–3114.

3. Melkeneh B., Habte B., Urgessa G. S. Blast-induced progressive collapse analysis: Accounting for initial conditions and damage // Applied Mechanics. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 696–716.

4. Ren P., Li Y., Guan H., Lu X. Progressive collapse resistance of two typical high-rise RC frame-shear wall structures // Journal of Performance of Constructed Facilities. – 2015. – Vol. 29, No. 5.

УДК 643.8:355.58

О.В. Шевченко, PhD, А.В. Рак
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Впровадження мамадів в українське будівництво: адаптація закордонного досвіду до вітчизняних будівельних норм

У статті розглянуто можливість впровадження ізраїльської моделі захисних кімнат мамадів в українське середовище. Зокрема те наскільки технологія відповідає чинному українському законодавству. У висновку демонструється доцільність такого будівництва та розказано про об'єкти в Україні, які вже збудовані за подібною технологією.

Сьогодні Україна переживає серйозні виклики, через регулярні ракетні обстріли, небезпека для цивільного населення зростає щодня. Попри те, що на дворі йде вже четвертий рік повномасштабної війни невирішеною проблемою залишається питання укриттів. Громадські будівлі були вимушені переобладнати підвальні приміщення під укриття, хоча їх якість залишає бажати кращого. Житлові будівлі здебільшого не мають і таких укриттів.

Мамад - форма укриття, що дозволяє людям швидко убезпечитися всередині будівлі, не спускаючись у підвальні приміщення. Вони являють собою монолітний залізобетонний каркас. За своєю конструкцією мамад досить схожий на звичайне ядро жорсткості навколо ліфтової шахти чи сходової клітини, утім є певні особливості. Їх розташовують як мінімум по одній на поверх, хоча здебільшого вони вже є у кожній квартирі. У мирний час його можна використовувати як звичайну кімнату, спальню чи дитячу кімнату, але коли вмикають тривогу, варто лише закрити металеві двері та заслонку на вікні і ваше сховище готове до використання.

В Ізраїлі будівництво захисних кімнат — мамад (абревіатура від merhav mugan dirati – "захищений простір квартири") регулюється суворими державними стандартами, які були запроваджені після війни в Перській затоці у 1991 році. Без запланованого мамада в проєкті міська влада не дасть дозволу на будівництво або не введе будівлю в експлуатацію. У будинках збудованих до 1991 року проводять реконструкцію за програмою «ТАМА 38» або жителі роблять це самотужки.

Основні вимоги до будівництва мамадів:

- мінімальна площа: не менше 9 м² (в залежності від кількості людей в квартирі чи на поверсі);
- висота стелі: не менше 2,5 метра;
- зовнішні стіни та перекриття виготовляються з армованого залізобетону товщиною щонайменше 30 см;
- герметичні металеві двері та сталеві віконниці товщиною 2 см, які витримують вибухову хвилю;
- розташування вікон: на висоті приблизно 1,5 метра від підлоги;

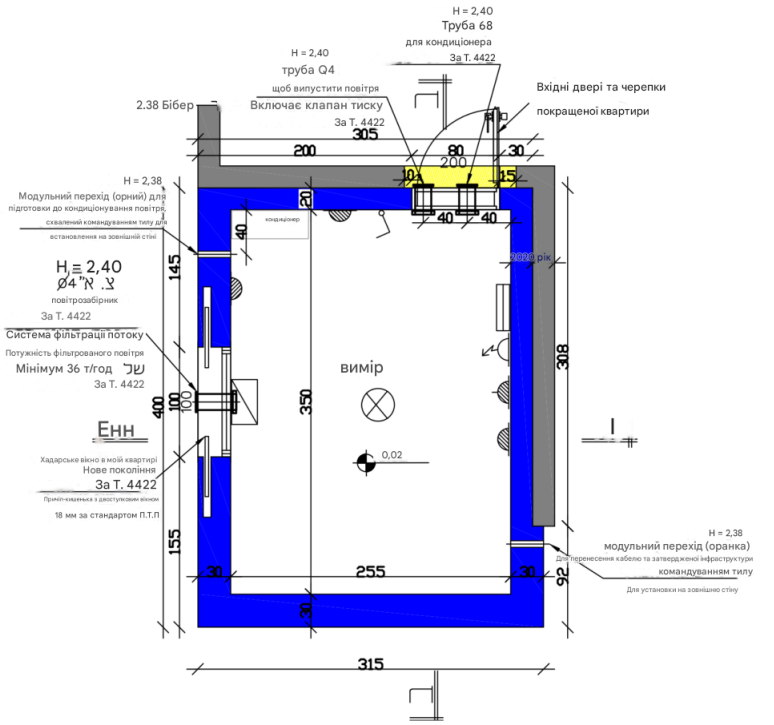


Рис. 1. План захищеної кімнати «мамад» на відмітці +0,020

Чи реально впровадити таку технологію в Україні? Насамперед варто вдатись до законодавства. Для цього порівняємо вимоги до будівництва мамадів з українськими укриттями, а саме ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту». ДБН вимагає захисні конструкції з бетону або залізобетону, товщина також регламентується (залежно від категорії укриття від 20 см і більше). Для 30 см стінки мамаду варто використати бетон важкий класу С35/45. Мінімальна висота стелі за нормами 2,3 м. Як і в ізраїльських так і в українських нормах передбачені сталеві герметичні двері, фільтровентиляційні системи (хоча в Україні не є обов'язковим захист від хімічної зброї). ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» не вимагає обов'язкових віконниць із металу товщиною, але це, на нашу думку пов'язано з тим, що укриття в Україні переважно під землею. Тому питання вікон та світлових отворів вирішується індивідуально мешканцями будинків. При проєктуванні на це може впливати розташування кімнати в плані будівлі. Також важливою відмінністю є регламентована площа. В Ізраїлі це 9 м^2 для кожної квартири. В Україні ж норми вказуються на одну людину 0,6-1 м^2. Утім оскільки ми не зменшуємо цю норму відповідно до будівельних норм, а

збільшуємо то як і з вікнами це питання є індивідуальним і може коригуватись на етапі проєктування будівлі.

На сьогоднішній день в Україні немає широкомасштабного впровадження мамадів за ізраїльським зразком. Однак, деякі забудовники починають враховувати потребу в укриттях безпосередньо в житлових приміщеннях. Наприклад, у проєктах нових житлових комплексів передбачаються безпечні зони на поверхах або в квартирах, що може бути першим кроком до впровадження концепції мамадів.

Висновок

Ізраїльська модель мамадів демонструє ефективний підхід до забезпечення безпеки цивільного населення, інтегруючи захисні споруди безпосередньо в житлові приміщення. Запровадження концепції мамадів в українських реаліях потребує адаптації існуючих будівельних норм, а також врахування економічних та технічних аспектів. Проте, враховуючи постійні загрози та необхідність швидкого укриття, інтеграція захисних кімнат у житлові приміщення може стати важливим кроком у підвищенні безпеки населення. Враховуючи ці тенденції, впровадження мамадів в Україні є перспективним напрямком, який потребує подальшого розвитку нормативної бази та підтримки з боку держави та забудовників.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту»
2. Закон про цивільну оборону Ізраїлю (1951 р.)
3. https://talanx.com.ua/3022-komnati-bezpeki-ta-domashn-bomboubezhischa-v-zrayil-opit-ta-nadya-dlya-ukrayini.html
4. https://isralove.org/load/36-1-0-3595

УДК 264.014.2

І.І. Годзинський, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Проблеми практичного використання двотаврових балок змінної жорсткості з перфорованою стінкою в будівництві

Розглянуто проблеми проєктування сталевих двотаврових балок змінної висоти з перфорованою стінкою, шляхи вирішення та оптимізації процесу проєктування конструкцій з перфорованою стінкою.

Процес проєктування та підбору перерізів металоконструкцій за допомогою CAE-систем зазвичай має ітераційний характер. В статично-невизначуваних схемах зусилля та деформації, які виникають в елементах, напряму залежать від жорсткостей цих елементів. Відповідно, після зміни перерізів виконується повторний розрахунок скінченно-елементної моделі, і виконується перевірка нових перерізів на відповідність виконанню вимог першого та другого граничних станів вже на нові зусилля та деформації. Підбір перерізів може виконуватись за сотні ітерацій, під час кожної з яких програмний комплекс визначає зусилля і деформації в стрижнях, перевіряє несучу здатність кожного елементу системи, і виводиться результат на екран для подальшого аналізу інженера.

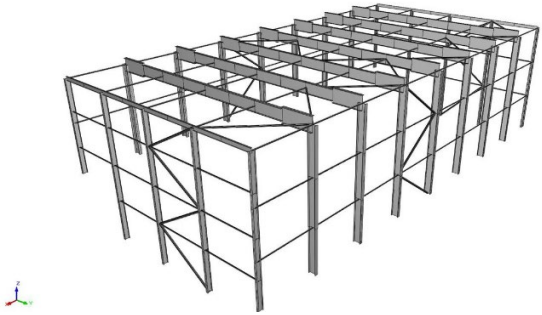


Рис. 1. Приклад розрахункової схеми просторового каркасу в програмному комплексі SCAD Soft

В зв’язку з суттєвими змінами в виробничих можливостях вітчизняного металопрокату в Україні, використання імпортних сортаментів прокатних двотаврів, зокрема профілів висотою більше 450 мм, стає все більш економічно вигідним. Одночасно з цим збільшення висоти перерізу за рахунок розрізання стінки з подальшим зварюванням і утворенням перфорацій в стінці, дає можливість зменшувати матеріалоємність конструкції. З іншої сторони, це незначною мірою збільшує трудові затрати на виготовлення та контроль якості. А розрізання стінки балки не вздовж полиць, а під деяким кутом, дає можливість

робити змінну висоту стінки двотаврового перерізу з перфорацією стінки, що при правильному проєктуванні може додатково зменшити витрати сталі, майже не змінюючи затрати на роботу з розрізання і подальшого зварювання стінки балки.

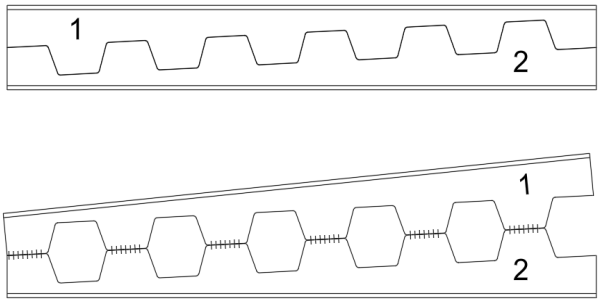


Рис. 2. Схема створення балок з перфорованою стінкою зі змінною висотою перерізу

Дослідження напружено-деформованого стану двотаврових балок з перфорованою стінкою показують, що математична модель такої балки, створена методом скінченних елементів в програмних комплексах SCAD Soft, ЛІРА та ANSYS, має несуттєві відхилення від експериментальних результатів досліджень. Це дає змогу в великій мірі покладатись на результати математичної моделі, і використовувати розрахунок для підбору перерізів. З однієї сторони, математична модель допоможе дослідити концентраційні напруження, найбільш раціональні геометричні форми та розміри перфорацій відповідно до точок прикладання навантажень тощо. З іншої сторони, робота балки в ізольованому середовищі без впливу інших конструкцій, змодельована методом скінченних елементів, відірвана від реальної просторової схеми каркасу, значно ускладнює використання таких балок проєктувальником. Тому необхідно дослідити та представити механізм моделювання жорсткості двотавра з перфорованою стінкою еквівалентним перерізом постійної жорсткості, що дасть можливість проєктувальнику користуватись звичайною стрижньовою просторовою схемою каркасу для підбору перерізів всіх конструкцій.

Іншою проблемою, з якою може стикнутись проєктувальник на етапі проєктування таких балок, є відсутність рекомендацій щодо розкрою та конфігурації балок відповідно до навантажень і впливів. Очевидним є те, що стінка має мати перемичку в місцях передачі вертикальних зусиль від прогонів покриття, або другорядних балок в балковій клітині. При цьому ширина утворених перемичок стінки, їх крок і можлива висота утвореної балки ніяким чином не регламентується нормативними документами, а рекомендації щодо цього питання відсутні. Існує патент на корисну модель, який розкриває особливості геометричної побудови таких балок, але не розкриває рекомендацій по роботі конструкції [1]. З іншої сторони, є дослідження двотаврових балок з перфорованою стінкою, які наводять деякі рекомендації, виходячи з напружено-

деформованого стану, такі як форма вирізів, концентраційні напруження в кутах порізки, напруження навколо крайнього вирізу, який обумовлений достатньо високим зсувним зусиллям біля опор балки [2]. При зменшенні кількості параметрів, які впливають на геометрію і роботу балки, спонукатиме проєктувальника охочіше використовувати такі балки в повсякденній роботі, опираючись на готові рішення з генерації лінії різу.

Третя проблема, з якою може стикнутись проєктувальник – це відсутність бажання і часу для виконання розрахунку двотаврової балки з перфорованою стінкою методом скінченних елементів. Наприклад, у випадку зміни початкового прокатного двотавру з IPE 360 на IPE 400, досвідчений проєктувальник має витратити майже цілий робочий день, щоб перевірити напруження і деформації в утвореній балці. Для вирішення даної проблеми, можна створити параметризовану модель двотаврової балки з перфорованою стінкою методом скінченних елементів, виконати сотні або тисячі розрахунків таких балок з різними параметрами, і за допомогою великої кількості розмічених даних, створити штучну нейронну мережу, яка буде для конкретної конфігурації балки з конкретними геометричними параметрами видавати запас несучої здатності, прогини та інші необхідні для подальшого розрахунку характеристики. І ця нейромережа здатна видавати результат для попередньо порахованих балок за лічені секунди. Звісно, параметри, які може задати проєктувальник, повинні бути достатньо обмеженими, і достатньо близькими до тих, з якими було виконано реальний розрахунок в процесі підготовки розмічених даних, щоб нівелювати великі розбіжності за межами розмічених даних.

Створення спеціалізованого макросу для системи ЛІРА або SCAD Soft може звести роботу проєктувальника з балками з перфорованою стінкою до звичної рутини з підбору перерізів в стрижньовій моделі каркасу, аналогічної до традиційних прокатних перерізів.

Висновок

Актуальність дослідження продиктована особливостями стану металургії України протягом останніх років. З метою популяризації ефективних перфорованих двотаврових балок запропоновано практичні рішення спрощення роботи проєктувальника методами автоматизації комп'ютерних розрахунків. Запропоновані рішення дозволяють економити металопрокат з незначним збільшенням трудозатрат проєктувальника.

Список літератури

1. UA141171U. Патент на корисну модель «Спосіб виготовлення полегшених балок»
2. Підгурський І.М., Слободян В.В., Підлужний О.М., Биків Д.З., Підгурський М.І., МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМІВНОГО СТАНУ БАЛОК З РІЗНОЮ ПЕРФОРАЦІЄЮ СТІНКИ

UDC 625.7:624.9:005.93

M.A. Kostiuchenko, B.Eng., A.V. Makhinko, Prof.
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Modular Transit Infrastructure: An Assessment of Inclusive Design Potential

This study evaluates the role of modular, prefabricated transit infrastructure in enhancing accessibility and inclusivity within urban environments. Focusing on steel frame construction and rubber floor tile systems, the research highlights structural adaptability, rapid deployment, and durability.

Current urban transit infrastructure typically consists of basic shelters, generally comprising a metal frame with a roof anchored to the pavement, along with seating arrangements. However, these structures present several limitations, particularly concerning accessibility. Even low-floor vehicles, which are designed to improve access for individuals with mobility challenges, often maintain a step height from the pavement, complicating seamless boarding.

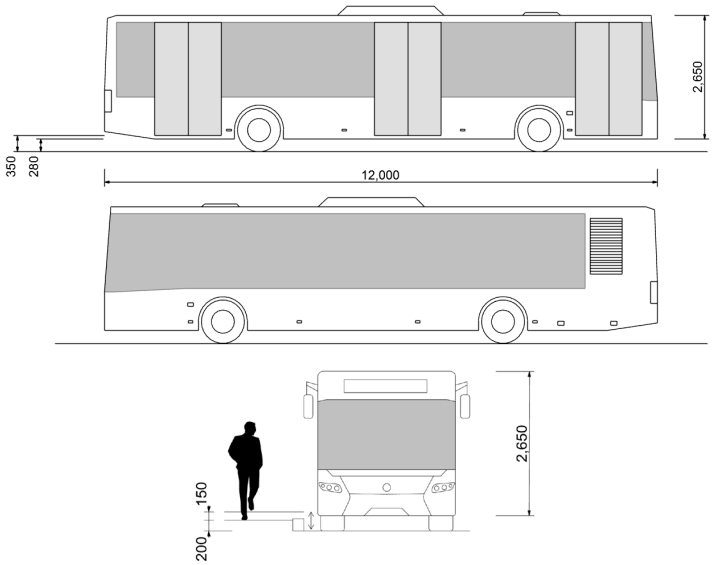


Fig. 1. Typical transit vehicle dimensions

Using the LAZ-12 trolleybus, a standard urban transit vehicle in Kyiv, as an example, it is evident that its floor height stands at 350 mm. According to the state code Streets and Roads of Settlements DBN V.2.3-5:2018, the height of transport stops

should fall within the range of 200–250 mm. However, a recent public evaluation highlighted that the prevailing height of landing decks in many areas is up to 150 mm or lower, depending on the location. This discrepancy creates significant accessibility challenges for passengers, particularly those using wheelchairs or other mobility aids.

Some of the exemplary vehicles are designed to try to improve accessibility for passengers with disabilities, specifically those using wheelchairs. Some are equipped with a retractable ramp located opposite the middle doors, which, in newer models, extends from beneath the floor to allow wheelchair users to board. However, relying on a manual process to deploy the ramp is inherently flawed. The driver must open the hatch and extend the ramp, which not only slows down the boarding process but also introduces the potential for delays, traffic congestion, and operational inefficiencies. The necessity for the driver's intervention makes the process unreliable and prone to disruption, especially during high-traffic periods. Furthermore, the ramp's functionality depends on the presence and condition of the hatch, which may not always be present or fully operational. This makes the entire system a poor solution from the outset, as it disrupts the flow of passengers and compromises the vehicle's overall efficiency. Although newer models feature reinforced ramps, which are potentially capable of supporting larger loads, the basic design flaw — requiring manual activation — remains unresolved. The low-floor design of the vehicle does facilitate easier boarding for individuals with strollers, but this still does not eliminate the significant accessibility barriers posed by the ramp system. In practice, the ramp solution is more of an impediment than a genuine solution to accessibility challenges.

While the most straightforward solution would involve raising all pavements to meet the specified height standards, the associated costs are prohibitively high. An alternative, more feasible solution lies in the development of a modular transit station system. This system utilizes a steel C-section frame (90x40x5mm) with dimensions of 2000x2000mm, featuring square 50x50x5mm tubes acting as beams. The top surface of these modules is covered with a steel sheet, providing a stable base for rubber flooring similar to that used in children's playgrounds, offering a durable and slip-resistant surface.

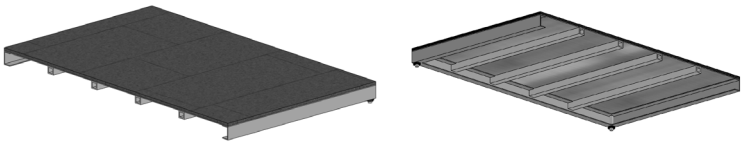


Fig. 2. Isometric views of the conceptual module

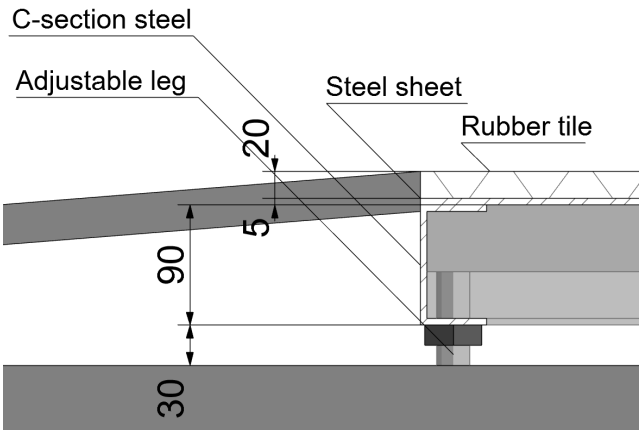


Fig. 3. Cross section of the conceptual module

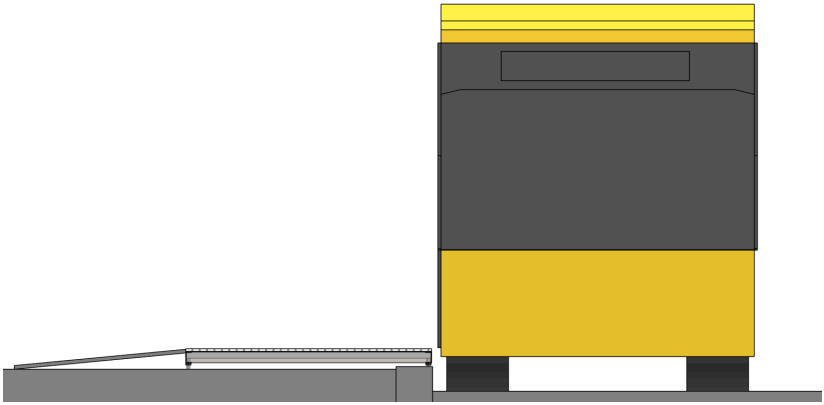


Fig. 4. Exemplar use of the conceptual module with hinged ramp

These modular units can be easily assembled on-site using tension fasteners and are equipped with adjustable legs, allowing for precise adjustment to accommodate pavement irregularities and slopes using a nut wrench.

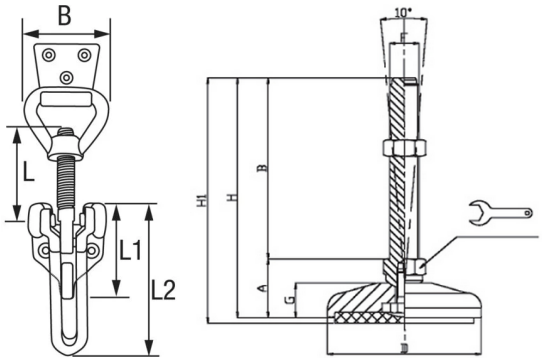


Fig. 5. a) Fastener and b) adjustable leg diagrams

Additionally, these modules feature attachment slots, enabling the integration of standalone components such as roof structures and seating, which can be securely anchored to the pavement with bolted connections. This proof-of-concept solution provides a practical and cost-effective means of mitigating accessibility challenges without the need for extensive and expensive infrastructure overhauls.

Conclusion

The current state of transit infrastructure in Ukrainian cities demonstrates a significant gap between accessibility standards and real-world implementation. Solutions such as deployable ramps on low-floor vehicles, while well-intentioned, represent inefficient and unsustainable practices that introduce delays and mechanical vulnerabilities. Modular transit platforms offer a practical, cost-effective alternative that aligns with both state regulations and universal design principles. By standardizing boarding heights and integrating flexible, prefabricated systems, municipalities can significantly enhance accessibility without resorting to costly urban reconstruction.

References

1. Ministry for Regional Development, Construction and Housing of Ukraine. (2018). *State Building Norms V.2.3-5:2018: Streets and roads of settlements*.

2. Informator. (2023, August 22). *Does the curb height in Kolomyia comply with building codes?* Retrieved from https://kl.informator.ua/uk/chy-vidpovidaye-vysota-trotuaru-na-parkovkah-u-kolomyyi-budivelnym-normam

3. Litman, T. (2021). *Evaluating accessibility for transportation planning*. Victoria Transport Policy Institute. https://www.vtpi.org/access.pdf

4. Heylighen, A., & Devlieger, P. (2020). *Designing for inclusive public space: Learning from disability experience*. Journal of Urban Design, 25(3), 365–384.

5. Imrie, R., & Luck, R. (2021). *Designing inclusive spaces: Placemaking and urban design*. Routledge.

УДК: 655.5:004.4 (043.2)

О.В. Матвійчук-Юдіна, к.п.н., доц., О.А. Бобарчук, к.т.н., А.А. Язвінська
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Міжнародні вимоги до адаптивного дизайну друкованих та електронних навчальних видань

Навчальні видання мають відповідати потребам різних категорій користувачів, включаючи осіб із порушеннями зору, слуху та когнітивними особливостями. Міжнародні стандарти, такі як ISO, WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) та EPUB Accessibility, забезпечують вимоги до адаптивності друкованих і електронних видань, що робить їх доступнішими для широкого кола читачів. Дослідження стандартів дизайну дозволяє оптимізувати процес розробки навчальних видань та покращити їх якість відповідно до світових тенденцій. В дослідженні систематизовано міжнародні стандарти адаптивного дизайну та розглянуто їх застосування у створенні друкованих і електронних навчальних видань. Аналізуються сучасні підходи до забезпечення доступності навчальних видань відповідно до міжнародних вимог, що є актуальним у контексті розвитку цифрової освіти.

З ростом популярності електронних та адаптивних навчальних видань, які повинні бути доступними та зручними на різноманітних пристроях, виникає необхідність дотримання міжнародних стандартів дизайну таких публікацій. Адаптивний дизайн друкованих та електронних навчальних видань став важливим аспектом, що забезпечує доступність і зручність сприйняття інформації для користувачів з різними пристроями та платформами.

Навчальні видання з адаптивним, універсальним дизайном мають на меті покращення функціональності та доступності контенту на різних пристроях, від персональних комп'ютерів до мобільних телефонів, при цьому враховуючи особливості користувачів з обмеженими можливостями. Міжнародні вимоги стандартів та керівництва допомагають видавцям і розробникам створювати ресурси, які не тільки підтримують багато-платформеність, а й відповідають вимогам щодо інклюзивності та універсальності для всіх користувачів.

Мета дослідження полягає у розгляді основних міжнародних вимог до адаптивного дизайну друкованих та електронних навчальних видань, визначення їх впливу на якість. Дослідження спрямовано на виокремлення міжнародних вимог до адаптивного і універсального дизайну, які застосовуються при створенні друкованих та електронних навчальних видань, а також на виявлення практичних аспектів дотримання даних вимог у видавничих процесах.

Сучасні електронні навчальні видання якими користуються користувачі зі спеціальними пристроями (ПК, смартфони, планшети), створені операційними системами відповідно вимогам стандартів. Важливою складовою проблематики є адаптація контенту до різних розмірів екранів і технічних характеристик пристроїв, що вимагає застосування інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів. Враховуючи дані аспекти, важливо розглянути

міжнародні стандарти та вимоги до адаптивного дизайну, які допомагають не лише забезпечити комфортне використання навчальних видань, а й проблему доступності для всіх учасників навчального процесу. В Таб.1 виокремлено основні міжнародні вимоги до адаптивного та універсального дизайну, які застосовуються при створенні друкованих та електронних навчальних видань

Таблиця 1

Міжнародні вимоги до адаптивного та універсального дизайну видань

Серія	**Назва**	**Зміст**
ISO 30042:2019	Управління термінологією в електронних публікаціях	Визначає вимоги до термінологічних баз даних у видавничій справі.
		Забезпечує уніфікованість термінології у навчальних виданнях.
		Включає вимоги до метаданих для підвищення доступності контенту.
ISO 14289-1:2014	Доступний формат PDF (Universal Accessibility)	Визначає вимоги до створення PDF-документів, які підтримують екранні читачі та інші допоміжні технології.
		Передбачає використання семантичних тегів, текстових описів зображень (альтернативний текст), коректної структури документа.
ISO/IEC 40500:2012	Веб-контент та його доступність	Встановлює принципи доступності веб-ресурсів, зокрема електронних навчальних видань.
		Включає вимоги до кольорового контрасту, адаптивного тексту, можливості керування без миші, а також альтернативних описів для мультимедійних об’єктів.
		Має чотири основні принципи: сприйнятливість, керованість, зрозумілість та надійність
ISO/IEC 23736 EPUB	Доступність електронних книг у форматі EPUB	Визначає вимоги до електронних публікацій у форматі EPUB, що забезпечують їхню адаптивність для людей із обмеженими можливостями.
		Передбачає використання масштабованого тексту, сумісність із екранними читачами, можливість керування жестами та голосовими командами.
ISO 12647	Контроль якості друку	Охоплює стандартизацію кольорового профілю, точності відтворення шрифту, контрасту та загальної якості друкованої

		продукції.
		Визначає параметри, які впливають на читабельність друкованих навчальних матеріалів.

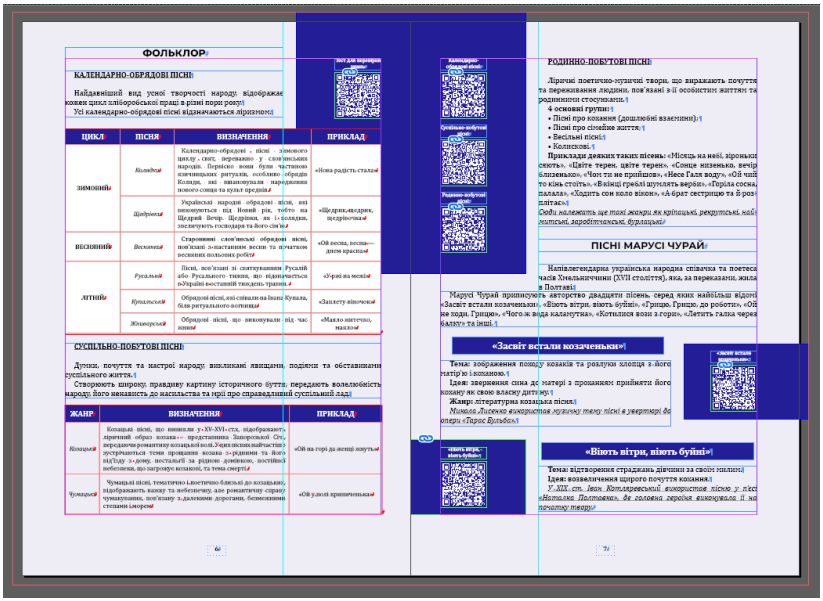
На практиці ведучі видавництва світу, наприклад, такі як Cambridge University Press і Pearson (Велика Британія), впроваджують стандарти, що сприяють доступності, WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) та EPUB Accessibility, що є для забезпечення рівного доступу до інформації всім користувачам. Світові видавничі компанії здійснюють заходи по дотриманню принципів контрастності, якісного верстання та великого міжрядкового інтервалу.

Оскільки матеріал для користувачів у цифровому просторі сприймається по різному, видавці намагаються забезпечити можливості змінювати розмір шрифту та кольорову схему без втрати читабельності, додають альтернативного тексту до ілюстрацій, що важливо для екранних читачів. Наприклад, підтримка у форматі EPUB 3 реалізована під масштабований текст та налаштування контрастності, що широко використовується в навчальних посібниках, таких як Oxford University Press та Cambridge University Press .

Крім того, видавці активно впроваджують альтернативний текст (alt-text) для ілюстрацій, що є невід'ємною частиною доступності для користувачів, які користуються екранними рідерами. Наприклад, у цифрових підручниках та інтерактивних посібниках від Pearson Education передбачено описи графіків, схем та зображень, що значно підвищує доступність для читачів із вадами зору.

Додатково деякі електронні видання інтегрують функцію зміни між світлою та темною темою, що сприяє комфорту читання при різних умовах освіти. Такі можливості реалізовані в багатьох популярних електронних бібліотеках, наприклад, у Kindle (Amazon) та Apple Books, що дозволяє користувачам індивідуально використовувати параметри читання. Проте на практиці далеко не всі видавці в змозі підтримувати вимоги стандартів до адаптивного дизайну друкованих та електронних навчальних видань, що є бар'єром у навчальному процесі для певних категорій користувачів.

На Рис.1. представлено приклад розробленого навчального видання, що відповідає міжнародним вимогам адаптивного дизайну друкованих та електронних навчальних ресурсів. Орієнтоване на школярів старших класів та осіб із особливими освітніми потребами. Електронна версія містить інтегровані відео- та аудіоматеріали, QR-коди до додаткових ресурсів та тестові завдання, що підвищують рівень засвоєння матеріалу; вміст із гіперпосиланнями, марковану структуру та індекси, що забезпечує швидкий доступ до необхідного розділу як у друкованому, так і в електронному варіанті.



ФОЛЬКЛОР

КАЛЕНДАРНО-ОБРЯДОВІ ПІСНІ

Найдавніший вид усної творчості народу: відображає кожен цикл хліборобської праці в різні пори року.
Усі календарно-обрядові пісні відзначаються ліризмом.

ЦИКЛ	ПІСНЯ	ВИЗНАЧЕННЯ	ПРИКЛАД
ЗИМОВИЙ	*Колядки*	Календарно-обрядові пісні зимового циклу, свят, перевазно у слов'янських народів. Перейшло вони були частково язичницьких ритуалів, особливо обрядів Коляди, які виконували наприкінці нового сонця та культ предків.	«Нова радість стала»
	Щедрівки	Українські народні обрядові пісні, які виконуються під Новий рік, тобто на Щедрий Вечір. Щедрівки, як і колядки, засвідчують господаря та його сім'ю.	«Щедрик, ведрик, щедрівочка»
ВЕСНЯНИЙ	*Веснянки*	Старовинні слов'янські обрядові пісні, пов'язані з настанням весни та початком весняних польових робіт.	«Ой весна, весна — днем красна»
ЛІТНІЙ	*Русальні*	Пісні, пов'язані зі святкуванням Русалій або Русального тижня, що відзначається в Україні восьмий тиждень травня.	«У гаю на мене»
	Купальські	Обрядові пісні, які співали на Івана Купала, біля ритуального вогнища.	«Заплету віночок»
	Жниварські	Обрядові пісні, що виконували під час жнив.	«Маю жниченьку, маю»

СУСПІЛЬНО-ПОБУТОВІ ПІСНІ

Думки, почуття та настрої народу виникали явищами, подіями та обставинами суспільного життя.

Створюють широку правдиву картину історичного буття, передають волелюбність народу, його ненависть до насильства та мрії про справедливий суспільний лад.

ЖАНР	ВИЗНАЧЕННЯ	ПРИКЛАД
Козацькі	Козацькі пісні, що виникли у XV-XVI-стл. відображають ліричний образ козака — представника Запорозької Січі, передаючи романтику козацької волі. Часто пісня найчастіше зустрічаються теми прощання козака з рідними та його від'їзду з дому, поставлі за рідною домівкою, постійні небезпеки, що загрожує козакові, та тема смерті.	«Ой на горі да женці жнуть»
Чумацькі	Чумацькі пісні, тематично і емоційно близькі до козацьких, відображають важку та небезпечну, але романтичну сторону чумакування, пов'язану з далекими дорогами, безмежними степами і морем.	«Ой у полі криниченька»

РОДИННО-ПОБУТОВІ ПІСНІ

Ліричні поетично-музичні твори, що виражають почуття та переживання людини, пов'язані з її особистим життям та родинними стосунками.

4 основні групи:
- Пісні про кохання (дошлюбні взаємини)
- Пісні про сімейне життя
- Весільні пісні
- Колискові

Приклади деяких таких пісень: «Місяць на небі, зіроньки сяють», «Цвіте терен, цвіте терен», «Сонце низенько, вечір близенько», «Чом ти не прийшов», «Несе Галя воду», «Ой чий то кінь стоїть», «Вийшли гребці шукать верби», «Горіла сосна, палала», «Ходить сон коло вікон», «А брат сестрицю та й розплітає».

Свої належить ще такі жанри як кріпацькі, рекрутські, найомитські, заробітчанські, бурлацькі.

ПІСНІ МАРУСІ ЧУРАЙ

Напівлегендарна українська народна співачка та поетеса часів Хмельниччини (XVII століття), яка, за переказами, жила в Полтаві.

Марусі Чурай приписують авторство двадцяти пісень, серед яких найбільш відомі «Засвіт встали козаченьки», «Вісють вітри, вісють буйні», «Грицю, Грицю, до роботи», «Ой на воді, Грицю», «Чого-ж вода калинуна», «Котилися вози з гори», «Летить галка через балку» та інші.

«Засвіт встали козаченьки»

Тема: зображення походу козаків та розлуки хлопця з його матір'ю і коханою.

Ідея: звернення сина до матері з проханням прийняти його кохану як свою власну дитину.

Жанр: література козацька пісня.

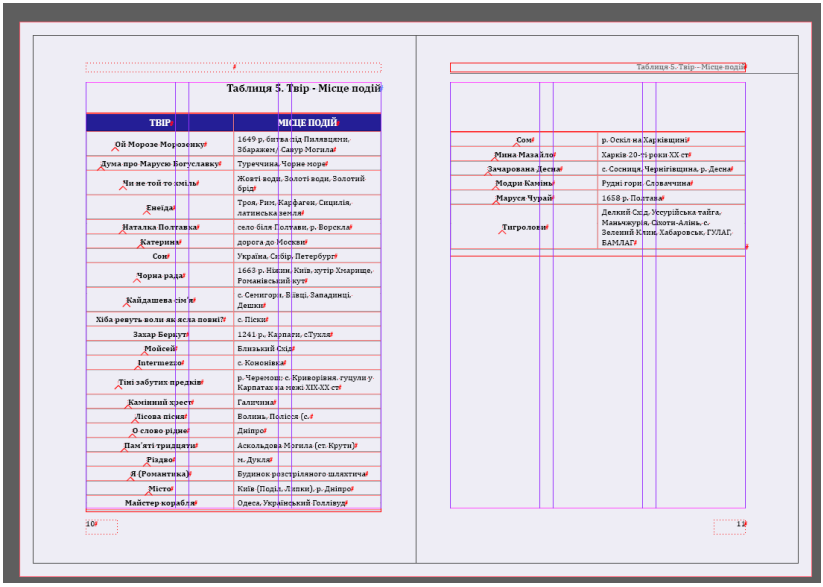
Микола Лисенко використав музичну тему пісні в увертюрі до опери «Тарас Бульба».

«Вісють вітри, вісють буйні»

Тема: відтворення страдницьких почуттів дівчини за своїм милим.

Ідея: возвеличення щирого почуття кохання.

У XIX ст. Іван Котляревський використав пісню у п'єсі «Наталка Полтавка», де головна героїня виконувала її на початку твору.



Таблиця 5. Твір - Місце подій

ТВІР	МІСЦЕ ПОДІЙ
Ой Морозе Морозенку	1649 р. битва під Пилявцями, Збаражем, Самар Могила
Дума про Марусю Богуславку	Туреччина, Чорне море
Чи не той то хміль	Жовті води, Золоті води, Золотий брід
Енеїда	Троя, Рим, Карфаген, Сицилія, латинська земля
Наталка Полтавка	село біля Полтави, р. Ворскла
Катерина	дорога до Москви
Сон	Україна, Сибір, Петербург
Чорна рада	1663 р. Ніжин, Київ, лутір Хлварище, Романівський кут
Кайдашева сім'я	с. Семигорії, Вівці, Западинці, Дешки
Хіба ревуть воли як ясла повні?	с. Писки
Захар Беркут	1241 р., Карпати, сТухлі
Мойсей	Близький Схід
Інтегнеєсо	с. Комонінка
Тіні забутих предків	р. Черемош: с. Криворівня, гуцули у Карпатах на межі XIX-XX ст
Кам'яний хрест	Галичина
Лісова пісня	Волинь, Полісся (с.
О слово рідне	Дніпро
Пам'яті тридцяти	Аскольдова Могила (ст. Крути)
Різдво	м. Дукля
Я (Романтика)	Будинок розстрільного шляхтича
Місто	Київ (Поділ, Липки), р. Дніпро
Майстер корабля	Одеса, Український Голлівуд

Сом	р. Оскіл на Харківщині
Мина Мазайло	Харків 20–ті роки XX ст
Зачарована Десна	с. Сосниця, Чернігівщина, р. Десна
Модри Камінь	Рудні гори, Словаччина
Маруся Чурай	1658 р. Полтава
Тигролови	Дельний Схід, Уссурійська тайга, Манжурія, Спорт-Алінь, с. Зелений Клин, Хабаровськ, ГУЛАГ, БАМЛАГ

Рисунок 1. Навчальне видання з адаптивним дизайном для друкованого та електронного навчального ресурсу

Висновок: В результаті проведеного аналізу міжнародних стандартів щодо створення видань з адаптивним дизайном, можна констатувати збільшення потреби в доступних навчальних виданнях в інформаційному просторі, що підвищує ефективність сприйняття навчального матеріалу. Врахування міжнародних стандартів, таких як EPUB Accessibility, PDF/UA, ISO 30042 тощо, дозволяє створювати друковані та електронні навчальні матеріали, які потребують різні категорії користувачів, зокрема осіб з особливими освітніми потребами

Список літератури

1. Олійник В. Друкована та електронна книги: відмінності дизайн-формату / В. Олійник // Актуальні проблеми сучасного дизайну : збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 27 квітня 2023 року. – У 2-х т. – Т. 1. – Київ : КНУТД, 2023. – С. 92-95.

2. Азін В. О., Байда Л. Ю., Грибальський Я. В., Красюкова-Еннс О. В. Доступність та універсальний дизайн : навч.-метод. посіб./ за заг. ред. Байди Л. Ю., КрасюковоїЕннс О. В. — К., 2013. —128с

3 El-Sabah, H. A. (2021). Adaptive E-Learning Environment Based on Learning Styles and Its Impact on Student Engagement Development**.** *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(53), 1-24. doi:10.1186/s41239-021-00289-4.

УДК: 007.1:004.6+343.98-057.87 (043.2)

О.В. Матвійчук-Юдіна, к.п.н., доц., А.В. Пухтій
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Роль штучного інтелекту в синтезі сучасного рекламного відеоконтенту

У роботі досліджується роль штучного інтелекту у створенні сучасного відеоконтенту та його вплив на розвиток цифрової індустрії. Розглянуто можливості штучного інтелекту в маркетингу 5.0 для персоналізації пропозицій, аналізу споживацької поведінки та прогнозування трендів у постобробці. Особливу увагу приділено автоматизованій генерації відео за допомогою алгоритмів глибокого навчання, нейромереж та комп'ютерного зору. Наведено приклади використання інструментів даної інноваційної технології контент-мейкерами у створенні рекламних роликів, музичних кліпів, інтерактивного контенту для соцмереж, а також у кіновиробництві. Окреслено перспективи подальшого розвитку та етичні виклики, пов'язані з використанням штучного інтелекту у сфері постобробки.

Цифровий простір сучасності соціальних мереж функціонує як ключові посередники комунікації між користувачами та відповідними онлайн-платформами. Окрім забезпечення можливості для дозвілля через перегляд візуального контенту, данні платформи надають значний потенціал для самопрезентації та активної участі в стратегіях інтернет-маркетингу, де все більшу роль відіграє штучний інтелект у синтезі сучасного рекламного відеоконтенту.

Розміщення публікацій у мережі Інтернет часто сприяє процесам соціальної ідентифікації, дозволяючи індивідам демонструвати власні моделі поведінки та активно долучатися до обговорення суспільно значущих питань. У зв'язку з цим, значна частина дослідників підтримує думку, що комплексний аналіз профілю особи, товару або послуги в соціальних мережах надає можливість отримати вичерпну інформацію про них.

Мета дослідження охоплює визначення потенціалу штучного інтелекту (ШІ) у процесі створення сучасного рекламного відеоконтенту. Зокрема, передбачається аналіз впливу технологій ШІ на ефективність, креативність та оптимізацію рекламних відеоматеріалів, а також виявлення перспектив, пов'язаних з застосуванням в інтернет-маркетингу.

Сучасні тенденції інтернет-комунікації характеризуються значним впливом актуальних трендів, що підтверджується спостереженнями. Зокрема, український копірайтер та експерт у сфері маркетингу і реклами Денис Каплунов акцентує увагу на цьому явищі, зазначаючи: «Покажи, що ти публікуєш, і я скажу, хто ти такий» [1, с 13]. Унаслідок цього бренди мають дотримуватися так званих «правил гри», щоб залишатися актуальними на ринку. Проте, це може спричинити до перенасичення онлайн-платформ одноманітним контентом, що ускладнює виділення продукту серед конкурентів. Це спонукає компанії шукати нові способи оптимізації

виробництва контенту без втрати його якості та досягнення якомога менших збитків.

Щодо еволюції сучасного маркетингу, то, згідно з спостереженнями відомих зарубіжних фахівців Філіпа Котлера, Хермавана Картаджайя та Айвена Сетьявана, наразі спостерігається тенденція, яка свідчить про необхідність інтеграції передових технологій у маркетингові стратегії, тактики та операційну діяльність компаній для повноцінного використання потенціалу. [2, с.10].

У контексті вищезазначеного, ключову роль починає відігравати штучний інтелект як передова інноваційна технологічна система. На нашу думку, штучний інтелект у парадигмі маркетингу 5.0 являє собою інноваційну технологічну систему, що забезпечує можливість генерації персоналізованих пропозицій та контенту в рекламній діяльності, а також автоматизує процес аналізу поведінки та потреб споживачів.

На сьогоднішній день існує значна кількість інструментів, що базуються на технологіях штучного інтелекту. У межах даного дослідження буде розглянуто найбільш поширені з них, які активно застосовуються фахівцями у сфері маркетингу та контент-мейкінгу, з подальшим аналізом їх функціоналу на конкретних прикладах.

Контентмейкер Анна Баум здобула визнання як провідний фахівець у сфері застосування нейронних мереж, активно використовуючи інструменти штучного інтелекту, зокрема «Runaway», «Domo AI» та «Immersity AI» (Таб.1.) Завдяки подібним технологіям авторка створює інноваційні рекламні матеріали та відеоконтент для соціальних мереж, що сприяє розвитку сучасних підходів до цифрового маркетингу [3].

Таблиця 1

Характеристика програмних засобів ШІ для обробки відео

Назва	**Можливості**
Runway	комплексна платформа для креативного контенту, що використовує ШІ для створення та редагування відео, зображень і анімацій. Автоматично видаляє фони, замінює об'єкти у відео, стилізує зображення, створює анімовані сцени та використовує генеративні моделі для швидкого редагування контенту.
Domo AI	платформа для бізнес-аналітики та автоматизації процесів, яка використовує ШІ для аналізу даних, прогнозування трендів і покращення маркетингових кампаній. Збирає та обробляє великі обсяги інформації, автоматизує звітність і приймає рішення на основі даних.
Immersity AI	інструмент для створення високоякісного відеоконтенту та візуальних ефектів, що використовує алгоритми ШІ для покращення якості зображень, зміни стилю відео та автоматичного генерування анімацій. Забезпечує реалістичність і динамічність контенту.

Одним із значущих проєктів авторки є візуалізація видатних постатей української культури та історії. У межах цього проєкту створено

відеоматеріали, що демонструють реконструкцію зовнішнього вигляду таких видатних діячів, як письменники Леся Українка та Тарас Шевченко, князі Ярослав Мудрий і Володимир Великий, гетьмани, зокрема Богдан Хмельницький, а також політичні та культурні діячі, зокрема Марія Приймаченко, у гіпотетичному сучасному вигляді. Використання подібних технологій сприяє популяризації національної історико-культурної спадщини на міжнародному рівні та підвищує зацікавленість молодого покоління до історичних постатей України. Крім того Анна Баум на своїй сторінці публікувала рекламу для українських брендів «Окко», «Верес» та «Ozzy Fast Food».

До прикладу, реклама для "Окко" зображувала князя Володимира, який заправляє свій Porsche. Через те, що сцена містила невеличкий елемент гумору, це допомагає привернути увагу аудиторії до послуг, які пропонує бренд та підвищити його впізнаваність. На рис. 1 представлено приклад рекламного відеоролика, створеного за допомогою інструментарію штучного інтелекту, який демонструє князя Володимира Великого у сучасному контексті.



Рис. 1. Фрагмент рекламного ролику "Окко" згенерованого ШІ

Instagram-сторінка kiber alla є платформою для демонстрації контенту, створеного із застосуванням технологій штучного інтелекту. Її авторка, Alla, проводить експериментальні дослідження у сфері генерації музичних відеокліпів на композиції українських виконавців [4]. Одним із показових прикладів є відеоролик, створений на основі пісні Ірини Федишин «Журавлі», що має меморіальний характер і присвячений пам’яті військовослужбовців, які віддали життя за свободу України. Відео здобуло значний резонанс серед

аудиторії: за чотири місяці після публікації на платформі YouTube воно набрало 489 тисяч переглядів і отримало 4,1 тисячі вподобань [5].

На Рис.2 представлено приклад згенерованого за допомогою штучного інтелекту кліпу на пісню Ірини Федишин «Журавлі», опублікований на офіційному ютуб-каналі виконавиці. Кадри кліпу містять сцени боїв, атаку військ рф на українські міста та наших захисників, які віддали своє життя за свободу рідної землі.



Рис. 2. Згенерований кадр моменту ракетного вибуху в кліпі Ірини Федишин «Журавлі».

Застосування інструментів штучного інтелекту у процесі створення даного проєкту сприяло суттєвому зниженню витрат, оскільки усунуло потребу у залученні великої команди фахівців та використанні спеціалізованого технічного обладнання для зйомок. Водночас ефективність використання даних технологій значною мірою залежить від рівня підготовки фахівця та його здатності правильно застосовувати інструментарій штучного інтелекту. Недостатній рівень компетентності у цій сфері може призвести до створення контенту низької якості, що характеризується технічними недоліками та відсутністю належного опрацювання окремих елементів.

У рамках розвитку цифрового медіаконтенту нещодавно було започатковано проєкт на платформі YouTube під назвою "Mediapsy" [6], що орієнтований на створення музичних відеокліпів із використанням технологій штучного інтелекту. Основною метою ініціаторів даного проєкту є розробка креативного аудіовізуального контенту з мінімальними фінансовими витратами шляхом інтеграції інструментів штучного інтелекту в усі етапи виробництва.

У якості першого прикладу реалізації проєкту було опубліковано згенерований музичний відеокліп під назвою "Модель XL". Виробничий процес передбачав поетапне застосування різних ШІ-інструментів. Зокрема, на початковому етапі композиція "Мелітопольський хлопець" була створена за допомогою онлайн-платформи з обробки аудіо "Suno" [7], що надає можливість користувачам генерувати музичні твори на основі попередньо

заданих параметрів, зокрема тематичної ідеї, жанрової приналежності та цільового емоційного спрямування.

На другому етапі створення відеоконтенту було використано онлайн-ресурс "Hailuo" [8], призначений для генерації відеокліпів за допомогою штучного інтелекту. Ефективне застосування цього інструменту вимагає володіння базовими знаннями з операторського мистецтва, зокрема навичок кадрування, розробки сценічної поведінки персонажів та побудови композиції кадрів. В якості візуальних прототипів були використані фотографії реальних осіб, що пройшли попередню обробку алгоритмами ШІ. Такий підхід забезпечує можливість створення оригінального відеоконтенту з мінімальними фінансовими витратами. Водночас, відсутність глибокого розуміння специфіки роботи з цим програмним забезпеченням обумовила тривалість розробки кліпу, яка склала два місяці.



Рис. 3. Згенерований кадр кліпу "Модель XL" на сайті штучного інтелекту "Suno".

Також актуальним є питання щодо правової належності контенту, створеного із застосуванням технологій штучного інтелекту, а також механізмів захисту інтелектуальної власності у цьому контексті. Відповідно до статті 33 Закону України «Про авторське право і суміжні права», об’єкт, згенерований комп’ютерною програмою без безпосередньої участі фізичної особи, вважається неоригінальним та відрізняється від існуючих подібних об’єктів. Водночас твори, створені фізичними особами із застосуванням комп’ютерних технологій, не підпадають під визначення неоригінальних об’єктів, згенерованих програмним забезпеченням [9]. Таким чином, ключову роль у процесі створення контенту відіграє саме людина, яка здійснює безпосередню творчу діяльність і є основним носієм авторських прав.

Висновок: У результаті проведеного аналізу встановлено, що штучний інтелект відіграє важливу роль у створенні сучасного рекламного відеоконтенту, значно спрощуючи виробничі процеси, скорочуючи фінансові та технічні витрати, а також розширює можливості персоналізації контенту. Підсумовуючи вище сказане, завдяки інструментам штучного інтелекту, таким як відеогенератори та аналітичні системи бренди можуть створювати контент за короткий час, проте їх ефективність залежить від поєднання з людською творчістю та професійними навичками. Штучний інтелект також викликає питання щодо авторських прав та якості контенту, вимагаючи подальшого розвитку законодавства та етичних стандартів для захисту інтелектуальної власності та забезпечення прозорості у процесі створення контенту. Тож, його впровадження повинно супроводжуватися відповідальною політикою щодо етики та безпеки, щоб забезпечити високий рівень якості та оригінальності контенту, а також захистити права авторів та споживачів. Однак, інтеграція штучного інтелекту у процес створення рекламного відеоконтенту сприяє розвитку нових форматів комунікації та візуальної культури, відкриваючи перспективи для подальших досліджень і вдосконалення технологічних рішень у сфері цифрового маркетингу.

Список літератури

1. Каплунов, Д. (2022). Королі соціальних мереж: Як підвищувати популярність, залучати клієнтів та будувати особистий бренд у соціальних мережах за технологією SOCIAL SELLING. Київ: Видавництво Букшеф.
2. Котлер, Ф., Картаджайя, Х., & Сетьяван, А. (2024). Маркетинг 5.0. Технології для людства (Пер. О. Гладкий). Київ: КМ-БУКС.
3. Баум, А. (2025). Сторінка в Instagram. https://www.instagram.com/an.na.baum
4. kiber_alla. (2025). Сторінка в Instagram. https://www.instagram.com/kiber_alla
5. Федишин, І. (2025, березень 30). Журавлі (Official Video) [Відео]. YouTube. https://youtu.be/3eor0_r0OX
6. Media Psy. (2025, квітень 4). Ютуб-канал [Відео]. YouTube. https://youtu.be/hNDnX0qN6zs
7. Suno. (2025). Suno – AI music generation platform. https://suno.com/
8. Hailuo AI. (2025). AI Video Generation Platform. https://hailuoai.video/
9. Верховна Рада України. (2023). Закон України «Про авторські та суміжні права». https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2811-20#n461

УДК 004.38

А.С. Гордєєв, д.т.н., П.М. Чернікова
(Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна)

Створення посібників як мобільних додатків

Запропоновано методику трансформації традиційних навчальних посібників у формат мобільних додатків із метою підвищення зручності використання, інтерактивності та персоналізації навчального процесу. Описано основні етапи цифровізації навчального контенту, розробки інтерфейсу користувача та інтеграції мультимедійних елементів. Проведено аналіз ефективності використання мобільних посібників у порівнянні з друкованими аналогами.

Мобільні додатки надають можливість створення адаптивного навчального середовища, що враховує індивідуальний темп засвоєння матеріалу та дозволяє реалізувати зворотний зв'язок у режимі реального часу. Застосування елементів гейміфікації, інтерактивних тестів, відеоінструкцій і візуалізацій підвищує зацікавленість користувачів(1) та сприяє кращому запам’ятовуванню матеріалу.

Сучасні цифрові технології відкривають нові горизонти в освітньому процесі. Завдяки мобільним додаткам навчання стає більш динамічним, адаптивним і орієнтованим на потреби конкретного користувача. Мобільний посібник здатен не лише замінити друкований варіант, але й надати додаткові переваги, зокрема миттєвий доступ до оновлень, вбудовану аналітику успішності, можливість синхронізації з іншими навчальними платформами та інструментами дистанційного навчання.

Основні етапи цифровізації навчального контенту:

1. Оцифрування та структуризація матеріалу. Першим кроком є адаптація існуючого навчального матеріалу до вимог цифрового середовища. Це передбачає розбивку тексту на короткі модулі (мікронавчання), оптимізацію формулювань, вилучення надмірної інформації та додавання ілюстрацій.

2. Створення інтерактивного інтерфейсу. Особлива увага приділяється зручності навігації: застосовуються вкладки, випадаючі меню, навігаційні кнопки та елементи швидкого доступу. Інтерфейс повинен бути інтуїтивно зрозумілим як для студентів, так і для викладачів.

3. Впровадження мультимедійних засобів. До мобільного додатку додаються відео та аудіофайли, анімації, інфографіка, що забезпечує багатоканальне сприйняття інформації та покращує запам’ятовування.

4. Тестування функціоналу та зворотний зв'язок. Бета-тестування на фокус-групах дозволяє визначити слабкі місця додатку, а також перевірити ефективність структури контенту та взаємодії користувача з системою.

Загалом процес цифровізації потребує командної роботи: залучення методистів, дизайнерів, програмістів і тестувальників. Саме на стику цих спеціальностей народжується якісний мобільний освітній продукт, що здатен відповідати на виклики сучасної освіти.

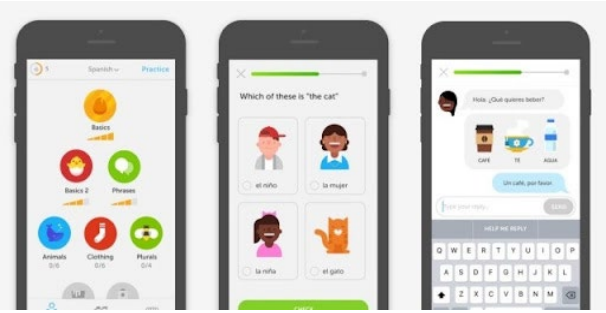


Рис. 1. Приклад інтерфейсу мобільного навчального додатку

Основні компоненти додатку(2):

- База знань (теоретичний матеріал) — модуль із короткими, чітко структурованими навчальними блоками, які охоплюють ключові поняття теми. Такий підхід до подачі матеріалу дозволяє уникнути перевантаження користувача інформацією, а також сприяє поетапному, логічному засвоєнню знань. Блоки можуть супроводжуватись короткими підсумками, словниками термінів або додатковими посиланнями на суміжні теми.
- Інтерактивні вправи та тести — включають різноманітні формати: тести з множинним вибором, завдання на перетягування елементів, встановлення відповідностей, вписування правильних відповідей, а також інтерактивні схеми. Завдяки цьому користувач має можливість не лише перевірити свої знання, а й навчатися у процесі виконання завдань. Наявність миттєвого зворотного зв'язку сприяє швидшому виявленню прогалин і самокорекції.
- Відеоматеріали та анімації — це не лише пояснення складних тем, але й демонстрації дослідів, реальні приклади застосування знань, покрокові інструкції, а також короткі навчальні відео у форматі «how-to». Анімації можуть візуалізувати абстрактні або динамічні процеси, які важко пояснити лише текстом, що особливо ефективно для природничих наук, технічних дисциплін або медицини.
- Механізм зворотного зв'язку — включає чат-ботів для автоматизованих відповідей на часті запитання, форми зв'язку з викладачем або куратором курсу, а також можливість залишити коментар до теми чи вправи. Це дозволяє не лише уточнювати матеріал, а й підтримувати активну комунікацію в навчальному середовищі. У перспективі такі системи можуть бути інтегровані з штучним інтелектом для персоналізованої підтримки користувача.
- Персональні досягнення та рейтинг — система мотивації, яка включає віртуальні нагороди: бейджі, рівні, пункти за успішне виконання завдань або щоденну активність. Рейтинги можуть бути індивідуальними або груповими, створюючи ефект здорової конкуренції. Це спонукає студентів частіше взаємодіяти з додатком і підвищує інтерес до навчального процесу.

Важливо, щоб усі ці елементи працювали як єдине ціле — навчальний "екосервіс", де людина може отримати доступ не лише до знань, але й до підтримки, оцінки своїх результатів і навіть рекомендацій щодо подальшого навчання. Така екосистема створює безперервний цикл: навчання > практика > оцінка > корекція > нове навчання, що значно підвищує ефективність засвоєння матеріалу в цифровому середовищі.

Щоб оцінити сприйняття мобільних посібників студентами, було проведено опитування серед 100 осіб різних спеціальностей. Студентів попросили оцінити різні аспекти використання мобільного додатку в навчанні: зручність, мотивацію, рівень засвоєння матеріалу тощо..

Таблиця 1.

Результати опитування студентів щодо використання мобільного посібника

Параметр	**Позитивна оцінка (%)**
Зручність використання	**92%**
Підвищення мотивації до навчання	**78%**
Краще запам’ятовування інформації	**85%**
Можливість навчатися поза аудиторією	**95%**
Бажання продовжити використання	**87%**
Корисність мультимедійного контенту	**90%**

Опитування студентів засвідчило низку ключових переваг використання мобільних навчальних посібників. Насамперед, це гнучкість, яка дозволяє навчатись у будь-який зручний момент і в будь-якому місці, без прив’язки до аудиторії чи графіку. Значну роль відіграє й персоналізація – додаток може "запам’ятовувати" теми, які потребують повторення, адаптуючи подачу матеріалу до індивідуальних потреб користувача. Актуальність мобільного контенту забезпечується можливістю швидкого оновлення інформації, що особливо важливо в умовах динамічного розвитку знань. Крім того, використання гейміфікації — змагальних елементів, досягнень і балів — підвищує мотивацію до навчання. Окрему перевагу становить візуальна підтримка: відео, графіка й анімації полегшують засвоєння складних понять і сприяють кращому розумінню матеріалу.

Крім вищезгаданих переваг, студенти зазначили, що мобільні посібники допомагають формувати самодисципліну, адже наявність нагадувань, календарів та статистики прогресу мотивує повертатися до навчання регулярно. Також позитивно оцінено можливість швидкого самотестування — завдяки інтерактивним мініквізам студент може в реальному часі оцінити, наскільки добре він засвоїв тему.

Попри позитивне сприйняття мобільних посібників, студенти також відзначили певні обмеження, які важливо враховувати при розробці таких продуктів. Найпоширенішою проблемою стала потреба в постійному доступі

до Інтернету, особливо для перегляду відеоматеріалів або завантаження великих файлів. Також згадується відсутність живого пояснення викладача, що ускладнює розуміння складних або нових тем без додаткового супроводу. Ще одним практичним недоліком є обмежений розмір екрана мобільного пристрою, який ускладнює перегляд великих схем, таблиць або графіків. Усі ці аспекти слід ретельно враховувати на етапах проєктування, тестування та впровадження мобільного навчального додатку, щоб забезпечити його ефективність та зручність для користувачів.

До переліку викликів також можна віднести складність адаптації навчального контенту до різних освітніх програм і рівнів підготовки. Універсальний мобільний посібник повинен бути достатньо гнучким, щоб відповідати як загальноакадемічним, так і професійно орієнтованим цілям. Також необхідно враховувати цифрову грамотність користувачів, яка може суттєво відрізнятись у залежності від віку, спеціальності та попереднього досвіду користування технологіями.

Висновок

У результаті слід взяти до уваги, що створення навчальних посібників у форматі мобільних додатків є доцільним (3). Такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність навчання за рахунок інтерактивності, доступності та персоналізації освітнього контенту. Доцільність використання мобільних посібників підтверджується позитивними відгуками користувачів та зростанням зацікавленості у навчальному процесі.

Список літератури

1. Kukulska-Hulme, A. (2020). Mobile-assisted language learning [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net
2. Ally, M. (2009). Mobile Learning: Transforming the Delivery of Education and Training. Athabasca University Press.
3. Google Android Developer Guide [Electronic resource]. – Mode of access: https://developer.android.com/guide

УДК 004.925.8:004.8:655(043.2)

П.Ю. Родіонов,к.е.н., О.В. Родіонова
(Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», ДУ «Київський авіаційний інститут», Україна)

Штучний інтелект і комп'ютерна графіка: тенденції, проблеми, перспективи

Проведене дослідження використання штучного інтелекту для вивчення дисциплін, пов'язаних з графічним дизайном та комп'ютерною графікою окреслює тенденції, переваги, недоліки при створення проєктів для видавництва і веб студентами, що навчаються на інженерних та дизайнерських освітніх програмах.

Проектування дизайну макетів видавничо-поліграфічної продукції та веб-проєктів сьогодні неможливе без урахування використання можливостей штучного інтелекту. Сьогодні існує доволі значна кількість безкоштовних додатків, які генерують зображення за текстовим запитом користувача. Серед найбільш популярних відмітимо Stable Diffusion, Starry AI, Lexica Aperture, Leonardo AI, Playground AI, і звичайно гуру серед застосунків для обробки та створення комп'ютерної графіки - застосунок компанії Adobe платформу Adobe Firefly для фото та відео. В перелічених застосунках алгоритм для генерації зображень використовується однаковий - за текстом, але сервіси компаній мають деякі відмінності [1].

Stable Diffusio за текстовим запитом створює реалістичні фотографії, генеруючи 4 варіанти ілюстрації з роздільною здатністю 512×512 пікселів. Недолік даного застосунку є не завжди коректне відображення дрібних деталей.

Starry AI надає можливість одночасно згенерувати зображення у чотирьох стилях: арт, фотографія, ілюстрація або власний стиль. При генерації зображень є можливість вибрати пропорції та початкові зображення. Обмеженнями є можливість за добу згенерувати до 25 картин. Також платформа наголошує на можливості використання користувачами створеними зображеннями без обмежень і порушень авторського права.

Lexica Aperture дозволяє створити фотореалістичні ілюстрації за текстовим запитом, зображення мають високу якість та деталізацію дрібних деталей.

Leonardo AI створює зображення надзвичайно високої якості, надає змогу вибрати розширення та розмір, додавати елементи на створені картинки. Також Leonardo AI може покращувати якість фотографій та редагувати їх, створювати анімацію.

Playground AI генерує реалістичні фото або малюнки у стилі фентезі. До згенерованих зображень можна додавати різноманітні деталі. Особливістю платформи є можливість додати зображення, які для Playground AI повинні слугувати орієнтиром або зразком. Можна обрати розмір картинки, її якість і вказати кількість згенерованих фото за одним запитом. Реєстрація відбувається

за допомогою Google-акаунта і впродовж доби можна генерувати до 1000 зображень.

Штучний інтелект сьогодні вбудований в усі застосунки головної компанії комп'ютерної графіки Adobe, хоч це обробка растрової графіки в Adobe Photoshop, векторної графіки в Adobe Illustrator, верстка макетів для друку в Adobe InDesign та веб-сторінок в Adobe Dreamweaver, програма Adobe Express використовує штучний інтелект для генерації картин.

Фірмою Adobe також створено окремий спеціальний застосунок з умовно безоплатним ресурсом Adobe Firefly, який за текстовим запитом користувача генерує зображення та відео, яким можна надавати ознак як фотографічної реальності, так і «мультяшного» вигляду, застосовувати різноманітні кольорові схеми та ефекти, генерувати заливки, є можливість накладати текст на згенеровані зображення. В безоплатній версії Adobe Firefly існує обмеження на кількість генерованих зображень впродовж доби, хоча при реєстрації у відкритому прозорому доступі цієї інформації не видно. За запевненнями власників Adobe застосунок Adobe Firefly є комерційно безпечним, моделі генеративного ШІ навчаються на контенті, на використання якого компанія має дозвіл, також створена спільнота Firefly у Discord, яка налічує понад 600 000 користувачів і продовжує зростати [2].

Під час роботи над проєктами при створенні логотипів для компаній відповідно до завдань лабораторних робіт було проведено тестування застосунку Adobe Firefly. Перший запит був «створити логотип для компанії, що виготовляє смартфони», другий запит – «створити логотип для стоматологічної клініки». Очікувано по кожному запиту було згенеровано 4 початкових зображення, для змінення яких існують додаткові палітри, як то змінення пропорцій, стилів, накладання ефектів – цифровий стиль, ефект Боке, живопис і т.п., можна обирати колір і тон – теплий або холодний, змінювати освітлення і уявний кут камери. Всі ц палітри дозволяють загалом змінити початкове зображення в основному у представленому стилі або кольоровій палітрі, але початковий згенерований типаж зображення залишається один і той самий.

Перший запит для ШІ «створити логотип для компанії, що виготовляє смартфони» згенерував 4 лого, які для нашого загальноприйнятого представлення як повинен виглядати логотип компанії будь якої ріже око – була згенерована фотографія смартфона, доволі грубого, великого за розмірами і накладеного на темну сцену. Подальші дії над зображеннями з використанням палітр змінювали наше штучне лого не суттєво. Пропонувати фірмі виробнику смартфонів подібну творчість ми б не наважилися, виглядало все це грубо та непрофесійно.

Другий запит для ШІ в Adobe Firefly «створити логотип для стоматологічної клініки» дав очікувані зображення людського зуба, який виглядав дещо «мультяшно». Маніпуляції по зміненню зображення створеного лого з використанням вбудованих палітр змінювали початкову картинку не суттєво. Але згенерований логотип при подальшій ручній навіть незначній обробці в Adobe Photoshop або в Adobe Illustrator може бути представленим уявному клієнту замовнику логотипу.

Були також проведені дослідження по генерації різноманітних зображень за текстовими запитами щодо створення проєктів комп'ютерної графіки як для друку так і для веб-сторінок.

Що також є цікавим, студенти, які навчаються за освітніми програмами «Дизайн», «Технології електронних мультимедійних видань», «Інженерія програмного забезпечення інформаційних систем», а саме серед них проводилися дослідження безпомилково у представлених для аналізу графічних друкованих роботах розпізнавали картинки, створені штучним інтелектом і піддавали їх критиці.

Висновок можна окреслити наступний: ШІ в застосунку Adobe Firefly можна використовувати для початкової генерації зображень, але подальша обробка повинна відбуватися графічним дизайнером з використанням Adobe Photoshop або Adobe Illustrator. Таким чином побоювання, що з появою ШІ графічні дизайнери залишаться без роботи є доволі передчасним, людський фактор в подібних проєктах буде відігравати вирішальну роль в найближчому часовому періоді. Хоча не забуваємо, що ШІ навчається і і передбачити, що відбудеться в найближчі 2-3 роки доволі важко. Також потрібно враховувати, що для комерційного використання створені ШІ зображення можуть призвести до проблем з авторським правом.

Список літератури

1. Офіційний сайт «КОШТ». URL: https://kosht.media/top-5-bezkoshtovnykh-servisiv-dlia-stvorennia-zobrazhen/
2. Офіційний сайт «Adobe Firefly». URL: https://firefly.adobe.com/

УДК 78.01+004.932+004.94

С.М. Гальченко, С.О. Гніденко
(Державний університет "Київський авіаційний інятитут", Україна)

Генеративний звук у відкритих віртуальних світах: сучасні методи створення нескінченного аудіо-фону

У статті розглянуто принципи генеративного звуку та представлено алгоритм створення нескінченного аудіо-фону за допомогою FL Studio і TouchDesigner, що забезпечує варіативність, адаптивність і занурення у відкритих інтерактивних середовищах. Матеріал має практичне значення для ігор, VR/AR та медіаінсталяцій.

Процедурний генеративний звук — це аудіо, створене за допомогою алгоритмів, які можуть самостійно формувати звукові структури без прямого ручного втручання в кожен елемент композиції. Такий підхід передбачає не створення статичного музичного чи звукового фрагмента, а побудову системи, що здатна генерувати потенційно нескінченну варіацію звучання в режимі реального часу. У цьому сенсі звук стає процесом, а не результатом. Наприклад, різні шари музичного твору можуть поєднуватися різними способами залежно від стану гри, мультимедійної інсталяції тощо [1]. Сама по собі ідея процедурного звуку не є новою. Одним з піонерів генеративного підходу в музиці був Браян Іно, який у 1970-80-х роках створював композиції, що змінювались під час програвання завдяки взаємодії повторюваних, але не синхронізованих елементів.

У сучасних мультимедійних проєктах, зокрема у відеоіграх, VR/AR-середовищах, інтерактивних інсталяціях та цифровому мистецтві, генеративний звук стає ключовим елементом, що забезпечує гнучкість, варіативність та ефект занурення. На відміну від традиційного підходу, де звукові доріжки відтворюються як фіксовані, генеративні аудіосистеми дозволяють створити реактивне та адаптивне звукове середовище, яке змінюється відповідно до подій, просторових параметрів або дій користувача.

Процедурний звук часто є важливим у контексті як безпосереднього музичного супроводу, так і ембієнту, тобто звуку навколишнього середовища. Питання генеративної музики розглядали зокрема C. Plut та P. Pasquier у своїй роботі «Generative music in video games: State of the art, challenges, and prospects» [2]. Автори розглядають питання взаємодії музичного та ігрового вимірів. Ці два виміри генеративної системи описують, як така система взаємодіє з грою та як структуровано її музичне виведення. Музичний вимір включає стиль, темп, гармонію, динаміку — усе, що формує композиційний шар. Ігровий вимір визначає, які саме ігрові події або параметри впливають на музику: наприклад, чи змінюється вона в залежності від рівня загрози, кількості ворогів, розташування чи внутрішнього стану персонажа. Зазначимо, що тут дані параметри стосуються саме ігрового контексту, проте можна визначити відповідні і до інших мультимедійних творів. Наприклад, в мультимедійних

інсталяціях ми можемо змінювати звук при наближенні або віддаленні спостерігача.

Втім, як зазначають автори, окрім цих прикладних аспектів, існують також архітектурні виміри, які стосуються внутрішньої логіки, структури знань і алгоритмічної поведінки системи [2]. Саме ці архітектурні елементи визначають, як система «приймає рішення» про те, що саме вона відтворить у конкретний момент часу. Це може включати моделі ймовірнісного вибору, правила композиції, використання штучного інтелекту чи навчання на основі поведінки гравця. Архітектура системи формує її здатність до варіативності, адаптації, і, врешті-решт, художнього висловлення в умовах постійної змінності [3].

Ембієнт є важливим жанром у звуковому дизайні, оскільки він створює атмосферу та емоційний фон, не відволікаючи увагу слухача. У контексті генеративного підходу його процедурність дозволяє уникнути повторень, підтримуючи постійно змінне, але цілісне звукове середовище, що ідеально підходить для відкритих світів, VR або інтерактивних інсталяцій. Процедурний ембієнт забезпечує живу звукову тканину, яка природно адаптується до контексту, підсилюючи ефект занурення. У такому контексты питання створення процедурного ембієнту розглядав зокрема M. Tsang Lee у роботі «The Contribution of Ambient Sounds in Open World Video Games MA Music Technology Dissertation» [4].

Аналіз наведених вище досліджень дозволяє сформувати загальні вимоги до сучасного процедурного звуку як до динамічної аудіосистеми, що функціонує у режимі реального часу. Передусім, такий звук має бути нелінійним і варіативним, тобто уникати зацикленості та повторюваних структур, які легко розпізнаються слухачем. Він повинен бути контекстно чутливим, реагуючи на внутрішні або зовнішні параметри середовища: дії користувача, зміну простору, часу, атмосфери або наративного фону.

Процедурний звук також повинен зберігати естетичну цілісність незалежно від кількості варіацій — тобто звучати природно, логічно та емоційно вмотивовано. Важливою є його адаптивність до технологій, зокрема до middleware-платформ, інтеграції з ігровими рушіями (Unity, Unreal Engine), сенсорними системами чи навіть алгоритмами штучного інтелекту.

Створення процедурного звуку сьогодні було б неможливим без використання спеціалізованих інструментів, які дозволяють формувати динамічні, адаптивні та варіативні звукові середовища. Розробники мають у своєму розпорядженні широкий арсенал програмних рішень — від цифрових аудіо-робочих станцій (DAW) до інтерактивних середовищ та систем штучного інтелекту.

Аудіо middleware-платформи. Такі системи, як FMOD, Wwise та Fabric, стали стандартом у розробці відеоігор, оскільки дозволяють створювати складні звукові логіки без глибокого знання коду. Вони забезпечують гнучку інтеграцію з рушіями (Unity, Unreal Engine), дають змогу застосовувати параметричну генерацію, синхронізацію з подіями та адаптивну музику. Кожен звуковий об’єкт може мати десятки варіацій і реагувати на зміну геймплейних умов (наприклад, гучність музики залежить від рівня тривоги).

Генеративні середовища. Max/MSP, Pure Data, SuperCollider та TouchDesigner — це середовища візуального або кодового програмування, які дозволяють створювати генеративні звукові патчі. У них можна зібрати систему, яка у реальному часі реагує на дані з сенсорів, руху гравця, фізичні параметри або алгоритми шуму. Наприклад, у TouchDesigner можливо побудувати аудіо-реактивні сцени, де звук змінюється залежно від поведінки користувача або візуального контенту.

Штучний інтелект і машинне навчання. Останні роки засвідчили швидкий прорив у застосуванні ШІ для генерації аудіо. Інструменти на кшталт AudioCraft (Meta), Riffusion, SunoAI, SoundGen, а також AIVA дозволяють синтезувати звук або музику на основі текстових описів, малюнків, навіть емоційного настрою сцени. Такі системи можуть автоматично створювати варіативні музичні лупи, фонові композиції, або адаптувати звучання до зміни контексту в реальному часі.

Більше того, нейромережі можуть аналізувати поведінку користувача, вивчати його уподобання, і генерувати звук відповідно до його дій, інтенсивності гри, психологічного стану (наприклад, за допомогою біосенсорів або камер). Це відкриває шлях до персоналізованих аудіо-досвідів, де кожен користувач отримує унікальне, глибоко адаптоване звукове середовище.

За допомогою сучасної DAW та VST-інструментів можна створити звуковий семпл будь-якої складності, який надалі використовуватиметься як основа для нескінченного процедурного звуку. Плагіни просторової обробки звуку, такі як Crystallizer чи EchoBoy від SoundToys можуть значною мірою урізноманітнити базовий семпл, додати певну кількість повторів, що змінюються з кожною ітерацією за допомогою гранулярного відлуння.

У TouchDesigner створення процедурного звуку на основі вхідного семпла починається з імпорту аудіофайлу за допомогою Audio File In CHOP. Цей оператор дозволяє відтворювати семпл у реальному часі та передавати звукову хвилю в інші CHOP-оператори для обробки. Далі сигнал можна обробити через Audio Filter CHOP (для зміни частотного спектра), Audio Dynamics CHOP (для компресії) або Math CHOP, що дозволяє масштабувати або інвертувати амплітуду. Для створення варіативності використовують Noise CHOP чи LFO CHOP, які додають постійно змінні значення до параметрів, наприклад — модуляцію частоти фільтра чи гучності. У результаті отримуємо живу звукову структуру, яка змінюється навіть без втручання користувача (рис. 1).

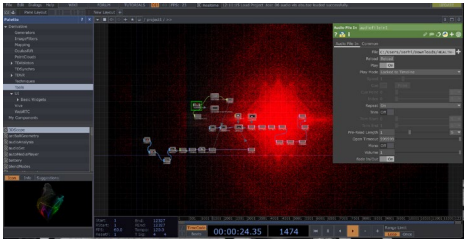


Рис. 1. Побудова процедурної аудіо-системи в TouchDesigner з візуалізацією

Перспективи ускладнення цієї системи дуже широкі. Одним із цікавих напрямків є використання відеопотоку з камери як керуючого джерела. Наприклад, за допомогою TOP-операторів можна зчитувати яскравість, кольори, рух або навіть розпізнавати обличчя, а ці дані — через TOP to CHOP — конвертувати в параметри, що впливають на звук.

Практично аналогічним чином можна використовувати звуки, згенеровані за допомогою штучного інтелекту. Основним принципом використання ШІ у такому контексті є відділення процесу генерації контенту від фіксованої авторської логіки. Модель не створює замкнену композицію, а продукує звукові фрагменти, які можуть комбінуватись, змішуватись та оброблятись у реальному часі. Це особливо ефективно у відкритих середовищах, де звуковий фон повинен змінюватися залежно від дій користувача, часу доби, зміни погоди або інших параметрів середовища [5].

У практичному прикладі було використано модель AudioGen для створення аудіофону за текстовим описом *"ambient rainy forest with distant thunder and rustling leaves"*. Згенерований аудіофайл містив багатошарову природну текстуру зі змінною динамікою та ритмом, але як звуковий матеріал він був статичним.

Для подальшої обробки аудіофайл було імпортовано в TouchDesigner через Audio File In CHOP, після чого система розділила сигнал на окремі частотні діапазони та динамічні події. За допомогою Audio Analysis CHOP було створено керуючі сигнали, які модулювали різні параметри візуальної сцени (наприклад, щільність туману, коливання дерев, ефекти дощу). Додатково були підключені Noise CHOP і LFO CHOP, які забезпечували постійну варіативність звучання — змінювали амплітуду, панорамування, фільтрацію та швидкість відтворення. Завдяки цьому навіть статичний звук, згенерований ШІ, перетворився на живий, нескінченний аудіофон, що змінювався відповідно до заданої логіки. Цей приклад демонструє ефективність комбінування ШІ-генерації та інтерактивного аудіо-редагування, що дозволяє створювати унікальні звукові середовища без повторень, з глибоким рівнем інтеграції в мультимедійну систему.

Висновок

Використання процедурних та генеративних підходів до створення звуку у відкритих мультимедійних середовищах демонструє значний потенціал для розвитку адаптивних аудіосистем. На прикладі взаємодії інструментів FL Studio, TouchDesigner та моделей штучного інтелекту було показано, що поєднання алгоритмічної генерації з інтерактивною обробкою дозволяє формувати варіативний аудіофон, здатний реагувати на зміну контексту в реальному часі. Отримані результати можуть бути корисними для розробників інтерактивних інсталяцій, VR/AR-додатків та цифрового мистецтва, де важливо забезпечити гнучке та динамічне звукове середовище.

Список літератури

1. Yee-King M., Dall'Avanzi I. Procedural Audio in Video Games. Encyclopedia of Computer Graphics and Games. Cham, 2018. P. 1–5. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-08234-9_271-1 (date of access: 10.04.2025).

2. Procedural Music in Games / J. E. Ayres et al. Simpósio Brasileiro de Computação Musical, Brasil. 2019. URL: https://doi.org/10.5753/sbcm.2019.10462 (date of access: 10.04.2025).

3. Plut C., Pasquier P. Generative music in video games: State of the art, challenges, and prospects. Entertainment Computing. 2020. Vol. 33. P. 100337. URL: https://doi.org/10.1016/j.entcom.2019.100337 (date of access: 10.04.2025).

4. The Contribution of Ambient Sounds in Open World Video Games. [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.academia.edu/40967800/The_Contribution_of_Ambient_Sounds_in_Open_World_Video_Games_MA_Music_Technology_Dissertation

5.Serrano D., Cartwright M. A GENERAL FRAMEWORK FOR LEARNING PROCEDURAL AUDIO MODELS. arXiv. 2023. Vol. 1, no. 1. URL: https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.02396 (date of access: 10.04.2025).

6. Kaushik K. Procedural Music Generation in Video Games. International Journal For Multidisciplinary Research. 2025. Vol. 7, no. 2. URL: https://doi.org/10.36948/ijfmr.2025.v07i02.39384 (date of access: 10.04.2025).

7. Sound Designer-Generative AI Interactions: Towards Designing Creative Support Tools for Professional Sound Designers / P. Kamath et al. CHI '24: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Honolulu HI USA. New York, NY, USA, 2024. URL: https://doi.org/10.1145/3613904.3642040 (date of access: 10.04.2025).

УДК 659.113:7.05:004.92(043.2)

О.В. Матвійчук-Юдіна, к.п.н., доц., А.В. Воловик
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Синтезований дизайн візуальної реклами

Досліджено поняття синтезованого дизайну візуальної реклами як цілісної форми візуальної комунікації, що базується на поєднанні графічних, текстових, кольорових та інших елементів. Проаналізовано роль синтезу естетичних і технологічних компонентів у створенні ефективного рекламного продукту. Також висвітлено сучасні підходи до побудови візуального середовища в рекламі, що орієнтується на глядача в умовах цифрової культури.

Інформаційний простір візуальної реклами займає ключову позицію серед інструментів сучасної комунікації. Щодня людина стикається з десятками, а то й сотнями рекламних повідомлень, які змагаються за її увагу. У цих умовах виграє не той, хто створює найгучніше послання, а той, хто вміє поєднати естетику, зміст і функціональність у єдине візуальне ціле.

Однією з провідних особливостей синтезованого дизайну візуальної реклами є досягнення візуальної цілісності. Її забезпечує композиційна узгодженість елементів: продумане розміщення тексту й графіки, гармонійне поєднання форм та кольорової гами, баланс між динамічними та статичними зонами. Завдяки такому підходу рекламне повідомлення сприймається як єдине смислове та візуальне ціле, що посилює його вплив на цільову аудиторію.

Особливу роль у синтезованому дизайні відіграє колір. Він визначає не лише стиль і настрій, а й бере участь у смисловому структуруванні. Правильно підібрана кольорова гама не просто прикрашає рекламу, а підсилює її повідомлення, допомагає розділити акценти, керує увагою глядача. Сучасні дослідження дизайну вказують на те, що колір у візуальному середовищі виступає не лише художнім, а й комунікативним інструментом, який спрямований на формування емоційної реакції [1]

Окрім функції емоційного впливу, колір також є інструментом ідентифікації бренду. Колірна палітра часто асоціюється з певними цінностями чи настановами, і при регулярному використанні створює сталий образ у свідомості глядача. Наприклад, насичені теплі відтінки можуть викликати відчуття енергії та динаміки, у той час як холодні — формують враження стабільності та професійності. Важливо, щоб дизайнер враховував не тільки кольорову гармонію в межах одного макета, але й відповідність вибраної палітри загальній стратегії бренду. На зображенні Рис.1 представлено власно розроблений банер, створений з урахуванням принципів синтезованого дизайну. Композиція поєднує текстовий блок із ключовим рекламним меседжем та візуальні елементи, що підтримують загальну ідею повідомлення. Використано гармонійне поєднання кольорів, шрифтів і форм для досягнення візуальної єдності та привернення уваги цільової аудиторії. Розміщення об’єктів дотримується принципів динамічного балансу, що сприяє легкому сприйняттю інформації.



Рисунок 1. Візуалізація банерної реклами

Типографія в рекламі сьогодні є не менш важливою, ніж зображення. Вона здатна задавати темп, створювати ритм, формувати образ бренду. У межах синтезованого дизайну шрифт виступає як частина композиції — не ізольовано, а в логічній взаємодії з графікою й кольором. Як зазначається у фаховій літературі, саме типографічна система визначає характер звернення та візуальну ритміку, що, у свою чергу, впливає на глядача не менш активно, ніж текстовий зміст [2].

Застосована в рекламному макеті типографія, повинна гармонійно поєднуватися з іншими елементами дизайну, не створюючи візуальної конкуренції, проте залишаючись достатньо виразною та зручною для сприйняття. Шрифтова стилістика відіграє роль "вокального" компонента рекламного повідомлення, задаючи його характер — стриманий або динамічний, традиційний чи інноваційний. Раціональне комбінування шрифтів сприяє логічній структуризації інформації, виділенню ключових акцентів і формуванню бажаної послідовності візуального прочитання. Особливого значення набуває дотримання контрастності між заголовками та основним текстом, що забезпечує ефективне сканування змісту з мінімальними когнітивними зусиллями з боку реципієнта. Рисунок 2 ілюструє приклад цілеспрямованого використання типографічних засобів у створенні тематичної рекламної продукції. Застосована шрифтова композиція демонструє баланс між естетичною привабливістю та функціональністю, що є ключовою умовою ефективної візуальної комунікації. Відбір шрифтів, їхній розмір, інтерліньяж, кегель та контрастність із фоном підпорядковані загальній концепції рекламного повідомлення, сприяючи послідовному сприйняттю інформації. Типографія виконує не лише декоративну, а й семантичну функцію — підтримує змістовний контекст і формує емоційний настрій споживача. Такий підхід відповідає принципам синтезованого дизайну, де кожен візуальний елемент виконує роль у досягненні комунікативної мети.



Рис. 2. Візуалізація типографії тематичної рекламній продукції

Також важливо наголосити, що синтезований підхід — це не суто візуальна стратегія. Він включає в себе мислення, орієнтоване на результат. Дизайнер має враховувати, хто є адресатом звернення, яке завдання виконує реклама, які емоції вона має викликати, і як кожен елемент — кольоровий акцент, розмір шрифту чи розміщення об'єкта — сприятиме цій меті. В умовах перенасиченості медіаполя саме здатність дизайну спілкуватися швидко й точно визначає його успішність.

Дизайни, які впливають на почуття, можуть значно стимулювати вибір покупки та зробити бренди незабутніми. Ретельно підібрані візуальні елементи та повідомлення, які емоційно об'єднують, допомагають будувати тривалі стосунки з аудиторією [3]. Рис.3 демонструє приклад візуального рішення, побудованого на принципах емоційного дизайну, що є важливим складником ефективної реклами. Емоційно впливова рекламна продукція формує глибший зв'язок із цільовою аудиторією через візуальні тригери — колір, образи, композицію та типографіку, які активують емоційну пам'ять і викликають миттєву реакцію.



Рис. 3. Емоційно впливова рекламна продукція

У представленому макеті використано кольорову палітру та графічні елементи, що асоціюються з певним настроєм або життєвими ситуаціями,

наближеними до досвіду споживача. Завдяки цьому забезпечується підвищений рівень залучення до рекламного повідомлення та запам'ятовуваність образу. Емоційна складова, як засвідчують сучасні дослідження у сфері маркетингу, є вирішальною у прийнятті споживчого рішення, тому її врахування у дизайні підвищує комунікативну ефективність рекламного продукту.

Висновок: Таким чином можна констатувати, що синтезований дизайн — це про візуальну мову, що говорить одночасно кількома інструментами. Він вимагає від дизайнера розуміння композиції, типографіки, кольору, а також здатності інтегрувати всі ці елементи в єдину комунікативну структуру. Такий підхід дозволяє рекламному образу працювати не лише як візуальний акцент, а як стратегічне повідомлення. У час цифрової трансформації та фрагментарності уваги саме синтезований підхід до дизайну виявляється найефективнішим шляхом до створення впізнаваного, переконливого й естетично завершеного рекламного продукту.

Список літератури

1. Арістова, І. Ю. (2019). *Візуальна реклама: психологія впливу* (с. 42). Харків: Фоліо.
2. Гуржій, А. М. (2021). *Інформаційний простір та візуальні комунікації* (с. 55). Львів: Піраміда.
3. Duck.Design. (n.d.). *Graphic Design and Advertising*. https://duck.design/graphic-design-and-advertising/

УДК 004.92:81'373:655.1(043.2)

О.А. Бобарчук, к.т.н., А.О. Швидченко
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Використання бібліотеки ThreeJS для розширення мультимедійних можливостей веб-сайтів

Запропоновано використання бібліотеки Three.js для інтерактивної 3D-візуалізації об'єктів. Практична реалізація проекту охоплює завантаження моделі, накладання текстур, налаштування освітлення сцени та інтерактивну взаємодію з об'єктом через OrbitControls. Продемонстровано, як Three.js може покращити 3D-візуалізацію товарів в інтернет-магазині, підвищуючи рівень інтерактивності та якості візуального представлення продукції.

Three.js — це JavaScript-бібліотека, яка значно спрощує створення інтерактивної 3D-графіки у браузері через WebGL. Її можна порівняти з jQuery, але для роботи з тривимірними сценами: бібліотека пропонує зрозумілий декларативний синтаксис, приховуючи складні аспекти прямої взаємодії з WebGL. Бібліотеку розробляє активна спільнота ентузіастів, а її засновником та головним ідеологом є Рікардо Кабелло, відомий за псевдонімом Mr.Doob.

Three.js дозволяє створювати 3D-сцени без необхідності писати шейдери, хоча така можливість теж існує. Ви працюєте з інтуїтивними концепціями, схожими на ті, що застосовуються у кіновиробництві. Ця бібліотека відкриває широкі можливості для створення складних та захопливих 3D-візуалізацій прямо у веб браузері.

Бібліотека є досить гнучкою та легко інтегрується з багатьма популярними сьогодні фронтенд-фреймворками та інструментами, такими як React, Vue.js, Angular, Next.js. За потреби зазначені інструменти можуть застосовуватись в комбінації одне з одним, що дозволяє створювати кросплатформенні застосунки, різного рівня складності.

Three.js має широке практичне застосування у веброзробці, особливо коли йдеться про створення візуально насичених та інтерактивних елементів на сайтах. Бібліотека може використовуватись на сайтах інтернат магазинів, де користувач зможе вибирати потрібні йому товари розглядаючи їхні 3D моделі з усіх боків, такий підхід приваблює покупців та позитивно виділяє магазин серед інших. Наприклад компанія Nike успішно використовує таку ідею, покупець на сайті обирає модель кросівок яка йому сподобалась далі він може взаємодіяти з моделлю кросівок, вибирати колір шнурків, підошви, логотипу і так далі.

Також бібліотека може використовуватись в освітніх цілях для створення інтерактивних електронних підручників або простих візуалізацій складних процесів і речей. Взаємодія з 3D візуалізацією запам'ятається учням та допоможе краще опанувати складний матеріал.

Варто також відмітити використання Three.js як простого ігрового рушія, бібліотека не складна для опанування на відміну інших популярних рушіїв, таких як UnrealEngine або Unity.

Однією з цікавих особливостей Three.js є можливість імпортувати 3D-моделі створені в програмному пакеті Blender або інших програм для 3D графіки, Імпорт стає можливим за допомогою вбудованих в бібліотеку модулів, що дозволяють завантажувати моделі, текстури та матеріали в різних форматах.

Three.js складається з трьох ключових елементів:

- Сцена (Scene) — простір, у якому розташовуються всі створені об'єкти.
- Камера (Camera) — визначає, як користувач бачить сцену.
- Рендерер (Renderer) — перетворює сцену та камеру у зображення, що відображається на екрані.

Розробнику доступно одразу декілька видів камери, найпоширеніша з них – PerspectiveCamera вона відтворює природне сприйняття глибини людським зором. Об'єкти, що знаходяться на більшій відстані, здаються меншими — так, як ми бачимо реальний світ. Бібліотека підтримує створення ефекту віртуальної реальності, для цього використовується StereoCamera, з технічної точки зору це радше механізм генерації двох перспективних камер — одну для лівого ока, іншу для правого, утворюючи стереоефект, що забезпечує ефект глибини та об'ємного зображення. Для 2D або інженерних застосунків, де важлива точність розмірів, використовують OrthographicCamera, такий тип камери зберігає розміри об'єктів незалежно від їхнього розташування у просторі, оскільки не має перспективного спотворення. Для досягнення високого рівня реалістичності візуалізації розробник бібліотеки додали CubeCamera виконує рендеринг у шістьох напрямках одночасно, охоплюючи всі грані куба.

Через свою високу продуктивність, найпопулярнішим рендерером в бібліотеці Three.js є WebGLRenderer, він дозволяє налаштовувати роздільну здатність, прозорість, згладжування та якість рендеру, також здатен відображати тіні, освітлення та матеріали. Для інтеграції 3D елементів в користувацький інтерфейс найкраще підходить CSS3Drenderer, його особливість полягає в тому, що він рендерить сцену як векторну графіку (SVG).

В 3D моделюванні важливо не тільки відтворити форму об'єкта а і його поверхню, для цього використовують матеріали. Матеріал може імітувати будь яку поверхню об'єкта, колір, блиск, прозорість, текстуру, відблиски, відображення тощо. Бібліотека Three.js має широкий спектр вбудованих матеріалів, з них 5 основних, це:

- MeshBasicMaterial - найпростіший матеріал, що не реагує на світло;
- MeshStandardMaterial - фізично коректний (PBR) матеріал, який враховує освітлення, тіні, roughness, metalness;
- MeshPhongMaterial - імітує блискучі поверхні;
- MeshLambertMaterial - базове освітлення, без блиску;
- MeshPhysicalMaterial - розширення MeshStandardMaterial з підтримкою прозорості, clear coat, transmission (скло);

Кожен матеріал має свої вбудовані параметри, наприклад MeshBasicMaterial використовує тільки один параметр – колір, в той час як MeshPhongMaterial, що призначений для відтворення блискучих поверхонь має параметри specular та shininess. Існують також додаткові матеріали для ліній, точок, 2D-об'єктів.

Якщо вбудованих матеріалів недостатньо, розробник має можливість створити власний матеріал за допомогою ShaderMaterial, він використовує мову OpenGL Shading Language, що дозволяє контролювати трансформацію кожного пікселя та трансформацію вершини об’єкта. ShaderMaterial зазвичай використовують для створення складних ефектів таких як вода, вогонь або неон, він також робить можливим анімацію поверхні. Завдяки активній спільноті розробників та художників багато шейдерів доступні безкоштовно, що значно спрощує роботу.

Розглянемо практичне застосування бібліотеки для створення об’ємної моделі продукту для сайту інтернет магазину. В якості продукту для візуалізації, обрано кросівки. В першу чергу необхідно знайти або створити з нуля модель кросівок. В цій роботі використано готову модель кросівок фірми «Nike» створену в програмному пакеті Blender. Експортована з Blender модель являє собою текстури у вигляді зображень-розгорток в форматі .jpg, форму – файл в форматі .obj та матеріал – у форматі .mtl.

Написання програми починається зі створення HTML сторінки та імпорту бібліотеки Three.js, її можна встановити в папку проєкту клонувавши відповідний репозиторій з GitHub сторінки розробника або використавши імпорт за посиланням. Для імпорту моделі використовуються вбудовані модулі бібліотеки – OBJLoader та MTLLoader. OBJLoader працює з файлами формату .obj, це файл з описом геометрії моделі – форми, вершини, полігони. MTLLoader – дозволяє використовувати файли .mtl які описують матеріал моделі. За взаємодію з 3D-об’єктом за допомогою комп’ютерної миші або сенсорного екрану відповідає модуль OrbitControls.

Наступним кроком є ініціалізація сцени, камери, освітлення та елементів управління. В якості рендерера обрано WebGLRenderer, його можливості дозволяють в динаміці при взаємодії з об'єктом якісно його відображати. PerspectiveCamera – це тип камери, що найкраще підходить для данної задачі. Використано два типи освітлення, а саме, розсіяне світло, яке освітлює всі об'єкти однаково, незалежно від положення та точкове світло, , яке випромінюється з однієї точки у всі напрямки, як лампочка, AmbientLight та PointLight відповідно. Використання цих типів освітлення одночасно у сцені має чітку мету — збалансоване, реалістичне та естетичне освітлення об’єкту.

Необхідно завантажити файли текстур, які являють собою три зображення у форматі .jpg.

- map — базова текстура або колір;
- normalMap — імітує мікро деталі, такі як вм’ятини та шви;
- roughnessMap — карта шорсткості, що керує блиском/матовістю.

Після завантаження текстур, починається робота над завантаженням матеріалів та об’єкту з файлів .mtl та .obj відповідно. Об’єкту задається масштаб та положення в кадрі, також відбувається накладання матеріалу та текстур на об’єкт. Оброблений об’єкт зберігається та додається на сцену.

Останнім кроком є рендеринг моделі та обробка керування моделлю, ці задачі покладено на функція animate(). Для більшої наочності додано елементи що імітують перегляд товару в інтернет магазині.



Рис. 1. Кінцевий результат

Висновок

В роботі детально розглянуто бібліотеку Three.js, що дозволяє працювати з 3D-об'єктами у веб браузері, її можливості, основні поняття, та практичні застосування. На прикладі продемонстровано можливість інтеграції даної бібліотеки для використання в інтернет магазині.

Отже, бібліотека Three.js є простим у використанні та водночас потужним елементом веб-дизайну, який суттєво покращує візуальну привабливість веб-сторінки. А такі можливості імпорт готових 3D-об'єктів у різних форматах, вбудовані функції для створення анімації, відкритість проекту, а також велика та активна спільнота розробників, роблять цей інструмент незамінним в арсеналі front-end розробника будь якого рівня.

Список літератури

1. Офіційний сайт бібліотеки Three.js [Електронний ресурс] — https://threejs.org

2. Репозиторій бібліотеки Three.js на GitHub [Електронний ресурс] – https://github.com/mrdoob/three.js/tree/master

3. Приклад застосування 3D-візуалізації у комерції: кастомізація взуття Nike [Електронний ресурс] — https://www.nike.com/u/custom-nike-blazer-low-shoes-by-you-10002126/2643611404#Builder

УДК 004.94(043.2)

Т.І. Веретільник, к.т.н., доц, Ю.П. Мамонов к.т.н., доц., М.О. Довгодько
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Нові погляди на віртуальну та доповнену реальності як складову електронного видання

Проведено аналітичний огляд щодо використання віртуальної реальності та доповненої реальності для електронного видання в сучасних реаліях і який потенціал він має для революції у видавничій галузі в найближчі роки. З'ясовано перспективні напрями застосування віртуальної реальності та доповненої реальності для видавничої сфери та надає цікаву можливість подолати розрив між друкованими виданнями та цифровим світом. Виявлено, як віртуальна реальність та доповнена реальність інтегрується в індустрію друку, перетворюючи традиційні друковані матеріали на інтерактивні та захоплюючі враження.

Життя людства у 21 столітті нерозривно пов'язане з розвитком технологій, винайденням новітніх пристроїв та опануванням інноваційних рішень, які покликані покращувати та полегшувати освітні процеси, робочу рутину і відпочинок. Віртуальна реальність і доповнена реальність – одні з найбільш революційних сучасних розробок, що справді варті уваги, адже змінюють світ [1, 3].

За визначенням, віртуальна реальність (VR, Virtual Reality) – це сучасна технологія, що дозволяє створювати вигадані світи або імітувати реальність та дає можливість людині (користувачеві) взаємодіяти зі створеним середовищем за допомоги спеціального програмного забезпечення (ПЗ) та пристроїв (гаджетів) [2-5].

Доповнена реальность (AR, Augmented Reality) – технологія, яка полягає у накладанні цифрової інформації на реальність.

Ринок доповненої та віртуальної реальності (VR/AR) в усьому світі переживає значне зростання та розвиток, що обумовлено перевагами клієнтів щодо захоплюючого та інтерактивного досвіду, а також прогресом у технологіях. За останні 10 років видавнича галузь зазнала значних змін, відбувається трансформація цієї галузі, зокрема, досягнення у віртуальній та доповненій реальності досягли лідируючих позицій.

Традиційні медіа стикаються з новими викликами цифрової ери, видавці все більше шукають інноваційні способи встановлення себе окремо від конкурентів, і VR/AR може запропонувати це. Ці технології вже справляють вплив у багатьох країнах в галузах економіки, зокрема ігровий і освітній, і потенціал можливості викликали неабиякий ажіотаж у видавничій сфері. Але хоча точилася широка розмова про те, «як» ці технології працюють, здається, ще є про що сказати точно розуміти, «що» вони можуть зробити для видавців.

Гіпотетично видавці можуть використовувати VR і AR щоб створити захоплюючий контент, який може транспортувати читачів у різні місця та

часи, та надати інтерактивні матеріали. Наприклад, стаття, яка прочитана в доповненій або віртуальній реальності, може показати детальну інформацію про відео на сторінці та дозволить користувачам досліджувати певні місця в 3D-спливаючих вікнах. Можливості потенційно нескінченні.

З прогресом у доступності VR технологій, доступність віртуальної реальності та доповненої реальності зростає. Слід відмітити, що на сьогодні ринок готовий до експоненціального зростання в цій сфері діяльності.

Видавнича галузь зазнала значних змін протягом багатьох років із появою цифрових технологій. Сам термін «електронне видання» означає створення та розповсюдження цифрового контенту серед аудиторії за допомогою різних засобів масової інформації. Зважаючи на те, яка частина видавничого процесу є цифровою. Можливо, правильніше було б сказати, що друковані засоби масової інформації — це лише ще один спосіб електронного видавництва надає контент. У цьому блозі ми розглянемо роль AR і VR в електронному виданні.

Коли читання стало цифровим, спочатку через екрани комп'ютерів, а потім через пристрої для читання електронних книг і екрани смартфонів, такі функції, як гіперпосилання на фотографії та відео, стали наступним логічним кроком. Оскільки контент стає більш інтерактивним, існує явне майбутнє перетину між текстом і різними технологіями цифрової реальності – доповненої реальності (AR), віртуальної реальності (VR) і змішаної реальності (MR). Хоча такі захоплюючі книжки поки що в новинку. Вони дедалі частіше ставатимуть стандартними способами споживання будь-якого контенту, від освітнього до розважального.

Доповнена реальність вже захопила видавничу індустрію штурмом. Надання читачам нового способу взаємодії з книгами. Усі звичайні ментальні образи «інтерактивних книг» зазвичай стосуються, наприклад, AR-динозаврів, які виростають із книг. За допомогою доповненої реальності читачі можуть поєднати віртуальний і фізичний світи, забезпечуючи їм більш захоплюючий досвід читання. Однак поточний метод передбачає, що користувачі запускають досвід AR на своїх екранах за допомогою друкованого QR-коду або сканованого зображення на фізичному матеріалі, як-от книга, глобус, іграшка тощо. Наразі досвід AR досить обмежений, показуючи зображення або невеликі AV-кліпи. У майбутньому досвід, ймовірно, включатиме кероване моделювання машин, біологічних систем тощо, щоб підвищити залученість користувачів і розуміння.

Так само AR можна використовувати для створення інтерактивних обкладинок для книг. За допомогою мобільного пристрою з підтримкою AR читачі можуть сканувати обкладинку та спостерігати, як вона оживає. Наприклад, на ньому можуть бути представлені автори (або актори, які виконують ролі автора чи персонажів у книзі), які забезпечують попередній перегляд вмісту книги. Суперобкладинки можна запакувати додатковим, ексклюзивним матеріалом, щоб заохотити купувати фізичні книги.

Віртуальна реальність не просто більш захоплююча, ніж AR; скоріше він має зовсім інший варіант використання. Його можна використовувати для створення віртуальних книжкових турів, що дозволяють читачам відвідати

місця, описані в книзі. Ця функція може бути особливо корисною для книг про подорожі. Де читачі можуть досліджувати нові напрямки, не виходячи з дому. Іноді під час підготовки до справжнього візиту!

Крім книжок, наукові статті та редакційні статті електронного видання могли б перенести читачів до реальних місць новин, щоб на власні очі побачити всю радість і труднощі, представлені в новинах. Звичайно, VR також можна використовувати для створення 3D-моделей персонажів і місць. Дозволяє читачам взаємодіяти з ними більш захоплюючим способом і надає іграм більшої глибини сюжету.

Яку роль відіграє доповнена реальність у видавництвах і журналах?

Друковані видання, зокрема журнали та книги, знайшли нові шляхи інновацій завдяки інтеграції доповненої реальності. Видавці використовують AR, щоб покращити читацький досвід, пропонуючи додатковий вміст і захоплюючу розповідь. Скануючи певні сторінки чи зображення, читачі можуть отримати доступ до закулісного відео, інтерактивної інфографіки, аудіорозповіді та ексклюзивного цифрового контенту. Доповнена реальність привносить новий вимір у друковані видання, збагачуючи враження від читання та долаючи розрив між статичним текстом і динамічним мультимедіа.

Доповнена реальність також викликає хвилю у світі упаковки та дизайну продуктів. Компанії використовують технологію доповненої реальності, щоб перетворити упаковку продукту в інтерактивний досвід, дозволяючи клієнтам візуалізувати продукти в призначеному середовищі, досліджувати додаткові функції та варіації та навіть отримувати покрокові інструкції зі складання. Доповнена реальність забезпечує рівень зручності та інтерактивності під час покупок, дозволяючи споживачам приймати більш обґрунтовані рішення про покупку та підвищуючи лояльність до бренду.

Потрібно відмітити роль змішаної реальності у видавничій діяльності.

Змішана реальність — це поєднання AR і VR, що дозволяє користувачам взаємодіяти з віртуальними об’єктами в реальному світі. Він має потенціал стерти межу між реальністю та вигадкою, забезпечуючи більш захоплюючий досвід читання. За допомогою MR читачі можуть взаємодіяти з персонажами та об’єктами книги у своєму фізичному середовищі за допомогою власних аватарів, вносячи новий зміст у «імерсивну історію»!

Висновок

Імерсивні технології надають читачам більш привабливий та інтерактивний спосіб споживання цифрового контенту. Покращення загального враження від читання. Оскільки технологія продовжує розвиватися. Ми побачимо ще більше інноваційних способів, за допомогою яких AR, VR і MR можуть трансформувати індустрію електронного видавництва. Це захоплюючий час для галузі, і можна тільки уявити можливості, які ці технології принесуть у майбутньому.

Список літератури

1. Биков В.Ю. Мобільний простір і мобільно орієнтоване середовище Інтернет-користувача: особливості модельного подання та освітнього застосування. Інформаційні технології в освіті, 2013. №17. С. 9-37.

2. Akcayir M. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature / M. Akcayir, G. Akcayir // Educational Research Review. – 2017. – No. 20. – P. 1-11.

3. M. Shanmugam, M. Sudha, K. Lavitha, V. P. Venkatesan, and Keerthana, ‘‘Research opportunities on virtual reality and augmented reality: A survey,’’ in Proc. IEEE Int. Conf. Syst., Comput., Autom. Netw. (ICSCAN), Pondicherry, India, Mar. 2019, pp. 1–6,
doi: 10.1109/ICSCAN.2019.8878796.

4. M. Soliman, A. Pesyridis, D. Dalaymani-Zad, M. Gronfula, and M. Kourmpetis, ‘‘The application of virtual reality in engineering education,’’ Appl. Sci., vol. 11, no. 6, p. 2879, Mar. 2021, doi: 10.3390/app11062879.

5. Virtual Reality and Augmented Reality, 2nd ed. Pittsburgh, PA, USA: Carnegie Mellon Univ., 2018, pp. 545–562.

УДК 721:712.747:[72.012.8:725] (043.2)

Н.Ю. Авдєєва, канд. арх., доцент, Д.В. Гончаренко,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сучасні підходи до проєктування зимових садів в архітектурному середовищі аеропорту

У доповіді розглядається актуальність впровадження зимових садів в структуру аеропортів як простору підвищеного емоційного й функціонального навантаження. Аналізуються сучасні підходи до їх проєктування з урахуванням біофільного дизайну, принципів сталого розвитку, а також на основі аналізу міжнародного досвіду реалізації подібних рішень.

Актуальність проблеми. У XXI столітті аеропорти трансформуються із традиційних транспортних вузлів у складні багатофункціональні комплекси, що поєднують інфраструктуру, комерційні простори, зони обслуговування та дозвілля. Такий розвиток потребує нових архітектурних рішень, здатних забезпечити не лише ефективність і логістику, а й психологічний комфорт для користувачів. Одним з перспективних напрямів є інтеграція природного середовища в інтер'єри терміналів – зокрема, шляхом створення зимових садів. Актуальність проблеми обумовлена кількома ключовими факторами. По-перше, це екологічні виклики – зростання викидів CO_2, перенавантаження інженерних систем, урбанізація. По-друге – соціальні потреби: сучасна людина все більше часу проводить у штучному середовищі, страждаючи від браку контакту з природою. По-третє – естетичні й комерційні вимоги до сучасної архітектури, яка має бути не лише функціональною, а й привабливою

Основні результати. Зимовий сад в інфраструктурі аеропорту виконує комплексну роль: він стає зоною рекреації, візуальним центром, простором регуляції мікроклімату. У таких просторах люди мають змогу відновити емоційний баланс, знизити рівень тривожності перед польотом, підвищити якість перебування в терміналі. Зимові сади створюють природне середовище в межах закритих просторів і стають прикладом гармонійного поєднання архітектури, інженерії та ландшафтного дизайну. Зимові сади в аеропортах виконують не лише естетичну, але й функціональну роль. Вони сприяють: зниженню рівня шуму та очищенню повітря; покращенню акустичних характеристик великих відкритих залів; зменшенню рівня стресу у пасажирів під час очікування рейсів; підвищенню екологічного іміджу об'єкта; зменшенню експлуатаційних витрат завдяки використанню природного освітлення та вентиляції [4]. Сучасне проєктування зимових садів передбачає використання енергозберігаючих матеріалів, сенсорного контролю мікроклімату, підбору рослин, адаптованих до внутрішнього середовища, а також можливість трансформації простору відповідно до функціонального навантаження. Біофільний дизайн стає основою концептуального підходу до формування таких просторів, де рослини, природне світло, вода та природні матеріали сприяють відновленню психологічного ресурсу людини [2].

Основні результати аналізу зарубіжного досвіду свідчать про

ефективність зимових садів у великих аеропортах. Наприклад:

1) Аеропорт «Чангі» (Сінгапур) (рис.1): знаменитий Jewel Changi – купольна конструкція з найбільшим у світі критим водоспадом і багаторівневим тропічним садом. Простір має сенсорне регулювання температури, вологості, використання сонячної енергії [1].



Рис. 1. Аеропорт Чангі (Сінгапур): відомий Jewel Changi

2) Аеропорт «Хамад» (Доха, Катар) (рис. 2.а): тропічний сад *«Orchard»* розміщено в зонах транзиту та очікування. Зони саду створені за принципами біофільного дизайну й інтегровані у вентиляційну систему терміналу [3].

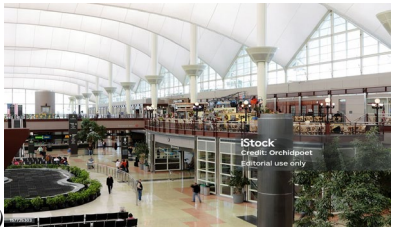
а)  *б)* 

Рис. 2. а) Аеропорт Хамад в Досі, Катар (тропічний сад «Orchard»);
б) Аеропорт Денвер, штат Колорадо, США

3) Аеропорт «Денвер» (штат Колорадо, США) (рис. 2.б): зелений простір слугує буфером між громадськими зонами та службовими приміщеннями, зменшуючи акустичне навантаження.

Ці приклади демонструють, як біофільний дизайн може трансформувати аеропорти в комфортні та екологічно стійкі простори для пасажирів.

Під час проєктування зимового саду в межах аеропорту слід враховувати:

1)**Кліматичні умови** (інсоляція, вологість, середньорічна температура);

2)**Інженерні параметри** (вентиляція, зрошення, освітлення, дренаж);

3)**Флористичний склад** (добір невибагливих вічнозелених або декоративних рослин, стійких до змін мікроклімату);

4)**Функціональне зонування** (простори відпочинку, тихі зони, дитячі куточки);

5)**Дизайн і навігація** – важливо, щоби сад не перешкоджав руху

пасажиропотоків, а гармонійно інтегрувався в архітектуру терміналу.

Використання біофільного підходу в архітектурі базується на природній потребі людини взаємодіяти з природою. На відміну від звичайного «озеленення», біофільний дизайн передбачає глибоку інтеграцію природних елементів у просторову композицію. Це впливає на когнітивні функції, зменшує втому, покращує загальне самопочуття пасажирів і персоналу. Особливої уваги заслуговує **енергоефективний аспект** зимових садів. Завдяки тепловому буферу, який створюють зелені насадження, температура в приміщеннях стає стабільнішою, а отже, зменшуються витрати на обігрів або охолодження. Використання скляних конструкцій із сонцезахисними властивостями дозволяє ефективно акумулювати й розсіювати світло. На жаль, в Україні подібні рішення в інфраструктурі аеропортів поки що не отримали широкого поширення. Однак існують всі передумови для реалізації таких проєктів на прикладі реконструкцій чи нових будівництв – з урахуванням локального клімату, естетичних і функціональних вимог, а також потенційних переваг для іміджу країни.

Висновки:

Інтеграція зимових садів в архітектурне середовище аеропортів є перспективним напрямом розвитку екологічно орієнтованої архітектури. Такий підхід відповідає глобальним викликам, зокрема необхідності забезпечення сталого розвитку, підвищення якості життя у міському середовищи і формування позитивного досвіду перебування у великих транспортних вузлах. Успішні приклади міжнародних аеропортів підтверджують ефективність біофільного дизайну, який може слугувати зразком для майбутніх проєктів в Україні. Подальші дослідження у цій галузі можуть сприяти вдосконаленню методик проєктування й гармонізації технічних та естетичних рішень у сфері транспортної архітектури. Українські аеропорти мають потенціал для впровадження подібних практик, що дозволить модернізувати інфраструктуру відповідно до сучасних світових стандартів.

Список літератури

1. Singapore Changi airport's biophilic Jewel Terminal is unveiled. Globetrender. URL: https://globetrender.com/2019/04/12/singapore-changi-airport-jewel-terminal/

2. Jackie De Burca. Enhancing biodiversity through architecture.Constructive-voices. URL: https://constructive-voices.com/enhancing-biodiversity-through-architecture/

3. Касіянчук М. Сад в аеропорту: який вигляд має оновлений термінал у столиці Катару. Zakordon.24. URL: https://zakordon.24tv.ua/sad-aeroportu-yakiy-viglyad-maye-onovleniy-terminal-stolitsi_n2300481

4. Krivenko O. et al (2021). Biomimetic approaches to color formation in ecological architecture. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 1150(012007),1–5. DOI: https://doi:10.1088/1757-899X/1150/1/012007

УДК 332.87

П.П. Кур'ят, ст. викл.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Порівняльний аналіз підходів до визначення площ у будівлях: українські та міжнародні нормативи

У роботі проведено порівняльний аналіз підходів до визначення площ у будівлях у національній та міжнародній практиці. Висвітлено особливості класифікації площ, методики їх обчислення, підходи до врахування допоміжних і неопалюваних приміщень. Окрема увага приділена відмінностям у визначенні загальної, корисної та будівельної площ, а також способам обліку поверховості та об'ємів. Побудована матриця сумісності демонструє рівень узгодженості між різними системами нормування. Запропоновано напрями уніфікації підходів до визначення площ, що можуть бути корисними для проєктувальників, оцінювачів нерухомості та учасників міжнародних інвестиційно-будівельних проєктів.

Питання єдності методології визначення площ у будівлях має ключове значення для узгодження проєктної, будівельно-технічної, правової та економічної діяльності в архітектурному середовищі. Особливо актуальним це стає в умовах інтеграції України в європейський простір та зростаючої участі у міжнародних будівельних контрактах. У доповіді представлено порівняльний аналіз українських нормативних актів — ДБН В.2.2-9:2018 [1], ДБН В.2.2-15:2019 [2], Інструкції №127 (2001) [3] — та міжнародних: BOMA 2018 [4], ANSI/BOMA Z65.1-1996 [5], ISO 9836:2017 [6], DIN 277-1:2016 [7], NBC India 2016 [8] та Dubai Building Code 2021 [9].

Українські нормативи оперують такими категоріями, як загальна площа квартири, житлова площа, площа забудови, будівельний об'єм, тоді як міжнародні — зокрема BOMA та ISO — використовують класифікацію Gross Area, Net Area, Rentable/Usable Area, Brutto/Netto-Grundfläche, Carpet Area тощо.

Основні відмінності спостерігаються у визначенні меж обчислення. Українські ДБН здебільшого використовують внутрішній контур приміщень (за опорядженими поверхнями), Інструкція №127 [3] — єдина, яка задає висоту вимірювання (1,10–1,30 м). Стандарти DIN 277-1:2016 [7] і ISO 9836:2017 [6] враховують тип функціонального простору. BOMA 2018 [4] допускає декілька сценаріїв, а методика ANSI/BOMA Z65.1 [5] базується на домінантній частині стіни як точці обліку.

Існують розбіжності у відображенні літніх та неопалюваних приміщень. ДБН В.2.2-15:2019 [2] прямо виключає лоджії, балкони, тераси з загальної площі, Інструкція №127 [3] застосовує коефіцієнти (0.3, 0.5, 1.0). Міжнародні документи, як-от BOMA 2018 [4] та Dubai Building Code [9], враховують ці площі лише за певних умов.

Визначення поверховості теж має розбіжності. В українських ДБН технічні поверхи не враховуються, у DIN 277 [7] та NBC India [8] аналіз проводиться за об'ємами. Стандарти ISO 9836 [6] та BOMA [4] застосовують площинно-об'ємний підхід.

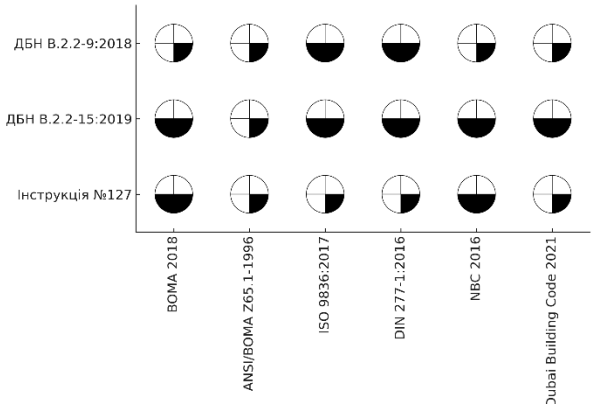


Рис. 1. Матриця сумісності між українськими та зарубіжними нормативами

Секторна матриця сумісності (рис. 1) показує, що найвища узгодженість спостерігається між ДБН В.2.2-15:2019 [2], ISO 9836 [6] та DIN 277 [7], частково — з Dubai Code [9]. Найменша — в Інструкції №127 [3].

Крім нормативних відмінностей, суттєве значення має практична інтерпретація понять у різних професійних середовищах. Наприклад, поняття "корисна площа" може трактуватися по-різному інженерами, архітекторами й експертами з нерухомості залежно від мети розрахунку — облікової, технічної або маркетингової. Така варіативність у тлумаченні площ ускладнює їх автоматизований облік у BIM-системах і цифрових реєстрах нерухомості. Тому важливо не лише гармонізувати термінологію між нормативами, а й забезпечити семантичну сумісність понять у міждисциплінарному середовищі, що стане підґрунтям для створення уніфікованих цифрових шаблонів і регламентів обміну даними.

Також варто наголосити, що методика визначення площ безпосередньо впливає на обчислення об’ємів проектування, які є основою для визначення ціни проєктних робіт. Згідно з чинною нормативною базою, в Україні розрахунок вартості проектної документації часто здійснюється за показниками будівельного об’єму та площі, зокрема відповідно до Настанови з визначення вартості проектних, науково-проектних, вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво [10]. У цьому документі площа є ключовим параметром для застосування укрупнених нормативів вартості. Відтак, розбіжності в підходах до визначення площ можуть призвести не лише до методологічних труднощів, а й до суттєвих економічних наслідків — помилок у розрахунках вартості проєктування, суперечок між замовником і виконавцем або завищення бюджету при експертизі проектів.

Висновок

В українському нормативному середовищі існує функціональна і термінологічна неузгодженість, що ускладнює адаптацію до міжнародних

проєктів. З огляду на це, ISO 9836:2017 [6] може бути прийнятий як референтний міжнародний стандарт для уніфікації підходів до визначення площ. Доцільно розробити методичні рекомендації з трансформації площ та забезпечити їх зворотну сумісність.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-9:2018. Громадські будинки та споруди. – Київ : Мінрегіон України, 2018.
2. ДБН В.2.2-15:2019. Житлові будинки : зі зміною №1. – Київ : Мінрегіон України, 2019.
3. Інструкція про порядок проведення технічної інвентаризації об'єктів нерухомого майна / Затв. наказом Держбуду України №127 від 24.05.2001. – Київ, 2001.
4. BOMA 2018 Gross Areas Standard. Building Owners and Managers Association International, 2018.
5. ANSI/BOMA Z65.1-1996. Standard Method for Measuring Floor Area in Office Buildings. – BOMA International, 1996.
6. ISO 9836:2017. Performance standards in building – Definition and calculation of area and space indicators. – Geneva : ISO, 2017.
7. DIN 277-1:2016-01. Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau. – Berlin : DIN Deutsches Institut für Normung, 2016.
8. National Building Code of India 2016. Volume 1. – Bureau of Indian Standards, 2016.
9. Dubai Building Code 2021. – Dubai Municipality, 2021.
10. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості проектних, науково-проектних, вишукувальних робіт та експертизи проектної документації на будівництво / Затв. наказом Мінрегіону України від 01.11.2021 № 281. – Київ, 2021.

УДК 712

В.О. Нещадим, П.М. Годованець
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Озеленені дахи як альтернатива озеленення міст

В тезах відкривається актуальна інформація про озеленені дахи , їх історична довідка, типологія, та технічні дані.

Актуальність. З значною урбанізацією країн, з активним розвитком економік, викреслюється проблема оптимізації простору, як наслідок центрованого способу зростання міст. Площі землі викупляються задля створення житлових комплексів чи економічно налаштованих зон. Рекреаційний аспект ігнорується в деяких випадках, через важкість його влаштування в щільну забудову. Сучасні урбаністи активно шукають альтернативні методи створення зелених очагів в структурі міст.

Мета. Підсумувати історичний досвід інтеграції садів на дахах, та викреслити технології задля безпечного та якісного створення зелених просторів.

Основна частина. Історія міст вже продовжується, як понад 5 тис. років, і тільки в 1800 роках , при активній індустріалізації , частка міст почала збільшуватись. На даному історичному етапі в містах живе понад 58 % населення, при цьому цей показник тільки збільшується. Історія садів почалась з Ассирії та Вавилону, Висячі сади Семіраміди як приклад. Продовження цієї традиції перекочувало до Стародавньої Греції та Риму, Озеленення на дахах існувало в різних формах (як повноцінні сади, так просто покрівельний трав'яний шар) давніх Держав, В Японії , Німеччині , Данії , та навіть, в Україні. Практики Саду раніше мали лише Декоративну властивість. Зараз викреслюють і практичні переваги Дахового Озеленення, а саме: регуляція температур, водовідведення, баланс екосистеми. Також слід враховувати й недоліки: ціну, зменшену вибірку рослин, важкість монтування та підтримку.

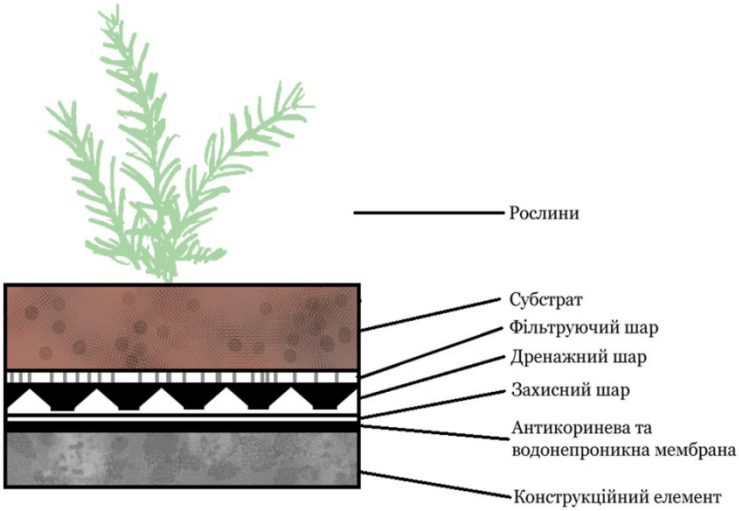
Зелені Дахи поділяють на екстенсивні, інтенсивні, інколи напівінтенсивні.

Інтенсивні зелені дахи – це, саме сади, які розробляють з значною товщиною субстрату (15 - 20 см), використовують широку вибірку рослин з водоутриманням близько 50 %, та великою вагою від 180 до 500 кг/$м^2$. Кут поверхні повинен не перевищувати 10 градусів.

Екстенсивні зелені дахи, в свою чергу, характеризуються меншою товщиною субстрату (до 15 см), видове різноманіття таких покрівель включає лише види трав, мохів та деякі види сукулентів; подібна покрівля має малу вагу порівняно з інтенсивною, мізерні витрати та легка в догляді.

Незважаючи на ціну та збільшену вагу, що призводить до додаткового укріплення несучих конструкцій, інтенсивні дахи є кращим рішенням з точки зору отриманих результатів. Однією з головних переваг інтенсивної системи покрівлі є створення природного середовища з покращеним біорізноманіттям, що забезпечує простір для відпочинку, оскільки вони зазвичай призначені для

використання людьми та для розваг. Стік води з інтенсивним озелененим дахом є чистішим, забруднення свинцем є втричі меншим, в півтора рази менше забруднення цинком, в 2,5 рази кадмієм. Після вище зазначених фактів, здається дивним, що екстенсивні дахи є більш розповсюдженими. Хоча це все пояснюється їх меншими капітальними витратами, витратами на технічне обслуговування.



Зелений дах складається з декількох компонентів, які є вкрай важливими, перелічимо згори донизу: субстрат, фільтруючий шар, дренажний шар, захисний шар, антикориневий бар'єр, гідроізоляційна мембрана. Дренажний шар є ключовим елементом у забезпеченні ефективного функціонування зеленого даху. Він сприяє відведенню зайвої вологи з субстрату, створюючи оптимальні умови для рослин — із належним балансом повітря та води, а також необхідною вентиляцією для кореневої системи. Під час проєктування зеленого даху важливо враховувати агресивну природу кореневих систем. Кореневий бар'єр виконує захисну функцію — він оберігає гідроізоляційну мембрану та дахову конструкцію від проникнення рослинних коренів, які можуть механічно пошкодити або хімічно змінити водонепроникний шар. Гідроізоляційна мембрана є не менш важливою з елементів конструкції зеленої покрівлі. Вона забезпечує захист будівлі від проникнення вологи, яка накопичується у верхніх шарах. Водночас зелений дах оберігає саму мембрану від температурних коливань та ультрафіолетового випромінювання, що можуть швидко знизити її ефективність. Всі, вище перераховані елементи існують задля забезпечення стабільності субстрату та створення відповідних умов для рослин. Якість субстрату повинна відповідати всім необхідним нормам. Їх насипна щільність має бути якомога меншою, це дозволяє потовщити шар землі, і висадити більшу вибірку рослин. Пористість грунту для екстенсивних шарів бажано було б враховувати не менше 58 %, а для

інтенсивних не менше 48%, цей показник забезпечить субстрат необхідним водоутриманням і водопоглинанням. Під час підбору рослин для зеленого даху важливо враховувати кліматичні фактори, зокрема кількість опадів, рівень вологості, силу вітру та сонячне випромінювання. Також слід зважати на склад субстрату, оскільки його характеристики — pH, вміст солей і поживних речовин — визначають, які види рослин можуть бути успішно висаджені.

Висновки

Зелені дахи є хорошим запасним варіантом для щільної міської забудови. Ця практика є популярною в світі, має довгу історію, та є гнучкою під можливі витрати і клімат забудови. Її розвиток в Україні є мізерними, і українські міста тільки б вигравали за рахунок подібних рішень. Покращення біосфери, оптимізація стічних вод, рекреаційний момент – все це про озеленені дахи.

Список літератури

1. Стефано К. Дизайн зеленого даху: сучасні технології та матеріали. Сталий розвиток. 2019. Т. 11. С. 3020.

2. Міхалакаку Г. Зелені дахи як природне рішення для підвищення стійкості міст: прогрес і перспективи. Огляди відновлювальної та сталої енергетики. 2023. Т. 180. 113306.

УДК 004.942+711.4

О.А. Соколовський, CEO «Хейон Юкрейн»
(Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Україна)
П.П. Кур'ят,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Роль хмар точок у верифікації та підтримці життєвого циклу міських інфраструктурних об'єктів

У роботі висвітлено роль хмар точок як цифрового інструменту для верифікації геометрії, оновлення BIM-моделей і підтримки життєвого циклу інфраструктурних об'єктів. Розглянуто методи сканування, типи обладнання, програмне забезпечення для обробки та інтеграцію даних у середовище CAFM, GIS та цифрових двійників. На прикладі реалізованого проєкту демонструється ефективність використання хмар точок у зв'язці з BCF-комунікацією для контролю відповідності фактичного стану проєктним рішенням. Підкреслено перспективність подібних технологій у сфері розумних міст і цифрового управління архітектурними об'єктами.

У сучасних умовах урбанізація тісно поєднується з цифровими технологіями. Міста, як складні системи, потребують не лише якісного проєктування, а й ефективного управління своєю інфраструктурою на всіх етапах життєвого циклу. Тому точність просторових даних, їх оперативне оновлення та цифровий супровід об'єктів стають критично важливими факторами для проєктувальників, будівельників і експлуатуючих організацій [1, 2].

Хмари точок (англ. Point Cloud) — це одна з ключових технологій, яка забезпечує максимально точне цифрове відображення фізичного середовища. Завдяки високій щільності сканування, вони дозволяють відтворювати об'єкти інфраструктури з точністю до міліметра, створюючи базу для побудови або оновлення BIM (Building Information Modelling, укр. Будівельне інформаційне моделювання) моделей [3]. Цей підхід особливо актуальний при переході від проєктних моделей до as-built-стану — фактично реалізованої архітектури.

Застосування хмар точок значно підвищує якість верифікації, дозволяє виявляти неточності і планувати обслуговування об'єктів у цифровому середовищі. Надалі саме ця технологія інтегрується у системи цифрового управління нерухомістю, CAFM (Computer Aided Facility Management, укр. Комп'ютерна система керування експлуатацією будівель), розумні міста та GIS (Geographic Information System, укр. Геоінформаційна система) рішення [5, 6, 7]. Для кращого розуміння потенціалу технології — розглянемо принципи роботи з хмарами точок, їх методи та інструменти, що застосовуються в міському проєктуванні та експлуатації.

Хмара точок — це цифрове представлення простору у вигляді великої кількості тривимірних координат, які утворюють геометричну модель поверхонь об'єкта або місцевості. Її формують за допомогою лазерного сканування LiDAR-приладами та/або фотограмметрії на основі сканування з дронів, що дозволяє фіксувати форму, розміри та навіть текстуру фізичних об'єктів. Дані, отримані у

такий спосіб, стають базою для створення 3D-моделей, цифрових двійників або подальшого BIM-моделювання.

Існують три основні типи сканування: наземне (статичні або мобільні сканери, встановлені на штативах або транспорті), повітряне (дрони або літальні апарати для великих територій) і мобільне (ручні або кріплені пристрої для сканування в русі, зокрема в інтер'єрах). Кожен тип має свої переваги: повітряне охоплює великі площі, наземне забезпечує високу деталізацію, а мобільне — оперативність у складних умовах. Якість отриманої хмари залежить від щільності точок та точності приладу (зазвичай до 2–5 мм для архітектурних потреб).

Для обробки хмар точок використовують такі програми, як Autodesk ReCap, CloudCompare, Leica Cyclone, Trimble RealWorks та інші. Вони дозволяють фільтрувати шум, сегментувати об'єкти, порівнювати хмари з BIM-моделями, а також готувати геометрію до імпорту в Revit, ArchiCAD чи інше програмне забезпечення. Саме завдяки такій обробці хмари точок перетворюються на ефективний інструмент верифікації та редагування as-built або виконавчих моделей, тобто оцифровки того, що фактично побудовано на будівельному майданчику.

Порівняння геометрії сканованої хмари з цифровою моделлю дозволяє точно виявляти відхилення, пропуски чи недотримання висот, габаритів і розташування елементів в просторі. Це особливо важливо для інфраструктурних об'єктів, де помилка у декілька сантиметрів може вплинути на експлуатацію або безпеку.

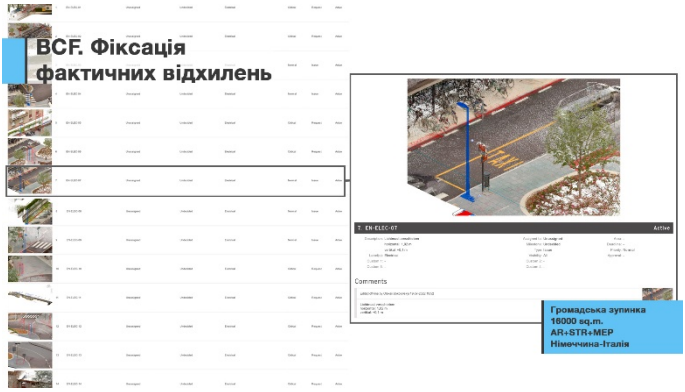


Рис. 1. BCF звіт щодо відхилень фактично побудованого від проєктних рішень (Візуальні матеріали компанії ТОВ "Хейон Юкрейн")

Одним з підходів до комунікації в процесі верифікації може бути використання BCF (BIM Collaboration Format). Цей формат дозволяє фіксувати відхилення прямо в контексті моделі — з прив'язкою до координат, скріншотами, коментарями та призначенням відповідальної дисципліни, розділу або виконавця.

BCF-потік суттєво полегшує міждисциплінарну координацію і допомагає вчасно оновлювати проєктні рішення.

У процесі приведення моделі до фактичного стану команда виконує корекцію геометрії, уточнення матеріалів, габаритів і просторового розташування елементів. Це дозволяє сформувати актуальну цифрову копію об'єкта, яку згодом можна використовувати для аналізу, експлуатації або реконструкції. Така модель є точним «дзеркалом» реальності і дає змогу уникати помилок у наступних проєктних або технічних етапах [1].

У рамках локального урбаністичного проєкту в Італії було реалізовано комплексне рішення для зупинки громадського транспорту. На першому етапі клієнт ініціював лідар-сканування об'єкта з використанням наземного лазерного сканера. Це дало змогу отримати високоточну хмару точок, яка зафіксувала всі геометричні характеристики побудованої зупинки після завершення будівельних робіт.



Рис. 2. Хмара точок зупинки громадського транспорту (Візуальні матеріали компанії ТОВ "Хейон Юкрейн")

Проєкт мав готову BIM-модель у форматі проєктного рішення, яка була вихідною базою для сканування і подальшого порівняння. Застосування BCF-коментування дозволило команді фіксувати всі відхилення між моделлю та хмарою точок: зміщення колон, різницю у висотах, невраховані отвори тощо. Це дало змогу оперативно виявити проблеми ще до введення об'єкта в експлуатацію.

Після фази аналізу модель була приведена у відповідність до фактичного стану (as-built): оновлено геометрію, адаптовано маркування, внесено зміни в елементи конструкцій. Фінальна модель стала надійною основою для подальшої експлуатації об'єкта, зокрема для використання у системах управління будівлею (CAFM), технічного обслуговування та планування ремонтів.

Після завершення моделювання as-built або виконавча модель інтегрується у цифрову інфраструктуру експлуатуючих служб, що дає змогу автоматизувати контроль технічного стану об'єкта. Наприклад, за допомогою

хмари точок можна періодично сканувати об’єкт і порівнювати з еталонною моделлю, відстежуючи деформації або знос.

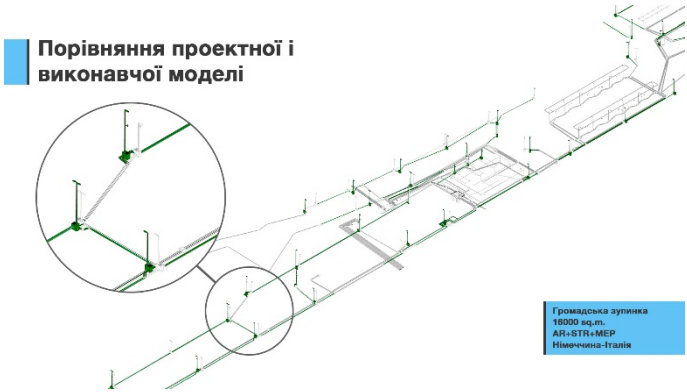


Рис. 3. Порівняння моделей проектної та as-built (Візуальні матеріали компанії ТОВ "Хейон Юкрейн")

Також хмари точок можуть бути джерелом інформації для планування ремонтів — завдяки фіксації стану поверхонь, наявності пошкоджень або змін у конструкції. Вони використовуються для створення інтерактивних моделей, які дозволяють службам експлуатації візуально аналізувати об'єкт, не виходячи на місце.

У перспективі інтеграція хмар точок із датчиками моніторингу IoT (Internet of Things, укр. Інтернет речей) та GIS-системами дозволить містам ефективно керувати інфраструктурними об’єктами в реальному часі. Це створює передумови для появи повноцінних цифрових двійників міських середовищ — точних, оновлюваних, інтегрованих у всі рівні управління містом.

Висновок

Хмари точок — це не просто засіб фіксації геометрії, а повноцінний інструмент для верифікації, аналізу і цифрового супроводу інфраструктурних та архітектурних об’єктів. Вони підвищують точність моделювання, забезпечують прозорість контролю будівництва і формують базу для ефективного управління об’єктом у майбутньому.

Італійський проект показує, що навіть невеликий інфраструктурний об’єкт може стати прикладом інтеграції інновацій: від сканування до експлуатації. Надалі такі підходи мають потенціал масштабування — як для житлових, так і для транспортних систем у межах концепцій розумних міст.

Список літератури

1. Соколовський О.А. Застосування хмар точок в проектній діяльності // Збірник наукових праць за матеріалами III Міжнародної науково-практичної конференції «Вища технічна освіта XXI століття: виклики, проблеми, перспективи», 13–14 грудня 2024 р. м. Краматорськ – м. Івано-Франківськ : ДонНАБА. 2024. 318 с.
2. 3D Point Cloud Semantic Modelling: Integrated Framework for Indoor Spaces and Furniture. URL: https://www.mdpi.com/2072-4292/10/9/1412 (дата доступу 16.04.2025).
3. Point cloud. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud (дата доступу 16.04.2025).
4. BIM. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling (дата доступу 16.04.2025).
5. ГІС. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Геоінформаційна_система (дата доступу 16.04.2025).
6. CAFM. URL:
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-aided_facility_management (дата доступу 16.04.2025).

УДК 725.398

Д.С. Новік, Н.В. Бжезовська
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Адаптивність готелів до потреб клієнтів в аеропортах

Проаналізовано раціональне використання простору в готелях при аеропортах для всіх потреб людей. Визначено основні принципи та особливості використання приміщень в середовищах аеропортів.

Актуальність проблеми. Готелі при аеропортах — це спеціалізовані заклади розміщення, які орієнтовані на обслуговування пасажирів, що подорожують повітряним транспортом. Вони зазвичай розташовані безпосередньо на території аеропорту або в його безпосередній близькості, що дозволяє гостям швидко дістатися до терміналів. У таких готелях стандартно пропонуються послуги цілодобового заселення, трансферу до терміналів, раннього сніданку, зручних зон для відпочинку, а також підвищена звукоізоляція номерів. Актуальність полягає в зростанні пасажиропотоку: світові аеропорти, такі як Чангі (Сінгапур), Хамад (Доха), Ханеда (Токіо), щороку обслуговують мільйони пасажирів, і їхній сервіс постійно вдосконалюється відповідно до очікувань клієнтів. Це створює високий попит на якісні готельні послуги саме в аеропортах. Зміна структури попиту: сучасний гість аеропортового готелю — це не лише турист, а й бізнес-мандрівник, транзитний пасажир, учасник конференцій, сімейні пари, які подорожують з дітьми, а також люди, які шукають короткострокове проживання. Це вимагає від готелів гнучкості та здатності швидко адаптуватися до різних потреб. Тренд на інновації та комфорт: найкращі аеропорти світу отримують високі оцінки саме за рівень сервісу, інноваційність, зручність логістики, якість харчування та розважальні можливості. Готелі при аеропортах мають інтегрувати ці стандарти, щоб залишатися конкурентоспроможними. Скорочення вікна бронювання: гості все частіше бронюють номери за 1-2 дні до заїзду, що ускладнює планування та вимагає від готелів гнучких систем управління номерним фондом і персоналом. Безпека та автономність: особливо в умовах криз (пандемія, військові дії), гості очікують від готелів при аеропортах високого рівня безпеки, автономності та технологічної оснащеності.

Основні результати. Розглянемо варіанти раціонального використання простору та гнучкості дизайну в таких аеропортах:

- *TWA Hotel (JFK).* Історичний термінал TWA 1962 року (архітектор Еро Саарінен) трансформовано у сучасний готель зі збереженням ретродинаміки. Додано дві нові крила, які візуально підкреслюють оригінальну структуру. Мультифункційні простори: 50 000 кв. футів площі для заходів (конференції, весілля, модні покази Louis Vuitton)[1], критий басейн з панорамою на злітні смуги та спортзал 10 000 кв. футів, магазин авіаційного мерчу та ресторани від шефа Жан-Жоржа.

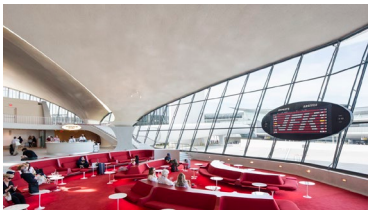


Рисунок 1. Використання мультифункційних просторів в TWA Hotel (JKF)

• *Grand Hyatt SFO.* Технологічна інтеграція: прямий доступ до терміналів через власну станцію AirTrain, 14 435 кв. футів гнучкого івент-простору[2] з природним освітленням, включаючи бальні зали та 18 переговорних кімнат, номери з сенсорним клімат-контролем, Chromecast та звукоізоляцією, екологічні рішення: сертифікація LEED Gold за енергоефективність.



Рисунок 2. Івент-простори в готелі *Grand Hyatt SFO*

• *Hyatt Regency Orlando International Airport.* Адаптація до короткострокового проживання: 445 номерів[3], включаючи Day Use Rooms для транзитних пасажирів (оренда на кілька годин), 60 типів номерів, що дозволяє персоналізувати простір для бізнес-гостей, сімей та туристів, дизайн для релаксу: нейтральні кольори, текстуровані меблі, гнучке освітлення для створення атмосфери спокою, відокремлені зони для роботи та відпочинку в номерах.

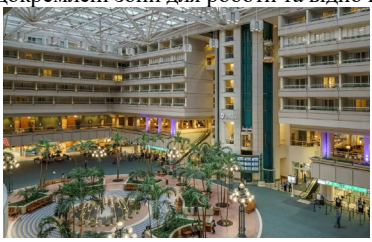


Рисунок 3. Вигляд номерів з холу в готелі *Hyatt Regency Orlando International Airport*

Особливості гнучких просторів у аеропорт-готелях - це трансформація до потреб сучасних пасажирів:

• *TWA Hotel:* історичний термінал використовується для масштабних івентів, ресторанів та розваг.
• *Grand Hyatt SFO:* модульні переговорні кімнати з підтримкою технологій для онлайн-конференцій.
• *Hyatt Regency Orlando*: автоматизоване заселення через додаток, швидкий доступ до терміналів. Усі три готелі використовують звукоізоляцію номерів для боротьби з шумом літаків.

Висновки. Адаптивність готелів при аеропортах є критичним фактором їхньої конкурентоспроможності та ефективності в умовах динамічного розвитку авіаційної галузі. На основі проведеного аналізу можна виділити такі ключові аспекти:
1. *Гнучкість просторів і послуг:*
- мультифункціональність (поділ зон для роботи, відпочинку, івентів) дозволяє задовольнити потреби різних категорій гостей.
- короткострокове проживання (наприклад, капсули або «Day Use Rooms») оптимізує використання номерного фонду.
2. *Технологічна інтеграція:*
- автоматизовані системи бронювання, «розумні» номери та енергоефективні рішення (LEED-сертифікація) підвищують ефективність і зменшують операційні витрати.
- мобільні додатки для швидкого заселення та персоналізованих пропозицій покращують клієнтський досвід.
3. *Управління ризиками:*
- стратегічне планування (SWOT-аналіз, прогнозування попиту) допомагає адаптуватися до криз та зменшити вплив фінансової нестабільності.
- культурна адаптація (локалізований сервіс, мовна підтримка) забезпечує лояльність міжнародних гостей.
4. *Екологічна відповідальність*: використання відновлюваної енергії, локальних продуктів і еко-матеріалів формує імідж прогресивного бізнесу.

Для раціонального використання простору в готелях при аеропортах доцільним було б інвестуватиння в модульні дизайн-рішення та розширення партнерства з аеропортами та місцевими бізнесами.

Список літератури

1. Новік Д.С., Гнучкість простору в готелях при аєропортах/ Новік Д.С., Бжезовська Н.В.,// Тези доповідей онлайн-конференції «Політ-2025», 2025 р. – Ел. ресурс.
2. TWA Hotel Reliving the Golden Age of Travel at JFK. DSCENE. URL: https://www.designscene.net/2024/12/twa-hotel-jfk.html.
3. Hyatt Regency Orlando Intl Airport | Cvent. Cvent | Event Platform for In-person, Virtual, and Hybrid Events & Webinars. URL: https://www.cvent.com/venues/en-US/orlando/hotel/hyatt-regency-orlando-intl-airport/venue-80364894-780c-480c-9bab-8a2bba6f39fd?app=phoenix/
4. SFO Grand Hyatt - Architectural Glass & Aluminum. Architectural Glass & Aluminum. URL: https://www.aga-ca.com/portfolio/sfo-grand-hyatt/

УДК 725.398

А.О. Воробей, Н.В. Бжезовська,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Озеленення аеропортів

Досліджено озеленення аеропортів як інноваційного підходу до поєднання сучасної інфраструктури з екологічними принципами. Визначені основні переваги озеленення. Приділено увагу архітектурним рішенням — від зелених дахів до внутрішніх садів та вертикальних стін з рослинами. Описано новітні технології, що забезпечують ефективне функціонування зелених систем.

Актуальність проблеми: Сьогодні, коли світ стикається з проблемами зміни клімату, зростаючим рівнем урбанізації та потребою у комфортному середовищі для людини, особливу увагу привертає озеленення інфраструктури. Цей напрям об'єднує екологічні ініціативи, сучасну архітектуру та інноваційні технології та є актуальним в будівництві аеропортів.

Основні результати. Згідно з дослідженнями ATAG , світова авіаційна промисловість виробляє 2% усіх антропогенних викидів вуглекислого газу. Коли мова заходить про зміну клімату, авіаційна промисловість відчуває дедалі більший тиск. Із розвитком аеропортів зростає їхній вуглецевий слід і викиди. Оскільки будуються нові термінали, транспортні засоби наземного транспорту та споруди, потреба в енергії зростає. Як наслідок, багато аеропортів у всьому світі включили більш екологічні елементи у свої проекти та операційні стратегії, а також пообіцяли підтримувати екологічно стійкі ініціативи, таким чином перетворюючись на екологічні аеропорти.

Рослини поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень, а також фільтрують пил і шкідливі речовини. Це покращує повітря в приміщеннях терміналів і знижує загальне забруднення. Зелені насадження можуть ефективно поглинати звук, що є критично важливим для шумного середовища аеропортів. Зелені дахи знижують температуру влітку та зменшують втрати тепла взимку, що допомагає економити енергію на кондиціонування та опалення. Загалом природа має заспокійливу дію, знижує рівень стресу, покращує настрій і сприяє кращому самопочуттю пасажирів, особливо під час довгих очікувань або пересадок, що є позитивним чинником в психологічному та фізичному стані відвідувачів аеропортів. Озеленення підтримує локальну флору та фауну й демонструє відповідальність аеропорту перед довкіллям, що позитивно впливає на його імідж. Архітектурне рішення озеленення аеропортів — це поєднання функціонального, естетичного й екологічного підходів до проєктування внутрішнього та зовнішнього простору терміналів. В основі — ідея створення комфортного середовища для пасажирів і працівників, зменшення негативного впливу на довкілля та формування позитивного іміджу сучасного "зеленого" аеропорту.

Види озеленення та їх переваги:

- *Зелені дахи:* на дахах терміналів або адміністративних будівель створюють газони, мохові покриття, навіть міні-парки або городи. Вони

покращують теплоізоляції будівлі, поглинають дощову воду; знижують ефект теплового острова та створюють естетичний вигляд (особливо при зльоті чи посадці літака).

- *Вертикальні сади:* внутрішні стіни терміналів покривають рослинами, що створює "живі" інтер'єри. Це часто поєднується з автоматичними системами поливу та освітлення. Перевагами є економія простору, покращення якості повітря та створення унікальної атмосфери.

- *Оазиси в залах очікування:* використання природних матеріалів, водних елементів (фонтанів, басейнів), дерев'яних поверхонь і природного світла створює атмосферу відпочинку та гармонії. Завдяки таким оазисам знижується стрес у пасажирів, покращується візуальне сприйняття інтер'єру, і урізноманітнюється архітектура, додається колір, текстура та глибина зелені. Самі зони можуть слугувати природними орієнтирами в складній структурі аеропорту, допомагаючи пасажирам краще орієнтуватися. Озеленення в зонах очікування формує "зелений імідж" аеропорту як сучасного й сталого об'єкта і підкреслює екологічну політику країни або регіону.

- *Внутрішні атріуми та зимові сади:* центри терміналів або транзитні зони можуть мати великі атріуми з деревами, кущами, водоймами — міні-ботанічні сади в закритому просторі. Внутрішній сад або атріум із зеленими насадженнями, деревами й водними елементами компенсує відсутність природи в урбанізованому середовищі. Це додає «живу» складову до технологічного інтер'єру. Атріуми мають скляні стелі або фасади, що пропускають денне світло в глибину будівлі, тому це зменшує потребу в штучному освітленні, сприяючи економії електроенергії.

Технології використання озеленення в аеропортах — це комплекс сучасних рішень, які дозволяють інтегрувати природу у високонавантажене транспортне середовище з урахуванням функціональності, сталості та енергоефективності. Такі технології охоплюють як ландшафтний дизайн, так і «розумні» системи керування рослинністю. Для ефективного озеленення застосовуються інноваційні технології. До прикладу, системи розумного поливу оснащенні сенсорами, які реагують на вологість ґрунту та погодні умови; гідропоніка та аеропоніка — це сучасні методи вирощування без ґрунту, актуальні для внутрішніх озеленених просторів; LED-освітлення, яке забезпечує фотосинтез у зонах із недостатнім природним світлом, а також системи збору дощової води, що використовуються для екологічного зрошення зелених зон. Ряд аеропортів у всьому світі почали впроваджувати «зелені» програми, щоб зробити свої будівлі більш екологічними та екологічно чистими. Ось деякі з них:

1. Бостонський міжнародний аеропорт Логан, США. Перший у світі аеровокзал, який отримав акредитацію Leadership in Ener g y and Environmental Design, розташований у міжнародному аеропорту Бостона Логан. Термінал А має тепловідбиваючі дахи та тротуари, а також водозберігаючі сантехніки з низьким потоком води. Покриття однієї з злітно-посадкових смуг аеропорту було замінено екологічно чистим асфальтом , який можна було нагрівати при нижчій температурі під час будівництва, що призвело б до скорочення викидів вуглецю на 2000 тон протягом усього терміну експлуатації проекту. Офіси аеропорту оснащені парком вітрових турбін заввишки 6 футів, які виробляють

близько 3% енергії, необхідної для роботи.

2. Галапагоський екологічний аеропорт, Галапагоські острови – перший у світі повністю зелений аеропорт. Створений для роботи повністю на сонячній та вітровій енергії, при цьому вітряні млини забезпечують 65% загальної енергії, а фотоелектричні панелі на доріжках забезпечують 35%. Сталеві труби, взяті з нафтовидобувних родовищ, були використані для будівництва 80% інфраструктури. Дерев'яні та металеві конструкції з попереднього будинку аеропорту, Сеймура, були використані повторно, а меблі виготовлені з екологічно чистих матеріалів. В аеропорту також є опріснювальний завод, який збирає морську воду та очищує її для використання в терміналі. Потім стічні води закачуються назад в очисні споруди для подальшого використання мандрівниками.

3. Сінгапурський аеропорт Чангі, Сінгапур. Сінгапурський аеропорт Чангі є не тільки одним із найкращих у світі, але також має репутацію екологічно чистого аеропорту. З мансардними вікнами для посилення природного освітлення, кондиціонерами, розташованими ближче до підлоги, і великою кількістю зелені. Нещодавно відкритий термінал 4 має зелену стіну з понад 20 000 видів рослин, які знижують температуру в аеропорту та покращують якість повітря. Енергоефективні датчики руху та освітлення, водозберігаюча арматура та встановлені на даху сонячні панелі є серед інших функцій, встановлених у Чангі.

4. Стокгольмський аеропорт Арланда, Швеція – перший зелений аеропорт, який досяг вуглецевої нейтральності. Єдиний аеропорт у світі з екологічним дозволом, який містить обмеження на викиди вуглекислого газу. У цьому зеленому аеропорту ангари та будівлі аеродрому опалюються спеціальною системою біопалива для економії енергії. Колекція колодязів, з'єднаних із підземним водоносним горизонтом, збирає воду та надсилає її в систему кондиціонування повітря терміналу влітку. Цей підхід часто використовується для підігріву цементних майданчиків біля ангарів аеропорту, запобігаючи утворенню льоду на дверях і пандусах.

Висновки. Озеленення аеропортів — це не лише данина моді, а необхідність у сучасному світі. Воно поєднує естетику, екологічну ефективність та турботу про комфорт пасажирів. Завдяки інноваціям і новим архітектурним підходам, аеропорти стають не просто транзитними пунктами, а частиною сталого, гармонійного світу.

Список літератури

1 Концепція, характеристики та приклади зеленого аеропорту: https://vincivilworld.com/2021/05/17/green-airport-concept-features-examples/

2. Огляд технологічних та сталих рішень, що впроваджуються в аеропортах майбутнього, включаючи використання відновлювальних джерел енергії та енергоефективні системи: https://www.asmallworld.com/?login=true

3. Практичні рекомендації щодо підвищення сталості аеропортів через впровадження зелених ініціатив та енергоефективних технологій: https://hogonext.com/how-to-enhance-airport-sustainability-green-initiatives-and-energy-efficiency/

UDC 72.01:72.038:711.58

M.A. Kostiuchenko, B.Eng., O.I. Zhovkva, Prof.
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Tectonics and the Articulation of Architectural Façades in the Context of Street-Level Perception

This research examines how architectural tectonics and façade articulation influence the way buildings are perceived at street level. It focuses on two main perspectives – pedestrian and overhead visual field, exploring how materiality, structure, and detail contribute to the urban experience and visual communication of architecture within these two levels of perception.

In the evolution of architectural history, from the elaborate detailing of the Baroque to the abstract minimalism of Modernism — there has always been an implicit relationship between ornamentation, material expression, and the viewer's experience.

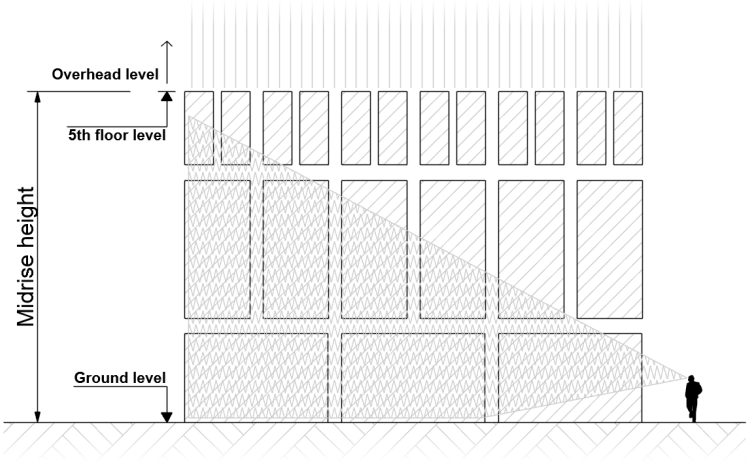


Fig. 1. Diagram of Human Perception within Angle of View

Obviously, architectural expression is most meaningful when it resonates with the scale and perception of the human observer. Contemporary urban environments, however, often overlook the importance of the pedestrian perspective, favoring homogeneity and large-scale gestures over intimate, human-scaled detail.

In many contemporary urban developments, the absence of thoughtful detailing at the street level results in environments that are visually monotonous,

emotionally disengaging, and disconnected from the scale of the human body. Large-scale façades often prioritize cost-efficiency, repetition, and minimal maintenance, leading to ground levels that are flat, impersonal, and devoid of tactile or visual interest. This design approach undermines the potential for architecture to create meaningful interactions with its users, diminishing a building's role in shaping the built environment.

Moreover, the overuse of glass curtain walls and reflective surfaces from top to bottom, while visually striking from a distance, tends to alienate the pedestrian at close range. Without articulation, texture, or obvious materiality at the base, buildings fail to establish a sense of presence and belonging within the streetscape. This lack of engagement can contribute to a sense of placelessness, where the built environment no longer reflects the identity or richness of its context.

By neglecting the tectonic and compositional opportunities available at eye level, architects risk reducing buildings to mere objects rather than contributors to a shared public experience. This concern echoes Patrik Schumacher's critique of "object-oriented architecture," in which he argues that buildings conceived as isolated, iconic forms often disengage from the urban environment and fail to complement coherent spatial relationships. According to Schumacher, such object-centric approaches prioritize visual impact over communicative integration, resulting in environments that lack continuity, legibility, and social meaning. In contrast, a more relational and context-aware architectural language, especially at the street level supports interaction, orientation, and a sense of belonging within the city.

The solution may be a renewed focus on tectonic articulation at the street level, where architecture is physically and psychologically closest to its users. By strategically concentrating material richness and compositional depth within this perceptual field, architects can significantly enhance urban experience, while allowing the upper levels of buildings beyond direct human sight to adopt simpler, more reflective or abstract treatments that respond to the sky and broader environment.

This approach is rooted in the philosophy of embodied perception, meaning that human experience of space is grounded not in abstract visual concepts but in the lived, bodily engagement with the world. Architecture is not encountered as a series of images but through movement, proximity, texture, and scale elements that unfold as one walks along a street, brushes past a surface, or turns a corner. The street-level zone is where architecture meets the human body, and thus, it is the site of the most immediate, affective, and memorable interaction with the built environment.

By designing with this perceptual reality in mind, architects affirm the human presence in space. Tectonic articulation at eye level through material variation, depth, rhythm, and detail does not merely serve an aesthetic function but activates a sensory dialogue between building and passerby. It grounds the individual in a spatial context, creating a sense of orientation and belonging. When this zone is neglected, buildings become visually distant, emotionally inert, and socially disengaged, reducing architecture to passive form rather than active experience.

In contrast, a perceptual design strategy affirms that architecture is not only to be seen, but to be lived. It engages the full sensorium, acknowledges the scale of the human body, and contributes to a richer, more meaningful space with promoted human-environment interactions.

Conclusion

In conclusion, the perceptual relationship between humans and architecture is most immediate and profound at street level, where space is experienced through the body and senses. By emphasizing tectonic articulation in this zone, architects can create environments that are not only visually engaging but also emotionally and socially resonant. Philosophical insights into embodied perception remind us that architecture is not a distant object, but a lived encounter shaped by proximity, scale, and material presence. Prioritizing detail and expression where it is most visible affirms the human experience as central to architectural meaning. As cities continue to evolve, this human-centered approach offers a critical framework for designing buildings that truly contribute to the built environment.

References

1. Schumacher, P. (2017). *Critique of Object-Oriented Architecture*.
2. Miranda, F., Hosseini, M., Lage, M., Doraiswamy, H., Dove, G., & Silva, C. T. (2020). *Urban Mosaic: Visual Exploration of Streetscapes Using Large-Scale Image Data*.
3. Pallasmaa, J. (2005). *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*.
4. Zumthor, P. (2006). *Atmospheres: Architectural Environments – Surrounding Objects*.
5. Merleau-Ponty, M. (2012). *Phenomenology of Perception*.
6. Rezvanipour, S., Hassan, N., Ghaffarianhoseini, A., & Danaee, M. (2021). *Why does the perception of street matter? A dimensional analysis of multisensory social and physical attributes shaping the perception of streets*. Architectural Science Review.

УДК 725.398

В.М. Ігнатьєва, Н.В. Бжезовська
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сучасні екологічні проблеми аеропортів та шляхи їх вирішення

Проаналізовано дослідження екологічних проблем, пов'язаних з діяльністю аеропортів. Вивчено світовий досвід екологічних аеропортів. Визначено ключові екологічні проблеми функціонування аеропортів. Запропоновано ефективні шляхи їх вирішення.

Актуальність проблеми. Сучасні дослідження свідчать про те, що діяльність авіаційної сфери негативно впливає на стан довкілля не лише під час перевезення пасажирів і вантажів, а й у процесі функціонування та обслуговування інфраструктури аеропортів. Аналіз екологічних проблем, пов'язаних з діяльністю аеропортів, має важливе значення для оновлення авіаційної галузі, підвищення комфорту пасажирів і досягнення сталого розвитку транспорту в умовах зростаючої мобільності населення.

Основні результати. Згідно з наявними статистичними даними, щороку аеропорти генерують близько 150 млн тонн викидів шкідливих речовин, головним чином внаслідок енергоспоживання. Одним з рішень є впровадження сонячних електростанцій. Установка достатньої кількості сонячних панелей може задовольнити значну частину потреб аеропорту в електроенергії, скоротити викиди парникових газів та зменшити залежність від імпортованих енергоресурсів.

Ключовими екологічними викликами для аеропортів є високий рівень споживання води та енергії, значне утворення відходів і вплив на міграційні маршрути птахів [1].

- *Система управління відходами.*

Система управління відходами повинна включати можливості для їх переробки та повторного використання, а також передбачати належну документацію та відповідальність за ці процеси.

Методи подолання: упровадження систем екологічного менеджменту на авіапідприємствах, застосування альтернативних палив, екологічна експертиза авіапідприємств.

- *Біорізноманіття та безпека.*

Важливим є збереження природних екосистем навколо аеропортів. Слід дотримуватися й удосконалювати правила щодо відлякування птахів та диких тварин, а також обирати оптимальне розташування аеропортів з урахуванням екологічних і фізико-географічних факторів.

- *Водопостачання та очищення стічних вод.*

Великі аеропорти споживають обсяги води, співставні з малими містами. Для зменшення навантаження на природні ресурси слід:

-використовувати регенеровану воду (до 35% потреб можна забезпечити таким чином);

-впроваджувати сучасні системи водоконтролю та онлайн-моніторингу якості

води;
-збирати дощову воду та талий сніг для повторного використання;
-створювати інфраструктуру для біологічного очищення стічних вод [2].

- *Шумозахист та акустичний комфорт.*

Проєктування терміналів має враховувати необхідність зниження шумового забруднення. Це можливо завдяки архітектурним рішенням:
- використання аеродинамічно вивірених форм будівель;
- раціональне зонування функціональних зон (розміщення зон очікування подалі від зон із найвищим рівнем шуму);
- використання багатошарових фасадів та інноваційних звукопоглинаючих матеріалів;
- створення буферних зон між шумогенеруючими ділянками та зонами перебування людей;
- використання екологічних матеріалів та зелених насаджень як природного звукоізоляційного бар'єру.

- *Енергоефективність та відновлювані джерела енергії.*

Аеропорти можуть використовувати біопаливо для систем опалення та впроваджувати вітрові електростанції. Для раціонального використання енергії можна встановлювати сучасні інноваційні технології, які контролюватимуть, розраховуватимуть і забезпечуватимуть систему збереження енергії, в тих моментах де це можливо. Світлодіодні лампи для збереження енергії. Проєктування будівель із великою кількістю природнього освітлення та вентиляції. Також аеропорт може забезпечити транспорт на електротязі або біопаливі [2].

- *Екологічне проєктування терміналів.*

При будівництві та реконструкції аеропортів варто враховувати максимальне використання природного освітлення й вентиляції, а також застосовувати екологічно чисті матеріали. Прикладом є аеропорт Сеймур на Галапагоських островах, який на 100% забезпечується енергією з відновлюваних джерел (Рис 1). Розробляються спеціальні матеріали: низьковуглецевий бетон, дерево, фотокаталітичні мембрани, біопаливо та ін.



Рисунок 1. Аеропорт Сеймур на Галапагоських островах

- *Озеленення та екодизайн.*

Поєднання фасадів з рослинністю, внутрішнє озеленення приміщень,

створення садів, водоспадів, ландшафтних парків або критих зелених зон біля входів до аеропорту сприяє психологічному комфорту пасажирів. Зелені зони сприяють зниженню стресу, відновленню когнітивних функцій та покращенню настрою. Використання зелених фасадів зменшують нагрівання будівлі влітку, забезпечують теплоізоляцію взимку, покращують шумоізоляцію, очищують повітря, створюють енергоефективний мікроклімат. Також можна озеленювати парковки для зменшення перегріву поверхні.



Рисунок 2. Аеропорт Мюнхен, Німеччина

Аеропорт Мюнхен, Німеччина має зелені зони, біофільтри, природні басейни для збору води. Значна частина транспорту працює на біопаливі або електроенергії (Рис.2).

Застосування світловідбивних покриттів на ЗПС дозволяє знижувати їх перегрів у спекотні дні, що позитивно впливає на мікроклімат території та знижує потребу в охолодженні будівель аеропорту. Архітектурне планування смуг із урахуванням рози вітрів, природних бар'єрів та шумозахисних насаджень допомагає зменшити акустичне навантаження на довкілля. Замість традиційного бетону та асфальту застосовуються низьковуглецеві суміші, що не виділяють токсичних речовин у повітря та ґрунт.

Висновки. Екологічний підхід до функціонування аеропортів може охоплювати всі аспекти їхньої діяльності — від управління відходами до архітектурних рішень. Комплексна екологічна стратегія дасть змогу зменшити вплив на довкілля, забезпечити енергоефективність і покращити якість обслуговування пасажирів. Баланс між розвитком авіаційної галузі та збереженням природи є ключовим завданням для сучасного суспільства.

Список літератури

1. Аеропорт та екологія: поєднати непоєднуване.URL: https://ecotech.news/ecology/257-aeroporti-ta-ekologiya-poednati-nepoednuvane.amp.html
2. Стамбульський хаб. URL:https://turkrainews.com.ua/news/1284-stambulskyj-hab-stane-pershym-aeroportom-yakyj-povnistyu-zhyvytsya-vid-sonyachnoyi-energiyi/

УДК 72.05

О.С. Чернишова, к.т.н., доц.,
О.В. Степанчук, д.т.н., проф.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз особливостей формування людських потоків у сучасних транспортних будівлях

У роботі проаналізовано принципи формування людських потоків у будівлях вокзалів в сучасних умовах, оцінено вплив новітніх технологій та цифровізації, а також високої клієнтоорієнтованості на особливості планування простору вокзальних комплексів. Проведено експериментальні дослідження та моделювання руху людей у вокзальних приміщеннях

Вивчення принципів формування людських потоків у будівлях є важливою задачею, вирішення якої забезпечить безпеку, комфорт та ефективність переміщення людей. Питання організації руху людей в приміщеннях не є новим та постійно вивчається вітчизняними та закордонним вченими, а на підставі отриманих результатів встановлюються норми площ та форм приміщень [1–4]. Останнім часом особливої гостроти набули питання раціональної організації руху людей за наявності маломобільних груп населення в людських потоках, а також імовірної потреби у терміновій евакуації. Слід відмітити, що організація руху людей у будівлях це не лише інженерне чи архітектурне рішення, а цілий комплекс взаємопов'язаних питань, враховуючи транспортне планування, логістику, урбаністику, інформаційні технології та навіть психологію. І вирішення цих комплексних завдань дозволяє створити безпечну, зручну і адаптивну інфраструктуру, орієнтовану на людей незалежно від статі, віку, стану здоров'я та інших ознак.

Принципи формування пішохідних потоків безпосередньо залежать від призначення будівлі та специфіки її функціонування. Дослідження особливостей формування людських потоків у транспортних вузлах: залізничних вокзалах, автовокзалах, аеропортах – надважливі, що першочергово обумовлено питаннями безпеки. Але також доцільно звернути увагу на те, що останні роки внесли суттєві зміни в основні принципи формування людських потоків в будівлях, зокрема у приміщеннях вокзалів, що пов'язано із зростанням обсягів пасажирських перевезень, запровадженням нових технологій та цифровізації, попитом на більш якісний сервіс та іншими факторами. Все це вимагає додаткових сучасних досліджень щодо змін у формуванні людських потоків, які дозволять обґрунтовувати організацію пішохідних зон, приміщень різного призначення у залежності від сучасних потреб формування комфортного та безпечного простору.

Більша частина будівель вокзалів в Україні була збудована декілька десятиріч тому, за жорстко встановленими схемами, які передбачали чіткий розподіл на зони функціонального призначення. Останніми роками здебільшого проводилися реконструкції окремих вокзальних комплексів, зокрема, в крупних містах, що вимагало нових підходів до планування простору відповідно до вимог пасажирів та відвідувачів. Сьогодні, окрім потреби в подальшій модернізації

чималої кількості вокзалів, перед українськими фахівцями повстало питання відновлення зруйнованих будівель вокзалів а в деяких випадках і зведення нових. Реалізовувати такі проєкти, спираючись на класичні підходи, не буде ефективним рішенням, тому авторами в роботі проведено ряд досліджень, які дозволили встановити особливості формування людських потоків з урахуванням сучасних потреб суспільства.

З метою визначення принципів формування людських потоків в сучасних умовах авторами проведено експериментальні дослідження на вокзалах м. Київ та м. Дніпро. Експеримент представляв собою спостереження за переміщеннями людей на території вокзалів, а також опитування окремих груп відвідувачів. Для зручності проведення експерименту відвідувачів вокзалу було поділено на декілька груп залежно від мети візиту, а їх поведінка суттєво залежала від того, до якої категорії ці пасажири належали: дальнього чи приміського сполучення. Тому в подальшому планується проведення більш детальних досліджень окремо по кожній групі, а також встановити дотичні маршрути між ними та взаємний вплив.

Зважаючи на те, що на поточний період повітряний простір України закритий і провести аналогічні експерименти в аеровокзалах не представляється можливим, автори детально вивчали світовий досвід щодо організації руху людей на території аеропортів.

Проведені експерименти та аналіз досвіду інших країн (Велика Британія, Німеччина, Франція, Польща та ін.) дозволили зробити висновок, що сучасні термінали потрібно передбачати не за класичною жорсткою схемою, а застосовувати гнучкі елементи планування, що дозволить за потреби адаптувати простір залежно від змін інтенсивності потоку, що особливо важливо в пікові навантаження відповідно до розкладу руху транспорту.

Запровадження електронних квитків, біометричних систем контролю та ін.. суттєво скоротили кількість відвідувачів та час їхнього перебування у певних зонах (наприклад, квиткових касах, пунктах реєстрації та ін.), що обумовило формування більш швидких потоків, які простіше контролюються за рахунок цифрових систем.

Підвищена клієнтоорієнтованість останніх років вимагає запровадження більш зручних маршрутів руху із зрозумілою навігацією, додаткові сервіси (заклади харчування, торгівлі та відпочинку, коворкінги, дитячі зони, спеціально облаштовані місця для комфортного перебування пасажирів з інвалідністю, енерджи-хаби та ін.). Це потребує введення нових елементів планувальних рішень та перегляду норм на площі приміщень різних функціональних груп.

Події останніх років змушують приймати до уваги потребу у облаштуванні укриттів, посиленні вимог до систем контролю, створення додаткових зон для організації перенаправлення потоків людей у разі надзвичайних ситуацій.

Досвід розвинених країн полягає у спорудженні сучасних вокзалів з прогнозованими майбутніми змінами та можливих адаптацій до них, які передбачають наявність резервних маршрутів та улаштування багатофункціональних просторів. А також формування потоків людей

розглядається не вакуумно, обмежившись границями будівель, а й з урахуванням транспортної інтеграції у вигляді взаємодії різних видів транспорту та перетворення традиційних вокзалів на транспортно-громадські хаби.

Додатково в роботі за допомогою сучасних програмних комплексів проведено моделювання руху людських потоків в різних умовах, що надало змогу опрацювати більш широкий діапазон даних та змоделювати різноманітні ситуації для будь-якого вокзалу країни. Проведені аналізи пасажиропотоків дозволять більш ефективно забезпечувати роботу інфраструктури з дотриманням вимог безпеки, уникнути перевантаження одних зон і недовантаження інших, оптимізувати площу приміщень, зменшити витрати на обслуговування, опалення, вентиляцію тощо. Прогнозовані дані будуть корисні при будівництві нових або реконструкції існуючих транспортних комплексів, що дозволить раціонально планувати площі, сервіси, транспортне забезпечення та потенційний розвиток інфраструктури.

Висновки: Правильне розуміння руху пасажирів дозволяє оптимально організувати простір вокзалів. Це допомагає скоротити час пересування між функціональними зонами, уникнути утворення натовпів, покращити швидкість обслуговування та зменшити навантаження на персонал і інфраструктуру. У разі надзвичайних ситуацій правильне проєктування та аналіз пасажиропотоків дає змогу швидко і безпечно евакуювати людей з будівлі. Знання особливостей потоків дозволяє створювати буферні зони, аварійні виходи та уникати скупчень у критичних точках.

Список літератури

1. Чернишова О.С., Степанчук О. В., Дубик О.М. Сучасні вимоги до пішохідних зон аеропортів та залізничних вокзалів з урахуванням потреб маломобільних груп населення / Airport Planning, Construction and Maintenance Journal. 2024. № 2 (4). К: Видавничий дім «Гельветика». – С. 141-149

2. Чернишова О.С., Степанчук О.В. Раціональні параметри пішохідних зон на території аеропортів та залізничних вокзалів з урахуванням вимог безбар'єрності // Збірка тез доповідей Всесвітнього конгресу «Авіація в XXI столітті – Безпека в авіації та космічні технології», 25-27 вересня 2024 р., м. Київ К.: НАУ, 2024. С. 8.10-8.12

3. ГБН В.2.3-37472062-2:2013. Службово-технічні будівлі і споруди станційно-вокзальних комплексів та зупинних пунктів залізничного транспорту. Проектування, будівництво [чинний з 01.050.2014] К.: Мінрегіон України. 2013. 119 с.

4. Проєктування та будівництво аеродромних комплексів: монографія /За заг. ред. Карпова В. В. — Херсон: Олді+, 2022. — 336 с.

УДК 72.05

О.М. Дубик, к.т.н., доц. І.М. Осовський, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Математичний апарат зміни експлуатаційно-технічного стану жорстких аеродромних покриттів

У роботі проаналізований і запропонований математичний апарат зміни експлуатаційно-технічного стану жорстких аеродромних покриттів. Встановлено, що показник експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття є функцією деякої сукупності пошкоджень та дефектів. Напруження, які виникають в аеродромному покритті в процесі його експлуатації, враховують: напруження від механічного навантаження і температурні напруження з урахуванням стохастичних фізико-механічних характеристик штучної основи і покриття. Задача моделювання зміни експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття зводиться до визначення ймовірностей впливу коліс повітряних суден і ймовірності виникнення пошкоджень.

При розрахунку аеродромних покриттів за граничним станом задача зводиться до того, щоб за період експлуатації виконувалась умова:

$$\overline{S} \le K_p \cdot \overline{\Phi}, \tag{1}$$

де $\overline{S}$ – математичне очікування випадкових внутрішніх зусиль (напружень, згинального моменту); K_p – коефіцієнт, який враховує ймовірнісний характер навантажень; $\overline{\Phi}$ – математичне очікування несучої спроможності аеродромної конструкції.

Однак потрібно врахувати, що статистична поява властивостей матеріалу завжди буде визначати ймовірність пошкоджень.

Якщо це так, то ймовірність виникнення пошкоджень дорівнює:

$$Q = \int_{-\infty}^{\sigma_{\max}} f(\sigma) d\sigma. \tag{2}$$

Практика експлуатації аеродромів показує, що настання граничного стану в плитах є цілком ймовірним. Покриття аеродромів продовжують, як правило, експлуатуватись після того, як на достатньо великій кількості плит утворились пошкодження.

Можна відмітити накопичення невидимих пошкоджень в кожній плиті, які піддаються впливу навантажень від повітряних суден.

В період експлуатації режим навантаження плит покриття змінюється за ступінчатим законом. В період часу $\Delta t_k = t_k - t_{k-1}$ діє напруження σ_k. Величина Δt_k відповідає одному впливу при виконанні злітно-посадкової операції [1, 2].

В початковий момент часу пошкодженість плити становить: $D_{пл}(t) = 0$.

Швидкість накопичення пошкоджень визначається діючими в плиті напруженнями на кожному ступені впливу:

$$\frac{dD(t)}{dt} = a \cdot \sigma_k^n, \tag{3}$$

де a і n – постійні коефіцієнти.

Таким чином, в якості критерію руйнування аеродромної плити приймаються напруження, які виникають в аеродромному покритті в процесі його експлуатації, в результаті впливу механічних і природно-кліматичних факторів.

Природно-кліматичні фактори впливають однаково для всіх точок аеродромного покриття. Механічні навантаження прикладаються локально залежно від глісади зльоту і посадки повітряних суден. При цьому пошкодження в плиті виникають тільки при спільному впливі цих факторів.

Відомо, що пошкодження в плиті проявляються в тому випадку, якщо напруження перевищують границі заданого інтервалу. Таким чином, задача визначення функції накопичення пошкоджень зводиться до визначення кількості плит, які вийшли з ладу при деякій кількості навантажень [1, 2].

Кількість плит $N_1^{'}$, в яких виникнуть напруження у визначеному діапазоні $\sigma_1 < \sigma_i < \sigma_2$, буде визначатись за формулою:

$$N_1^{'} = Q_1^{'} N_0, \tag{4}$$

де $Q_1^{'}$ – ймовірність того, що діюче напруження опиниться в діапазоні $\sigma_1 < \sigma_i < \sigma_2$; N_0 – загальна кількість плит в деякому ряді плит.

Якщо кількість навантажень становить, наприклад, значення , то кількість пошкоджених плит після такої кількості навантажень буде визначатися із виразу:

$$N_{\partial}^{'} = N_1^{'} Q_2^{'} = N_0 Q_1^{'} Q_2^{'}, \tag{5}$$

де $Q_2^{'}$ – ймовірність того, що плити будуть руйнуватися під діючими напруженнями в діапазоні $\sigma_1 < \sigma_i < \sigma_2$.

Аналогічно можна записати вираз для обчислення кількості пошкоджених плит в будь-якому іншому діапазоні пошкоджень:

$$N_{\partial}^{"} = N_0 \cdot Q_1^{"} \cdot Q_2^{"}. \tag{6}$$

Загальна кількість пошкоджених плит при кількості навантажень, що дорівнює n_{nc}, визначається сумуванням:

$$N_{\partial}^{заг.} = N_0 \cdot Q_1^{'} Q_2^{'} + N_0 \cdot Q_1^{"} Q_2^{"} + N_0 \cdot Q_1^{'''} Q_2^{'''} + ... = N_0 \sum Q_{\sigma} Q_{nc}, \tag{7}$$

де N_0 – загальна кількість плит аеродромного покриття; Q_{σ} – ймовірність виникнення пошкоджень в результаті напружень, які виникають в аеродромному покритті в процесі його експлуатації; Q_{nc} – ймовірність впливу на плиту повітряного судна.

Напруження, які виникають в аеродромному покритті в процесі його експлуатації, враховують: напруження від механічного навантаження і температурні напруження з урахуванням стохастичних фізико-механічних характеристик штучної основи і покриття. Задача моделювання зміни експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття зводиться до визначення ймовірностей впливу коліс повітряних суден і ймовірності виникнення пошкоджень [1, 2].

В наш час в якості критерію оцінювання експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття пропонуються показники, значення яких залежать від наявності пошкоджень, ступеня їх розвитку і впливу на безпеку польотів.

Використовуючи функцію зміни стану покриття в часі можна здійснювати моделювання і прогнозування експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття.

Показник експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття є функцією деякої сукупності пошкоджень та дефектів. Аналіз досвіду експлуатації аеродромних покриттів дозволяє залежно від фізичної природи їх виникнення поділити на 3 групи: природно-кліматичні; механічні; експлуатаційно-технологічні. Функція розвитку та накопичення пошкоджень і дефектів набуває вигляду:

$$D(t) = f(KL_i; GS_i; TH_i; t), \tag{8}$$

де $D(t)$ – функція розвитку і накопичення пошкодження та дефектів аеродромного покриття; KL_i – природно-кліматичні впливи; GS_i – механічні навантаження; TH_i – експлуатаційно-технологічні впливи; t – час.

Прогнозована зміна експлуатаційно-технічного стану аеродромного покриття можлива за наявності даних про виникнення та розвиток пошкоджень в часі, які можуть бути отримані під час моніторингу аеродромних покриттів.

Висновки: Застосовувані в наш час показники оцінювання експлуатаційно-технічного стану носять абстрактний характер. В якості критерію оцінювання експлуатаційно-технічного стану аеродромних покриттів доцільно використовувати показник – надійність. Надійність є комплексною властивістю, яка, залежно від призначення об’єкта та умов його застосування може включати безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність і збереженість.

Список літератури

1. Doc 9157 Aerodrome Design Manual. (2022). Part 3: Pavements. 3’rd Edition. 2022 (Unedited) Retrieved from: https://www.scribd.com/document/718551321/Aerodrome-Design-Manual-Part-3-Pavements-Doc-9157-Part-3-Edition [in English].

2. Karpov, V., Stepanchuk, O., Dubyk, O., Rodchenko, O., & Prentkovskis, O. (2023). Improvement of Methodology of Calculation and Assessment of Transport and Operational Condition of Airfield Pavement (on the Example of Airport

Pavements of Kyiv and Mykolaiv International Airports). In: Prentkovskis, O., Yatskiv (Jackiva), I., Skačkauskas, P., Maruschak, P., Karpenko, M. (eds) TRANSBALTICA XIII: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2022. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_79 [in English].

УДК 72.012

Ю.М. Ковальов, д.т.н., проф.
(Київська Державна академія декоративно-прикладних мистецтв та дизайну, Україна)
Т.Ф. Шмельова, д.т.н., проф.
(*Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна*)
Ю.В. Сікирда, к. т. н., проф.
(Українська державна льотна академія, Кропивницький, Україна)
М.М. Яцко
(SmartLynx Airlines «Mazrudas», Mazrudas, Marupes novads, Латвія)

Інтуїтивна система відображення інформації та управління літальними апаратами

Розроблено дизайн і принцип функціонування нової інтуїтивної системи відображення інформації та управління. Для реалізації системи пропонується використання технологій слабкого штучного інтелекту та доповненого інтелекту.

Авіація є найбезпечнішим у світі видом транспорту [1]. Проте з 2008 року в базі даних Національної ради з безпеки на транспорті (NTSB) зазначено понад 13 тисяч аварій, основною проблемою яких був авіаційний персонал. Ці аварії включають понад 20 тис. результатів, пов'язаних з персоналом, в середньому 1,54 на одну аварію [2]. Значна частка авіаційних подій (до 80%) припадає на людський фактор [3–5].

Відповідно до теорії самоорганізації складних систем [6] система сприйняття людиною навколишнього середовища відповідає сценарію самоорганізації (1С, 1О) і є розгортанням числового ряду Фібоначчі [7]. Відповідно, людина взаємодіє з навколишнім середовищем на п'яти рівнях, які не зводяться один до одного: інтуїція, его, воля-розум, розум і чуттєві сприйняття, кожен з яких має один або кілька каналів, наприклад, інтуїція і его - по одному, а чуттєві сприйняття - п'ять. Канали кожного рівня мають свій об'єкт сприйняття: для інтуїції це єдність із середовищем; для его – відокремленість від середовища, відчуття внутрішньої єдності, відчуття небезпеки; для волі-розуму – імпульс до впливу на середовище та бінарна оцінка реакції середовища (добре/погано, вдало/невдало тощо); для здорового глузду – сприйняття простору та часу; для чуттєвого сприйняття – зорові, слухові та інші відчуття [7]. Кожен рівень і канал роблять свій внесок у формування цілісної картини світу. Відносна розвиненість каналів кожного рівня визначає психотип людини, а співвідношення каналів для індивіда – персональний психологічний портрет – визначається тестуванням [8].

Швидкість фіксації та оцінки ситуації, прийняття рішення, а також характер дій для каналів різного рівня різні: для більшості приладів відображення інформації відповідає рівням «чотири» та «п’ять», а керуючі дії – рівню «три» (перемикання тумблерів, натискання кнопок тощо), проте для реалізації їх послідовності необхідні канали рівнів «чотири» та «п’ять»; для

командно-пілотажних індикаторів, де подання інформації пов'язується з рухом штурвала, має місце відповідність до рівня «три».

Сучасні системи відображення інформації та управління (СВіУ) орієнтовані, переважно, на найповільніші форми фіксації, оцінки ситуації, прийняття рішень, і складні дії управління. Прилади заходу на посадку діють у зв'язці з іншими, та їх перевага у швидкодії нівелюється і проявляється лише в екстремальних ситуаціях, коли пілот бере управління на себе та нехтує показниками інших приладів. Звідси випливає перелік недоліків сучасних СВіУ:

- відсутність засобів, що дозволяють оцінити стан літального апарату в цілому (пілот повинен сам формувати картину такого стану, виходячи із показань численних приладів з різною індикацією інформації);
- відсутність коштів, що дозволяють наочно та швидко оцінити небезпеку ситуації та її розвитку;
- відсутність коштів, що дозволяють швидко і просто парирувати небажаний розвиток ситуації, а у разі неможливості – прийняти рішення про аварійну посадку тощо;
- неінваріантність: прив'язка до конкретних типів літальних апаратів, що потребує складного та тривалого перенавчання пілотів під час переходу від одного типу повітряного судна до іншого.

Таким чином, має місце невідповідність СВіУ системі взаємодії людини з навколишнім середовищем, що створює передумови до руйнування єдності ергатичних систем у критичних ситуаціях, що потребують швидкої реакції пілота, і веде до катастроф. Необхідно також зазначити, що потенціал технологій «скляної кабіни» використовується недостатньо: у більшості випадків має місце простий перехід від аналогової індикації до цифрової, а не інша система відображення інформації. Також недостатньо використовуються можливості штучного інтелекту. Зважаючи на вищевикладене, проблема побудови нової системи СВіУ, позбавленої перерахованих недоліків, орієнтованої на, перш за все інтуїтивне сприйняття та відповідні дії управління, що повністю використовує можливості технологій «скляної кабіни» та штучного інтелекту, представляється як актуальною, так і має велике практичне значення.

Авторами було розроблено дизайн інтуїтивної системи відображення інформації та управління (ІСВіУ), що дозволяє вирішити зазначені проблеми. Компонування ІСВіУ відповідає стандартному компонування «скляної кабіни»: ліворуч і праворуч розташовуються командно-пілотажні індикатори, що відображають положення літального апарату в просторі, в центрі – прилад індикації стану систем повітряного судна (рис. 1). Командно-пілотажні індикатори відображають: авіагоризонт, тангаж, крен, нишпорення, карту з маршрутом та індикацією відхилення (карта в деяких ситуаціях, наприклад, при заході на посадку, може бути тривимірною), а також рельєф, рекомендовану висоту горизонту і відхилення від них, орієнтоване на рівень «три» і також відповідає сучасному представленню інформації.

Такий спосіб індикація та управління дозволяє уникнути необхідності перепідготовки пілотів, а в критичних ситуаціях дає можливість пілоту взяти

управління на себе. Прилад індикації стану системи має сенсорний екран, розділений на три частини:

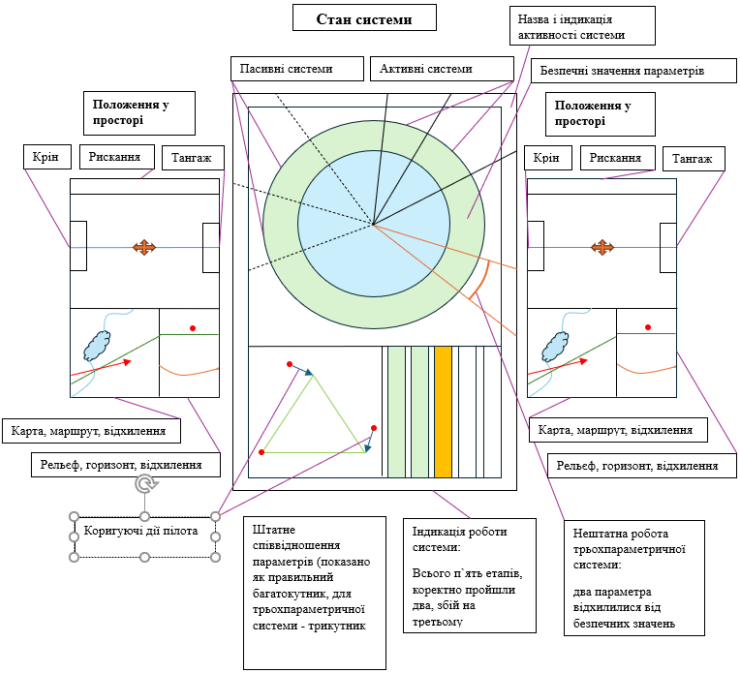


Рис. 1. Дизайн інтуїтивної системи відображення інформації та управління

- зверху розташовується індикатор активності та стану систем літального апарату, на периферії контуру верхньої частини знаходиться область, що відображає назви та активність систем;
- ліворуч знизу – індикатор поточного стану параметрів системи на поточному етапі її роботи;
- праворуч знизу – індикатор послідовності етапів роботи системи.

Індикатор стану систем відображається у вигляді двох кіл, які, залежно від типу літального апарату, а також стадії польоту можна розділити на необхідну кількість секторів. Область між колами відображає безпечні зміни параметрів систем. Вона позначена зеленим кольором, що асоціюється з безпекою та стимулює до активних дій, на відміну від червоного, здатного викликати розгубленість та паніку. Таким чином, активізується рівень «два». Одночасно знизу праворуч помаранчевим кольором вказується, на якому з етапів роботи системи стався збій, а ліворуч – які параметри вийшли за межі штатних значень.

Обрано наступний спосіб індикації:

- для одно-параметричних систем – одна зелена точка у центрі області індикації; червона точка показує відхилення параметра;

- для двох-параметричних систем – дві зелені точки, симетричні щодо вертикальної осі області індикації, з'єднані відрізком;
- для трьох-параметричних систем – три зелені точки, з'єднані зеленими відрізками, що утворюють правильний трикутник;
- для систем чотирьох-параметричних і більше – зелені точки та відрізки утворюють відповідні правильні багатокутники, а червоні точки показують відхилення.

Такий спосіб індикації викликаний тим, що правильні багатокутники (як і коло) є миттєво розпізнаваними фігурами, неправильність яких викликає інстинктивне бажання виправити їх форму. Тим самим рівень взаємодії з людиною зводиться до інтуїтивного, найшвидшого з усіх можливих. Крім того, розбивка роботи системи на окремі етапи та відображення лише необхідних параметрів на кожному з них дозволяє уникнути перевантаження системи сприйняття людини та пов'язаних з цим помилок. Управляючі дії зводяться до руху пальця по сенсорному екрану: фіксації червоної точки і її переміщення у вершину зеленого багатокутника (точки, відрізка), який служить підказкою напрямку і довжини переміщення. Тим самим управління також зводиться до простих інтуїтивних дій і не виходить за межі рівня «один».

Ситуація, коли кілька систем одночасно виходять з режиму штатної роботи, відображається так: кілька сегментів висуваються за межі зеленої області і забарвлюються в помаранчевий колір, на областях індикації в нижній частині показується та з них, висування сегмента якої найбільше. Тим самим пілот отримує підказку, з якою із систем необхідно працювати в першу чергу. Результат успішних управляючих дій на верхній ділянці індикації показується, як повернення сегмента кола в зелену область і зміна забарвлення як сегмента, так і меж сектора системи. Неможливість повернути параметри в безпечну область (тобто відновити правильність форми відповідного багатокутника) відповідає аварійній ситуації та підказує пілоту необхідність брати управління на себе та приймати рішення про подальші дії.

Крім перерахованих, відзначимо ще одну важливу перевагу ІСВіУ: спосіб індикації та характер керуючих дій не залежать від типу літального апарату – змінюється лише кількість секторів, що відповідає кількості контрольованих систем. Тим самим зводиться до мінімуму підготовка пілотів (або операторів БПЛА) під час переходу до іншого типу літального апарату.

Реалізація ІСВіУ вимагає розвиненого програмного забезпечення та використання технологій штучного інтелекту. Функціями програмного забезпечення є: забезпечення відображення параметрів стану системи в області індикації в описаному вище вигляді; забезпечення кореляції управляючих процесів на точ-скрині з механічними та іншими засобами управління системами (мехатроніка). Функції штучного інтелекту: визначити критичність ситуації, тобто прийняти рішення про висування сегмента, забарвлення в помаранчевий колір, зміни індикації в нижній частині сенсорного екрану; визначити, чи привели до успіху керуючі дії, з відповідною зміною індикації. Навчальними послідовностями для штучного інтелекту є: відпрацювання критичних ситуацій на тренажерах; дані польотів конкретного літального апарату в режимі експлуатації.

Висновки

Визначено зв'язок між рівнями взаємодії людини з навколишнім середовищем (інтуїція, его, воля-розум, розум, чуттєві сприйняття) і характером дій системи відображення та управління інформацією. Запропоновано нову інтуїтивну систему відображення інформації та управління. Визначено функції програмного забезпечення та штучного інтелекту.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вдосконалення використання штучного інтелекту для допомоги авіаційним фахівцям (пілотам, дистанційним пілотам, диспетчерам, диспетчерам польотів, фахівцям аварійно-рятувальних служб, технічному персоналу, персоналу наземних служб тощо) для прийняття оптимальних рішень у надзвичайних ситуаціях.

Список літератури

1. Aviation and plane crash statistics, *Panish | Shea | Boyle | Ravipudi LLP*. Available online: https://www.psbr.law/aviation_accident_statistics.html

2. Accident data, *National Transportation Safety Board*. Available online: https://www.ntsb.gov/safety/data/Pages/Data_Stats.aspx

3. W. Rankin, "MEDA investigation process", *AERO*, iss. 26, 2017, pp. 15-21. Available online: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_2_07/AERO_Q207.pdf

4. Handbook of aviation human factors, J. A. Wise, V. D. Hopkin, and D. J. Garland, Eds., 2ed ed. USA, Florida: CRC Press, 2016, 704 p. https://doi.org/10.1201/b10401

5. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge. Federal Aviation Administration, U.S., 2023, 522 p. Available online: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/faa-h-8083-25c.pdf

6. T. Shmelova, Yu. Sikirda, N. Rizun, A.-B. M. Salem, and Yu. Kovalyov, Socio-technical decision support in air navigation system: Emerging research and opportunities. IGI Global Publ., Hershey, USA, 2018, 305 p. https://doi.org/10.4018/ 978-1-5225-3108-1

7. Yu. Kovalyov, T. Shmelova, Yu. Sikirda, and M. Yatsko, "Catastrophe as an anti-system: Prevention of the flight emergency development", *DESSERT'2023*, October 2023, Athens, Greece, pp. 1–8. https://doi.org/10.1109/DESSERT61349.2023.10416548

8. Yu. Kovalyov, "Diagnosis and evaluation: A psycho-emotional state of the operators of socio-technical systems", in *Research Anthology on Reliability and Safety in Aviation Systems, Spacecraft, and Air Transport*, D.B.A. Mehdi Khosrow-Pour, Ed. USA: IGI-Global Publ., 2021, pp. 1341-1372. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-5357-2.ch056.

УДК 004.92: 7.01

О.О. Філончук(Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України»)

Важливість теорії кольорів у вебдизайні

Теорія кольорів у вебдизайні дозволяє формувати візуальні рішення, що підвищують ефективність сприйняття інформації користувачем. Правильне використання кольорів сприяє покращенню юзабіліті та формуванню емоційного зв'язку з брендом.

Теорія кольору – це базова складова будь-якого графічного дизайну, зокрема вебдизайну. Вона не лише визначає естетику сторінки, а й впливає на поведінку користувача, його рішення та загальне враження від ресурсу. Колір має здатність викликати емоції, стимулювати дію або навпаки — відштовхувати. Тому розуміння психології кольору та її практичне застосування у вебдизайні є ключем до створення успішного, привабливого та ефективного інтерфейсу.

Яке має значення кольору у вебдизайні

У вебдизайні колір відіграє ключову роль не лише в естетичному оформленні сайту, а й у створенні зручного, інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу. Добре підібрана колірна палітра здатна значно покращити користувацький досвід, полегшуючи візуальне сприйняття та сприяючи ефективному взаємодії з продуктом.

Кольори повинні бути не лише красивими, але й функціональними. Інтерфейс має бути інтуїтивно зрозумілим навіть для користувача без досвіду. Тому важливо використовувати колір стратегічно: для виокремлення ключових елементів, навігаційних блоків, кнопок дій або важливої інформації. Добре продумана колірна ієрархія дозволяє користувачам швидко орієнтуватися на сторінці та знаходити потрібні елементи.

Контрастність кольорів також відіграє важливу роль — особливо при роботі з текстом. Надто слабкий контраст між текстом і фоном знижує читабельність, а отже й зручність користування сайтом. Водночас занадто яскраві чи агресивні кольори можуть викликати втому або дратувати користувача.

Окрім цього, вебдизайн має враховувати **доступність** — адаптацію кольорів для людей з порушеннями зору (наприклад, дальтонізмом). Для цього застосовують спеціальні палітри, контрастні комбінації, а також додаткові індикатори, які не залежать від кольору (іконки, текстові підказки).

Колір відіграє роль у створенні брендової ідентичності. Уніфіковане використання кольорів на всіх сторінках сайту допомагає формувати впізнаваність бренду та викликати у користувачів емоційний зв'язок.

Основи теорії кольору

Теорія кольору базується на трьох головних елементах: **кольоровому колі** (рис .1), гармоніях кольорів та психологічному впливі.

Колірне коло — це графічне представлення кольорів, що ілюструє їхні відносини один до одного, використовуючи структуру, яка зазвичай має форму круга. Воно служить інструментом з визначенням поєднання кольорів, які працюють разом найкраще: аналогічні, комплементарні, триадні тощо. Знання гармоній дозволяє дизайнеру уникати візуального хаосу та створювати естетично збалансований інтерфейс.



Рис. 1. Колірне коло

Досліджуючи колірне коло, дизайнери можуть зрозуміти, як працюють комплементарні, аналогічні та тріадні колірні поєднання, що є Основним для створення гармонійних і естетично привабливих візуальних рішень.

Що таке відтінки та відтінки, і як вони можуть покращити сприйняття інформації?

У кольоровій теорії відтінки та тони відіграють важливу роль у створенні візуальної гармонії та правильному передаванні інформації. **Відтінок (hue)** — це чистий колір спектру, такий як червоний, синій або зелений. Коли до нього додають **білий**, утворюється **світліший варіант кольору — тон (tint)**. Якщо ж додати **чорний**, утворюється **темніший варіант — тінь (shade)**. А при додаванні **сірого** ми отримуємо **тон (tone)** з приглушеним виглядом.

Ці варіації кольору дозволяють створювати глибину, акценти та візуальну ієрархію. Наприклад, світліші тони можна використовувати як фонові елементи, що не перевантажують зір, тоді як темніші тіні або насичені відтінки можуть акцентувати увагу на важливих деталях або кнопках дій.

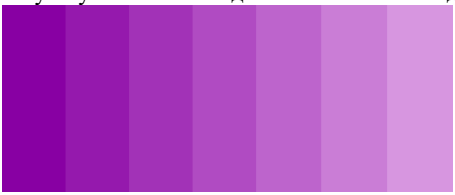


Рис. 2. Відтінки

Правильно підібрані відтінки допомагають не лише зробити дизайн естетично привабливим, а й полегшують сприйняття контенту. Вони знижують візуальне навантаження, роблять текст читабельнішим, а інтерфейс — зрозумілішим. Особливо це важливо у вебдизайні, де інформація має бути

доступною, чіткою та зручною для сприйняття на різних пристроях і в різному освітленні.

Таким чином, вміле використання відтінків і тонів — це не просто питання стилю, а потужний інструмент для покращення комунікації між користувачем і цифровим продуктом.

Психологія кольору у вебдизайні

Кожен колір викликає в людини певні асоціації. Наприклад:

1. **Синій** викликає асоціації з **довірою та надійністю**. Відомі бренди, як-от **Facebook** і **Samsung**, використовують синій, щоб ми відчували, що можемо на них покластися.
2. **Червоний** асоціюється з **захопленням і дією**. **YouTube** і **Netflix** використовують червоний, щоб привернути нашу увагу та зробити свої бренди енергійними.
3. **Зелений** натякає на **здоров'я** або **дбайливе ставлення до природи**. **Spotify** і **Whole Foods** використовують зелений, щоб показати свою турботу про ці речі.
4. **Помаранчевий** сприймається як **веселий і доступний**. **Nickelodeon** і **Home Depot** використовують помаранчевий, щоб виглядати привітними та креативними [1].

Ці емоційні зв'язки допомагають створювати не лише візуально привабливі, а й функціонально ефективні інтерфейси.

Використання кольору для покращення

Правильно підібрана кольорова схема позитивно впливає на користувацький досвід. Кольори мають бути не лише привабливими, а й доступними для всіх категорій користувачів.

Крім того, кольори виконують роль навігаційних орієнтирів. Наприклад, однакові кольори для кнопок сприяють швидшому розпізнаванню функцій, а зміна кольору при наведенні вказує на інтерактивність елементів.

Вибір кольорів у вебдизайні

Уподобання щодо кольорів можуть суттєво відрізнятися залежно від віку, статі та культурного походження людини. Саме тому для маркетологів і дизайнерів надзвичайно важливо враховувати ці особливості, аби ефективніше комунікувати зі своєю цільовою аудиторією та викликати в неї потрібні емоції.

«Кожен бачить кольори дещо по-різному через власний досвід:

• Діти люблять яскраві кольори, але старші можуть віддати перевагу більш м'яким відтінкам.

• Жінкам часто подобаються більш ніжні кольори, ніж чоловікам.

• Ваш фон може змінити те, як ви бачите колір. Наприклад, червоний одних збуджує, а для інших розслабляє.

• Місце вашого проживання також має значення. Люди з сонячних місць можуть любити жовтий більше, ніж ті хто з хмарних областей» [2].

Культурні відмінності

У різних культурах один колір може містити різні значення та асоціації. Наприклад, білий у Західному світі асоціюється з чистотою та святістю, тоді як в деяких східних країнах — із жалобою. Тому глобальні вебсайти мають враховувати культурний контекст аудиторії та при потребі адаптувати колірну палітру для різних регіонів.

Практичні поради від вебдизайнерів

1. «Використовуйте колір стратегічно, щоб спрямовувати увагу користувачів, диференціювати елементи та створювати візуально приємну ієрархію. Зверніть увагу на колірний контраст, читабельність і доступність, щоб забезпечити позитивний досвід користувача для всіх відвідувачів» [2].
2. «Вибирайте кольори, які показують суть вашого бренду. Наприклад, синій і зелений відмінно підходять для демонстрації довіри та зв'язку з природою. Переконайтеся, що ваш логотип, вебсайт і пакети мають однакові кольори. Це допомагає людям краще запам’ятати ваш бренд» [1].
3. Використовуйте колірну палітру бренду. Вона формує впізнаваність та підтримує візуальну єдність. Застосовуйте A/B-тестування. Це дозволяє визначити, які кольори краще працюють на конкретну аудиторію.
4. Уникайте надмірного використання яскравих кольорів. Вони можуть швидко втомлювати очі та знижувати читабельність.
5. Враховуйте темну та світлу теми. Це не лише тренд, а й необхідність для сучасних користувачів.

Висновки

Теорія кольорів є важливим інструментом, що дозволяє зробити вебдизайн ефективним, естетичним і функціональним. Грамотне використання кольору здатне підсилити повідомлення бренду, створити приємний досвід користувача та сприяти досягненню бізнес-цілей. В умовах цифрової конкуренції саме увага до деталей, зокрема до кольору, вирізняє якісний продукт серед інших.

Список літератури

1. How Color Psychology Influences Consumer Behavior? - Floowi. proyect. URL: https://floowitalent.com/how-color-psychology-influences-consumer-behavior.
2. The Importance Of Color Theory In Web Design: Complete Guide - Clio Websites. Clio Websites. URL: https://cliowebsites.com/color-theory-in-web-design-complete-guide.

УДК 655.26:629.7(051)(043.2)

Є.О. Ваховська
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості шрифтового оформлення журнальних авіаційних видань

У статті розглянуто важливість шрифтового оформлення в дизайні журнальних видань, зокрема на прикладі авіаційної тематики. Описано роль типографії у покращенні читабельності та передачі стилю видання, а також вплив шрифтів на сприйняття матеріалу читачем.

Шрифтове оформлення грає ключову роль при створенні журнальних видань. Типографія включає в себе вибір і впорядкування шрифтів, їх розмірів і інтерліньяжу для максимальної читабельності. Хороша типографія може покращити зміст, передаючи стиль видання та створюючи позитивний досвід читача. Погана типографія може відволікати та перешкоджати розумінню інформацію.

Особливістю журнальних видань є те, що шрифтове оформлення повинно бути однаковим для всіх випусків. Шрифти тексту мають відповідати змісту, асоціюватися лише з виданням в цілому, а не з конкретними матеріалами. У зв'язку з цим, на відміну від книги, головні естетичні вимоги до оформлення журналу залежать від його типу та тематики.

Шрифтове оформлення є не лише естетичним, але й функціональним елементом дизайну журналу, адже воно повинно привертати увагу читача до найважливіших частин тексту.

Вибір гарнітури задає тон усьому дизайну макета журналу. Шрифти із засічками, відомі своєю традиційністю та надійністю, часто використовуються в журналах, орієнтованих на серйозний вміст. Шрифти без зарубок, відомі своїм чистим і сучасним виглядом, ідеально підходять для журналів, які прагнуть створити сучасну атмосферу.

Крім вибору шрифтів, дизайнери журналів часто експериментують з варіаціями товщини, кольору та розташування тексту на сторінці для створення візуальної ієрархії. Заголовки, підзаголовки, цитати й основний текст мають мати чітку відмінність, що дозволяє читачам легше орієнтуватися в матеріалах. Це формує враження читача від видання ще до того, як він зануриться у зміст.

За характером інформації згідно ДСТУ 3017:2015 «Інформація та документація. Видання. Основні види. Терміни та визначення понять» журнали поділяються на: суспільно-політичні, наукові, науково-популярні, популярні, виробничо-практичні, літературно-художні, реферативні, релігійні та рекламні.

Серед журналів на авіаційну тематику найбільш поширеним є наукові та науково-популярні. Наукові авіаційні журнали орієнтовані на читачів, що є фахівцями в галузі авіації. Такі видання мають чіткий та лаконічний зміст. Тому їхній дизайн, зокрема шрифтове оформлення, вирізняється стриманістю, чіткістю та структурністю.

У свою чергу, науково-популярні авіаційні журнали орієнтовані на читачів, які цікавляться авіацією, але не є фахівцями в цій галузі. Тому вибір

шрифтового оформлення є великим і залежить від того, яка цільова аудиторія журналу. Авіаційна тематика часто асоціюється з точністю, інноваціями, високими технологіями. Тому для оформлення найчастіше використовуються шрифти без засічок (наприклад, Helvetica, Roboto) що створюють враження технологічності й сучасності (рис. 1, 2).



Рис. 1. Приклад оформлення обкладинки журналу на авіаційну тематику



Рис. 2. Приклад шрифтового оформлення розвороту журналу на авіаційну тематику

Висновки. Шрифтове оформлення журнальних видань має величезний вплив на сприйняття матеріалу читачем. Вибір правильних шрифтів, їх комбінація, а також чітка ієрархія тексту визначають не тільки естетичну привабливість видання, а й його функціональність, забезпечуючи легкість

сприйняття тексту. Журнали різних типів мають відмінні вимоги до дизайну, зокрема шрифтового. Для авіаційних журналів, більш притаманним є використання шрифтів без засічок оскільки вони асоціюються з сучасністю та технологічністю.

Список літератури

1. Шеченко В. Е. Шрифтове оформлення видань [Електронний ресурс]: http://journlib.univ.kiev.ua/index.php?act=article&article=1663
2. Вовк, О. В., О. С. Більчук, В. П. Манаков. Залежність оформлення статей від типу журналу. (2024).
3. Magazine Page Layout: How to Use Typography [Вебсайт]. — Режим доступу: https://azuramagazine.com/articles/magazine-page-layout-how-to-use-typography
4. Minimalist Contemporary Design of Aviation Magazine [Вебсайт]. — Режим доступу: https://www.behance.net/gallery/94259547/Minimalist-Contemporary-Design-of-Aviation-Magazine

УДК 514.18

Ю.Р. Холковський, к.т.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Дискретно-інтерполяційний метод визначення стану локальної області середовищ

Актуальність роботи полягає у використанні дискретно-інтерполяційного методу щодо моделювання складних багатопараметричних систем та середовищ, створенні дискретно-інтерполяційної матриці, як геометричної моделі таких систем, визначення певних локальних областей середовищ.

Багатопараметричні системи та середовища - це структури, що мають велику кількість параметрів, які характеризуються неоднорідністю та анізотропією у просторі. Вони також суттєво залежать від різних зовнішніх факторів, які часто неможливо передбачити. Моделювання багатопараметричних систем та середовищ є доволі складною задачею, і практично неможливо побудувати континуальну математичну модель таких систем та середовищ. Отже, побудова дискретних геометричних моделей складних систем та середовищ є досить актуальною задачею.

У науковій літературі нечасто зустрічаються питання геометричного моделювання складних багатопараметричних середовищ, а також побудови їх математичних моделей, і, як правило, вони носять описовий та статистичний характер. В першу чергу це стосується таких багатопараметричних об’єктів, систем і середовищ, як, наприклад, екологічні, геологічні, гідрологічні, енергетичні, дизайн-середовища, які відрізняються великою кількістю різноманітних та різноякісних параметрів.

Мета даної роботи - на основі дискретно-інтерполяційного методу розробка та побудова дискретних математичних (геометричних) моделей складних багатопараметричних систем та середовищ із врахуванням певних наперед заданих умов.

Створення математичних (геометричних) моделей таких систем та середовищ пропонується на основі підходу, що базується на дискретно-інтерполяційному методі, розробленого автором

Важливим моментом є той факт, що певні параметри, або ж компоненти фактично вимірюються в деякий час і в деяких місцях. Тобто ця інформація змінюється, носить яскраво виражений дискретний характер. Отже, в таких випадках доцільним може бути використання саме дискретного підходу.

У якості основи для створення дискретно-інтерполяційних геометричних моделей систем та середовищ стали інтерполяційні поліноми Лагранжа. Це обумовлено необов’язковим рівномірним розташуванням вузлів інтерполяції, можливістю представлення по кожній змінній своєї кількості вузлів інтерполяції, а також умовами збіжності.

Як уже відзначалося у попередніх роботах автора, оригінальним і нетрадиційним є підхід, коли під вузлами інтерполяції розуміються не точки, а

більш складні математичні об'єкти (наприклад, масиви, матриці, тензори тощо), або ж навіть певні процеси, що представлені у вигляді деяких функціоналів, як сукупності їх властивостей та параметрів, що мають неоднорідну структуру.

Якщо $\mathbf{F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m)}$ – багатопараметрична неявно задана функція, то сформуємо її у вигляді деякого функціонала $\mathbf{\Phi(p_{i,j})}$, що заданий матрицею **M[i, j]**.

$$\mathbf{\Phi(p_{i,j}) = F(p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m);} \quad \mathbf{M[i, j] = \Phi(p_{i,j})},$$

де $\mathbf{p_1, p_2, p_3, \dots, p_k, \dots, p_m}$ – різноструктурні та різноякісні параметри (показники забруднення, рівень концентрації певних речовин, врахування природних особливостей середовищ тощо). Тоді, відповідно, **M[i, j]** набуває такого виразу:

$$M[i, j] = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & \cdots & p_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ p_{m,1} & p_{m,2} & \cdots & \cdots & p_{m,n} \end{pmatrix}$$

Тобто **M[i, j]** і є вузловою дискретно-інтерполяційною матрицею. Схему розташування саме таких вузлів інтерполяції, надалі ми і будемо розуміємо під схемою інтерполяції.

Зазначимо, що такий підхід щодо моделювання систем та середовищ у літературі практично відсутній.

Розглядаючи **M[i, j]** у якості певного вузла інтерполяції, використаємо інтерполяційний поліном Лагранжа і в випадку одновимірної інтерполяції отримаємо $\mathbf{\Phi(p_{i,j})}$ як

$$\Phi(p_{i,j}) = \sum_{i=0}^{n-1} M_i(i, j) \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n-1} \frac{u - u_j}{u_i - u_j} \quad ,$$

де **u** – параметр інтерполяції, наприклад, вектор спрямованості у певному напрямку поширення впливу того чи іншого параметра; **n** – кількість вузлів інтерполяції.

Цей вираз являє собою узагальнену дискретно-інтерполяційну матрицю і є дискретною геометричною моделлю певної системи чи середовища.

Однопараметричні множини, отримані на основі даного підходу, є дискретними математичними моделями систем та середовищ. Елементом таких множин є деяка дискретна функція, що може бути представлена, як дискретний чисельний масив, розмірність якого може варіюватись.

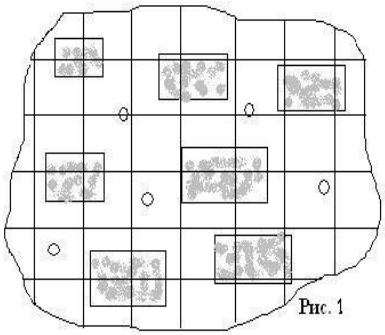
Враховуючи фактор багатопараметричності середовищ, їх геометричну модель можна вдосконалювати, застосовуючи, наприклад, двовимірну і більше інтерполяцію. Так, у випадку двовимірної інтерполяції можна знайти вид

степеневого многочлена $\mathbf{\Phi_{m,n}(p_{i,j},u,v)}$ степеня **m** по **u** та **n** по **v**, та визначити значення функціонала $\mathbf{\Phi_{m,n}(p_{i,j},u,v)}$ у довільній точці з параметрами (**u,v**). Тоді аналогічно (2) можна отримати такий вираз для двовимірної інтерполяції за Лагранжем:

$$\Phi_{\mathrm{m},n}(u,v)=\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1}F_{i,j}(p_1,p_2,\cdots,p_t)\prod_{\substack{p=0\\p\neq i}}^{m-1}\prod_{\substack{q=0\\q\neq j}}^{n-1}\frac{(u-u_i)(v-v_j)}{(u_p-u_i)(v_q-v_j)}$$

Наведемо алгоритм визначення локальної області певної території на прикладі замкнутої пласкої області (рис.1).

1. Геометрично кожна точка в нашому підході є локальною матрицею.
2. Вводимо ортогональну мережу з певним кроком, який обирається з міркувань проходження ліній сітки через найбільшу кількість вузлових точок.
3. Використовуємо дискретно-інтерполяційний підхід, а саме, здійснюємо інтерполяцію уздовж ліній сітки, отримуючи таким чином інтерполяційний поліном.


Рис. 1

4. Маючи аналітичний вираз поліному , знаходимо локальний екстремум, фіксуємо його положення.
5. Цей процес проводиться уздовж кожної лінії й у разі використання двовимірної інтерполяції в двох напрямках.
6. Отримані локальні екстремуми поліномів, а це є певні вузли інтерполяції у вигляді умовних точок на схемі, дають можливість окреслити так званий локальний центр певної території.

Отже, при моделюванні об’єктів та середовищ, що характеризуються великою кількістю різноструктурних та різноякісних параметрів, запропонований підхід, на нашу думку, є достатньо ефективним. Наприклад, якщо йдеться про якісну та кількісну оцінку впливу екологічного забруднення на навколишнє середовище, визначення можливих найбільш забруднених місць.

На основі запропонованого методу можна поставити такі задачі щодо моделювання, наприклад, екологічної ситуації на певній території:

1. Визначення рівня шкідливості певних чинників екологічної ситуації: у часі й за напрямком.
2. Визначення можливих місць найбільших забруднень певних територій.
3. Перспективне прогнозування забруднення навколишньої території.
4. Прогнозування зміни стану антропогенних систем та середовищ.

Висновки

На основі дискретно-інтерполяційного методу створивши геометричну модель певного середовища, що характеризується великою кількістю параметрів, у вигляді дискретно-інтерполяційної матриці, ми отримуємо можливість моделювання складних багатопараметричних систем та середовищ, і визначення певних локальних характеристик.

Список літератури

1. *Ю.Р. Холковський.* Інтерполяція дискретних масивів у загальному випадку як спосіб моделювання багатопараметричних об'єктів та процесів // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. – Вип.4 – Т51. – С. 204-207.

2. *Ю.Р. Холковський.* **М**оделювання багатопараметричних процесів та систем на основі дискретно-інтерполяційного підходу в екології // Праці VIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. – С.204-208.

3. *Ю.Р. Холковський.* Використання дискретно-інтерполяційної екоматриці для визначення локального центру забруднення екологічної системи /Збірник матеріалів XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми геометричного моделювання», Мелітополь, 2013. – С. 183-187.

УДК 745.2:629.113.012(043.2)

О.Г. Церковна
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Параметричний метод нормування при формуванні дизайну інтер'єрів транспортних засобів

У доповіді розглянуто особливості параметричного методу нормування як інструменту проєктування дизайну інтер'єрів транспортних засобів. Визначено ключові переваги підходу, що поєднує ергономічні та естетичні характеристики в єдиній дизайн-системі.

Розвиток сучасного дизайну транспортних засобів вимагає високого рівня інтеграції між естетичними, ергономічними та інженерно-технологічними чинниками. Особливого значення набуває питання адаптації інтер'єрних рішень до потреб користувачів у контексті динамічних змін у сфері мобільності, індивідуалізації простору та сталого розвитку. В умовах зростання вимог до комфортності, безпеки та функціональності інтер'єрів актуальним стає застосування гнучких методів проєктування, які враховують множинність параметрів і сценаріїв використання.

Одним із таких методів виступає *параметричний підхід до нормування*, що базується на використанні змінних, взаємопов'язаних параметрів для побудови проєктного рішення. Цей підхід дозволяє створювати інтер'єри, адаптовані під різні групи користувачів (з урахуванням антропометрії, фізіології, способу життя), забезпечуючи водночас цілісність стилістики та технологічну реалізованість.

В межах даного дослідження пропонується розглянути потенціал параметричного нормування при формуванні дизайну інтер'єрів транспортних засобів та аналіз можливості його впровадження як у професійному, так і в освітньому середовищі для формування адаптивних, функціональних і візуально узгоджених рішень.

Основний матеріал. Починаючи з 2019 року, Україна робить крок, необхідний для переходу від розпорядчої системи регулювання будівництва до параметричної. Перехід на параметричний метод нормування встановлює необхідний баланс для задоволення та підвищених вимог суспільства і бізнесу. *Параметричний метод нормування* — спосіб встановлення вимог до об'єкта нормування, який передбачає визначення цілей та/або параметрів безпеки, функціональності та якості об'єкта нормування (критеріїв, вимог до експлуатаційної характеристики та/або її показників). Є ієрархічним і засновано на встановлені послідовності цілей і завдань. На першому рівні задаються конкретизовані цілі нормування — для кожного положення окремо. Ці завдання встановлюються на рівні законодавства. Другий — функціональні вимоги, які базуються на сформульованих вимогах нормування. Третій рівень — вимоги до робочих характеристик, які в свою чергу випливають з функціональних вимог. Таким чином, вибудовується чітка ієрархія:

- на першому рівні сформульовані цілі;
- на другому рівні відокремлюємо функціональні вимоги;

- на третьому рівні формуємо вимоги до робочих характеристик об’єкта, що підпадає під регулювання.

Для підтвердження виконання встановлених на різних рівнях вимог застосовуються інші інструменти технічного регулювання — оцінка відповідності. Оцінка відповідності нагляд спрямована на доведення відповідності об’єкта встановленим обов’язковим вимогам та на контроль за їх виконанням.

Параметричні норми акцентують увагу на меті, яку необхідно досягти, застосовуючи встановлену нормативну вимогу. До параметричних вимог, що визначають експлуатаційні характеристики об’єкту, відносяться шість вимог безпеки:

- механічний опір та стійкість;
- пожежна безпека;
- гігієна, здоров’я та захист навколишнього середовища;
- безпека і доступність при експлуатації;
- захист від шуму та вібрації;
- енергозбереження та енергоефективність.

Відповідно до технічного регламенту, дизайн інтер’єрів транспортних засобів в цілому й окремі його частини, повинні відповідати своєму функціональному призначенню та основним вимогам безпеки. За умови належної експлуатації транспорту, основні вимоги безпеки повинні виконуватися протягом обґрунтованого терміну експлуатації з урахуванням передбачуваних впливів.

Розглянемо параметричний метод нормування у дизайні — як метод, який передбачає створення об'єктів шляхом задання набору змінних параметрів і визначення логіки взаємозв’язку між ними. Такий підхід дозволить генерувати численні варіації форм, зберігаючи при цьому внутрішню структурну й функціональну цілісність. У дизайні параметризація забезпечить ефективне поєднання естетики, ергономіки й технологічної доцільності.

Цей метод особливо актуальний у дизайні інтер’єрів транспортних засобів, де необхідно адаптувати простір під численні сценарії використання, враховуючи фізіологічні характеристики користувачів, норми безпеки та функціональне зонування.

У межах дизайну інтер’єру транспортного засобу параметричне нормування використовується для розрахунку таких змінних, як:

- *висота та ширина сидінь, кут нахилу спинки* (адаптація до антропометрії користувача);
- *розміщення органів керування та панелей* (відповідно до зони досяжності);
- *розподіл вільного простору між модулями інтер’єру* (оптимізація прохідності та збереження зручності);
- *геометрія світлових прорізів, зон зберігання, освітлення* (баланс між функціональністю й естетикою).

При цьому змінні можуть бути взаємопов’язані в системі (наприклад, зміна положення сидіння автоматично коригує положення підлокітника й кута

огляду), що спрощує прийняття дизайнерських рішень і покращує узгодженість компонентів інтер'єру.

У дизайні інтер'єрів цивільних повітряних суден, де обмеження простору особливо жорсткі, параметричний метод дозволяє моделювати макети салонів із урахуванням багатофакторних сценаріїв: тривалості польоту, кількості пасажирів, класу обслуговування, потреб пасажирів з інвалідністю тощо.

На базі кафедри комп'ютерних технологій, дизайну і графіки, Факультету архітектури, будівництва та дизайну ДНП Державного університету «Київський авіаційний інститут» в межах дисципліни «Дизайн інтер'єрів транспортних засобів», що викладається за освітньо-професійною програмою *«Дизайн»,* в процесі виконання науково-дослідної та навчальної діяльності студентами-дизайнерами було апробовано параметричний підхід під час розробки дизайну інтер'єрів транспорту цивільного призначення. Зокрема, в межах виконання практичних завдань, параметричний підхід було застосовано при:

- розрахунку елементів, які формують дизайн інтер'єру (сидіння, панелі, вбудовані меблі тощо) (рис. 1);
- створенні модифікацій конфігурацій салону з урахуванням категорій пасажирів (рис. 2);
- моделюванні можливих сценаріїв експлуатації (рис. 3).

Аналізуючи результати застосування параметричного методу було досягнуто підвищення ергономічної точності та стилістичної цілісності інтер'єрних рішень, а також сформовано компетенції адаптивного й стратегічного мислення у студентів.



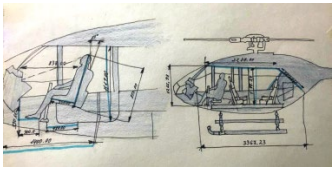


Рис. 1 Приклад розрахунку елементів, які формують дизайн інтер'єру. Фрагмент практичного завдання, автор: О. Ільченко

Висновки. Параметричний метод нормування є перспективним напрямом у формуванні дизайну інтер'єрів транспортних засобів, що дозволяє:

- забезпечити відповідність сучасним вимогам безпеки, ергономіки та комфорту;

- враховувати широкий спектр індивідуальних і функціональних параметрів користувача;
- розробляти адаптивні інтер'єрні рішення з урахуванням технологічних, нормативних і візуальних чинників;
- формувати нові професійні компетентності у студентів-дизайнерів, орієнтовані на аналітичне, адаптивне й міждисциплінарне мислення.

Застосування цього підходу у професійній і освітній практиці сприяє переходу до сучасної парадигми проєктування, в якій дизайн виконує не лише естетичну, але й системоутворюючу, комунікаційну та регуляторну функцію.

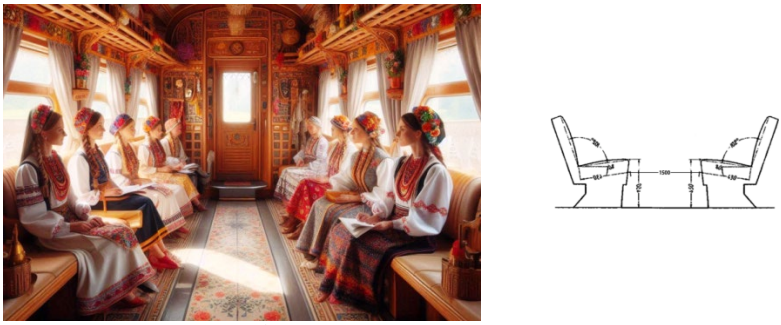


Рис. 2 Приклад конфігурації салону з урахуванням категорій пасажирів. Фрагмент практичного завдання, автор: К. Разумна

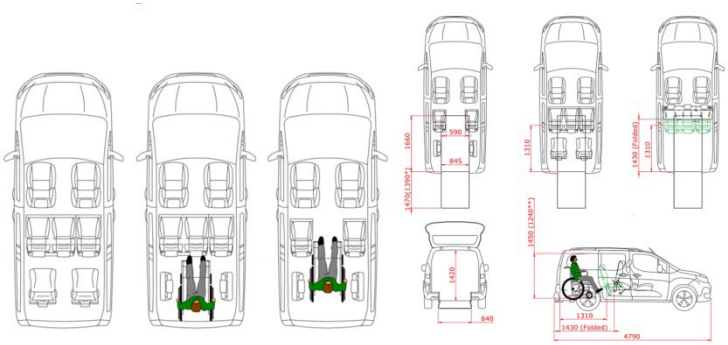


Рис. 3 Моделюванні можливих сценаріїв експлуатації салону автомобільного транспорту цивільного призначення. Фрагмент практичного завдання, автор: А. Максимова

Список літератури

1. Барзилович Д., Лагунова І., Бардасова І., Буравченко С., Нечепорук А., Медведчук О., Марушева О., Колесник В. Зелена книга. Системний перегляд ефективності державного регулювання. Параметричне нормування у будівництві. Київ : Офіс ефективного регулювання, 2020. 92 с.

2. Василенко В.М., Церковна О.Г. Формування інтер’єру цивільних повітряних суден (літаків та гелікоптерів): потенціал підготовки майбутніх дизайнерів. Архітектура та екологія: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 12–15 листопада 2024 року). С. 44–46.

3. Загорянський В.Г. Ергономічне забезпечення вимог до комфортності поїздки в міському автобусі великої місткості. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. №7(38). С. 213–221. DOI: 10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.213-221.

4. Іванов В.І. Споживчі властивості легкових автомобілів. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції ННІ механотроніки і систем менеджменту. 2018. С. 28–29.

5. Калінін Є.І., Поляшенко С.О. Основи дизайну легкових автомобілів. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції ННІ механотроніки і систем менеджменту. 2018. С. 35–36.

6. Пустюльга С.І. та ін. Сучасні концептуальні принципи використання геометричних форм в дизайні автомобіля для масового виробництва. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2023. №1(20). С. 206–219.

УДК 725.51:004.4:364-056.26

Т.В. Жидкова, к.т.н.
Н.А. Пилипенко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Урахування вимог ергономіки під час проєктування інклюзивних санвузлів

Наведені результати досліджень проектування доступності санітарно-гігієнічних приміщень з врахуванням ергономічних вимог для маломобільних груп населення, зокрема осіб, що користуються кріслом колісним.

Доступні санітарно-гігієнічні приміщення – це частина інклюзивного простору, їхні особливості дають можливість людям з інвалідністю та іншим маломобільним групам відчувати себе максимально самостійними й незалежними, усувають бар'єри та обмеження, враховують вимоги доступності для осіб з інвалідністю з різними порушеннями.

Санітарно-гігієнічні приміщення за складом та розміщенням обладнання мають бути зручними й комфортними для всіх, зокрема для осіб з інвалідністю.

Такі приміщення мають бути в кожній громадській будівлі – у навчальних закладах та закладах охорони здоров'я, у державних установах, торговельних центрах тощо. Кількість та розташування туалетів для осіб з інвалідністю в громадських будівлях розраховується відповідно до державних будівельних норм [1, 2].

Сантехнічне обладнання, що передбачено в кабінках або окремо розташованих приміщеннях, призначених для маломобільних груп населення, має відповідати умовам доступності.

Загальні приміщення громадського туалету повинні мати необхідний простір для маневрування, а сушарки для рук або диспенсери для паперових рушників розміщені на висоті від 800 мм до 1100 мм, що забезпечує доступність (досяжність) для всіх потенційних користувачів [3].

При влаштуванні санвузла в існуючій будівлі, постає ряд проблем таких, як розмір приміщення, ширина дверного отвору, перепланування мереж підключень комунікацій. На сьогоднішній день основний нормативний документ ДБН В.2.2-40:2018 "Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення" із Зміною №1 не дає повних вказівок щодо розміщення сантехнічного обладнання та допоміжних елементів (поручні, дзеркала та ін.) в частині ергономіки. Небайдужі до потреб організації займаються створенням методичних рекомендацій, за допомогою яких, можна організувати доступне та безпечне приміщення санвузла для маломобільних груп населення, зокрема осіб, що користуються кріслом колісним (рис.1). Безбар'єрна та функціональна, і при цьому стильна та сучасна ванна кімната - це справжній тренд сьогодення.

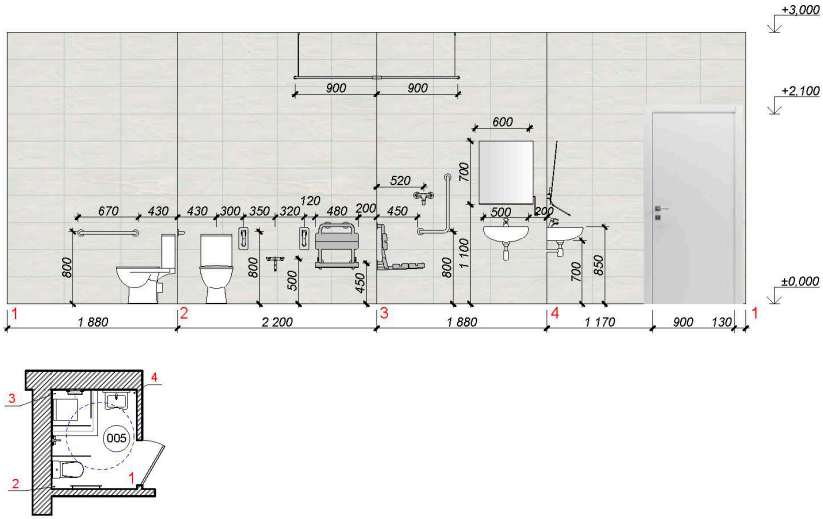


Рис. 1. Розгортка приміщення санвузла

Умивальники мають бути розміщені на висоті 820 – 850 мм . Важливим є висота розміщення обладнання в інклюзивному туалеті, використання умивальників з сенсорними кранами, або важільного типу. Таки крани є зручними для всіх і необхідними для осіб з обмеженою мобільністю або вправністю рук (рис.2).

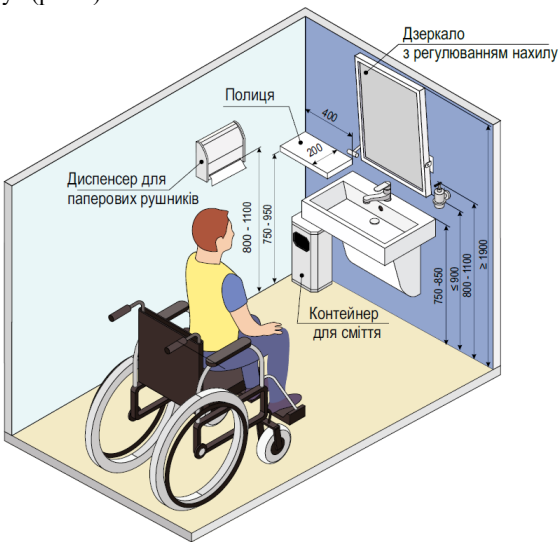


Рис. 2. Схема розміщення сантехнічного обладнання

Рекомендується використання безконтактних дозаторів мила та сушарок для рук.

Нижня частина умивальника повинна мати вільний простір для ніг не менше ніж 700 мм. Верхня частина умивальника повинна розташовуватися на висоті 750 – 850 мм від підлоги. Мінімальна глибина рукомийника має становити від 450 мм до 600 мм.

Простір під рукомийником має бути вільним для ніг. Перед рукомийником варто забезпечити вільний простір. Поруч з рукомийником на висоті 650 – 950 мм має бути розташована полиця розміром 200 х 400 мм.

Альтернативним рішенням може бути раковина умивальника з полицею. Така полиця необхідна для потреб різних користувачів, зокрема стомованих осіб, хворих на цукровий діабет.

Дзеркало над умивальником повинно розташовуватися на висоті не більше ніж 900 мм і не менше ніж 1900 мм (рис.3). Доречним є використання дзеркала з регулюванням нахилу [3].

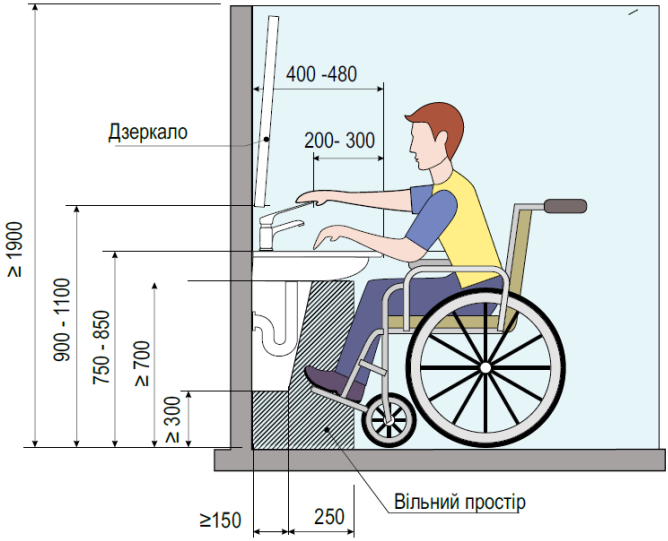


Рис 3. Схема розміщення сантехнічного обладнання

Висновки

Завдяки продуманому підходу до проєктування санітарно-гігієнічних приміщень важливо надати можливість особам з інвалідністю та іншим маломобільним групам населення самостійно орієнтуватись у туалетних приміщеннях, зберігаючи свою приватність і гідність, отримувати комфортні та зручні послуги нарівні з іншими. Все це сприяє створенню більш інклюзивного та справедливого суспільства.

Список літератури

1. ДБН В.2.2-40:2018. Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення [Чинний від 2019-04-01]. – Київ. Мінрегіон, 2018. 64 с. – (Державні будівельні норми України).

2. ДСТУ Б ISO 21542:2013. (ISO 21542:2011, IDT). Будинки і споруди. Доступність і зручність використання побудованого життєвого середовища. [Чинний від 2014-04-01]. Київ. Мінрегіон, 2014. – 222 с. – (Національні стандарти України).

3. Жидкова Т.В., Грибальський Я. В. Доступність санітарно-гігієнічних приміщень для осіб з інвалідністю в місцях громадського користування. Методичні рекомендації. Національна Асамблея людей з інвалідністю України, URL: https://naiu.org.ua/archives/edition/ dostupnist-sanitarno-gigiyenichnyh-prymishhen-dlya-osib-z-invalidnistyu-v-misczyah-gromadskogo-korystuvannya (дата звернення: 05.02.2025).

УДК 332.334.2:711.553:656.7(477)

Л.Р. Скрипник, доктор філософії, доцент., В.М. Михайленко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сучасні підходи до вдосконалення територіального планування земель аеропортів України в умовах відбудови та просторової трансформації

У процесі післявоєнної реконструкції та формування оновленої просторової моделі розвитку України особливої уваги набуває питання удосконалення планування використання земель, пов'язаних з авіаційною інфраструктурою. Актуальність даної проблематики обумовлюється потребою розроблення комплексної Національної стратегії розвитку авіаційно-транспортного сектора, положення якої повинні бути інтегровані у генеральні плани територіального відновлення порушених регіонів. Особливий акцент відображено на необхідності гармонізації авіаційного розвитку з соціальними, екологічними, економічними та культурними особливостями відповідних територій.

Процес створення та модернізації мережі аеропортів має базуватися на сучасних принципах просторового зонування, сценарного планування та концепції сталого землекористування. Ефективне стратегічне планування авіаційної діяльності передбачає урахування таких чинників, як вплив на регіональну економіку, доступ до трудових ресурсів, рівень розвитку транспортної інфраструктури та потенціал взаємодії з іншими логістичними системами.

Аеропорти відіграють важливу роль у зростанні в системі регіонального розвитку, формуючи зони інтенсифікованого землекористування, що охоплюють промислові, комерційні, рекреаційні та аграрні функції. Збільшення інвестиційного навантаження на прилеглі території супроводжується трансформацією структури землеволодіння, підвищенням попиту на спеціалізовані земельні ділянки та зміною їх функціонального призначення.

У контексті збереження екологічного балансу важливим є забезпечення охорони природно-заповідних територій, історико-культурної спадщини та зон з особливим режимом використання. Проведення інтегрованого просторового аналізу дає змогу класифікувати землі за типами використання, визначити ризики антропогенного впливу та розробити адаптивні заходи з мінімізації конфліктів між авіаційною інфраструктурою та іншими видами землекористування.

До провідних інновацій у сфері планування земель аеропортів доцільно віднести:

- застосування цифрових інструментів просторового аналізу, зокрема геоінформаційних систем, цифрових кадастрів, аерофотознімків та тривимірного моделювання рельєфу;
- впровадження європейських підходів до регулювання зонінгу в межах авіаційних об'єктів відповідно до Стратегії Європейського Союзу щодо сталої мобільності;

▪ включення об'єктів авіаційної інфраструктури до єдиної системи транс'європейських транспортних коридорів TEN-T, що забезпечує їх логістичну інтеграцію;

▪ врахування кліматичних ризиків та екологічних загроз у проєктуванні авіаційних об'єктів та плануванні навколишніх територій, з метою підвищення кліматичної стійкості інфраструктури [1].



Рис. 1. Мережа цивільних аеропортів України: статус та функціонування станом на 2020 рік [2]

У контексті просторового переформатування України та оновлення мережі цивільних аеропортів (рис. 1), важливою складовою стає оцінка впливу авіаційної інфраструктури на землекористування суміжних територій. Територіальне планування повинно враховувати інтеграцію функціональних зон, формування безпечного середовища, екологічну збалансованість і відповідність соціально-економічним пріоритетам регіону.

Зміни у структурі землекористування довкола аеропортів зазвичай спричиняють активізацію процесів розширення рекреаційно-туристичних зон, розвитку агропромислового комплексу, комерційних площ та об'єктів бізнес-інфраструктури. Внаслідок цього виникає потреба в адаптації цільового призначення земель відповідно до нових функціональних завдань, серед яких: забезпечення логістичних процесів, створення індустріальних парків, розміщення офісно-складських потужностей та інше. Особливої уваги набуває питання відведення спеціалізованих земельних ділянок під бізнес-центри та багатофункціональні комплекси, здатні задовольнити потреби не лише авіапасажирів, а й місцевих громад та підприємств.

Системний підхід до аналізу взаємодії між аеропортовою інфраструктурою та прилеглими територіями вимагає врахування динаміки розвитку промислового, торговельного, житлового та аграрного секторів. У цьому контексті вирішальну роль відіграє наявність ринку праці, транспортної доступності, інженерної інфраструктури та забезпечення екологічної безпеки. Таким чином, кожен проєкт планування має супроводжуватися ретельним прогнозуванням впливу на просторову структуру [1].

Особливу складність становить гармонізація авіаційної діяльності з об'єктами природно-заповідного фонду, історико-культурної спадщини та зон особливо цінного землекористування. Для прийняття зважених рішень у сфері просторового розвитку необхідним є проведення фахової оцінки категорій земель, характеру їх використання, а також рівня потенційної взаємодії із запроєктованими або функціонуючими об'єктами авіаційного призначення.

Згідно з методичними підходами, сучасна практика передбачає розробку функціонального зонування у межах аеропортів та суміжних територій. Це дозволяє визначити пріоритети розміщення технічних об’єктів, резервних майданчиків, комунікацій, паркових зон, адміністративних будівель і службових приміщень. При цьому критично важливими є дотримання санітарно-захисних зон, встановлення обмежень забудови, впровадження зон контролю шумового навантаження та врахування ризиків надзвичайних ситуацій (наприклад, при зльоті та посадці літаків).

Таблиця. 1

Ключові чинники при плануванні земельного використання для аеропортів [1]

Аспект	Коротка характеристика
Безпекові зони	*Створення обмежених зон для запобігання загрозам*
Інфраструктурна оптимізація	*Розміщення терміналів, ангари, таксівей, резервні платформи*
Транспортна доступність	*Наявність зручного під’їзду, громадського транспорту, паркування*
Екологічні обмеження	*Захист природних ресурсів, запобігання забрудненню територій*
Майбутнє розширення	*Наявність резервів під майбутнє будівництво чи реконструкцію*
Соціальна інтеграція	*Урахування інтересів місцевих громад, забезпечення участі у плануванні*

У рамках реформування територіального устрою, що супроводжується оновленням місцевих стратегій розвитку, важливо забезпечити ефективну координацію між суб’єктами владних повноважень та органами місцевого самоврядування. Узгодженість прогнозних планів з просторовими стратегіями регіонів, зокрема Комплексними планами просторового розвитку територій громад (КППР), має забезпечити сталу модель функціонування авіапідприємств у взаємодії з довкіллям, економікою та суспільством.

Таким чином, ефективне просторове планування земель навколо аеропортів передбачає інтеграцію сучасних технологій, багаторівневу координацію, чутливість до екологічних обмежень та стратегічне прогнозування змін у структурі землекористування. Саме це створює основу для формування сталих, безпечних і функціонально повноцінних авіаційно-територіальних комплексів у системі національного транспортного простору України.

Висновок

Розвиток територій навколо аеропортів вимагає багатовимірного та інтегрованого підходу до планування, що поєднує технічні, екологічні, соціальні й економічні аспекти. Формування функціонального, безпечного й сталого аеропортового комплексу можливе лише за умови збалансованого використання земельних ресурсів, дотримання принципів сумісності різних видів землекористування та активної участі органів місцевого самоврядування у процесі прийняття рішень. Такий підхід дозволить забезпечити ефективне функціонування авіаційної інфраструктури та підвищити інвестиційну привабливість регіонів у межах національної транспортної політики.

Список літератури

1. Novakovskyi, L.Ya., Martyn, A.H., Novakovska, I.O., Slavin, I.V., & Skrypnyk, L.R. (2021). Formation of land use restrictions through geoinformation analysis in spatial planning (on the example of airport-adjacent territories). Ukrainian Geographical Journal, 1(113), 44–53. https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.044

2. Збитки та доходи українських аеропортів під час повномасштабної війни [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.slovoidilo.ua/2024/12/27/infografika/finansy/zbytky-ta-doxody-ukrayinskyx-aeroportiv-povnomasshtabnoyi-vijny

УДК 65: 656,7

Н.Ф. Іщенко PhD., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Європейські авіаційні тренди та перспективи відновлення польотів в Україні

Розглянуто сучасні світові тренди авіаційної галузі та можливість їх адаптації для українського авіа простору Досліджено використання повітряних суден на альтернативному паливі. Розглянуто правила ринку екологічно чистого авіаційного палива. Визначено основні напрями цифрового розвитку авіаційного простору.

Після повномасштабного вторгнення в Україну авіаційна галузь зазнала значних втрат та руйнувань, небо закрите для польотів цивільної авіації. Та Європейська та світова авіація продовжує розвиватися, адаптуючись до нових викликів — екологічності, цифровізації та підвищення безпеки. Хоча вивчення сучасних авіаційних трендів сьогодні може здаватися несвоєчасним для України в умовах війни. Втім, по завершенні бойових дій перед фахівцями постануть виклики оперативного відновлення авіаційної галузі разом із суміжними секторами — туризмом, страховим бізнесом, обслуговуванням, тощо. Тоді особливо важливо буде швидко інтегрувати ті інновації, які нині проходять повз нас.

Основними авіаційними тренди в Європі є декарбонізація та цифровий розвиток, рис. 1.

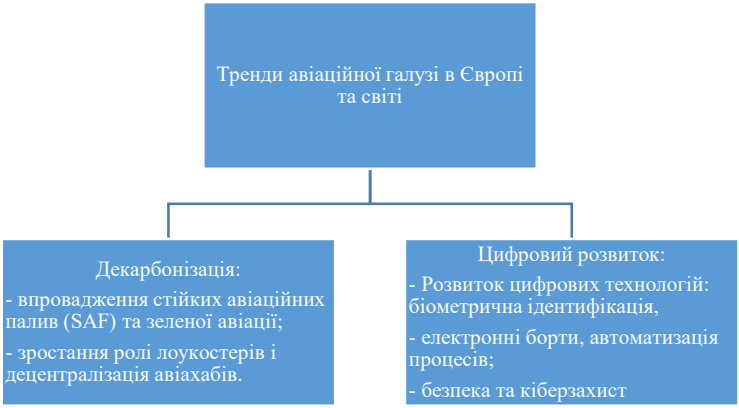


Рис. 1. Сучасні Європейські та світові тренди авіаційної галузі

Щодо підготовки до декарбонізації авіаційних перевезень, то згідно з прогнозами, впровадження водневих і електричних авіадвигунів може охопити до 89% внутрішніх авіарейсів у межах ЄС до 2040 року, що здатне знизити викиди

CO_2 в атмосферу на 59%. Компанії на кшталт ZeroAvia, Eviation та Heart Aerospace уже представили дослідні зразки літаків на альтернативному паливі, розрахованих на перевезення від 9 до 30 пасажирів [1], таблиця 1.

Таблиця 1.

Перспективи використання літаків на альтернативному паливі [2]

Відстань повітряного маршруту	**Вплив клімату**	**Витрати**	**Час перельоту**
до 500 км 298 млн пасажирів/рік	- 100%	+ 10%	+ 7%
від 500 км до 1000 км 380 млн пасажирів/рік	- 89%	+ 8%	+ 11%
від 1000 км до 2000 км 379 млн пасажирів/рік	- 68%	+ 23%	+5%

До 2040 року вони планують повноцінно запустити такі моделі на коротких маршрутах. Водночас великі гравці авіаційної галузі також розробляють перспективні рішення: Airbus має на меті вивести на ринок перший водневий літак до 2035 року, а Boeing розглядає можливість комерційного використання малих літаків на водні або акумуляторах уже до 2030-го. Успішна декарбонізація авіації залежить від розвитку інфраструктури, політичної волі та обсягів інвестицій.

За даними «ReFuelEU Aviation» визначено, що як попит, так і пропозиція ринку екологічно чистого авіаційного палива (SAF), спрямовано на забезпечення рівних умов гри на ринку повітряного транспорту ЄС, для того щоб повітряний транспорт відповідав траєкторії кліматичних цілей ЄС на 2030 і 2050 роки, оскільки SAF є одним із ключових коротко- та середньострокових інструментів для декарбонізації авіації [3]. Основні правила запровадження:

1) Постачальники авіаційного палива повинні постачати мінімальну частку SAF в аеропорти ЄС, починаючи з 2% від загального обсягу палива, що поставляється до 2025 року, і закінчуючи 70% до 2050 року. Нова суміш реактивного палива ЄС також повинна містити мінімальну частку найсучасніших та екологічно чистих синтетичних видів палива, яка з часом має збільшуватися.

2) Експлуатанти літаків, які вилітають з аеропортів ЄС, повинні заправлятися лише необхідним для польоту паливом, щоб уникнути викидів, пов'язаних із зайвою вагою або витоком вуглецю, спричиненим практикою «заправки».

3) Аеропорти мають забезпечити, щоб їхня інфраструктура заправки була доступна та придатна для розповсюдження SAF [3]

Щодо другого тренду, цифрового розвитку, то тут слід відмітити наступні напрямки:

1) поява новітніх моделей мейнфреймів (серверів). Перед авіакомпаніями постає стратегічне питання: інвестувати в модернізацію існуючих систем на базі нових мейнфреймів чи здійснювати поступову трансформацію, розділяючи системи на окремі модулі й оновлюючи їх поетапно. Вважається, що перехід від застарілих IT-рішень до високопродуктивних мейнфреймів здатен суттєво прискорити процес цифрової трансформації перевізників.

2) Інтеграція штучного інтелекту в авіаційну галузь. Хоча сьогодні вона стикається з певними викликами та перешкодами, але більшість фахівців вважає, що його впровадження є неминучим. ШІ має великий потенціал для підвищення ефективності перевезень, зокрема в таких сферах, як планування маршрутів, управління повітряним трафіком та аналіз великих обсягів льотної інформації для прийняття обґрунтованих рішень. Яскравим прикладом є досвід American Airlines, яким вдалося скоротити час на розподіл виходів на посадку пасажирів із чотирьох годин до лише двох з половиною хвилин завдяки використанню ШІ-рішень.

3) Недостатня кількість кваліфікованих кадрів. Щоб подолати цей виклик, дедалі більшого значення набуває впровадження автоматизованих процесів у розробці, тестуванні та підтримці програмного забезпечення. Такий підхід сприяє підвищенню гнучкості та адаптивності в залученні робочої сили, допомагаючи компенсувати нестачу фахівців.

Як бачимо світові тенденції в авіаційній галузі виступають потужною рушійною силою змін, до яких українським авіаперевізникам доведеться адаптуватися після припинення воєнного стану. І тут важливим фактором є стратегічна готовність до інтеграції інновацій до нових реалій авіації. Це охоплює оновлення авіапарку, впровадження технологій на базі штучного інтелекту, глибше розуміння потреб пасажирів і відповідне реагування на зміни.

Ключовим фактором відновлення авіаційної галузі після завершення бойових дій буде всебічна оцінка інфраструктури та рівня готовності до відновлення пасажирських авіаперевезень. Це потребуватиме значних інвестицій від самих перевізників та державної підтримки.

Висновок. Отже, для відновлення авіаційної галузі та адаптації її до Європейських та світових інновації, які активно запроваджуються у світі, необхідно зберегти тих авіаперевізників, які ще володіють дійсними сертифікатами експлуатанта, зокрема через залучення їх до виконання перевезень для потреб державних установ. Це дозволить підтримувати функціонування галузі навіть за межами повітряного простору України та зберегти висококваліфікований персонал, необхідний для майбутнього відновлення.

Необхідно налагодити ефективну взаємодію з авіаційними навчальними закладами з метою підготовки молодих фахівців та їх інтеграції в галузь. Адже існує реальний ризик втрати цілого покоління спеціалістів, що може мати серйозні наслідки для майбутнього авіації в Україні.

На початковому етапі відкриття повітряного простору потрібна поміркована державна підтримка — так званий «розумний протекціонізм». Це пов’язано з тим, що хоча формально українські та іноземні перевізники працюватимуть в одному авіаційному просторі, умови для них залишатимуться нерівними. Наприклад, підвищення страхових ставок торкнеться лише частини флоту іноземних компаній, тоді як українські авіакомпанії будуть змушені страхувати увесь флот за вищими тарифами. Така нерівність може суттєво ослабити їхню конкурентну позицію.

Стратегічне планування, модернізація інфраструктури та орієнтація на європейський досвід можливе лише через синергію державної політики, бізнесу

та міжнародної підтримки, що стане ключовим фактором до повернення України в авіаційний простір.

Список літератури

1. Авіаційні тренди в Європі та післявоєнній Україні. Відновлення польотів. «Інфраструктурна розмова» з гендиректорами авіакомпаній Supernova, SkyUp, Bees [Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.deloitte.com/ua/uk/Industries/infrastructure/perspectives/infrastructure-interview-aviation-trends.html
2. Європейський авіаційний ландшафт у 2040 році Електронний ресурс].- Режим доступу: https://www.deloitte.com/nl/en/Industries/transportation/analysis/europe-aviation-landscape-in-2040.html
3. Balian, A., Novakovska, I., Bavrovska, N., Groza, V., Ishchenko, N. (2024). Decarbonization: Direction to the Sustainable Future in Industries. In: Boichenko, S., Zaporozhets, A., Shkilniuk, I., Yakovlieva, A. (eds) Modern Technologies in Energy and Transport II. Studies in Systems, Decision and Control, vol 574. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76650-3_9

УДК 528.8:528.7:528.4:528.*06*

С.І. Альперт, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Новітні методи відбору спектральних діапазонів при обробці супутникових зображень

Розглянуто статистичний метод вибору спектральних каналів, який застосовується у задачах класифікування рослинного покриву одного типу. Запропоновано нову функцію інформативності для вибору самих інформативних спектральних діапазонів. Наведено числовий приклад розрахунку даної функції інформативності.

Як відомо, багатоспектральні аерокосмічні зображення характеризуються досить великим числом спектральних діапазонів, що дає можливість отримувати унікальну інформацію про досліджуваний об'єкт, детально вивчати та аналізувати його основні характеристики, властивості, поточний стан та робити прогнозні оцінки. Але водночас, велика кількість спектральних каналів ускладнює аналіз, передачу, зберігання даних та вимагає значних часових затрат на їх обробку. Слід зауважити, що не всі спектральні діапазони є однаково ефективні та інформативні. Тому перед нами постає задача відбору деякого числа самих інформативних спектральних діапазонів. У даній роботі буде розглянутий статистичний метод вибору самих ефективних спектральних діапазонів та буде запропоновано новий метод вибору самих інформативних спектральних діапазонів (спектральних каналів), застосовуючи нову функцію інформативності [1-3].

Метод відбору спектральних діапазонів на основі статистичного методу

Даний метод базується на оцінці середньої кількості розрізнюючої інформації, яка розраховується за допомогою наступного функціонала (1). При цьому для обчислення кількості розрізнюючої інформації застосовуються емпіричні функції $p(x)$ густини розподілу спектральної яскравості на множині значень X. При цьому значення середньої кількості розрізнюючої інформації для пари спектральних діапазонів j та k можна обчислити за наступною формулою:

$$\Delta I_{jk} = \int_X p_j(x) \ln \frac{p_j(x)}{p_k(x)} dx + \int_X p_k(x) \ln \frac{p_k(x)}{p_j(x)} dx. \qquad (1)$$

Застосовуючи відомі логарифмічні властивості, вираз (1) перепишемо наступним чином:

$$\Delta I_{jk} = \int_X p_j(x) \ln \frac{p_j(x)}{p_k(x)} dx + \int_X p_k(x) \ln \frac{p_k(x)}{p_j(x)} dx =$$
$$= \int_X p_j(x) \ln \frac{p_j(x)}{p_k(x)} dx - \int_X p_k(x) \ln \frac{p_j(x)}{p_k(x)} dx = \quad (2)$$
$$= \int_X \left(p_j(x) - p_k(x) \right) \ln \frac{p_j(x)}{p_k(x)} dx.$$

Потім обираємо таку підмножину спектральних діапазонів із вихідної заданої множини спектральних діапазонів, яка задовольняє наведений критерій за значеннями ΔI_{jk}. При цьому даний критерій встановлюється емпіричним шляхом в залежності від заданого набору класів. Даний метод вибору спектральних діапазонів (каналів) часто застосовується у задачах класифікування рослинного покриву одного типу [3-5].

Нова функція інформативності для проведення процедури відбору інформативних спектральних діапазонів

Нехай, кожен із K_m класів, $m = 1,2,...,M$ представлений навчальною вибіркою. Кожна кількісна ознака π_n $(n = 1,2,...,N)$ у відповідному спектральному каналі (спектральному діапазоні) має конкретний діапазон значень, що позначаються через d_{π_n}.

При цьому діапазон значень $n-$ї ознаки обчислюється у границях загальної навчальної вибірки $\bar{I}$ наступним чином:

$$d_{\pi_n} = \max_{\bar{I}} \pi_n - \min_{\bar{I}} \pi_n, \quad (3)$$

де $\max_{\bar{I}} \pi_n$ і $\min_{\bar{I}} \pi_n$ – мінімальне та максимальне значення цієї ознаки.

Потім розділяємо даний діапазон значень конкретної ознаки π_n на однакові інтервали, які рівні за шириною, для того, щоб дослідити кореляцію значень цієї ознаки із заданими класами $K_1, K_2, ..., K_M$.

Слід зауважити, що ширина інтервалу може бути знайдена наступним чином:

$$\Delta d_{\pi_n} = \frac{d_{\pi_n}}{\left| \bar{I} \right|}, \quad (4)$$

де $\left| \bar{I} \right|$ – потужність загальної навчальної вибірки.

Клас K_M відповідає конкретному інтервалу певної ознаки π_n, у випадку, коли маємо приклад елемента (піксела) із класу K_M, значення ознаки якого потрапляє до однойменного цьому класу інтервалу. Для опису цієї процедури використовується індикатор зіставлення:

$$l_{mj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо клас } K_m \text{ зіставлений з інтервалом } j, \\ 0, \text{ в іншому випадку.} \end{cases} \quad (5)$$

Слід зауважити, кількісна ознака для об'єктів (пікселів аерокосмічного знімку) різних класів у кожному із N спектральних каналів розділена на інтервали. Отже, для кожного спектрального діапазону можна встановити, у який саме інтервал потрапили конкретні елементи (пікселі) із різних класів з даної вибірки та розрахувати число попадань класів у конкретні інтервали. Також для різних спектральних діапазонів розподіл попадань класів по інтервалах буде відрізнятися, бо різні спектральні діапазони відрізняються за інформативністю та надійністю.

Тепер введемо нову критеріальну функцію інформативності. Для кожного інтервалу j розраховуємо відсоток "неправильних" елементів, а саме тих елементів, що випадково потрапили до даного інтервалу. При класифікуванні знімка число "неправильних" елементів розділимо на загальну кількість елементів, що містяться у даному інтервалі, що ми розглядаємо. S_j – відношення кількості "неправильних" пікселів до загальної кількості пікселів в інтервалі j. Далі знаходимо значення всіх величин S_j для кожного інтервалу, сумуємо їх і ділимо на загальну кількість інтервалів.

Нова функція інформативності розраховується за наступною формулою:

$$F^* = 1 - \left(\frac{S_1 + S_2 + S_3 + ... + \mathrm{S}_j}{J} \right). \quad (6)$$

Функція інформативності F^* приймає значення у проміжку від "0" до "1". Чим ближче значення функції F^* до "1", тим більш надійним є спектральний канал.

Слід зазначити, що вираз (6) можна записати у наступному вигляді (7), який є більш зручним для проведення обчислень:

$$F^* = 1 - \frac{1}{J}\left(S_1 + S_2 + S_3 + \ldots + \mathrm{S}_j\right) =$$

$$= 1 - \frac{1}{J}\sum_{j=1}^{J}\left(\frac{\sum\limits_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^{M} l_{kj} n_{kj}}{\sum\limits_{k=1}^{M} l_{kj} n_{kj}}\right), \tag{7}$$

де n_{kj} – кількість елементів (пікселів), які належать k – му класу, що були віднесені до j – го інтервалу, J – кількість інтервалів для ознаки певного спектрального діапазону, M – кількість класів, l_{kj} – індикатор зіставлення.

$$l_{kj} = \begin{cases} 1, & \textit{якщо клас } K_k \textit{ зіставлений з інтервалом } j, \\ 0, & \textit{в іншому випадку.} \end{cases} \tag{8}$$

Приклад розрахунку критеріальної функції інформативності

Припустимо, що маємо два класи $(M = 2)$. Тоді інтервал значень ознак у кожному спектральному діапазоні має розділятися на два інтервали.

Для даного спектрального діапазону маємо наступні індикатори зіставлення:

$l_{11} = 1, l_{12} = 0, l_{21} = 1, l_{22} = 1$ та наступні кількості елементів k – го класу, що випадковим чином (помилково) були віднесені до j – го інтервалу:

$$n_{11} = 5, n_{12} = 0, n_{21} = 1, n_{22} = 4.$$

Тоді критеріальна функція інформативності для даного спектрального діапазону обчислюється за формулою (7) наступним чином:

$$F_2^* = 1 - \frac{1}{2}\left[\frac{1 \cdot 1}{1 \cdot 5 + 1 \cdot 1} + \frac{0 \cdot 0}{0 \cdot 0 + 1 \cdot 4}\right] = 0{,}9166666 \approx 0{,}92.$$

Висновки

На сьогоднішній день задача відбору спектральних діапазонів є однією із найбільш актуальних та складних задач при обробці аерокосмічних даних, оскільки часто виникають труднощі із аналізом та класифікуванням великих обсягів даних. Відомі різні методи відбору найбільш інформативних спектральних каналів.

Було розглянуто статистичний метод вибору спектральних діапазонів, що базується на оцінці середньої кількості розрізнюючої інформації. Зазначалося, що даний метод можна використовувати у задачах класифікування рослинного покриву одного типу.

Запропоновано нову функцію інформативності для вибору найбільш інформативних спектральних діапазонів, що враховує кількість елементів (пікселів) кожного класу. Також було наведено та проаналізовано числовий приклад розрахунку запропонованої функції інформативності.

Метод відбору спектральних діапазонів, застосовуючи запропоновану функцію інформативності можна застосовувати при обробці багатоспектральних аерокосмічних зображень при вирішенні різноманітних сільськогосподарських, екологічних та природно-ресурсних завдань [5-6].

Список літератури

1. *Alpert, S. I.* (2021). Data combination method in Remote Sensing tasks in case of conflicting information sources. *Ukrainian Journal of Remote Sensing,* 8(3), 44–48. URL: https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.3.201.

2. *Sun, W., Du, Q.* Hyperspectral band selection: A review. (2019). *IEEE Geosci. Remote Sens.* 7, 118–139.

3. *Du, Q., Yang H.* (2008). Similarity-Based Unsupervised Band Selection for Hyperspectral Image Analysis. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5 (4), 564-568.

4. *Gong, M., Zhang, M., Yuan, Y.* (2015). Unsupervised band selection based on evolutionary multiobjective optimization for hyperspectral images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens,* 54, 544–557.

5. *Habermann, M., Fremont, V., Shiguemori, E. H.* (2017). Problem-based band selection for hyperspectral images. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1800–1803.

6. *Popov, M., Zaitsev, O., Alpert, S., Alpert, M., Stambirska, R. (2020).* A method to ranking reliability of sensors of multisensor system: interval-valued number case. *The IEEE 2nd International Conference on Advanced Trends in Information Theory,* 395–398.

UDC 332.12:658.7

O.Ye. Nikolaienko, Cand. Tech. Sciences, O.O. Klymenko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Optimization of logistics routes using geoinformation technologies

The application of geoinformation technologies in the problems of logistics is considered, which led to the creation of a new discipline – geologistics. Transport logistics is responsible for the efficiency and optimization of transportation. The most important part of logistics is the process of control of freight flows. The use of geoinformation technologies for the formation of optimal routes of transport logistics before the formation of routes in manual mode allows to combine zones, to optimally form routes, to evaluate the length of routes.

The using of geoinformation technologies in transport logistics.

The application of geoinformation technologies in logistics tasks has led to the creation of a new discipline - geologistics. In solving the problems of transport logistics GIS can be considered as a necessary part of the logistics system to manage the operation of a motor transport enterprise, planning transportation. With the help of GIS you can build optimal routes of traffic of road and other transport, monitor the condition of objects in real time, analyze the dynamics of freight flows [1]. In order to achieve the above tasks of geologistics, it is necessary to solve the problem of building optimal routes.

Transport logistics is a system for the organization of delivery, namely the movement of any material from one point to another on the optimal route. The route that can be delivered to a logistics object in the shortest possible time (or the timeframe) with minimal cost, as well as with minimal damage to the delivery facility is considered optimal [2].

The use of GIS allows you to create a network of topologically connected roads, determined items of delivery of goods, the location of consumers, then everything is ready to solve the task of delivery and finding the optimal routes of movement of transport [3]. Geoinformation technologies include algorithms for moving from one point to another. They are quite effective both for the search for the shortest route and to solve logistics tasks, taking into account numerous optimization conditions - in logistics tasks not only the way of delivery of goods, but also the time of arrival to each client, the number of vehicles used, the loading of vehicles, the time of drivers, the time of operation of drivers [4].

Formation of optimal routes using geoinformation technologies.

Transport logistics is responsible for the efficiency and optimization of transportation. It is the most important part of logistics - the process of control of freight flows. In modern transport logistics, when choosing the optimal routes and transport, computer processing of initial data (orders, cargo parameters, fleet) is required. Electronic maps and special databases (traffic intensity, delivery address, road situation) must also be used to effectively prepare the plans of cargo and optimization of transport logistics plans and optimize transport logistics plans.

Transport logistics when solving the optimization task takes into account the following parameters: - the nature of the cargo (volume, weight, composition, consistency); - number of batches (pallet used, container); - urgency of delivery of cargo to the customer (time intervals, priority); - location of the destination with the account of weather, climatic, seasonal characteristics; - the distance at which the cargo is transported; - value of cargo (insurance); - proximity of the delivery point to transport communications; - safety of cargo, failure to perform deliveries. The use of GIS before routes in manual mode gives the following advantages: - unification of zones; - optimality of route formation; - estimate of the length of the routes.

Combining zones by means of GIS technology.

The following scheme is usually used for routing without GIS: the city is divided into many small zones, and they are attached to vehicles that deliver to these areas. The applications that have been made are automatically attached to their zones, and then the operator controls manually loading of machines. If the loading of a certain zone is larger than the load capacity of the machines assigned to it, then the operator appoints an additional machine there, and in the case, if necessary, if necessary, adds the goods to additional retail outlets to the undoubted machine. When using GIS, it is possible to avoid a small breakdown of the city into zones, and in some cities to move away from zones in general. As a rule, when using GIS, the city is divided into zones by obstacles that interfere with the movement of vehicles from one part of the city to another, for example: on the river, rail, etc. Because, it is more often much more convenient to send a new car to a certain area than to maintain it by a machine that worked, for example, on the other side of the river. The designation of such zones individually for each city is implemented with the help of a specialist in the logistics of this city. When using GIS there is an opportunity to combine several zones into one larger. The combination of zones when using GIS gives a winning and kilometers of vehicles used for the following reasons: - thanks to a sequential set of orders from the large zone, the most complete filling of the body for tightly located outlets is achieved; - Since the zone is processed from far from the territory, the remaining applications will be grouped in the area of the area nearest.

The optimality of routes using GIS.

When forming routes without the use of GIS there are areas with a sufficiently large load, which are not effectively broken down, since they will have a large imbalance on loading. This situation is most common in the center. There are several cars attached to this area. Routes without the use of GIS usually begin to form when not all applications are accepted, and as they receive automatic filling of machines tied to this area. Routes are formed by sparse and machines drive in the same places. Theoretically, after receiving all the applications, the operator, based on the addresses of outlets, can "shift" the routes so that they become more or less dense, but it will take a considerable time at the end of the day, when you need to print documents, collect in the warehouse for loads, and as it shows practices. When using GIS, at the expense of high speed of calculations of routes (1-3 minutes instead of 1.5 hours), there is an opportunity to form routes, after making all the applications from the outlets. As a result, the routes are dense and the machines are optimally loaded. The routes formed

by GIS are more dense than in manual formation, heavy machines are optimally loaded, and the residues on the area carry lighter machines.

Assessment of route pathways using GIS technology.

When using GIS for each flight on the map, the optimal route is laid, which gives a good estimate of the length of the road on the route. This is an important tool for controlling the kilometer of vehicles. As a rule, the introduction of GIS control of fuel usually consisted of removing the readings of the speedometer and evaluating "on the eye", whether there is a significant excess of kilometer. With such an assessment, it is almost impossible to detect cases where drivers go in their affairs. In addition to saving fuel on route optimization, you can save another order 20% on drivers control using GPS monitoring [6]. Drivers in such a system can receive fuel and lubricants on a kilometer, designed by the GIS system (plus-minus a few liters for a simple/detour of traffic jams), and not on far-fetched applications.

Conclusion

The main problems that arise when solving the problems of transport logistics include the lack of detailed maps, the haphazardity of databases, the lack of topologically related roads. These problems are solved by the use of geoinformation technologies in transport logistics. The use of GIS allow you to create a network of topologically related roads, determined items of delivery of goods, the location of consumers, implement algorithms for optimization of movement from one point to another. The use of GIS before the formation of routes in manual mode allows to combine zones, optimally form routes, to evaluate the length of the routes.

References

1. O. Ye. Nikolaienko, V. Yu. Belenok The application geoinformation technologies in logistics // Sixteenth International Scientific Conference "AVIA-2023" // National Aviation University – Section 19. Aerospace Geodesy and Land Management - April 18-20, 2023.

2. Integration of Geographic Information System (GIS) and Logistics in Order to Generate Vehicle Routes / Conference: DEMI 2013: 11th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology

3. Nikolaienko O.Ye., Shugalii O.O. The use of geoinformation technologies in the tasks of transport logistics // National Aviation University, Astronomical School's Report. Kyiv: 2013. № 1. - P. 48-50.

4. Miller, H.J.; Shaw, S.-L. Geographic information systems for transportation in the 21st century. Geogr. Compass 2015, 9, 180–189.

UDC 528.8

Yu.I. Velikodsky, PhD, A.O. Tereshchenko, PhD, V.Yu. Belenok, PhD
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Vegetation and shadow index for very high resolution urban RGB satellite imagery

A new spectral index for simultaneous masking of vegetation and shadows for very high resolution urban RGB imagery is proposed. The index parameters are obtained using supervised classification by logistic regression.

Motivation

Satellite monitoring of urban landscapes involves the analysis of imagery, particularly very high resolution (VHR) imagery, to obtain the spectral and structural characteristics of objects such as buildings, roads, etc. These objects are often obscured by trees, which can partially block buildings and roads, as well as by shadows cast by taller objects and parts of the objects themselves. It is therefore necessary to mask vegetation and shadows in order to separate the objects of interest.

The most reliable of these methods use the near infrared (NIR) channel in addition to the visible channels R, G, B. However, to achieve the required level of detail, VHR imagery containing only R, G, B channels or even a single panchromatic band is often used. One panchromatic band may be sufficient to obtain a mask of shadows that are less bright than the illuminated areas. However, the panchromatic band is no longer sufficient to build a vegetation mask, so it is optimal to use RGB images.

A review of the literature has shown that it is possible to use vegetation [1-3] or shadow [4-8] detection methods separately for application to RGB images. This allows these methods to be used sequentially to mask vegetation and shadows. However, the proposed methods have certain shortcomings, mainly related to the lack of information in the visible channels. The combination of two masks further increases the errors.

In this work, we present the idea of simultaneously finding the vegetation and shadow mask using RGB channels, which will compensate for some of the errors that occur when combining the two methods. First, the vegetation and shadows classes overlap somewhat in RGB space, since vegetation can have surfaces facing away from the sun, which reduces its brightness to shadow values. Second, in tree stands, for example, vegetation and shadows often alternate and form a continuous space that is much easier to include in a single mask than to detect the two classes separately.

Model

It is usually convenient to obtain spectral features of land cover using normalized spectral indices, such as NDVI. This allows you to find objects of the same color but different brightness. In the case of searching for a combined class of vegetation and shadows, this approach does not work because both color and brightness are important. Therefore, we decided to search for a linear combination of R, G, B channels using logistic regression.

To train the model, we used a 0.5 meter resolution image of Siverskodonetsk (Ukraine), which contains multi-story and single-story buildings (for 2022.07). The brightness in the R, G, B channels was normalized to 0...1 with color preservation. In the image, 5 polygons containing vegetation and/or shadows and 17 polygons containing roofs, streets, and city squares were manually selected. The R, G, B channel values of each pixel of the polygons were used to train the model.

As a result of the training with the logistic regression method (implemented in Python), a plane equation in RGB space was obtained that best separates the points into 2 classes: the vegetation and shadows class and the other objects class. Fig. 1 shows the distribution of the training and test samples in the G–B space: the G and B channels turned out to be more important for the classification (see below).

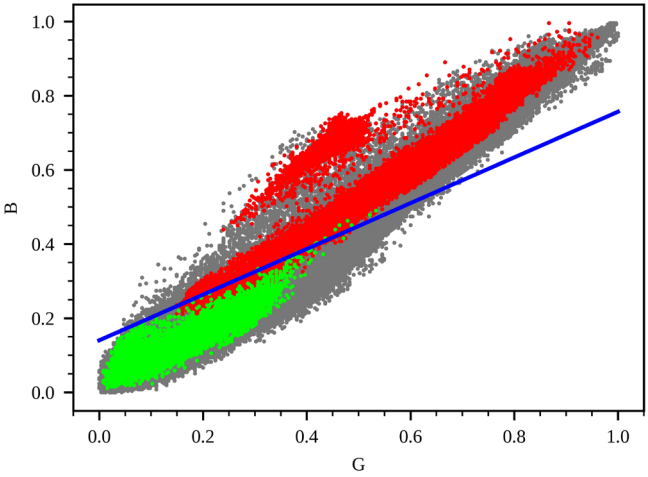


Fig. 1. Classification in the G–B space: *gray points* are all pixels in the image 2022.07; *colored points* are the training sample (*green points* are vegetation and shadows, *red points* are other land covers); *blue line* is a class boundary from the logistic regression.

The boundary between classes (shown in the Fig. 1 as a straight line for R=0) is the plane with the following equation:

$$G - 1.65\,B - 0.15\,R + 0.23 = 0, \quad (1)$$

where the brightness values R, G, B are in the range 0..1.

We propose the value on the left side of equation (1) as the Visible-band Vegetation and Shadow Index (VVSI):

$$VVSI = G - 1.65\,B - 0.15\,R + 0.23. \quad (2)$$

For vegetation and shadows, respectively, the condition is satisfied:

$$VVSI > 0. \quad (3)$$

It is clear that the specific values of the coefficients in formula (2) were found for one image, so other values may be more optimal for other images. However, at least formula (2) defines a general scheme for constructing a vegetation and shadow mask using a fairly simple algorithm based on RGB data.

Testing

We classified each pixel of the Siverskodonetsk images taken on two different dates using Criterion (3). The result is shown in Fig. 2.

It can be seen that the VVSI index works well. In general, the fields of vegetation and trees are successfully masked with some exceptions. In particular, green roofs were sometimes misclassified as vegetation because of their similar color. Also, some shadows with a blue tint were misclassified as not shadows: this may be caused by inaccurate atmospheric correction.



Fig. 2. Classification results for two images of Siverskodonetsk: 2020.09 (*left*) and 2022.07 (*right*). The original images are *above*, and ones with the vegetation and shadow mask are *below*

Discussion

The VVSI index constructed from image 2022.07 also worked well for image 2020.09. This suggests that the basic patterns that form equation (1) are universal across images obtained for at least similar urban landscapes.

Analyzing the structure of the VVSI index in formula (2), we can see that the contribution of the R channel is very small compared to the G and B channels. If we neglect the R channel (for qualitative analysis), we obtain a simple property of the vegetation and shadows class:

$$G - 1{,}65\,B > -0.23. \quad (4)$$

Let's analyze how condition (4) works. If the surface is sufficiently dark, i.e., G and B approach zero, then the left side of inequality (4) approaches zero and is

obviously greater than the negative number on the right side. Therefore, shadows are easily classified by condition (4).

On the other hand, if the surface has a neutral color, i.e. G is approximately equal to B, and it is quite bright ($G \approx B > 0.35$), the left side will be negative and smaller than the right side of inequality (4): this is typical for non-green objects, such as most roofs and roads.

However, if the object is green, then the ratio in the left side of inequality (4) will have a higher value and exceed the threshold given in the right side, even at high brightness, resulting in the object being classified as vegetation.

Thus, the VVSI index should work well both separately for vegetation and shadows, and for the transition zones between them, which was the purpose of introducing this index.

The disadvantage of the VVSI index is errors on objects with a color close to vegetation, such as green roofs, which are misclassified as vegetation. Unfortunately, there is not enough information in the visible RGB brightness alone to separate these two classes. To correctly classify green roofs, additional data is needed: it can be the NIR channel or surface texture properties determined from RGB data.

Conclusion

The proposed Visible-band Vegetation and Shadow Index (VVSI) requires only the brightness in the visible RGB channels (or, roughly, only G and B), but provides good accuracy in simultaneously masking vegetation and shadows, except for some objects whose visible color is similar to the color of vegetation.

References

1. Marcial-Pablo, M. J., Gonzalez-Sanchez, A., Jimenez-Jimenez, S. I., Ontiveros-Capurata, R. E., Ojeda-Bustamante, W. Estimation of vegetation fraction using RGB and multispectral images from UAV. International journal of remote sensing, 2019, 40.2, pp. 420-438.
2. Barbosa, B. D. S., Ferraz, G. A. S., Gonçalves, L. M., Marin, D. B., Maciel, D. T., Ferraz, P. F. P., Rossi, G. RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. Agronomy Research, 2019, 17(2), pp. 349–357.
3. Liu, C., Wu, X., Wang, L. Analysis on land ecological security change and affect factors using RS and GWR in the Danjiangkou Reservoir area, China. Appl. Geogr., 2019, vol. 105, pp. 1-14.
4. Nagao, M., Matsuyama, T., Ikeda, Y. Region extraction and shape analysis in aerial photographs. Comput. Graph. Image Process., 1979, 10, 195–223.
5. Gevers, T., Smeulders, W. Color based object recognition. Pattern Recog., 1999, 32, 453–464.
6. Levine, M., Bhattacharyya, J. Removing shadows. Pattern Recog. Lett., 2005, 26, 251–265.
7. Isaza, C., Salas, J., Raducanu, B. Evaluation of intrinsic image algorithms to detect the shadows cast by static objects outdoors. Sensors, 2012, 12.10: 13333-13348.

8. Agarwal, A., Kumar, S., Singh, D. An adaptive technique to detect and remove shadow from drone data. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2021, 49(3), pp. 491-498.

УДК 004.9:528.422

Т.Д. Козлова, Ю.І. Великодський, к.ф.-м.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання сіамської нейронної мережі для виявлення пошкодженої забудови на супутникових знімках

Запропоновано ідею використання сіамської моделі для виявлення пошкодженої забудови за допомогою одночасного аналізу супутникових знімків до і після руйнувань, що має підвищити точність класифікації порівняно з аналізом лише знімків після руйнувань.

Глибоке навчання (Deep Learning, далі DL) — один з найперспективніших напрямів сучасного штучного інтелекту, що ґрунтується на використанні багаторівневих штучних нейронних мереж для автоматичного вилучення векторів ознак та вирішення складних задач.

DL є підвидом машинного навчання, хоча ці два підходи часто плутають. Обидва напрямки належать до однієї наукової області, але глибоке навчання вирізняється використанням багаторівневих нейронних мереж, здатних самостійно навчатися на великих наборах даних, що значно підвищує точність при розв'язанні складних і часозатратних задач [1]. У класичних методах машинного навчання результат залежить від вибору ознак і алгоритмів, таких як метод опорних векторів чи дерева рішень, що вимагає ручного проєктування ознак. Водночас у глибоких мережах результат визначається саме даними, на яких мережа сама виявляє необхідні патерни.

Завдяки здатності самостійно виявляти релевантні ознаки без втручання людини, DL вирізняється особливо ефективним при роботі з неструктурованими даними, такими як зображення, аудіо чи текст. Останні десятиліття стали знаковими для розвитку цієї технології, що стало можливим завдяки значному зростанню обчислювальних потужностей, зокрема завдяки розвитку графічних процесорів, накопиченню великих обсягів даних та вдосконаленню алгоритмів навчання. Попри те, що концепція штучних нейронних мереж була запропонована ще в 1940-х роках, їх широке застосування стало можливим лише з розвитком сучасних технологій. Значний прорив стався після перемоги моделі AlexNet у 2012 році на престижному конкурсі ImageNet, що продемонструвало ефективність глибоких згорткових мереж у задачах розпізнавання зображень [2].

Завдяки своїй здатності до масштабування, високої точності та адаптивності, глибоке навчання стало основою численних інновацій у сфері штучного інтелекту, від медичної діагностики до мовного моделювання, і нині є потужним інструментом для наукових досліджень та промислових розробок.

У сфері дистанційного зондування Землі нейронні мережі відкривають нові можливості для автоматизованого аналізу супутникових знімків, таких як виявлення змін ландшафтів після природних катастроф, оцінка пошкоджень інфраструктури чи моніторинг змін у землекористуванні. Використання глибоких нейронних мереж дозволяє значно підвищити точність обробки великих масивів зображень і прискорити прийняття рішень, що є критично

важливим у випадках, коли часу чи ресурсів обмаль, наприклад, при реагуванні на надзвичайні ситуації.

Для досягнення таких результатів застосовуються різноманітні підходи, кожен із яких оптимізований для вирішення специфічних завдань [3]. Одним із основних методів є класифікація зображень, яка дозволяє присвоювати зображенням категорії, наприклад, такі як «пошкоджена будівля» чи «не пошкоджена». Цей підхід особливо корисний для виявлення пошкоджень інфраструктури, що критично важливо для відновлення після катастроф.

Іншим важливим методом є виявлення об'єктів, яке допомагає знаходити і локалізувати окремі елементи на зображеннях. Цей підхід активно використовується в ГІС для картографування та моніторингу різних об'єктів на поверхні Землі [4].

Семантична сегментація дозволяє класифікувати кожен піксель зображення, що дає можливість створювати точні карти землекористування. Цей метод активно застосовується для визначення типів земельного покриву, таких як урбанізовані ландшафти, ліси чи сільськогосподарські угіддя, на основі мультиспектральних знімків [4].

Екземплярна сегментація, у свою чергу, дозволяє виділяти об'єкти на зображенні як окремі одиниці, що дає можливість точно визначати їхні межі [3]. Цей підхід часто використовують для векторизації будівель.

І, нарешті, виявлення змін — це метод, який дозволяє порівнювати зображення, зроблені в різний час, для ідентифікації відмінностей. Це корисно для моніторингу змін в інфраструктурі, таких як нові споруди чи зміни в дорожній мережі [3].

У попередніх роботах нами було реалізовано модель глибокого навчання на основі архітектури ResNet-50 для класичної класифікації зображень будівель [5]. Метою було розподілення об’єктів на три класи: цілі, знесені та пошкоджені будівлі (рис. 1). Для навчання моделі використовувалися дані міста Маріуполь за 2024 рік, а розмітка даних виконувалась вручну на основі візуального аналізу. Отримані результати показали, що класична класифікація є ефективним інструментом для початкового аналізу стану забудови, зокрема для виявлення значних пошкоджень. Оцінена точність моделі склала 95.7% [5].



Рис. 1. Класифікація будівель: a - неушкоджені будівлі;
b - знесені будівлі; c - пошкоджені будівлі [5]

Однак, під час роботи над подібною задачею для території міста Сіверськодонецьк, де ми маємо супутникові знімки до і після руйнувань

внаслідок бойових дій, ми стикнулися з труднощами класифікації менш помітних змін, таких як маленькі пробоїни чи незначні пошкодження. З огляду на це, а також на основі аналізу сучасних підходів у науковій літературі, виникла ідея дослідити альтернативний метод — сіамські нейронні мережі.

Сіамські нейронні мережі представляють собою особливий тип архітектури з розділеними, але ідентичними гілками, що мають спільні ваги. Кожна з гілок окремо обробляє одне з двох вхідних зображень або зразків, використовуючи однакову структуру та набір параметрів згорткової мережі для отримання просторово-узагальнених ознак у багатовимірному векторному просторі [6]. Порівняння цих векторних представлень дозволяє оцінити ступінь подібності між двома входами, що є ключовим для задач виявлення змін.

У процесі навчання обидва зображення обробляються однаковою згортковою підмережею з спільними вагами. Після отримання векторів ознак від кожного зображення виконується їх об'єднання для подальшого аналізу відмінностей. Існує кілька поширених підходів до об'єднання ознак у сіамських мережах:

- Віднімання (Difference / Subtraction): виконується поелементна різниця між двома векторами ознак, що дозволяє моделі явно зосередитись на регіонах, де присутні зміни;
- Конкатенація (Concatenation): обидва вектори ознак з’єднуються в один, після чого передаються на подальші шари класифікації або сегментації. Такий підхід дозволяє моделі самостійно визначити, які аспекти ознак є важливими для аналізу змін;
- Модуль абсолютної різниці ($|A - B|$): поелементна абсолютна різниця дозволяє уникнути проблем із напрямком змін і часто застосовується в задачах бінарного порівняння;
- Поелементне множення (Element-wise multiplication): підкреслює спільні риси обох зображень і використовується як механізм для посилення подібності.

Залежно від конкретного завдання (класифікація змін, сегментація змін тощо) ці вектори можуть подаватися на подальші повнозв’язні або згорткові шари для прогнозування наявності або типу змін. Завдяки спільному використанню ваг у гілках мережі забезпечується симетричне кодування вхідних зразків, що підвищує стійкість моделі до змін зовнішніх умов, таких як освітлення, атмосферні впливи чи сезонність.

Застосування однакових параметрів для обох каналів дозволяє суттєво зменшити відстані між представленнями незмінних регіонів і, водночас, підсилити відмінності для регіонів, у яких відбулися зміни. Такий підхід є ефективним для задач виявлення змін у даних дистанційного зондування, де важливо враховувати навіть незначні структурні відмінності при збереженні стабільності до шумів або незначних змін середовища.

Сіамські нейронні мережі успішно застосовуються у різних задачах дистанційного зондування Землі. Зокрема, у роботі [7] було реалізовано сіамську глибоку мережу для виявлення змін в урбанізованих територіях на основі оптичних супутникових знімків. У дослідженні [8] модель на основі згорткової сіамської архітектури була використана для аналізу змін у місті Мекеле з

використанням даних Sentinel-2. Крім того, у роботі [9] запропоновано варіацію сіамської архітектури з використанням трансформерів для покращення якості виявлення змін. У більш сучасному підході було реалізовано глобально-орієнтовану сіамську модель GASNet із механізмами уваги для точного визначення змін у міських умовах [10].

Ідея даної роботи полягає у застосуванні сіамської моделі для аналізу двох супутникових знімків однієї території: до і після руйнувань забудови внаслідок бойових дій. Дана модель може дозволити виявити навіть незначні зміни у забудові, що підвищить точність виявлення пошкодженої забудови порівняно з класичним методом, який використовує лише зображення після руйнувань.

Під час реалізації ідеї необхідно порівняти ефективність сіамської класифікаційної моделі для виявлення змін у стані будівель з ефективністю класичними методами, що використовують ResNet-50. Одним із ключових аспектів цього порівняння є питання, чи допоможе залучення знімків "до" досягти кращої ефективності у визначенні стану будівлі порівняно з класичними методами класифікації будівель, які зазвичай використовують такі підходи до класифікації, як вивчення текстур, форм чи контурів.

Для тренування моделей використовуватимуться дані супутникового знімання міста Сіверськодонецьк надвисокої роздільної здатності за 2020 та 2022 рр. Усі зображення будуть попередньо оброблені та стандартизовані, щоб забезпечити однакові умови для тренування моделей. Результати моделей будуть оцінюватися за допомогою таких метрик, як загальна та збалансована точність, а також матриця плутанини.

Висновок

Запропоновано ідею використання сіамської моделі для виявлення пошкодженої забудови за допомогою одночасного аналізу супутникових знімків до і після руйнувань, що має підвищити точність класифікації порівняно з «класичним» аналізом лише знімків після руйнувань. Після реалізації моделі буде порівняно її точність з класичною моделлю.

Список літератури

1. Машинне навчання простими словами: веб-сайт. URL: http://www.mmf.lnu.edu.ua/ar/1739
2. Як працює Deep Learning: веб-сайт. URL: https://foxminded.ua/deep-learning/
3. Introduction to deep learning. Esri: веб-сайт. URL: https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/deep-learning/what-isdeep-learning-.htm
4. Deep Learning in Geospatial Analysis. Medium: веб-сайт. URL: https://medium.com/codex/understanding-convolutional-neural-networks-abeginners-journey-into-the-architecture-aab30dface10
5. Kozlova, T., Velikodsky, Y. Deep Learning-Based Detection of Damaged Buildings in Satellite Imagery. In International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2024», 2024, Vol. 2024, No. 1, pp. 1-5.

6. A Siamese Network Based U-Net for Change Detection in High Resolution Remote Sensing Images. Medium: веб-сайт. URL: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9733219

7. Yang, L., Chen, Y., Song, S., Li, F., Huang, G. Deep Siamese networks based change detection with remote sensing images. Remote Sensing, 2021, 13(17), p. 3394.

8. Yekun, E. A., Samsom, P. R.. *Detecting Urban Dynamics Using Deep Siamese Convolutional Neural Networks. arXiv e-prints, 2020, arXiv: 2008.04829.*

9. Bandara, W. G. C., Patel, V. M. A transformer-based siamese network for change detection. In: IGARSS 2022-2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2022. p. 207-210.

10. Zhou H., Ren Y., Li Q., Yin J., Lin Y. Global-aware Siamese Network for Change Detection on Remote Sensing Images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2023. Vol. 199. P. 61–72. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2023.

УДК 528.8

А.О. Терещенко, к.ф.-м.н., Ю.І. Великодський, к.ф.-м.н.,
В.Ю. Беленок, к.ф.-м.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання текстурних метрик для виявлення пошкодженої забудови за супутниковими знімками

Досліджена можливість виявлення пошкодженої внаслідок бойових дій забудови за даними супутникового знімання надвисокої роздільної здатності. Показано, що моделі класифікації на основі текстурних метрик дозволяють досягти точності 85%.

В умовах війни та післявоєнного відновлення держави однією з важливих задач є оцінка пошкодження забудови на постраждалих територіях. Предметом нашого дослідження була розробка методики виявлення частково та повністю зруйнованих будинків на основі аналізу супутникових знімків надвисокої роздільної здатності.

У дослідженні ми працювали з фрагментами двох знімків на частину території м. Сіверськодонецька. Аналіз пари знімків дозволяє порівнювати зображення дахів частково пошкоджених (рис. 1) і зруйнованих (рис. 2) будівель на знімку, датованому 2.07.2022 р., з цими самими будинками на знімку від 2.09.2020 р., коли вони ще не зазнавали руйнувань (будемо іменувати ці знімки як «після» та «до», відповідно).



а) б)

Рис. 1. Приклад зображення частково пошкодженого будинку на знімку «до» (*а*) та «після» (*б*)



а) б)

Рис. 2. Приклад зображення зруйнованого будинку
на знімку «до» (*а*) та «після» (*б*)

Для виявлення пошкоджень забудови ми використовували аналіз текстур, що дозволяє охарактеризувати структурну різноманітність забудови та автоматично виявити на супутникових знімках зміни, що виникли внаслідок руйнувань.

Одним з найчастіше уживаних інструментів аналізу текстур на растрових зображеннях є так звана матриця суміжності рівнів сірого (англ. *Gray Level Co-occurrence Matrix*, GLCM). Вона являє собою квадратну матрицю, яка описує, як часто на зображенні зустрічаються різні пари значень яскравості пікселів при певних відстані та напрямку між порівнюваними пікселями [1–3]. Для побудови GLCM-матриці зображення спочатку приводиться до N рівнів яскравості, а також вибираються фіксовані відстань і напрямок між парами пікселів, які будуть порівнюватися. Результуюча GLCM-матриця має розмір $N \times N$, причому її окремий елемент (i, j) містить кількість пар пікселів, у яких перший піксель має i-й рівень яскравості, а другий – j-й рівень.

На основі GLCM-матриць ми обчислювали різні текстурні метрики (інакше кажучи, інтегральні характеристики текстури): Contrast, Dissimilarity, Homogeneity, Angular Second Moment, Correlation, Entropy, Maximum Probability; формули для них наведені в роботах [1–3]. Було отримано розподіли метрик окремо для каналів R, G, B для різних варіантів складання GLCM-матриць. По-перше, кожний з каналів приводився або до 8, або до 16, або до 24 рівнів яскравості шляхом поділу на рівні інтервали всього діапазону яскравості пікселів у каналі. По-друге, GLCM-матриці обчислювались не по всій площі знімка, а лише по пікселям всередині ковзного вікна (використовувались вікна розміром 7×7, 9×9, 11×11 пікселів). По-третє, задавались різні відстані (1, 2, 3, 4, 5 пікселів) та напрямки (0°, 45°, 90° або 135°) між порівнюваними пікселями. Метрики одного й того самого типу, обчислені за однієї й тієї самої відстані, але для різних напрямків, усереднювались між собою, тим самим отримувалась метрика, що не залежить від напрямку [4]. Крім того, при складанні GLCM-

матриць не враховувалися ті пари пікселів, у яких хоча б один піксель належить до тіні від будівлі або до рослинності. Таким чином, для кожного з каналів кожного знімка було отримано різні варіанти розподілу кожної текстурної метрики.

Метою нашого дослідження була автоматизація класифікації будівель, а не пошук будівель на знімку. Тому ми використовували готові векторні дані у вигляді полігонів будівель, експортованих із проекту OpenStreetMap. Внаслідок того, що знімки «до» та «після» було отримано за різних положень супутника, знадобилося внести поправку на розбіжність у паралаксах дахів будівель, а саме змістити полігони так, щоб їхні положення відповідали не фундаментам, а дахам будівель. Для цього ми зробили перерахунок координат вершин полігонів, скориставшись даними OpenStreetMap про кількість поверхів у кожній будівлі. Після візуального контролю накладення полігонів на растри нам довелося внести додаткові поправки (до 3 м) у положення деяких полігонів.

Дані про геометрію полігонів використовувались для того, щоб виділити на знімках ті пікселі, що належать до будівель. Пікселі, центри яких знаходяться всередині полігонів будівель і які не відносяться до тіней і рослинності, були об'єднані в групи (так звані «сегменти» або «суперпікселі») за методом *K*-means так, щоб кожний сегмент включав у себе суміжні пікселі.

Нами розглядалася задача класифікації будівель за ступенем руйнування на основі текстурних метрик. Як ознаки для побудови моделей класифікації використовувались значення текстурних метрик, усереднені за площею сегментів і за каналами *R*, *G*, *B*. Усереднення за сегментами зменшує зашумленість у розподілі метрик, але не дає можливості виявити локальні пошкодження окремих частин будівлі. Усереднення за каналами виправдане високою кореляцією метрик у каналах і дає змогу зменшити кількість ознак утричі.

Для побудови та верифікації моделей класифікації ми використали дані незалежної оцінки руйнувань UNOSAT [5], які містили інформацію про будівлі м. Сіверськодонецька станом на 25.07.2022 р. За допомогою візуального порівняння дахів будівель на знімках «до» та «після» ми розділили їх на три класи: «непошкоджені», «пошкоджені частково» та «зруйновані». На основі цього набору даних будувались лінійні моделі бінарної логістичної регресії, які давали б змогу відділити непошкоджені будинки (1-й клас) від пошкоджених частково та зруйнованих (2-й клас). В якості вхідних ознак для класифікації використовувались різні комбінації значень усереднених текстурних метрик сегментів, що належать цим будівлям. Кожна модель будувалась на основі 2–4 ознак, серед яких були як метрики, обчислені для знімка «після», так і різниці значень метрик на знімку «після» та «до» (вони дозволяють виявити зміну текстури зображення даху внаслідок руйнування).

При побудові окремої моделі класифікації з усієї множини непошкоджених та зруйнованих будівель випадковим чином на вибирались 70 % непошкоджених та 70 % зруйнованих будівель; вони служили *навчальною вибіркою*, тому що для них можна надійно сказати, що кожен сегмент відноситься до того ж класу, що і будівля. Побудована модель застосовувалась до сегментів будівель *тестової вибірки*, яка включала інші 30 %

непошкоджених будівель та зруйнованих будівель, а також вибрані випадково 30 % частково пошкоджених. При цьому вважалося, що якщо хоча б один сегмент будівлі класифікується як пошкоджений, то і вся будівля з тестової вибірки відноситься до 2-го класу, інакше – будівля відноситься до 1-го класу.

На основі порівняння результатів класифікації із відомими даними про стан будівель тестової вибірки обчислювалась матриця невідповідностей та збалансована точність класифікації. Описане вище розбиття на навчальну та тестову вибірки виконувалось 100 разів, що дозволило отримати для кожної моделі усереднені значення коефіцієнтів логістичної регресії та збалансованої точності, а також оцінити їх середні квадратичні відхилення.

Шляхом перебору різних комбінацій текстурних метрик було виявлено, що можна виділити такі комбінації, на основі яких побудована модель логістичної регресії правильно відділяє непошкоджені будівлі від частково пошкоджених та зруйнованих із збалансованою точністю не менше 80 % (середнє квадратичне відхилення складало близько 3 %), а для деяких комбінацій метрик збалансована точність досягала 85 %. Для досягнення високої точності класифікації необхідно використовувати як мінімум одну ознаку, обчислену за знімком «після», та як мінімум одну різницю тотожних ознак, обчислених за знімками «після» і «до». Однак розроблена нами методика не дозволяє виділяти ті будівлі, які містять пошкодження, відносно невеликі за площею порівняно із сегментами.

Висновок

Знайдено оптимальні комбінації текстурних метрик, які дозволяють побудувати моделі класифікації пошкоджених будівель за даними супутникового знімання надвисокої роздільної здатності. Показано, що для досягнення точності 85 % необхідно використовувати 2–4 метрики, хоча б одна з яких обчислена за знімком після руйнування і хоча б одна – як різниця метрик до та після руйнування.

Список літератури

1. Haralick, R. M., Shanmugam, K., Dinstein, I. Textural features for image classification. IEEE Transactions on system, man, and cybernetics, 1973, SMC-3 (6), p. 610–621.

2. Haralick, R. M. Statistical and structural approaches to texture. Proceedings of IEEE, 1979, 67 (5), p. 786–804.

3. Hall-Beyer, M. Practical guidelines for choosing GLCM textures to use in landscape classification tasks over a range of moderate spatial scales. International Journal of Remote Sensing, 2017, vol. 38 (5), p. 1312–1338.

4. Li, Q., Gong, L., and Zhang, J. A correlation change detection method integrating PCA and multi-texture features of SAR image for building damage detection, European Journal of Remote Sensing, 2019, vol. 52 (1), p. 435–447.

5. Sievierodonetsk Damage Assessment Overview. URL: https://unosat.org/products/3446.

УДК 332.05:332.3:338.2

Р.А. Третяк, к.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз проблем землеоціночних робіт під час воєнного стану в Україні

Досліджено проблеми землеоціночних робіт та представлено результати математичного моделювання та пропозиції щодо вдосконалення економічних та правових відносин під час воєнного стану в Україні.

Воєнний стан вніс корективи у законодавство України [1], зокрема у сферу земельних відносин. В умовах війни важливо забезпечити захист прав власників земельних ділянок, зокрема їх право на справедливу оцінку пошкоджених та порушених земельних ділянок. Необхідністю воєнної економіки є ефективна система обліку та оцінки земель для визначення збитків, розрахунку компенсацій та планування відновлювальних робіт.

Нажаль законодавство не визначало особливостей оціночної діяльності під час військового стану, зокрема земель, землекористувань, земельних ділянок що зазнали впливу воєнних дій і мають обліковуватися, як такі що не придатні для використання за визначеним цільовим призначенням.

Облік в Державному земельному кадастрі потребує фіксації та оцінки земельних ділянок, що зазнали військового впливу та проведення землеоціночних робіт з відновлювальних соціально-економічних, екологічних, містобудівних, землевпорядних та інших заходів, по відшкодування завданої шкоди, збитків.

Враховуючи, що згідно з вимогами чинного законодавства, земля є основним національним багатством, що перебуває під особливою охороною держави, причому таким об'єктом є всі землі в межах території України [2, 3], саме тому, першочерговим завданням є документування завданої майнової шкоди, збитків внаслідок російської воєнної агресії на території України для подальшого стягнення з країни-агресора відповідними судовими рішеннями та іншими ініціативами справедливості відшкодуванню.

Однак існуюче інституційне забезпечення не враховує неринкові умови військового стану та відсутня теоретична основа оцінки земель у післявоєнний період економічної кризи. Уся методологія та теорія оцінки побудована на ринковій вартості в ринкових умовах та економіки розвитку. Сьогодні ми змушені констатувати економічну кризу та стагнацію фінансового ринку. Законодавство сприяє особам з подвійним громадянством, біженцям не використовувати земельні ділянки, що приведе в майбутньому до великої кількості «мертвого» земельного капіталу, що не використовується, а податки не сплачуються.

З позитивного, потрібно відмітити, що Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України було прийнято наказ від 04.04.2022 № 167 «Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану» [4], де представлено формули для визначення: розміру шкоди від забруднення ґрунтів; загальний розмір відшкодування при одночасному

забрудненні земельної ділянки декількома забруднюючими речовинами; розмір шкоди внаслідок засмічення земель. Попри це, розрахований розмір шкоди від забруднення ґрунтів за Методикою дозволило діти висновку, про її недосконаліть. Зокрема, за розрахунками розмір шкоди 1 гектар орних земель забруднених нафтопродуктами складе 506 тис.грн/га (або 13,7 тис. дол. США). В той час, як норматив для Київської області, відповідно до Постанови Кабінету міністрів України від 17 листопада 1997 р. № 1279 «Про розміри та Порядок визначення втрат сільськогосподарського і лісогосподарського виробництва, які підлягають відшкодуванню» [5], станом на липень 2022 рік складає: 116,74 / 1,83 х 37,00 = 2 360 тис. грн/га, що в 4,6 раз більше. Правда при використанні нормативів втрат сільськогосподарського виробництва, які дані для визначення прямої шкоди, завданої продуктивному потенціалу земельним (ґрунтовим) ресурсам, необхідно привести ці нормативи до сьогоднішньої цінності. Оскільки, нормативи втрат сільськогосподарського і лісогосподарського виробництва були визначені станом на 1997 р., коли середньорічний курс долара США був складав 1,83 гривні, а станом на 22.07.2022 р. середній кус валют в банках складав 37,00 гривні.

На наш погляд, для розрахунків шкоди, завданої земельним та іншим (лісовим, водним) ресурсам територіальних громад, що знищені або порушені бойовими діями та терористичними актами військовою агресією російської федерації можна застосувати «Методику визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства», наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 27 жовтня 1997 № 171 та «Методику оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру», Постанов КМУ від 15 лютого 2002 р. № 175. На наш погляд, ці Методики можуть бути корисними для розрахунку шкоди, збитків по здійсненню відшкодувань. Попри це дані Методики, також потребують трансформації із врахування воєнного стану та закордонних практик щодо завданих збитків у наслідок воєнних дій.

Також, у воєнний період, перед територіальними громадами гостро стоїть питання оцінки перспектив розвитку та організації земель. Дуже важливо розглянути також й інструменти аналізу земельних ресурсів територіальної громади і їх грошової оцінки. Оскільки військовий стан та військова агресія вплинула на економічні відносини, що вимагає нового погляду на теорію оцінки в тому числі, аналізу ринку земель, аналізу ризиків землекористування і практику застосування землеоціночних процедур та методик «мирного часу» в неринкових умовах, коли підняття розміру земельного податку може призвести до проблем сталого землекористування.

Загально прийнято, що землеоціночна діяльність або ж професійна оціночна діяльність у сфері оцінки земель – це комплекс правових, економічних, управлінських та технічних заходів, спрямованих на визначення ціннісних характеристик земельної ділянки суб’єктами оціночної діяльності станом на визначену дату оцінки.

Попри те, що за період дії воєнного стану законодавство, яке регулює земельні відносини, змінювалося неодноразово, однак потребує врегулювання

поняття «відновлювальних землеоціночних робіт», строки та зміст заходів, які повинні виконуватися в межах такого відповідного періоду, а також повноваження відповідного органу на прийняття рішення про його початок та завершення, яке на сьогодні в законодавстві відсутнє.

В цьому зв'язку, необхідно сформувати нові терміни щодо землекористування, яке зазнало збитків від воєнних дій. Зокрема, під «знищеним (зруйнованим) землекористуванням» потрібно розуміти земельну ділянку, в межах якої знищено (зруйновано) продуктивний потенціал земельних (ґрунтових) та інших природних ресурсів, біорізноманіття і майна внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених військовою агресією російської федерації, та відновлення якого, необхідне шляхом рекультивації земель чи здійснення інших земельних поліпшень. Під «пошкодженим землекористуванням» потрібно розуміти земельну ділянку, в межах якої пошкоджено внаслідок бойових дій, терористичних актів, диверсій, спричинених військовою агресією російської федерації, та може бути відновлене, зокрема шляхом здійснення земельних поліпшень, що не потребують значних капітальних витрат.

Однак, крім розуміння поняття, важливо розглянути інструменти які мають закласти комплексний підхід до зонування, і лише потім до землеустрою, і до містобудування, де стале землекористування є основною економічною одиницею, яке продукує виробництво і економічні відносини. Як приклад, оцінка землі та нерухомості має вирішальне значення у вирішенні актуальних завдань обліку земель і нерухомого майна для оподаткування, але потребує переоцінки для зруйнованого майна та «зруйнованих» пошкоджених земельних ділянок. Різна методологія оцінки викликана особливостями національного законодавства та унікальністю товару, природного ресурсу, просторового базису – земельної ділянки. Нерухоме майно є лише товаром створеним людською діяльністю, що забезпечує ведення підприємницької діяльності та середовища для проживання, тому відрізняється від земельної ділянки. Тобто, на сьогодні, оцінка землі та нерухомого майна має чітко розділені паралельні системи оцінки, які намагаються об'єднати в кадастрах та базах даних аналітичних систем за класифікацією та функціональним і цільовим призначенням. Також, потрібно відмітити, що при оцінці земельних ділянок неврегульованими залишаються питання оцінки земельних ділянок для постановки їх на баланс, або зняття з балансу у звязку з окупацією чи руйнуваннями, права на відшкодування, оцінки права постійного користування, ретроспективної оцінки на дату 23 лютого як у період мирного часу. Це у свою чергу, призводить до суттєвих колізій та прогалин у регулюванні економічних, земельних і містобудівних відносин, які мають бути врегульовані у післявоєнний період. Крім того, у період військового часу необхідно фіксувати землі що зазнали окупації, військових дій, руйнувань в наслідок військової агресії, вилученню земельної ділянки чи зміні ландшафту. Тобто, виникне нагальна необхідність максимально спростити землевпорядні та містобудівні процедури та прискорити здійснення відновлювальних робіт з ліквідації наслідків збройної агресії та бойових дій.

Згідно постанови Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 476 «Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель та визнання

такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України» [6] передбачено, що Інвентаризація земель проводиться з метою встановлення місця розташування об'єктів землеустрою, їх меж, розмірів, правового статусу, виявлення земель, що не використовуються, використовуються нераціонально або не за цільовим призначенням, виявлення і консервації деградованих сільськогосподарських угідь і забруднених земель, встановлення кількісних та якісних характеристик земель, необхідних для ведення Державного земельного кадастру, виявлення та виправлення помилок у відомостях Державного земельного кадастру, здійснення державного контролю за використанням та охороною земель і прийняття на їх основі відповідних рішень органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування». Разом з тим, вказаним порядком не передбачена обліку земель та земельних ділянок знищених або пошкоджених внаслідок надзвичайних ситуацій, військового стану, військових дій та терористичних актів. Необхідно запровадити реєстр земельних ділянок для ідентифікації об'єктів, що відображаються (і використовуються) у відомостях Державного земельного кадастру.

Отже, слід зазначити, що чинне законодавство не може вирішити в умовах, що склалися всіх виниклих проблем та потребує додаткових законодавчих змін, що викладені у досліджені. Оскільки, нормативно-правове врегулювання під час воєнних дій у національному законодавстві є фрагментарним, та не прописує процедур здійснення обліку.

Список літератури

1. Про затвердження Указу Президента України "Про введення воєнного стану в Україні": Закон України від 24 лютого 2022 р. № 2102-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2102-20#Text.
2. Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 року № 2768-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text.
3. Про охорону земель: закон України від 19 червня 2003 р. № 962-IV. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text.
4. Про затвердження Методики визначення розміру шкоди завданої землі, ґрунтам внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії та бойових дій під час дії воєнного стану" наказ Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України було прийнято від 04.04.2022 № 167 . URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0406-22#Text
5. Про розміри та Порядок визначення втрат сільськогосподарського і лісогосподарського виробництва, які підлягають відшкодуванню: Постанови Кабінету міністрів України від 17 листопада 1997 р. № 1279. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1279-97-%D0%BF#Text.
6. Про затвердження Порядку проведення інвентаризації земель та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України: постанова Кабінету Міністрів України від 5 червня 2019 р. № 476. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/476-2019-%D0%BF#Text.

УДК 339.138:004.738.5

А.О. Шевчук
(Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна)
І.С. Гращенко, к.е.н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз даних з мобільних пристроїв для організації маркетингу у соціальних мережах підприємства

У тезах розглядається значення даних з мобільних пристроїв для аналізу поведінки користувачів, особливо в контексті соціальних змін в Україні. Описано роль мобільної аналітики, зокрема Mobile Measurement Partner, та її вплив на маркетинг та бізнес-стратегії.

В умовах сучасного світу мобільні пристрої стали невід'ємною частиною життя людини. Вони не лише забезпечують засоби комунікації, а й слугують важливим джерелом даних для аналізу поведінки та уподобань користувачів. Зокрема, мобільні пристрої генерують величезні обсяги інформації про переміщення, споживчі інтереси та просторові закономірності, що відкриває нові можливості для досліджень у багатьох сферах.

В Україні, яка перебуває у стані активних соціально-економічних і демографічних змін, аналіз даних з мобільних пристроїв набуває особливого значення. Такий підхід дозволяє оцінювати мобільність, вподобання населення в умовах міграційних процесів, викликаних військовими діями, досліджувати геопросторові патерни, що пов'язані з внутрішньо переміщеними особами, а також виявляти зміни у споживчих уподобаннях громадян. Крім того, використання таких даних допомагає у плануванні міської інфраструктури, моніторингу економічної активності та формуванні ефективних стратегій відновлення країни. Аналіз даних з мобільних пристроїв, варто почати з поняття MMP (Mobile measurement partner) – це інструмент чи сервіс, який збирає та впорядковує дані мобільних застосунків, щоб виміряти ефективність застосунку в будь-яких каналах. Це можуть бути рекламні маркетингові канали, медіаджерела та рекламні мережі, статистичні дослідження, тощо. Він дозволяє зібрати дані для аналізу залученості та конверсії, щоб краще розуміти користувачів і продукт[1]. Основні задачі мобільної аналітики: фіксація маркетингових джерел всередині аналітики, щоб виявити, яка по ним конверсія і які з них найефективніші; фіксація встановлень з різних каналів; вимірювання прибутковості застосунку, якщо у ньому є вбудовані покупки; визначення подій у застосунку; диплінкування — залучення користувачів на певні сторінки продукту; аналітика поведінки аудиторії користувачів; моніторинг стабільності застосунку; основні види мобільної аналітики.

Мобільну аналітику розподіляють на три основні напрями:

– Зовнішня (маркетингова) — виявляє джерела встановлень та показує ефективність кожного з них.

– Внутрішня (in-App) — відстежує всі дії користувачів, тобто аналізує їх поведінку.

– Аналітика продуктивності.

– Зовнішня мобільна аналітика. Задача зовнішньої аналітики — відстежити встановлення з різних джерел для оцінки ефективності реклами. Так, більшість користувачів знаходять застосунок саме через пошук, але виділитись серед тисяч інших виключно органічним шляхом дуже складно[1].

Робота ММР полягає у тому, що користувач натискає на рекламу і потрапляє на реферальне посилання системи аналітики, далі реферальне посилання перенаправляє користувача в стор, водночас зберігається інформація про джерело переходу, тобто взаємодію з рекламою і користувач завантажує і потім користується застосунком, а система трекінгу ідентифікує інформацію про користувача, його пристрій, джерело переходу і т. д.

Далі, на основі отриманих даних, підприємство може організовувати маркетинг у своїх соціальних мережах, що є одним з із найдієвіших інструментів, що дозволяє бізнесу налагодити контакт зі своєю аудиторією.

Таблиця 1.

Методики просування в соціальних мережах

	Методики	Причина/наслідок
1	Контент-маркетинг	Можливість залучення уваги аудиторії за допомогою цікавого та корисного контенту, що може призвести до збільшення відвідуваності, підвищення впізнаваності бренду
2	Робота з блогерами	Збільшення своєї аудиторії через співпрацю з впливовими особистостями
3	Репутаційний менеджмент	Можливість ефективно реагувати на негативні відгуки та відновлювати довіру аудиторії
4	Управління аудиторією	Підвищення залученості та взаємодії з аудиторією шляхом персоналізованих комунікаційних стратегій
5	Персональний брендинг	Підвищення власної репутації та авторитету у відповідній галузі
6	Конкурси	Залучення уваги аудиторії та підвищення взаємодії, але також ризик залучення нецільової аудиторії
7	Пошукова оптимізація для соціальних мереж	Підвищення видимості та досягнення вищих позицій у пошукових результатах в мережах
8	Таргетинг	Збільшення ефективності рекламних кампаній за рахунок точного націлення на відповідну аудиторію

Джерело: створено автором на основі джерел [1], [2]

Ефективне використання соціальних мереж для бізнесу виходить далеко за межі простого створення облікового запису на одній платформі. Це комплексний підхід, який передбачає активну присутність на кількох платформах, кожна з яких має свої унікальні особливості та переваги.

Розподіл ресурсів між різними соціальними мережами дозволяє максимально використовувати їхній потенціал, розширюючи охоплення цільової аудиторії та підвищуючи ефективність маркетингових зусиль[2].

Висновок

Аналіз даних з мобільних пристроїв відкриває нові можливості для організації ефективного маркетингу в соціальних мережах підприємств. Використання інструментів мобільної аналітики (MMP) дозволяє точно вимірювати ефективність маркетингових кампаній, відстежувати поведінку користувачів та оптимізувати рекламні стратегії. Це особливо актуально в умовах сучасних соціально-економічних змін, коли динаміка споживчих уподобань та мобільності населення вимагає гнучких маркетингових рішень. Інтеграція даних з мобільних пристроїв із маркетинговими стратегіями в соціальних мережах дозволяє підприємствам досягати більш точного таргетингу, підвищувати конверсію та залученість аудиторії. Таким чином, використання мобільної аналітики стає ключовим інструментом для підвищення ефективності цифрового маркетингу в умовах сучасної конкурентної середовища.

Список літератури

1. Кузнєцова І. Аналітика мобільних додатків та MMP: що це, види та огляд сервісів Mobile measurement partner. *Netpeak Journal – Медіа про інтернет-маркетинг та онлайн-бізнес у деталях*. URL: https://netpeak.net/uk/blog/povniy-posibnik-z-mobil-noi-analitiki-ta-mmp/.

2. Шевчук А.О. Просування в соціальних мережах як фактор підвищення конкурентоспроможності вітчизняного бізнесу. *«Інноваційні рішення в економіці, бізнесі, суспільних комунікаціях та міжнародних відносинах»* : матеріали IV міжнар. науково-практ. інтернет-конф., м. Дніпро, 26 квіт. 2024 р. 2024. с. 410–411. URL: https://drive.google.com/file/d/1TpL_P6Nun1mgX_ucczGCKvEjrZJao7lC/view.

UDC 711.553.9:725.39:339.138(043.2)

G.M. Agieieva, Candidate of Science (Engineering)
(Association "Airports of Ukraine" of Civil Aviation, Ukraine)

The Use of Graphic Images of Airport Objects in Marketing Technologies

The implementation of creative ideas in shaping technological dominants contributes to the formation of a sustainable image of airport development. The latter is successfully utilized as one of the tools in marketing strategies for the development of airports and surrounding areas as components of tourist destinations. In particular, the practice of using graphic images of air traffic control towers as part of trademarks for airport goods and services has been studied.

According to official estimates, the direct damage caused by the military aggression of the Russian Federation during 2022–2024 amounts to 176 billion US dollars (170 billion euros). The most affected sectors are housing, transport, energy, trade, industry, and education [1]. As of December 31, 2024, the total cost of reconstruction and recovery in Ukraine is estimated at 524 billion US dollars (506 billion euros) over the next decade [1].

The introduction of martial law led to:

- The closure of Ukrainian airspace to civilian aircraft;
- The temporary suspension of airport operations;
- The suspension of the implementation of the National Transport Strategy, the State Target Program for the Development of Airports in Ukraine until 2023, etc.

Significant destruction of transport infrastructure, particularly in aviation, requires the development of new sustainable development strategies and programs, as well as aligning Ukrainian civil aviation restoration legislation with international standards [2].

Aviation transport is a highly competitive industry.

Therefore, there is a constant need for marketing campaigns, including branding and rebranding of airlines, airports, and other enterprises and organizations providing non-aviation services at airports [3].

The restoration of disrupted and destroyed aviation infrastructure also requires new marketing strategies aimed at:

- Recovering lost positions in the aviation market;
- Reducing the time to reach pre-pandemic aviation transport volumes;
- Being ready to handle post-pandemic aviation transport volumes;
- Restoring attention and trust from both current and potential customers, etc. [3].

The effectiveness of recent developments is crucial to the attractiveness of airports in terms of comfort and safety for those staying within their premises.

It is expected that the outcome will be the stability of the growth in aviation transport volumes, an increase in revenues from both aviation and non-aviation services, and other positive results.

Sustainable development also involves the appearance of new types of buildings and structures, as well as the acquisition of new functions by existing ones [4–6].

Part of the development is being transformed into a socio-cultural space, attractive for creative industries, generating opportunities for the identification of airports as components of tourist destinations [7].

Special attention is given to the reorganization of urban planning and architectural solutions for buildings and structures, transport schemes, innovative technologies for contactless passenger, cargo, and mail handling, and marketing research. Within these studies, the experiences and best practices of airport branding are being examined and disseminated.

There is an increasing practice of naming airports after political and public figures, as well as scientists and cultural figures, as a tool for historical and cultural branding to enhance their role as parts of tourist destinations [3, 7].

For example, the domestic practice includes international airports such as "Zhytomyr" named after S. P. Korolev, "Kyiv" named after Igor Sikorsky, and "Lviv" named after Danylo Halytsky.

The development of airport territories, their components, features, and characteristics can also be used as a branding tool [3, 7].

Research conducted between 2017 and 2025 has allowed for the following:

- Identification of the features of the architectural environment that contribute to the formation of a stable image of airport development. Special attention was paid to the components of the airport terminal complex [3, 5];
- Definition of typological characteristics of high-rise dominants, not only in airport development but also in the surrounding areas—air traffic control towers (ATCT) [3, 6];
- Study of the practice of using images of ATCTs as graphic representations within trademarks for airport goods and services—see Figure 1 [3];
- Identification of the reasons for the loss of ATCTs as a characteristic feature of the stable image of airport architectural environments [3];
- Assessment of the impact of ATCT images on general perceptions of domestic airports [3, 6].



a b

Figure 1. Eof trademarks for airport goods and services,
which include graphic images of air traffic control towers (ATCT) [3]:
a – Edinburgh International Airport, Scotland;
b – Dubai International Airport, UAE.

The images of modern ATC towers (ATCTs) are diverse and attractive—ranging from traditional to extravagant.

The dominance of these structures in height (up to 132,2 meters) requires special design approaches, including the search for creative architectural and artistic concepts, as well as consideration of urban planning, technological, structural, and engineering requirements [3, 6].

Therefore, each ATCT plays a crucial role as a distinctive landmark in shaping the established image not only of the airport's development but also of the surrounding areas.

Leading architects (Ieoh Ming Pei, Moshe Safdie, Zaha Hadid) and renowned architectural and design firms (Aecom/Pininfarina, ARUP, Fuksas, Grimshaw-Nordic, RMJM, 3Dreid, among others) are involved in the design of ATCTs.

Several ATCT projects have received awards in urban planning and architectural competitions [3].

At the same time, it is important to note that the renewal of airport development strategies may be accompanied by changes in the visual identity of their built environment, rebranding of names, and, as a result, the loss of established images in the graphic representations of airport trademarks and service logos (Lelystad Airport, Dubai International Airport) [3].

The research findings were used in the development of preliminary design proposals for new ATCT buildings for airports in Ukraine [6, 8, 9].

Conclusions

1. The reconstruction and restoration of Ukraine's aviation transport infrastructure, incorporating modern marketing technologies, will contribute to forming an associative link between memory content and spatial objects [3, 10].
2. A unique case in global airport operations, where the silhouette of the ATCT building damaged in 2014 became a symbol of the resilience of the human spirit during the anti-terrorist operation, could become part of a rebranding strategy for Donetsk International Airport [3].
3. A creative approach to the design and construction of new buildings and structures, particularly ATCTs, can transform them into a tool for branding or rebranding airports whose infrastructure has suffered damage.

Reference

1. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released (2025, February 25). World Bank Group. https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/02/25/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released
2. Chulinda, L., & Ustynova, I. (2023). Recovery infrastructure of airports of Ukraine. Scientific Works of Kyiv Aviation Institute. Series: Law Journal "Air and Space Law", 2 (67), 38–47. https://doi.org/10.18372/2307-9061.67.17841 [in Ukrainian].

3. Agieieva, G. (2023). Images of high-rise building dominants as a branding tool for airports and their adjacent areas. *Theory and practice of design*, 29–30, 5–21. https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.1 [in Ukrainian].

4. Agieieva, G. M. (2018). Dynamika zmin arkhitekturnykh rishen aerodromno-dyspetcherskykh vezh ta yikh vplyv na mistobudivnu sytuatsiiu [The dynamics of changes in the architectural solutions of airport control towers and their impact on the urban planning situation]. *Problemy rozvytku miskoho seredovyshcha – Problems of the development of the urban environment*, 2 (21), 3-18. https://doi.org/10.5281/zenodo.7833316 [in Ukrainian].

5. Agieieva, G. M., & Vent, O. V. (2018). Rekonstruktsiia arkhitekturnoho seredovyshcha aeroportiv [Reconstruction of the architectural environment of airports]. *Arkhitekturnyi visnyk KNUBA – KNUBA architectural bulletin*, 14-15, 530-540. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.7833344 [in Ukrainian].

6. Volkova, A. V., & Agieieva, G. M. (2016). New face of air traffic service's objects. *Safety in Aviation and Space Technologies* (pp. 10.1.27–10.1.30). NAU publishing house. https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/22462

7. Agieieva, G. M. (2022). Turystychnyi potentsial aeroportiv ta terytorii, nablyzhenykh do nykh [Tourist potential of airports and territories close to them]. In: *Rol ta znachennia industrii turyzmu y hostynnosti u rozvytku terytorii, hromad, derzhavy – The role and significance of the tourism and hospitality industry in the development of territories, communities, and the state* (pp. 249-263). Publishing house of the Lviv University of Trade and Economics. [in Ukrainian].

8. Volkova, A. V. (2019, April 30). Budivlia komandno-dyspetcherskoho punktu v aeroportu mista Kirovohrad (konkursnyi proiekt). *Mizhnarodnyi arkhitekturnyi ohliad studentskykh proektiv «Arkhitekturne seredovyshche aeroportiv [The building of the command and control center at the airport of the city of Kirovohrad (competition project). International architectural review of student projects «Architectural environment of airports»]*. Repozytorii Natsionalnoho Aviatsiinoho Universytetu – Repository of the National Aviation University. https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39421 [in Ukrainian].

9. Zakharchenko, A. I. (2019, April 30). Kompleks budivel iz obsluhovuvannia povitrianoho rukhu v aeroportu (konkursnyi proiekt*). Mizhnarodnyi arkhitekturnyi ohliad studentskykh proektiv «Arkhitekturne seredovyshche aeroportiv [Complex of buildings for air traffic service at the airport (competition project). International architectural review of student projects "Architectural environment of airports]*. Repozytorii Natsionalnoho Aviatsiinoho Universytetu – Repository of the National Aviation University. https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/39422 [in Ukrainian].

10. Agieieva, G. (2024). The Aviation-related Component That Comprises the Scope of Urban Names in Kyiv and Its Use in Commemorative. *Theory and practice of design,* 3 (33), 5–18. https://doi.org/10.32782/2415-8151.2023.29-30.1 [in Ukrainian].

УДК 336.6

Т.Д. Гірченко, к.е.н., професор,
А.Р. Чернявська
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інструменти антикризового маркетингу в банку

У тезах проаналізовано ефективні інструменти антикризового маркетингу в банківській сфері. Розкрито особливості застосування інструментів антикризового маркетингу у період нестабільності, визначено роль цифрових технологій, репутації та клієнтоорієнтованості у зміцненні позицій банку на фінансовому ринку.

Шлях прийняття рішення споживачем про придбання кінцевого продукту стає в сучасних умовах все більш непередбачуваним. Сучасні клієнти здійснюють набагато більше рухів тіла і сходжень зі звичного маршруту, що, з одного боку, ускладнює роботу маркетологам, а з іншого показує прямий шлях завоювання довіри споживача. Еволюція соціальних медіа значно вплинула на маркетинг, оскільки традиційні методи реклами стають менш ефективними для охоплення аудиторії [1-2]. Антикризовий маркетинг у банку спрямований на утримання довіри клієнтів, стабілізацію фінансових показників та пристосування до нових ринкових умов. У цей період особливо важливо забезпечити ефективну комунікацію з клієнтами, надаючи їм своєчасну та достовірну інформацію щодо діяльності банку та заходів, спрямованих на захист їхніх фінансових інтересів. Відкритість і прозорість у взаємодії з клієнтами дозволяють уникнути паніки та зберегти стабільність у відносинах між банком та його користувачами. Важливим елементом такої комунікації є антикризовий PR, який допомагає спростовувати неправдиву інформацію, пояснювати реальні причини кризових явищ та пропонувати шляхи їх подолання. Задля цього використовуються гарячі лінії, чат-боти та персональні менеджери, які оперативно вирішують питання клієнтів.

Репутація банку відіграє вирішальну роль у періоди нестабільності, тому велика увага приділяється співпраці з державними регуляторами, зокрема Національним банком України, урядом та фінансовими організаціями. Соціальна відповідальність банку проявляється у підтримці населення шляхом благодійних ініціатив та реалізації програм допомоги у кризовий період. Важливу роль у збереженні довіри громадськості відіграє співпраця з медіа, що включає проведення брифінгів, публікацію аналітичних матеріалів та роз'яснення поточної фінансової ситуації для клієнтів.

Окремим інструментом антикризового маркетингу є цифровий маркетинг, що охоплює таргетовану рекламу, спрямовану на просування нових банківських продуктів через соціальні мережі та онлайн-платформи. Застосування інструментів антикризового маркетингу здійснюється через розширення можливості для власників бізнесу за допомогою таких функцій:

- Відкриття в додатку Дія рахунку онлайн без звернення до банку.

- Оформлення онлайн корпоративної картки ФОП замість відвідування банку. За допомогою картки можна миттєво робити онлайн-покупки або використовувати її для безконтактних транзакцій, таких як зняття готівки в безконтактних банкоматах або в роздрібних точках за допомогою Apple Pay і Google Pay.

- Підключення та обслуговування еквайрингу безкоштовно.

- Створення напрямків цифрових продуктів для кредитування.

- Бізнес чат-бот для швидкого спілкування з оператором та порад.

Персоналізація у маркетингу може набувати різних форм. Її суть полягає у тому, щоб використовувати зібрані дані, для створення досвіду, що дійсно вирізняється та знаходить відгук у клієнта. Банки використовують CRM – системи для персоналізації своїх клієнтів, що дозволяє пропонувати послуги, які максимально відповідають потребам на інтересам клієнтів. Не звертаючись до кол-центру чи відділення, користувачі можуть самостійно, цілодобово, з будь-якої точки світу керувати своїми рахунками завдяки основним функціональним можливостям, які реалізує мобільний банкінг, оскільки для багатьох клієнтів важливо зберегти власний час [4].

Контент маркетинг – один із сучасних інструментів антикризового маркетингу, який включає в себе публікацію корисних та інформаційних матеріалів в соціальних мережах, що дозволяє пфдпищити рівень фінансової грамотності споживачів, пропонуючи їм рекомендації щодо ефективного управління власними коштами у кризові періоди [5]. Емоційний маркетинг у поєднанні з соціально відповідальним дає надзвичайну синергію, що в подальшому є успішною антикризовою стратегією.

Банки пропонують різного роду фінансові поради, оперативні деталі щодо змін у фінансовій системі України та інструкції щодо безпечного та зручного використання мобільного банкінгу [6]. Бізнес технології суттєво впливають на маркетинг, змінюючи його принципи, методи та канали. До головних аспектів цього впливу можна віднести автоматизацію. Банк використовує штучний інтелект у багатьох банківських процесах, наприклад, обробка кредитних заявок, що значно полегшує роботу як і для працівників, так і для клієнтів. У разі виникнення питань, клієнт може звернутися до чат - боту банку та обрати необхідний сервіс для з'ясування своєї проблеми. Якщо все ж таки проблема не вирішиться, клієнту буде запропоновано зателефонувати співробітнику банку для детального огляду проблеми. Активне використання SMM та e-mail розсилок дозволяє банку підтримувати постійний зв'язок із клієнтами, надаючи їм актуальну інформацію та консультації.

Використання інструментів антикризового маркетингу банками можна прослідкувати під час криз та Пандемії COVID-19, оскільки ці події негативно вплинули на національну економіку, що призвело до зниження рівня довіри населення до банківської системи. Банки змогли зберегти стійкість та розвиток завдяки адаптивності та гнучкості своїх маркетингових стратегій, розширивши спектр онлайн послуг для зменшення потреб клієнтів у перебуванні у відділеннях, пропонуючи нові продукти та послуги, такі як, кредитні канікули

чи реструктуризацію кредитів. У своєму антикризовому маркетингу банки використовують інструменти, які зазначені у таблиці 1.

Таблиця 1

Інструменти антикризового маркетингу банку

Інструмент антикризового маркетингу	Приклад використання
SMM	Регулярний постинг інформаційних та гумористичних відео та фото на сторінках в соціальних мережах.
Чат – бот	Використовує чат бот в Telegram для оперативних відповідей на різноманітні запити.
Відеоблогінг	Співпраця з українськими інфленсерами для створення соціальних проектів на платформі YouTube.
Персоналізація	Персоналізовані пропозиції для кожного клієнта в банківському додатку
Благодійність та спонсорство	Участь у соціальних та освітніх проектах та підтримка у час конфлікту.
SEO	Оптимізація веб – сайту та свого контенту до пошукових систем.

Джерело: сформоване авторами на основі [7-8]

Одним із ключових інструментів антикризового маркетингу є адаптація банківських продуктів відповідно до змін у фінансовій ситуації. Запроваджуються антикризові депозити, які передбачають підвищені процентні ставки та гнучкі умови поповнення і зняття коштів. Крім того, спрощуються процедури дистанційного банкінгу, що дозволяє клієнтам швидко та безпечно відкривати рахунки онлайн. Для підтримки малого та середнього бізнесу банки пропонують спеціальні кредитні програми з пільговими умовами та іпотечні канікули.

Незважаючи на значні сьогоденні труднощі, банки мають усі можливості для того, щоб забезпечити стабільний розвиток банківської системи. Банкам необхідно застосовувати сучасні можливості, продовжуючи розвивати свої сильні сторони та уміло керувати ризиками.

Висновки

Інструменти антикризового маркетингу можуть бути корисними іншим українським банкам. Завдяки комплексному підходу до антикризового маркетингу банки можуть зберегти стабільність та міцний фінансовий стан, активну роль у цифровізації та соціальній відповідальності, зміцнити довіру клієнтів та ефективно адаптуватися до змін у ринковому середовищі, орієнтуючись на задоволення потреб клієнтів, розширення асортименту послуг та утворення нових товарів і послуг.

Список літератури

1. Гірченко Т.Д. Розвиток технологій цифрового маркетингу та бізнес-комунікації в умовах сучасних трансформацій суспільних відносин. *Збірник тез звітної наукової конференції Львівського національного університету імені Івана Франка за 2022 рік (електронне видання): Секція факультету управління фінансами та бізнесу*, (Львів, 1-8 лютого 2023 р.). Львів : ЛНУ ім. І.Франка, 2023. с. 258-260. https://financial.lnu.edu.ua/research/conferences
2. Гірченко Т.Д., Падалко Р.Д. Аналіз особливостей розвитку маркетингу 5.0. Actual problems of learning and teaching methods. *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*. Vienna, Austria. 2022. 241 – 243. URL: https://www.researchgate.net/publication/366029773_IX_International_Scientific_and_Practical_Conference_Actual_problems_of_learning_and_teaching_methods
3. Багорка М. О., Рощук М. О. Антикризовий маркетинг як основний складник стратегічного управління. *Науково-практичний журнал «Регіональна економіка та управління»*. 2021. Т. 3, № 33. С. 4–8.2. 344 с.
4. Офіційний сайт банку ПУМБ - кредити, депозити, кредитні та дебетові карти в українському міжнародному банку ПУМБ. URL: https://www.pumb.ua/ (дата звернення: 26.02.2025).
5. Антикризовий маркетинг: які інструменти дозволять утримати продажі під час знеструмлень – колонка - AIN.Business. *Новини IT, бізнесу та стартапів в Україні – AIN.ua*. URL:https://ain.ua/2024/07/29/antykryzovyj-marketyng-yaki-instrumenty-dozvolyat-utrymaty-prodazhi-pid-chas-znestrumlen/ (дата звернення: 03.03.2025).
6. Новини. *Банк ПУМБ*. URL: https://about.pumb.ua/presscenter/news/item/7166-chistij-pributok-pumb-za-2023-rk-sklav-396-mlrd-gr (дата звернення: 25.02.2025).
7. Girchenko T. Influencer marketing for brands in social media [Електронний ресурс] / Tetiana Girchenko, Olena Marynina // *Маркетинг в Україні : зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф.*, м. Київ, 20 жовт. 2023 р. / М-во освіти і науки України, Київ. нац. екон. ун-т ім. Вадима Гетьмана [та ін.] ; [редкол.: Федорченко А. В. (голова) та ін.]. – Електрон. текст. дані. – Київ : КНЕУ, 2023. – С. 454–456. https://ir.kneu.edu.ua/items/3addacbb-086b-4814-be73-6f2e19b0a146
8. Girchenko T. D., Marynina O. L. Interactive Content: Using Augmented and Virtual Reality Tools in Marketing. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 25 травня 2023 р. Бренд-комунікації: проблеми та рішення*. / Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ: ННІЖ КНУ імені Тараса Шевченка, 2023. 152-156. http://journ.univ.kiev.ua/nauka1/25062023-2

УДК 62:656.7(045)

Н.О. Коваленко, к.пед.н., доц.
(Українська державна льотна академія, Україна)

Smart-рішення в управлінні проєктами цивільної авіації: концепція, реалізація, ефективність

Обґрунтовано доцільність використання Smart-рішень для оптимізації управління проєктами в цивільній авіації, що забезпечує підвищення ефективності планування, контролю та реалізації авіаційних проєктів з урахуванням сучасних цифрових технологій. Представлено результати впровадження цифрових інструментів управління та оцінено їх вплив на якість і швидкість прийняття управлінських рішень..

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій та цифровізації ключових галузей економіки особливої актуальності набуває впровадження Smart-рішень у сферу управління проєктами. Цивільна авіація, як один із найважливіших компонентів глобальної транспортної системи, стикається з необхідністю адаптації до нових викликів: зростання пасажиропотоку, підвищення вимог до безпеки, ефективності використання ресурсів та екологічності. У цьому контексті впровадження Smart-технологій стає не просто інновацією, а стратегічною необхідністю.

Smart-рішення у сфері управління проєктами цивільної авіації дозволяють досягати нових рівнів контролю, автоматизації та аналітики. Завдяки таким інструментам, як системи штучного інтелекту, Big Data-аналітика, цифрові двійники, IoT (інтернет речей) та інші цифрові платформи, забезпечується інтеграція всіх етапів життєвого циклу проєкту – від планування до експлуатації та моніторингу результатів. Успішна реалізація таких підходів сприяє підвищенню ефективності управлінських процесів, мінімізації ризиків та прийняттю обґрунтованих рішень на основі реальних даних.

Актуальність напрямку зумовлена необхідністю трансформації традиційних методів управління проєктами в цивільній авіації в умовах цифрової економіки та глобальної конкуренції. Застарілі підходи до управління, що базуються на фрагментарному аналізі та ручних процесах, не відповідають сучасним вимогам до швидкості реагування, точності прогнозування та адаптивності до змін. У свою чергу, Smart-рішення відкривають нові можливості для забезпечення прозорості, злагодженості та стратегічної цілеспрямованості авіаційних проєктів.

Окрім того, важливим чинником є міжнародний досвід країн, які вже впровадили Smart-інфраструктуру у свої аеропорти, авіакомпанії та регуляторні органи. Вивчення цих прикладів і адаптація кращих практик до українського контексту дозволить не лише модернізувати вітчизняну авіаційну галузь, а й підвищити її конкурентоспроможність на глобальному ринку. Саме тому, дослідження концептуальних основ, механізмів реалізації та оцінки ефективності Smart-рішень в управлінні проєктами цивільної авіації є вкрай на часі та має вагоме практичне значення.

Smart-рішення у сфері управління проєктами цивільної авіації – це комплекс інноваційних цифрових технологій, інструментів і підходів, спрямованих на підвищення ефективності, прозорості, гнучкості та безпеки управлінських процесів у рамках реалізації проєктів в галузі цивільної авіації.

До таких Smart-рішень належать [1]:

- Інтернет речей (IoT) – для моніторингу стану обладнання, інфраструктури та авіаційної техніки в реальному часі;
- Big Data та аналітика – для обробки великих обсягів даних з метою прийняття обґрунтованих управлінських рішень;
- Штучний інтелект (AI) – для прогнозування ризиків, оптимізації розкладів, аналізу пасажирських потоків тощо;
- Цифрові двійники – віртуальні моделі об'єктів та процесів, що дозволяють симулювати різні сценарії розвитку подій;
- Автоматизовані системи управління проєктами (Project Management Information Systems – PMIS) – з розширеним функціоналом на основі AI, BIM, ERP тощо;
- Хмарні технології – для забезпечення доступу до даних та співпраці між усіма учасниками проєкту в режимі 24/7;
- Кібербезпека – як невід'ємний компонент Smart-інфраструктури, що забезпечує захист критичних даних.
- Smart-рішення сприяють трансформації класичних моделей управління в інтелектуальні екосистеми, де всі процеси – від проєктування до експлуатації – інтегровані, автоматизовані та підлягають постійному удосконаленню на основі аналізу реального часу.

У сучасній світовій практиці спостерігається активне впровадження Smart-рішень саме на етапах управління проєктами в галузі цивільної авіації – від проєктування нових терміналів і модернізації інфраструктури до автоматизації процесів реалізації та оцінки ефективності інвестицій.

У сучасній світовій практиці спостерігається активне впровадження Smart-рішень саме на етапах управління проєктами в галузі цивільної авіації – від проєктування нових терміналів і модернізації інфраструктури до автоматизації процесів реалізації та оцінки ефективності інвестицій. Нижче наведено приклади, що ілюструють успішне використання таких підходів [2, 3]:

1. Аеропорт Чангі (Сінгапур). Під час реалізації проєкту з будівництва нового Терміналу 4 були застосовані Smart-рішення в управлінні проєктом, зокрема: використання цифрових двійників для моделювання пасажирських потоків ще на етапі проєктування; впровадження Big Data-аналітики для прийняття рішень щодо обсягів інвестицій та планування ресурсів; інтегровані платформи управління проєктами, які забезпечували прозорість виконання робіт, контроль графіків і фінансування.

2. Аеропорт Дубай (ОАЕ). У межах проєктів з розширення та реконструкції інфраструктури були використані: хмарні системи управління проєктами (Cloud PMIS) для синхронізації дій усіх підрядників і підрозділів; IoT-сенсори та аналітичні панелі для контролю прогресу будівельних робіт у реальному часі; AI-платформи для прогнозування ризиків під час виконання

масштабних інфраструктурних проєктів.

3. Франкфуртський аеропорт (Німеччина). Під час реалізації проєктів із розширення терміналів і будівництва нових злітно-посадкових смуг було впроваджено: BIM-моделювання для точного планування інженерних рішень та управління змінами в проєктах; інтегровані системи управління проєктами з модулем аналізу вартості, графіків і ризиків; мобільні платформи для польового моніторингу, що дозволяли оперативно вносити зміни та контролювати виконання.

4. Аеропорт Хітроу (Велика Британія). У рамках проєкту розширення інфраструктури: використовувалась єдина цифрова платформа управління даними проєкту (Common Data Environment); Smart-аналітика застосовувалась для оптимізації розкладів робіт і мінімізації затримок; інструменти цифрового співробітництва дозволяли координувати проєктні команди, підрядників і замовників в умовах високої складності проєкту.

Таким чином, наведені приклади свідчать про успішне використання Smart-рішень саме в управлінні проєктами цивільної авіації. Представлені технології забезпечують вищий рівень прозорості, прогнозованості, керованості й адаптивності у виконанні авіаційних проєктів – від стратегічного планування до введення в експлуатацію та подальшого моніторингу результатів.

Для України впровадження Smart-рішень в управлінні проєктами цивільної авіації відкриває перспективи модернізації національної авіаційної інфраструктури, підвищення її конкурентоспроможності та інтеграції у глобальний авіаційний простір. Використання цифрових технологій дозволить оптимізувати проєктні процеси, зменшити витрати, покращити управління ризиками та забезпечити прозорість інвестицій у розвиток аеропортів і супутньої інфраструктури.

Висновок

Впровадження Smart-рішень в управлінні проєктами цивільної авіації забезпечує підвищення ефективності, прозорості та адаптивності реалізації інфраструктурних проєктів. Успішний міжнародний досвід доводить, що використання цифрових технологій є ключовим фактором сучасного розвитку авіаційної галузі.

Список літератури

1. IATA, 2023. Digital Transformation in Air Transport: Smart Technologies Shaping the Future. International Air Transport Association. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.iata.org/en/publications/store/digital-transformation-air-transport

2. ICAO, 2022. Smart Airports and Aviation Infrastructure – Strategic Planning Guidelines. International Civil Aviation Organization. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.icao.int/smartaviation

3. Williams, M., & Peterson, D., 2020. Implementing Smart Solutions in Aviation Infrastructure Projects: Case Studies and Lessons Learned. Aviation Project Management Journal, 15(3), 223-237. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.aviationpj.org/smart-solutions

УДК 658.3-043.86(043.2)

І.С. Граждан,
О.М. Кириленко, професор,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Розвиток професійних компетенцій працівників через програму навчання та розвитку в організації

У тезах представлено напрямки розвитку професійних компетенцій працівників за допомогою програм навчання, які успішно застосовуються та використовуються у найбільш успішних корпораціях, наприклад такий досвід використовує компанія «Миронівський хлібопродукт». Запозичення цього досвіду значно підвищить компетенції персоналу.

У сучасному бізнес-середовищі розвиток персоналу є одним із ключових факторів успіху компанії. Програми навчання та розвитку персоналу дозволяють не лише покращити кваліфікацію співробітників, а й забезпечити їхню мотивацію, підвищити ефективність праці та зменшити плинність кадрів. Однак впровадження таких програм потребує системного підходу, що включає не лише теоретичні знання, але й успішні практичні приклади.

Програми навчання та розвитку персоналу охоплюють цілий ряд інструментів та методів, які сприяють вдосконаленню професійних навичок і розвитку потенціалу співробітників. Основними напрямками таких програм є:

- підвищення професійних компетенцій: навчання, яке орієнтоване на освоєння нових технологій, методів роботи, підвищення кваліфікації в конкретних сферах діяльності компанії;
- розвиток лідерських і управлінських навичок: програми, що допомагають працівникам розвивати здатність ефективно керувати командами, приймати стратегічні рішення, мотивувати підлеглих;
- розвиток м'яких навичок: тренінги, спрямовані на поліпшення комунікаційних навичок, вміння працювати в команді, управління часом та стресом;
- онбординг та адаптація нових працівників: програми, що допомагають новим співробітникам швидко адаптуватися до корпоративної культури і робочих процесів.

Основною метою таких програм є створення постійно навченого і мотивованого персоналу, здатного відповідати на виклики сучасного ринку праці.

Компанії використовують різні методи для забезпечення ефективності програм розвитку персоналу:

- онлайн-курси та e-learning: доступність до навчальних матеріалів через інтернет дозволяє працівникам навчатися у зручний час, що особливо важливо для великих компаній;
- індивідуальні програми розвитку: програми, спрямовані на розвиток конкретних навичок кожного співробітника, зазвичай включають менторство,

коучинг і наставництво;

- групові тренінги: заняття, на яких співробітники можуть обмінюватися досвідом, працювати в команді та вдосконалювати свої професійні навички;
- кар'єрне консультування: допомагає працівникам планувати свою кар'єру в межах компанії, знайти шляхи для розвитку та зростання.

Одним із прикладів успішного впровадження програм навчання та розвитку персоналу є компанія "Миронівський хлібопродукт" (МХП), яка активно інвестує в професійний розвиток своїх працівників. МХП реалізує різноманітні програми для своїх співробітників, що включають:

1. Корпоративна академія: МХП створила власну навчальну платформу, що дозволяє працівникам проходити курси з професійних та управлінських навичок, розвивати лідерські якості та отримувати нові знання в галузі технологій виробництва.
2. Менторство та наставництво: нові працівники та ті, хто прагне підвищити свою кваліфікацію, можуть працювати під керівництвом досвідчених колег, що сприяє швидкому освоєнню робочих процесів.
3. Програми стажувань: МХП пропонує молодим спеціалістам можливість пройти стажування в компанії, що дозволяє здобути цінний досвід і покращити свої професійні навички.

Інші компанії, незалежно від розміру та галузі, можуть скористатися рядом елементів програми навчання та розвитку, використаних у МХП:

- створення корпоративної академії або онлайн-платформи для доступу до курсів та матеріалів навчання;
- запровадження менторства та коучингу для нових працівників, що допоможе швидше інтегруватися в команду та освоїти специфіку роботи;
- організація стажувань та практик для молодих спеціалістів, що дозволяє залучати талановитих працівників та надавати їм можливості для професійного зростання;
- постійне оновлення та адаптація програм навчання під нові вимоги ринку та технології, що дозволяє компанії бути конкурентоспроможною.

Висновки

Програми навчання та розвитку персоналу є важливим інструментом для забезпечення стабільного зростання та конкурентоспроможності компаній. Досвід МХП, зокрема, демонструє, як можна ефективно впроваджувати навчальні ініціативи, що приносять користь як працівникам, так і самому бізнесу. Інші компанії можуть запозичити цей досвід і адаптувати його до своїх потреб, щоб створити кваліфікований, мотивований та лояльний персонал, готовий до змін та викликів сучасного ринку праці.

Список літератури

1. Грішнова, І. І. (2010). Управління персоналом: теорія і практика. Київ: КНЕУ. – Книга дає вичерпне уявлення про основи управління персоналом та

роль програм навчання і розвитку в організаціях.

2. Ковальчук, О. М. (2016). Менеджмент персоналу: стратегії та технології управління. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна. – Практичний підхід до розробки та впровадження програм навчання та розвитку.

3. Уайт, С. Р. (2015). Training and Development in Organizations. Pearson. – Одна з класичних праць про важливість програм навчання та розвитку в сучасних компаніях.

4. Мартин, Дж. (2018). The Corporate Learning and Development Handbook. McGraw-Hill. – Книга надає глибокий аналіз різноманітних підходів до навчання та розвитку співробітників у великих корпораціях.

5. Маркович, С. В. (2019). Управління змінами в організаціях: теорія та практика. Київ: НАУ. – Практичний посібник для впровадження змін в організаціях, зокрема у напрямку розвитку персоналу.

6. Bersin, J. (2017). The New Talent Management Maturity Model: A Framework for Delivering Business Results. Deloitte. – Збірка досліджень і практик, що стосуються розвитку програм навчання в компаніях.

УДК 658.3-044.332(043.2)

І.С. Граждан,
Г.С. Гуріна, професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Адаптація працівників до корпоративної культури: роль HR-відділу

У тезах наведено аспекти практичної адаптації працівників до корпоративної культури організації за керівництва HR-відділу із використанням сучасних програм навчання та взаємодії із персоналом. Визначено етапи процесу інтеграції працівників та особливості контролю на всіх етапах.

Корпоративна культура — це сукупність цінностей, норм і правил, які визначають стиль роботи та взаємодії в організації. Вона впливає на поведінку працівників, їхні мотивації, відносини між колегами та загальну атмосферу в компанії. Адаптація нових працівників до корпоративної культури є важливою складовою їхнього успішного інтегрування в команду. Без ефективного процесу адаптації навіть висококваліфіковані спеціалісти можуть не досягти свого потенціалу, а компанія ризикує втратити лояльних співробітників. HR-відділ відіграє ключову роль у забезпеченні успішної адаптації новачків до корпоративної культури, оскільки саме він координує та підтримує цей процес.

Корпоративна культура є основою взаємодії між співробітниками та організацією. Вона визначає, як компанія ставиться до своїх працівників, як відбувається комунікація між різними рівнями управління та як усі працівники взаємодіють між собою. Якщо корпоративна культура правильно налаштована, вона сприяє створенню позитивного робочого середовища, підвищенню ефективності та зниженню плинності кадрів.

Корпоративна культура складається з кількох ключових елементів:

- цінності та місія компанії: основні орієнтири, які визначають, як працівники повинні діяти в межах організації. це можуть бути цінності чесності, інноваційності, командної роботи;
- стиль комунікації: відкритість і доступність інформації, взаємна підтримка та культура діалогу;
- організаційна структура та процеси: гнучкість і здатність організації швидко адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі, а також ефективність внутрішніх процесів;
- ставлення до працівників: підтримка професійного розвитку, можливості для кар'єрного зростання, соціальні ініціативи.

Адаптація нового працівника до корпоративної культури — це поступовий процес, який включає кілька важливих етапів:

1. Попередня підготовка: ще до початку роботи працівник отримує основну інформацію про компанію, її правила, місію та цінності. Це допомагає сформувати перше враження і підготуватися до вступу в організацію.
2. Вступна орієнтація: це перші дні роботи, коли новий працівник знайомиться з колегами, своїми обов'язками, а також отримує доступ до внутрішніх політик та процедур компанії.

3. Процес наставництва: під час перших місяців роботи новачок отримує допомогу від досвідчених колег або менторів, які допомагають адаптуватися до специфіки роботи та корпоративної культури.

4. Зворотний зв'язок: регулярне обговорення з новим працівником його успіхів, проблем і труднощів у процесі адаптації дозволяє вчасно коригувати стратегію інтеграції.

HR-відділ має важливу роль у процесі адаптації працівників, забезпечуючи чітку організацію та контроль на всіх етапах цього процесу:

1. Організація навчальних програм: HR-відділ готує і реалізує програми для новачків, спрямовані на знайомство з корпоративною культурою, етикою компанії, а також необхідними робочими процесами.

2. Наставництво та підтримка: HR-спеціалісти допомагають організувати програму наставництва, коли досвідчені працівники допомагають новим співробітникам швидше адаптуватися до компанії та колективу.

3. Моніторинг адаптації: HR-відділ проводить опитування або інтерв'ю для оцінки процесу адаптації нових працівників, виявляючи проблеми і пропонуючи коригування.

4. Мотивація та залучення: HR забезпечує умови для активної участі нових працівників у житті компанії, сприяє створенню сприятливої атмосфери, що допомагає зберігати лояльність і підвищує мотивацію.

HR-відділ використовує різноманітні інструменти для полегшення процесу адаптації:

1. Онбординг: це формальна програма, яка охоплює всі аспекти адаптації, від першого знайомства з компанією до повного занурення в робочі процеси.

2. Гейміфікація: використання ігрових елементів, наприклад, нагороди та бали за виконання завдань чи участь у тренінгах, що робить процес адаптації більш цікавим і мотивуючим.

3. Менторські програми: впровадження менторства, коли досвідчені працівники допомагають новачкам адаптуватися до корпоративної культури.

4. Віртуальні платформи: цифрові інструменти для дистанційного знайомства з культурою компанії, її політиками та програмами.

Висновки

Адаптація працівників до корпоративної культури є важливою частиною успішного управління персоналом. HR-відділ виконує ключову роль у забезпеченні цієї адаптації, організовуючи різноманітні програми для нових працівників, що дозволяє їм швидше інтегруватися в компанію і продуктивно працювати. Ретельно розроблений процес адаптації сприяє зниженню плинності кадрів, покращенню командної роботи і загальній ефективності компанії.

Список літератури

1. Armstrong M. Handbook of Human Resource Management Practice. – 15th Edition. – Kogan Page, 2020.

2. Becker B., Huselid M. High Performance Work Systems and Firm

Performance: A Synthesis of Research and Managerial Implications // Research in Personnel and Human Resources Management. – 2018. – №36. – С. 53-75.

3. Robbins S.P., Judge T.A. Organizational Behavior. – 18th Edition. – Pearson, 2019.

4. Ulrich D., Brockbank W. The HR Value Proposition. – Harvard Business Review Press, 2017.

5. Бєлова І.В. Управління персоналом: навч. посібник. – Київ: КНЕУ, 2021.

6. Грішнова О.А. Соціально-трудові відносини та управління персоналом. – Київ: Знання, 2020.

7. Мурашко М.В. HR-менеджмент у сучасних організаціях: інструменти та методи // Економіка і управління підприємствами. – 2021. – №4. – С. 112-127.

UDC 658.8: 339.1-051

Viktor Sibruk Ph.D. in Economics, Associate Professor,
Kateryna Sereda
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Evolution of strategic marketing concepts in the context of modern competition

The thesis attempts to analyze the existing relationship between modern trends in the development of market conditions and the evolution of strategic marketing concepts. The positive impact on the implementation of socially responsible marketing in the activities of companies is substantiated.

In today's interconnected consumer markets, the competitive environment has evolved into a complex, multidimensional phenomenon that transcends traditional industry boundaries. Modern competition is characterized by a sophisticated interplay of technological, socio-economic, and external factors that collectively shape market dynamics. The intensity of rivalry has significantly increased due to digital transformation, globalization of supply chains, and the emergence of new business models that disrupt conventional market structures. Companies now compete simultaneously on multiple levels - within their core markets, in geographic space, and increasingly in the digital ecosystem, where platform-based competition creates scenarios that shape market leaders. Such multidimensional competition requires complex strategic decisions that consider both current market pressures and long-term evolutionary trends in consumer behavior and technological innovation.

The development of corporate marketing strategies under these conditions has taken on a fundamentally dual nature, reflecting the conflicting demands of modern business. On one hand, companies pursue radical innovation to achieve strategic competitive advantages by leveraging advanced technologies such as artificial intelligence, blockchain, and biotechnology to rethink market boundaries. This innovation drive leads to continuous shifts in market conditions, as seen in sectors like the spread of electric vehicles and the emergence of new services across various industries. At the same time, companies must demonstrate a strong commitment to sustainability and social responsibility, responding to stakeholder demands for ethical business practices, environmental stewardship, and inclusive development. This dual focus creates internal tensions in strategic planning - between the creative force of innovation and the stability needed for sustainable development, between short-term financial performance and long-term value creation [1].

Resolving these contradictions lies in the emerging paradigm of proactive, socially-conscious strategic marketing. Traditional marketing approaches, which focused solely on internal company-customer relationships, have become inadequate in an era where brand value is increasingly defined by its societal impact. Modern marketing must navigate a complex stakeholder ecosystem that includes not only consumers, but also employees, communities, government representatives, and investors. This expanded scope of responsibility requires strategies that simultaneously drive innovation and integrate social responsibility into core business processes. The most advanced approaches offer integrated concepts that align product

innovation with sustainability goals, brand positioning with corporate mission, and go-to-market strategies with stakeholder impact assessments.

The distinction between proactive and reactive approaches to marketing strategy is becoming increasingly important in the modern business environment. Proactive marketing planning represents a fundamental shift from responding to changes to actively shaping future market conditions. This approach combines the use of software analytics for early environmental signal detection with scenario planning techniques that anticipate multiple possible futures. Proactive marketing managers form dedicated competitive intelligence teams that apply machine learning to detect weak signals of disruption in adjacent industries, use social listening tools to track shifts in consumer values, and apply strategic scenario methodologies to prepare for competitive threats. In contrast, reactive planning often remains focused on post-fact responses to external changes, typically leading to negative outcomes. The limitations of a reactive approach are particularly evident in industries undergoing rapid digital transformation, where first-mover advantages are often decisive and competitive positions can erode unexpectedly fast [2].

The implementation of proactive strategies depends on new organizational capabilities in change management and agile execution. Marketing functions must evolve from general communication-focused roles to becoming agents of change. This transformation involves cross-functional integration with research and development for commercializing innovations, with operational units for sustainable supply chain management, and with HR for employer brand development. Skilled players are building marketing-driven innovation ecosystems that unite startups, academic communities, and governments to co-create solutions to market and societal challenges. These systems serve both as early warning tools for negative trends and as sources of timely, effective responses.

The justification for socially responsible marketing has shifted from a public loyalty strategy to a strategic necessity. In an era of radical transparency driven by social networks and digital platforms, corporate behavior is under constant scrutiny. Consumers increasingly make purchasing decisions based on a brand's social and environmental responsibility, employees choose employers based on shared values, and investors integrate ESG (Environmental, Social, and Governance) factors into evaluation models. Socially responsible marketing provides a roadmap for navigating this new reality, aligning business objectives with societal needs.

The implementation of socially responsible marketing relies on embedding responsibility throughout the entire marketing value chain – from recognizable product design and ethical sourcing to transparent pricing and responsible communication. Modern companies are developing comprehensive evaluation systems for socially responsible marketing, tracking performance across various dimensions: environmental impact of marketing activities, diversity and inclusion in advertising and public relations, truthfulness of claims, and social benefits of marketing programs. These tools are increasingly integrated into executive reward systems, creating direct accountability for responsible marketing practices.

The integration of corporate social responsibility and marketing is one of the most significant shifts in contemporary business strategy. While corporate social responsibility previously focused on compliance and sponsorship, its integration with

marketing transforms it into a value-creating function. Marketing contributes to corporate social responsibility with key capabilities such as deep consumer insight, behavior change methodologies, and brand loyalty building, amplifying overall consumer impact. At the same time, corporate social responsibility provides marketing with natural stakeholder trust advantages that strengthen brand equity. This virtuous cycle creates what analysts call "the responsibility advantage" – companies that successfully integrate social responsibility into their core strategy enjoy higher brand loyalty, better employee attractiveness, and greater investor trust.

In the future, the importance of proactive, socially responsible marketing is expected to grow. A range of influential trends is transforming the competitive environment: global economic changes are reshaping regulation, demographic shifts are altering consumer habits, and digitalization is accelerating market transparency. In this context, the traditional role of marketing as a demand generator must expand to include future-planning and societal value creation.

Success in markets will increasingly depend on marketing strategies developed at the intersection of innovation foresight and social impact. These strategies will shape marketing departments with dual capabilities – equally proficient in using data analytics for deeper personalization and in applying behavioral science for societal benefit. Competitive advantage will lie not only in better products or more efficient services, but in the ability to accurately anticipate societal needs and turn them into market opportunities ahead of competitors. Overall, marketing is evolving into a corporate navigator, identifying both new market opportunities and shifts in societal expectations, ensuring commercial success and social relevance during times of unprecedented change.

Conclusions. This broadened perspective on competitive strategy and the role of marketing in its execution suggests that successful companies must treat social responsibility not as a cost center, but as a source of innovation; must view marketing not just as a function of promotion and sales, but as a strategic capability; and must approach competition not as a zero-sum game, but as a dynamic system where creating shared value is the ultimate competitive advantage.

References

1. Eccles, R.G., Ioannou, I., & Serafeim, G. (2014). The Impact of Corporate Sustainability on Organizational Processes and Performance. Management Science, 60(11), 2835-2857.

2. Christensen, C.M., Raynor, M.E., & McDonald, R. (2015). What Is Disruptive Innovation? Harvard Business Review, 93(12), 44-53.

УДК: 658.012: 339.13

І.В. Созинова, К.В. Печінка
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Контент-маркетинг: ключові цілі, завдання та інструменти

У роботі проаналізовано ключові аспекти контент-маркетингу, котрий виступає ефективним інструментом для просування брендів та вибудовування взаємодії з цільовою аудиторією. Визначено основні цілі, завдання, а також окреслено ключові інструменти, що застосовуються у сучасних стратегіях контент-маркетингу.

Динамічність ринкової економіки активізує інноваційну діяльність та забезпечує підвищення якості товарів. Цей процес породжує цифрову трансформацію бізнес-процесів з використанням якісного контенту, який стає одним із ключових інструментів успішного маркетингу. Ця довгострокова маркетингова технологія привертає увагу цільової аудиторії та будує міцні взаємозв'язки. Маркетологи створюють релевантний контент відповідно до поставлених цілей, що не тільки залучає нових клієнтів, а й утримує наявних. Така стратегія має багато переваг та унікальних можливостей, яких не приносять інші види просування.

Висвітленню особливостей застосування контент-маркетингу присвячено велику кількість наукових робіт в Україні та інших країнах світу. Цим питанням займались такі науковці як Плессіс С., Бубфапант Дж., Брандао А., Лоу К., Стінкамп Дж., Ксі К., Дубовик Н., Танасійчук та багато інших.

Контент-маркетинг виник із друкованих матеріалів у XIX столітті, коли компанії почали створювати свої журнали, націлені на певну аудиторію. З ростом цифрових технологій контент-маркетинг змінився та став важливим інструментом для бізнесу в Інтернеті. Сьогодні він включає багато форматів: записи в блогах, відео, соціальні мережі, подкасти, електронні книги, вебінари та інтерактивний зміст.

Контент-маркетинг має набагато більше значення, виходячи з поведінки споживачів, яка зараз еволюціонувала. Можна побачити, що зараз більшість людей шукають інформацію про продукт або послугу в Інтернеті, перш ніж прийняти рішення про покупку. За таких умов контент-маркетинг ефективний не тільки для привернення уваги, але й для формування довіри до бренду. Прикладом цього може бути компанія Red Bull, яка робить набагато більше, ніж продає енергетичні напої. Він сміливо створює гігантські спортивні події, документальні фільми, а також відеоконтент, який буквально захоплює мільйони глядачів по всьому світу.

Іншим прикладом вдалого застосування маркетингової технології є використання контент-маркетингу для формування позитивного іміджу авіакомпаній, який відіграє ключову роль у встановленні міцних зв'язків із пасажирами та покращенні досвіду перебування на борту. Користувацький контент, як-от відгуки, фотографії з подорожей та історії клієнтів, допомагає

продемонструвати автентичність бренду, персоналізуючи досвід для потенційних клієнтів. Це не тільки підтверджує цінність авіакомпанії, але й додає довіри до бренду.

Варто зазначити, перед тим як почати активну роботу над контент-маркетингом компаніям варто позначити ціль [1]. Серед основних цілей, які можна досягти через використання технології контент-маркетингу доцільно виділити:

- Збільшення рівня якісної цільової аудиторії.
- Підвищення залученості та лояльності клієнтів.
- Вирощування лідів та лідогенерація.
- Покращення впізнаваності та іміджу бренду.
- Залучення нового трафіку.
- Реактивація пасивних клієнтів.
- Перехресні продажі та підвищення прибутку [1].

Завдання, які вирішуються за допомогою контент-маркетингу:

1. Аналіз цільової аудиторії

Одним із пріоритетних завдань є глибоке дослідження цільової аудиторії та її інформаційних запитів. Це допомагає створювати цікавий і максимально релевантний контент для конкретних сегментів споживачів.

2. Формування контент-стратегії

Контент-стратегію необхідно розробляти з урахуванням бізнес-цілей компанії та потреб аудиторії. Важливо забезпечити органічне поєднання контенту з загальною маркетинговою стратегією, щоб посилити її ефективність.

3. Різноманітність контенту для етапів воронки продажів

Контент має бути адаптованим під специфічні потреби споживачів на кожному етапі їхнього шляху — від першого знайомства з брендом до ухвалення рішення про покупку товару або послуги.

4. Оптимізація контенту

Продумана оптимізація текстового, графічного та відеоконтенту для пошукових систем і соціальних платформ є важливим аспектом досягнення кращих результатів і підвищення видимості бренду.

Необхідно зауважити, що контент-маркетинг базується на комбінації творчості та технологічного забезпечення. Для його результативного застосування використовуються різні інструменти, що допомагають створювати, покращувати, поширювати та вивчати контент [3].

Найперше, ключову роль виконують інструменти для творення контенту. До них відносяться графічні редактори (наприклад, Canva або Adobe Express), сервіси для відеомонтажу (DaVinci Resolve, CapCut) чи платформи для створення текстових та візуальних матеріалів. Завдяки цим ресурсам маркетологи можуть швидко підлаштовувати контент під вимоги різних каналів, гарантуючи його привабливість та цілісність.

Значущим є також використання інструментів оптимізації та аналітики, таких як Google Analytics, Ahrefs чи SEMrush. Вони дають змогу аналізувати поведінку аудиторії, досліджувати популярні запити та тренди

в пошукових системах, а також оцінювати ефективність створеного контенту.

В авіаційній сфері, наприклад, ці інструменти можуть бути застосовані для поширення контенту, що відображає реальний досвід клієнтів, демонструє роботу персоналу за кулісами, а також надає практичну інформацію про рейси чи сервіси. Такий підхід не тільки збільшує довіру до бренду, але й формує міцні зв'язки з аудиторією.

Отже, контент-маркетинг є суттєвим компонентом цифрової маркетингової стратегії. Він дозволяє компанії не тільки підвищити впізнаваність бренду, але й залучити та зберегти клієнтів, збільшити обсяг продажів і покращити SEO-позиції. Ключовими аспектами успіху є чітке формулювання цілей і завдань, створення якісного та релевантного контенту, а також постійний моніторинг ефективності та коригування стратегій.

Список літератури

1. Що таке контент-маркетинг: особливість, цілі та поради - Outsourcing Team. Outsourcing Team. URL: https://outsourcing.team/ua/blog/seo-prosuvannya/shho-take-kontent-marketing.
2. Що таке контент-маркетинг – розробка стратегії content marketing для залучення клієнтів. elit-web.ua. URL: https://elit-web.ua/ua/blog/kontent-marketing.
3. Що таке Контент-Маркетинг? Стратегії, особливості та цілі. Gud Hub CRM. URL: https://gudhub.com.ua/blog/marketing/shcho-take-kontent-marketyng/#----------.

УДК 005.334:005.5:004.738.5

Н.А. Ревaненко, О.О. Казанська, к.держ.упр., доцент
(Державний університет, «Київський авіаційний інститут», Україна.)

Шляхи подолання кризових ситуацій в умовах цифровізації на підприємстві ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА»

Проаналізовано шляхи подолання кризових ситуацій на "АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА" через цифровізацію. Основна увага приділена використанню блокчейну для прозорості, автоматизації операцій і мінімізації ризиків. Результати підкреслюють важливість технологій у підвищенні ефективності логістичних процесів та стійкості підприємства до сучасних викликів.

Сучасний світ характеризується швидкими темпами розвитку цифрових технологій, які впливають на всі сфери діяльності, включаючи логістику. Компанії, що працюють у цій галузі, стикаються зі значними викликами, зокрема кризовими ситуаціями, які можуть виникати через непередбачувані зовнішні або внутрішні фактори.

Для підприємства «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА», як і для інших учасників логістичного ринку, питання управління кризами стає ключовим. Цифровізація процесів відкриває нові можливості для покращення операційної ефективності, зменшення ризиків та підвищення стійкості до кризових ситуацій. Водночас впровадження інноваційних технологій вимагає аналізу потенційних проблем, що можуть виникнути, і пошуку ефективних рішень для їх подолання.

Мета цієї роботи – дослідити можливі шляхи подолання кризових ситуацій на підприємстві «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА» шляхом використання цифрових технологій. Особлива увага приділяється аналізу криз, зокрема затримок у постачанні, та визначенню інструментів, таких як блокчейн, які сприяють прозорості та ефективності в логістичних процесах.

Як і будь-яке інше виробничо-логістичне підприємство, компанія «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА» зіштовхується з певними труднощами, які гальмують її розвиток та створюють перешкоди для подальшого зростання.

Основні виклики у сфері логістичної діяльності товариства з обмеженою відповідальністю «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА»:

1. Імпортер, клієнт та державні установи, відповідальні за маршрутні перевезення, зацікавлені в можливості моніторингу всього процесу доставки товарів і послуг: від моменту їх виробництва до передачі кінцевому споживачу. Для забезпечення належного державного контролю за логістичними процесами необхідно зробити весь ланцюг поставок максимально прозорим та відкритим, що дозволить оперативно корегувати маршрути, уникати потенційно небезпечних зон у режимі реального часу.
2. Провідні виробничі компанії поступово переходять на цифрові процеси, що забезпечує численні переваги, проте використання паперової документації залишається актуальним. Це спричиняє затримки через необхідність оформлення документів, перевірку їх автентичності та передачу

зацікавленим сторонам і державним органам. Впровадження інноваційних технологій дозволить значно скоротити час на створення документації, полегшити робочі процеси і практично усунути ризики її підробки.

3. Забезпечення безпеки ділових відносин між постачальником і покупцем має бути гарантованим на кожному етапі логістичного процесу через існуючі ризики втрати вантажу чи фінансових ресурсів.

Інноваційні підходи та сучасні технології є ключем до подолання логістичних викликів, забезпечення ефективної роботи компанії, відповідності очікуванням клієнтів та формування додаткової цінності.

Цифровізація відкриває широкі можливості для вдосконалення бізнес-процесів, і блокчейн є однією з ключових технологій, що сприяє цьому. Його унікальні характеристики, такі як прозорість, децентралізація і незмінність даних, дозволяють оптимізувати операції та підвищити ефективність у різних галузях.

Впровадження технології блокчейн здатне вирішити одразу кілька ключових завдань у логістиці. З її допомогою можна забезпечити відстеження вантажів у реальному часі, що суттєво підвищує контроль та ефективність процесів. Ця технологія також дозволяє оптимізувати робочі процеси, скорочуючи час, необхідний для виконання фінансових процедур. Важливою перевагою є зменшення матеріальних витрат, оскільки блокчейн виключає потребу у використанні потужних серверів. Інтеграція блокчейн допомагає знизити ризик маніпуляцій на ринку, таких як монополізація великими компаніями завдяки значному капіталу, а також сприяє підвищенню прозорості на всіх етапах логістичних ланцюгів постачання товарів.

Використання технологій блокчейн виступає універсальним інструментом для точного та коректного документування і контролю окремих компонентів ланцюга постачання, а також гарантує надійне відстеження визначених операцій (рис. 1).

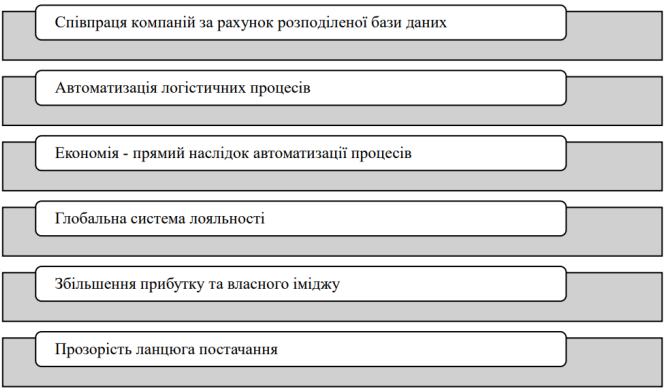


Рис. 1. Перспективи впровадження блокчейн для ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА»

Згідно з рис. 1, наведено ключові перспективи впровадження блокчейн-технологій для ефективного управління логістичними ланцюгами постачання в ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА».

Доцільно розглянути варіант потенційних партнерів для ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА» з метою впровадження блокчейн-технологій у ланцюгах постачання.

Після аналізу найкращим вибором може стати компанія «Maersk» та платформа TradeLens (раніше відома як Global Trade Digitization), яка була створена у співпраці з «IBM». A.P. Moller-Maersk Group є відомою данською корпорацією, що спеціалізується на транспортній та економічній діяльності, зокрема контейнерних перевезеннях морським транспортом. Штаб-квартира компанії розташована у Копенгагені, а дочірні підприємства та офіси функціонують у більш ніж 135 країнах світу.

Результати технології:

1. Забезпечує перевезення майже половини всіх контейнеровозів у світі.
2. У 2020 році здійснив обробку приблизно 1 мільярда відправлень, 12 мільйонів документів та близько 30 мільйонів контейнерів.
3. Результати 2020 року перевищили прогнози попереднього року більш ніж удвічі.

Перейдемо до детального аналізу блокчейн-платформи TradeLens, її функціональних можливостей та принципу роботи. Ключові характеристики цієї платформи наведені на рис. 2.

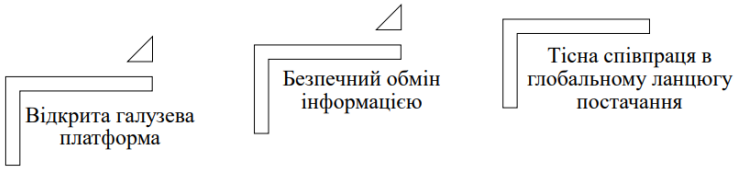


Рис. 2. Основна характеристика блокчейн-платформи TradeLens

У даній схемі блокчейн виконує функцію бази даних, що забезпечує зберігання, передачу та захист інформації, а також гарантує її достовірність і відсутність будь-яких помилок чи неточностей. Іншими словами, система TradeLens надає прозорий та надійний доступ до даних.

TradeLens, як блокчейн-платформа, забезпечує доступ через відкритий API (Application Programming Interface) і інтегрує екосистему, застосовуючи набір визначених відкритих стандартів.

Давайте детальніше проаналізуємо принцип функціонування системи TradeLens для компанії ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА», схему якого наведено на рис. 3.

До вантажу, транспортних засобів та необхідного обладнання додаються датчики, які здійснюють моніторинг місцезнаходження та таких параметрів, як температура чи рівень вологості. Дані з датчиків записуються на блокчейн у режимі реального часу, забезпечуючи доступ до них усім зацікавленим

сторонам. Це дозволяє ефективно контролювати вантаж і слідкувати за його станом.

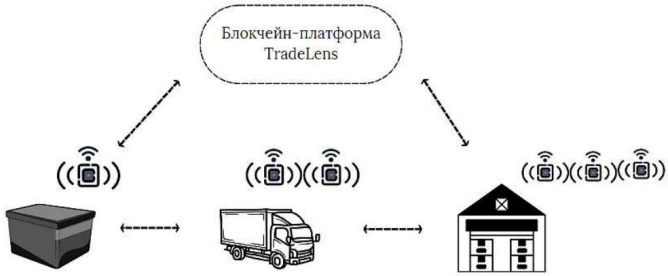


Рис. 3. Інфографіка принципу роботи TradeLens для ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА»

У заздалегідь визначених ситуаціях певні датчики можуть обмінюватися інформацією між собою через смарт-контракти. Це працює так: коли датчик боксу потрапляє у вантажівку, він передає датчику вантажівки дані про себе та вміст усередині.

Отже, вантажівка постійно отримує дані про свій вантаж. Після прибуття до терміналу її датчик передає інформацію терміналу, зокрема деталі про бокс та його вміст.

Висновок

У роботі досліджено шляхи подолання кризових ситуацій на підприємстві ТОВ «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА» через цифровізацію. Впровадження блокчейн-технологій сприяє прозорості, автоматизації процесів та мінімізації ризиків, що підвищує ефективність логістичних операцій і стійкість компанії до сучасних викликів. Застосування платформи TradeLens демонструє потенціал у покращенні управління ланцюгами постачання, забезпеченні безпеки даних і скороченні витрат. Цифровізація, зокрема через використання блокчейну, є ключовим фактором у підвищенні конкурентоспроможності компанії в умовах нестабільності.

Список літератури

1. Best Supply Chain Blockchain Projects Rated and Reviewed for 2021. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.remedi.com/blog/supply-chain-blockchain-projects

2. Blockchain for Supply Chain: Track and Trace. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://aws.amazon.com/ru/blockchain/blockchain-for-supply-chain-track-and-trace/

3. Official site «IBM». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ibm.com/ua-en

4. Official site «Maersk». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.maersk.com/
5. Кейси використання «Maersk» Blockchain. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://merehead.com/ru/blog/maersk-blockchain-use-cases/
6. Манчур І. М. Рівень використання блокчейн-технології підприємствами України. Економічний аналіз. 2021. № 3. С. 183-189.
7. Ніколаєв С. О., Вороненко В. І., Ковальов Б. Л., Гриценко П. В. Блокчейн як фактор цифрової трансформації економіки України. Вісник СумДУ. Серія «Економіка». 2021. № 2. С. 16-23.
8. Офіційний сайт «АЛЕРС ЛОГІСТИК УКРАЇНА». [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.ahlers.com/en
9. Топ-5 блокчейн проектів у сфері логістики. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://digiforest.io/blog/blockchain-in-logistics

УДК 339.138:005.932:656.02

Т.Г. Разінкіна, О.О. Казанська, к.держ.упр., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Роль інфлюенсерів у розвитку продажів логістичних послуг на B2B-ринку

В роботі досліджено трансформація традиційних B2B-продажів у логістиці під впливом інфлюенсер-маркетингу. Описано ключові переваги залучення мікро- та наноінфлюенсерів, етапи впровадження стратегії, а також метрики, які дозволяють оцінювати її ефективність у сучасних цифрових умовах.

Традиційні методи B2B-продажів, приміром холодні дзвінки та особисті зустрічі, відомі своєю здатністю залучати нових клієнтів та створювати ділові контакти. Однак, з розвитком технологій та зміною умов ринку, ці методи втрачають свою ефективність. Покупці все більше віддають перевагу цифровим каналам комунікації, де вони можуть самостійно досліджувати постачальників і приймати рішення на основі онлайн-відгуків, оглядів та рекомендацій. Зміни в поведінці споживачів вимагають від компаній адаптації та впровадження нових стратегій маркетингу. Одним нових підходів є інфлюенсер-маркетинг, який спочатку здобув популярність у секторі B2C, а сьогодні активно проникає і в B2B-сегмент. Зокрема, в логістиці цей інструмент набирає популярності завдяки здатності впливових осіб, таких як лідери думок та експерти галузі, створювати довіру і демонструвати реальні результати за допомогою контенту, який резонує з цільовою аудиторією [1].

Новітні тенденції інфлюенсер-маркетингу в B2B демонструють швидку еволюцію та адаптацію цього підходу до потреб підприємств, які прагнуть досягти більш ефективного зв'язку зі своїми цільовими аудиторіями. Згідно з дослідженнями, у 2024 році 88% компаній, що використовують інфлюенсер-маркетинг, вважають цей метод найбільш ефективним для досягнення бізнес-цілей. Ключові причини цього успіху — здатність інфлюенсерів створювати автентичний контент, що резонує з їхньою аудиторією. Вони підвищують обізнаність про бренд та допомагають сформувати довіру до компанії, і це є особливо важливим у сегменті B2B, де бізнес-стосунки часто будуються на довготривалій репутації та взаємній довірі [2].

Особливо виразно спостерігається зростання популярності співпраці з мікро- та наноінфлюенсерами, що стають важливими гравцями на B2B-ринку. На відміну від великих інфлюенсерів, у яких аудиторія може бути більш розрізненою, мікро- і наноінфлюенсери володіють значно більшою довірою своїх підписників в соцмережах завдяки меншій кількості підписників, але більш тісним і персоналізованим взаємодіям з ними [3]. Завдяки цьому компанії досягають цільової аудиторії більш автентично та ефективно, вони можуть виступати як «міст» між бізнесом і потенційними клієнтами, здатними побудувати міцні, надійні партнерства через персоналізовані рекомендації та розповіді, що сприяє кращому розумінню бізнес-потреб і підвищенню рівня лояльності. До того ж, з огляду на новітні цифрові інструменти, які дозволяють вимірювати ефективність співпраці з інфлюенсерами, бізнеси можуть чітко

визначати Return on Investment, це досить важливий критерій для оцінки результативності інфлюенсер-маркетингу. Таким чином, збільшується рівень продажів та поліпшується стратегічне планування у майбутньому, забезпечуючи більш точне налаштування маркетингових кампаній на основі даних про вплив конкретних інфлюенсерів [4].

Інфлюенсери значно впливають на рішення B2B-клієнтів у сфері логістики, надаючи експертні оцінки, демонструючи кейси успішного використання послуг та створюючи контент для соцмереж, що підкреслює переваги співпраці з певною компанією. Такий підхід значно підвищує результативність взаємодії з потенційними клієнтами. Довіра, побудована через особистий досвід інфлюенсера, діє ефективніше, ніж холодні скрипти чи формальні пропозиції. У табл.1 представлено узагальнені показники ефективності традиційних і сучасних підходів до B2B-продажів.

Таблиця 1

Показники ефективності традиційних і сучасних підходів до B2B-продажів

Метод	**Рівень довіри клієнтів**	**Вартість залучення клієнта**	**Швидкість прийняття рішення**
Холодні дзвінки	Низький	Висока	Повільна
Особисті зустрічі	Середній	Середня	Середня
Інфлюенсер-маркетинг	Високий	Середня	Швидка

Джерело: побудовано авторами на основі [5]

Щоб інфлюенсер-маркетинг у сфері логістики приносив реальні результати, його потрібно впроваджувати грамотно й системно. Основна помилка багатьох компаній — це використання інфлюенсерів без чіткої стратегії. Успішна кампанія починається з аналізу: хто ваша цільова аудиторія, що для неї є цінним, яким тоном вона сприймає інформацію, через які платформи найчастіше комунікує. Зрозумівши ці аспекти, можна переходити до наступних кроків — вибору інфлюенсерів, формування контенту, запуску кампанії та вимірювання результатів. У B2B-сегменті логістики надзвичайно важливою є точність і доцільність кожного етапу. Рекомендації, які допоможуть компаніям зробити інфлюенсер-маркетинг дієвим каналом залучення нових клієнтів:

- визначення цільової аудиторії;
- Співпраця з мікро- та наноінфлюенсерами;
- Створення якісного контенту;

– Вимірювання результатів [6].

Щоб ефективно оцінювати результативність кампаній у сфері B2B-логістики, варто орієнтуватися на ключові метрики, представлені у табл.2.

Таблиця 2

Ключові метрики результативності кампаній у сфері B2B-логістики

Метрика	Опис
Залученість аудиторії	Кількість взаємодій з контентом (лайки, коментарі, поширення)
Трафік на сайт	Збільшення кількості відвідувачів з каналів інфлюенсерів
Конверсія	Частка відвідувачів, що стали клієнтами або залишили запит
ROI	Відношення прибутку до витрат на кампанію

Джерело: побудовано авторами на основі [7]

Висновок

Інфлюенсер-маркетинг поступово переходить із категорії «новинок» у розряд стратегічно важливих інструментів для просування B2B-компаній, зокрема у сфері логістики. Його ефективність підтверджується зростанням довіри аудиторії до контенту, який створюють лідери думок, а також реальними бізнес-результатами: збільшенням залученості, переходів на сайт і, зрештою, нових угод. Залучення інфлюенсерів до просування логістичних послуг — це відповідь на потребу ринку в більш прозорій, автентичній та довірчій взаємодії з клієнтами. Однак успішна реалізація цієї стратегії потребує зваженого підходу. Необхідно чітко визначити цілі, обрати інфлюенсерів, які поділяють цінності компанії, створити релевантний контент і постійно аналізувати результати. Інфлюенсер-маркетинг — це про системність, довгострокову перспективу й постійне вдосконалення. У підсумку, компанії, які вже сьогодні інтегрують цей інструмент у свої стратегії, отримують перевагу, яка з кожним роком набуває все більшого значення в конкурентному середовищі [8].

Список літератури

1. Іванина Р., Міщенко С. 10 ключових стратегій B2B-маркетингу на 2025 рік. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://surl.li/cxjzwi
2. Кашина М. SMM-тренди для бізнесу 2024-2025: аналіз та прогнози фахівців Promodo. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://surl.li/vzopeb
3. ГО "ФУНДАЦІЯ ІНФЛЮЕНС МАРКЕТИНГУ". 4 тренди у роботі з блогерами на 2025 рік: підходи, які будуть працювати. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://salo.li/430992F

4. Лідовський О. B2B-маркетинг у 2025 році: Головні тенденції, які змінять ринок. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://salo.li/f496f4d

5. Кукіна Н.В., Трусова Н.В., Шквиря Н.О. ІНФЛЮЕНС-МАРКЕТИНГ НА РИНКУ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ І НАПОЇВ УКРАЇНИ: ТРЕНДИ, ВИКЛИКИ, МОЖЛИВОСТІ // № 3 (52) (2024): Збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://salo.li/Ad9E209

6. Сухорукова Г. B2B-маркетинг 2025: тренди, які змінять ваш підхід до бізнесу. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://salo.li/BE2DDbA

7. Toptal marketing [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://salo.li/1E371E1

8. Деділова Т. В., Сідельнікова В. К. Актуальні напрямки маркетингу в умовах цифровізації. Проблеми і перспективи розвитку підприємництва : зб. наук. пр. / ХНАДУ. 2023. № 1 (30). С. 126–134.

УДК 687.1 (045)

В.В. Хороших, к.держ.упр., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
І.О. Аракелова, к.е.н., доцент
(Маріупольський державний університет, Україна)

Управління якістю швейних товарів на підприємствах легкої промисловості України

Розглянуто особливості управління якістю на швейних підприємствах України в контексті підвищення їх конкурентоспроможності на внутрішньому та зовнішньому ринках. Проаналізовано сучасний стан швейної промисловості, рівень впровадження систем управління якістю (ISO 9001, TQM, LEAN, Six Sigma) та виявлено основні проблеми, які перешкоджають їх ефективному функціонуванню.

У сучасних умовах глобалізації та інтеграції України до світового економічного простору особливої актуальності набуває проблема забезпечення високої якості продукції вітчизняних підприємств. Серед них важливу роль відіграють швейні підприємства, які мають значний потенціал для задоволення внутрішнього попиту та виходу на зовнішні ринки. Управління якістю в цьому секторі є не лише необхідністю, а й стратегічним чинником конкурентоспроможності.

Проблематика якості у швейній промисловості України обумовлена кількома факторами: високою конкуренцією з боку іноземних виробників, зростаючими вимогами споживачів до дизайну, ергономіки та довговічності продукції, а також необхідністю відповідати міжнародним стандартам. У зв'язку з цим підприємства повинні впроваджувати сучасні системи управління якістю (СУЯ), зокрема ISO 9001, Total Quality Management (TQM), Lean Production тощо [1].

Питанням управління якістю продукції присвячено роботи таких вітчизняних і зарубіжних вчених, як О. С. Виханський [2], Я. А. Коваль [3], Е. Демінг [4], Дж. Джуран [5]. Зокрема, Виханський акцентує увагу на важливості процесного підходу до управління якістю, тоді як Джуран розглядає якість як результат ефективного управління людськими та матеріальними ресурсами. У вітчизняних дослідженнях все частіше підкреслюється необхідність адаптації міжнародних стандартів до українських реалій [3; 6].

Швейна промисловість України представлена як великими підприємствами, так і малими приватними ательє. Більшість з них зосереджені в таких регіонах, як Львівська, Черкаська, Київська області, а також м. Харків. Значна частина підприємств працює на давальницькій сировині, що ускладнює впровадження комплексного контролю якості на всіх етапах виробництва [7].

На сьогодні частина швейних підприємств України впровадила сертифіковані системи управління якістю згідно з ISO 9001. Це дозволяє оптимізувати виробничі процеси, зменшити кількість браку, підвищити

відповідальність працівників та забезпечити відповідність міжнародним вимогам [1; 6].

Іншими підходами, які використовуються в управлінні якістю, є:

TQM (Загальне управління якістю) — спрямоване на залучення всіх працівників до процесу покращення якості [5];

LEAN-технології — сприяють мінімізації втрат і підвищенню продуктивності без зниження якості [4];

Six Sigma — методологія статистичного контролю якості, яка зосереджується на зменшенні варіативності в процесах [6].

Аналізуючи динаміку впровадження систем управління якістю на швейних підприємствах України, варто звернути увагу на статистику останніх років. За даними Державної служби статистики України, загальна кількість інноваційно активних промислових підприємств, до яких належать і швейні, зросла з 1000 у 2019 році до 1300 у 2023 році. Це свідчить про поступову активізацію модернізації виробничих процесів та запровадження сучасних управлінських практик.

Крім того, витрати на інновації в промисловості України за цей самий період збільшилися з 10 до 15 мільярдів гривень. Це опосередковано свідчить про зростаючу увагу підприємств до вдосконалення якості, зокрема шляхом впровадження систем типу ISO 9001, TQM та Lean Production.

За інформацією профільних джерел, станом на 2024 рік в Україні 1 624 підприємства мають сертифікат ISO 9001. Хоча специфічна інформація про швейну галузь не завжди наявна у відкритому доступі, проте частка таких підприємств в легкій промисловості постійно зростає, особливо серед експортоорієнтованих виробників.

Варто зазначити, що на фоні зростання вимог споживачів, як внутрішніх, так і зовнішніх, забезпечення високого рівня якості продукції є не просто перевагою, а необхідною умовою для сталого функціонування підприємств. Саме тому швейні компанії все активніше інтегрують у свою діяльність принципи безперервного удосконалення, статистичного контролю та стандартизації процесів, що є основою систем управління якістю нового покоління.

Попри позитивні приклади, більшість малих та середніх швейних підприємств стикаються з низкою проблем:

обмежене фінансування на модернізацію виробництва;

недостатній рівень кваліфікації персоналу;

відсутність стратегічного бачення щодо якості;

слабка державна підтримка галузі [3; 7].

Для подолання цих проблем необхідне формування ефективної державної політики у сфері розвитку легкої промисловості, підтримка експорту, а також підвищення кваліфікації працівників підприємств.

Висновки

Таким чином, управління якістю на швейних підприємствах України є ключовим чинником їх конкурентоспроможності. Успішне впровадження сучасних систем управління якістю дає змогу підвищити продуктивність, зменшити витрати та забезпечити високу якість продукції, що відповідає вимогам як внутрішнього, так і зовнішнього ринку. Однак для досягнення цього необхідне комплексне вирішення організаційних, фінансових та кадрових проблем, а також посилення державної підтримки галузі.

Список літератури

1. ISO 9001:2015 – Quality Management Systems – Requirements. — Geneva: ISO, 2015.
2. Виханський О. С. Стратегічне управління підприємством: навч. посіб. — К.: Центр учбової літератури, 2020. — 312 с.
3. Коваль Я. А. Управління якістю продукції: теорія і практика. — Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2019. — 256 с.
4. Deming, W. E. Out of the Crisis. — MIT Press, 2000. — 507 p.
5. Juran, J. M. Juran’s Quality Handbook. — McGraw-Hill, 2010. — 1136 p.
6. Шепель М. О. Системи управління якістю на підприємствах легкої промисловості України // Економіка та держава. — 2022. — № 7. — С. 48–52.
7. Огляд стану легкої промисловості України // Аналітичний звіт Міністерства економіки України. — 2023. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://me.gov.ua.
8. Державна служба статистики України. Офіційний сайт — https://ukrstat.gov.ua
9. Статистика інноваційної діяльності підприємств за 2019–2023 роки // Міністерство економіки України — https://me.gov.ua
10. В Україні 1624 підприємства отримали сертифікат ISO 9001 // РБК-Україна. — 2024. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.rbc.ua

UDC 315.6:374.7:658.3

B.V. Polous, PhD student
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

The rationality of applying Kairos management principles in modern HR-branding

This research explores the origin and evolution of the Kairos management concept, emphasizing its integration of social intelligence, self-management, and creativity. Particular attention is given to the relevance of Kairos-based strategies in modern HR branding, especially in dynamic and high-pressure environments.

The history of the Kairos management formation

The concept of Kairos management was established in 2017 as a result of analytical reflection on the interrelation between time management methodologies, networking tools, and mechanisms for developing creativity. During this period, two scholarly and pedagogical publications [1] were released, laying the groundwork for further scientific elaboration of the concept, alongside media publications aimed at popularizing the approach. To verify the feasibility of the proposed model, a series of training sessions and lectures were conducted for representatives of Ukraine's educational sector, including pupils, students, and academic staff, with a focus on collecting empirical feedback and professional critique. Over the following five years, a targeted analysis and classification of soft skills components was carried out to enhance the practical effectiveness of Kairos management as a universal managerial tool [3].

The next stage in the development of the Kairos management concept began in 2022, when its theoretical foundations were expanded through the integration of ideas related to social intelligence and self-management as key determinants of personal effectiveness. The modified approach gained academic recognition, notably through its publication in Global Academics [11] and presentation at an international scientific and practical online conference dedicated to resource-oriented educational practices [2]. Among the researchers examining the role of randomness in achieving professional success, the works of Lopes R., Rosendo M.A.F., Wardil L. [9], Biondo A.E., Rapisarda A. [10], and others stand out, emphasizing the relevance of the Kairos approach in the context of an unstable social environment. This highlights the pertinence of Kairos management as an adaptive strategy in the field of HR branding, focused on flexibility, intuition, and emotional-intellectual competencies.

Thus, Kairos management emerges as an innovative tool of managerial activity aimed at developing competencies that ensure the realization of personal potential, effective adaptation to conditions of uncertainty, and the ability to respond promptly to favorable external factors.

In contemporary academic discourse, the concept of Kairos management is primarily grounded in the category of social intelligence, which encompasses the processing of socially relevant information, the development of interpersonal skills, and the capacity for social sensitivity [5]. These components facilitate constructive social interaction, contribute to a deeper understanding of the motivational drivers

behind others' behavior, and enable the adaptation of one's own conduct to changing social environments [6].

Peculiarities of applying Kairos Management across various sectors

In the context of HR branding, the concept of "Kairos moments" is viewed as strategically significant temporal points that align the optimal timing of action with an organization's resource readiness, thereby creating conditions for enhancing the impact of decisions and strengthening reputational capital. This approach is particularly relevant for civil society organizations, such as the Kairos Charity Community Development Organization, which operates in post-conflict Northern Uganda and effectively combines timely actions with available resources to provide medical, educational, and psychosocial support-facilitating the removal of organizational barriers, promoting team collaboration, and ensuring the sustainable development of the employer brand [7].

The integration of linear dynamics (Chronos) with intuitively selected optimal moments for action (Kairos) facilitates the effective adaptation of HR strategies to the evolving labor market, enables prompt responses to workforce challenges in the healthcare sector, and strengthens the influence of the employer brand oriented toward social mission, professional development, and the emotional resilience of personnel [4].

In the field of HR branding - similar to investment strategies in real estate - the application of Kairos management allows organizations to identify the most favorable moments for implementing decisions that shape employer image and attract targeted candidates. A focus not only on chronological sequencing but also on the tactical use of "opportune moments" enhances the effectiveness of managerial decisions, reduces the risk of reputational losses, and boosts the competitiveness of the employer brand in the labor market [8].

Market analysis in the context of HR branding involves a multidimensional consideration of dynamic factors, among which the principle of Kairos - as the identification of favorable timing for strategic decisions - plays a particularly important role. Recognizing such moments enables companies to timely adapt their employer brand to shifts in consumer behavior, technological advancements, and labor market transformations, thereby improving communication effectiveness with the target audience [12].

Conclusion

Thus, Kairos management, as an integrative concept that combines social intelligence, self-management, and creative thinking, serves as an effective tool for shaping an adaptive HR strategy focused on non-standard solutions and flexibility in a dynamic environment. Its versatility ensures the successful realization of both individual employee potential and organizational development - particularly through the timely recognition of opportunities, the optimization of communication processes, and the strengthening of the employer brand within a transforming labor market.

References

1. Лядський І.К. Кайрос-менеджмент або менеджмент зручного моменту. Практика управління закладом освіти: щомісячний професійний журнал. 2017. № 8. С. 17-19.
2. Лядський І.К. Науково-педагогічний потенціал Кайрос-менеджменту в закладах вищої освіти. Ресурсно-орієнтоване навчання в «3D»: доступність, діалог, динаміка: зб. тез доповідей V Міжнародної науковопрактичної інтернет-конференції. Полтава: ПНПУ ім. В.Г. Короленка. 2025. С. 552-555.
3. Лядський І.К. Упіймати удачу за чуб, або Кайрос-менеджмент для учнів. Заступник директора школи: щомісячний журнал готових рішень. 2017. № 10. С. 44-61.
4. Birke D. Otto, Elke S. Schuessler, Jörg Sydow, Lukas Vogelgsang (2024). Finding Creativity in Predictability: Seizing Kairos in Chronos Through Temporal Work in Complex Innovation Processes. Organization Science, 35(5), 1795-1822. DOI: https://doi.org/10.1287/orsc.2020.14743
5. Develi, A., Pekkan, N.U. & Cavus, M.F. (2022). Social intelligence at work and its implication for organizational identification: A sectoral comparison. Independent Journal of Management & Production, No. 13. Pp. 364-383. DOI: https://doi.org/10.14807/ijmp.v13i1.1555
6. Gupta S., De M.M., & Sinha S. (2021). Theoretical architecture of social intelligence. International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, No. 8(5). Pp. 525-534. URL: https://www.jetir.org/papers/JETIR2105198.pdf
7. Kairos charity community development organization. URL: https://www.betterplace.org/en/organisations/4048-kairos-charity-community-development-organization
8. Kairos Investment Management. URL: https://kimc.com/
9. Lopes R., Rosendo M.A.F. & Wardil L. (2021). The talent versus luck model as an ensemble of onedimensional random walks. Advances in Complex Systems, No. 24. DOI: https://doi.org/10.1142/S0219525921500107
10. Pluchino A., Biondo A.E. & Rapisarda A. (2019). Exploring the role of talent and luck in getting success. Acta Physica Polonica B Proceedings Supplement, Vol. 12. Pp. 17-24. DOI: https://doi.org/10.5506/APhysPolBSupp.12.17
11. Safonov Yu., Liadskyi I. & Zos–Kior M. (2024). Kairos-management is the new meta skill of today. Global Academics, No. 1(23). Pp. 10-18. URL: https://www.i-journal.org/upload/23.pdf
12. Shah, J., Doshi, M.; Nimkar, A.V. (2021). Kairos: A Remunerative Framework for Minimum Investment Portfolio Management. 2021 International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT). DOI: https://doi.org/10.1109/ICCICT50803.2021.9510081

УДК 355.019.3:659.1

С.Ю. Лукін, д.держ.упр., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Маркетинг державної безпеки в умовах кризи: стратегії комунікації для забезпечення національної стійкості

Сьогодення характеризується зростаючою турбулентністю та множинністю кризових явищ – від військових конфліктів та пандемій до техногенних катастроф і кіберзагроз. Ефективна комунікація в кризовий період є критично важливою для запобігання паніці, мобілізації суспільства, протидії дезінформації та підтримки міжнародного іміджу країни.

На відміну від традиційного комерційного маркетингу, маркетинг державної безпеки оперує переважно нематеріальними цінностями, такими як відчуття захищеності, стабільність суспільства та гарантія безпеки життєдіяльності громадян. Його цільові аудиторії є багаторівневими та включають не лише широкі верстви населення, але й специфічні групи, такі як бізнес-спільнота, міжнародні партнери, волонтерські організації та внутрішньо переміщені особи, кожна з яких має унікальні інформаційні потреби та канали сприйняття. У кризовий період спектр ключових завдань маркетингу державної безпеки значно розширюється, охоплюючи: оперативне, достовірне та всебічне інформування про загрози та способи реагування на них; психологічну підтримку населення, спрямовану на заспокоєння та зниження рівня тривожності; активну мобілізацію громадян та ресурсів для подолання наслідків кризи; формування та неухильне зміцнення довіри до державних структур як головного гаранта безпеки; ефективну протидію паніці, чуткам та організованим дезінформаційним кампаніям; а також стратегічну підтримку позитивного міжнародного іміджу країни як надійного та відповідального члена світової спільноти.

Основоположними принципами ефективного маркетингу державної безпеки в умовах кризи є: абсолютна прозорість у наданні інформації, що виключає приховування важливих фактів; максимальна оперативність реагування на кризові події та поширення відповідної інформації; непохитна достовірність кожного повідомлення, підкріплена фактами та експертними оцінками; вираження щирої емпатії та підтримки постраждалим; послідовність у комунікації, що забезпечує єдине розуміння ситуації; та створення єдиного інформаційного простору, координованого зусиллями всіх державних органів. Для глибшого розуміння та ефективного застосування цих принципів необхідно ретельно аналізувати існуючі теоретичні моделі комунікації в кризових ситуаціях, такі як модель "чорного лебедя" Насіма Талеба або модель стадій кризи Фінка, та адаптувати їх до специфіки сфери державної безпеки, враховуючи унікальні політичні, соціальні, економічні та культурні особливості кожної конкретної кризової ситуації.

Ефективне застосування маркетингу державної безпеки в умовах кризи вимагає ретельного підходу до визначення та глибокої сегментації цільових аудиторій. Різні соціально-демографічні групи населення можуть мати суттєво відмінний рівень вразливості до кризових явищ, різноманітні інформаційні потреби, зумовлені їхнім соціальним статусом, рівнем освіти та доступом до інформаційних каналів, а також використовувати різні, часто унікальні, канали комунікації. Врахування цих критично важливих особливостей дозволяє не лише адаптувати зміст комунікаційних повідомлень, роблячи їх максимально релевантними та зрозумілими для кожної цільової групи, але й обрати найбільш ефективні та адресні інструменти для їх поширення.

Вибір оптимальних комунікаційних каналів та інструментів є ключовим фактором успіху маркетингових зусиль у сфері державної безпеки під час кризи. До традиційно важливих каналів належать офіційні веб-сайти та верифіковані сторінки державних органів у соціальних мережах, які забезпечують оперативне поширення офіційної, першоджерельної інформації та налагодження ефективного зворотного зв'язку з громадськістю. Традиційні засоби масової інформації, такі як телебачення, радіо та друковані видання, зберігають свою значущість для охоплення широкої аудиторії, особливо серед старшого покоління та жителів віддалених регіонів. Прямі комунікації, включаючи гарячі телефонні лінії, розгортання інформаційних центрів та адресні SMS-розсилки, можуть бути надзвичайно ефективними для надання цільової інформації та оперативної підтримки конкретним групам населення. Окрему увагу слід приділити використанню сучасних інструментів цифрової комунікації, таких як месенджери, спеціалізовані онлайн-платформи та мобільні додатки, які дозволяють швидко поширювати мультимедійний контент та забезпечувати інтерактивну взаємодію з громадянами в режимі реального часу.

Розробка ефективних кризових комунікаційних повідомлень вимагає неухильного дотримання низки ключових принципів. Повідомлення повинні бути максимально чіткими, лаконічними та зрозумілими, позбавленими складної професійної термінології та емоційної перевантаженості, що може викликати паніку. Активне використання візуальних матеріалів, таких як інфографіка, відеоролики та фотографії, може значно підвищити рівень сприйняття та запам'ятовування інформації. Вкрай важливо адаптувати зміст та стиль повідомлень до специфічних потреб та рівня розуміння різних цільових аудиторій. Одним з найважливіших аспектів є розробка та реалізація ефективних стратегій протидії фейкам та дезінформаційним кампаніям, що включає оперативне виявлення джерел недостовірної інформації, її швидке та аргументоване спростування з використанням перевірених фактів та експертних оцінок, а також впровадження системних превентивних заходів з підвищення рівня медіаграмотності населення.

Фундаментом ефективного маркетингу державної безпеки є послідовна побудова та зміцнення довіри й авторитету державних інституцій. Це досягається через забезпечення максимальної прозорості у процесі прийняття рішень та реалізації заходів, демонстрацію високого рівня компетентності та ефективності у реагуванні на кризові ситуації, налагодження активної та відкритої взаємодії з громадськістю, а також оперативне врахування зворотного

зв'язку та конструктивної критики. Відкритість до діалогу, готовність визнавати помилки та демонструвати постійне прагнення до вдосконалення сприяють зміцненню довіри та підтримки з боку суспільства, що є критично важливим для успішного подолання будь-якої кризи.

Оцінка ефективності маркетингових кампаній у сфері державної безпеки в умовах кризи є складним, але абсолютно необхідним процесом для оптимізації комунікаційних стратегій та підвищення рівня довіри суспільства. Ключовими критеріями оцінки можуть бути: кількісні показники охоплення цільових аудиторій та рівня їх залученості до інформаційних кампаній, якісні зміни у суспільній думці та рівні довіри до державних інституцій, динаміка рівня паніки та тривожності в суспільстві, а також аналіз рівня поширення та впливу дезінформаційних матеріалів. Для здійснення об'єктивного моніторингу та комплексної оцінки комунікаційних зусиль необхідно використовувати сучасні аналітичні інструменти, які дозволяють відстежувати реакцію аудиторії на різні інформаційні повідомлення в режимі реального часу, аналізувати тональність коментарів та публікацій у соціальних мережах, а також проводити соціологічні опитування для вимірювання рівня довіри та суспільних настроїв. Отримані дані повинні слугувати основою для оперативного коригування комунікаційних стратегій та підвищення їхньої ефективності.

В умовах прогнозованого зростання кількості та складності глобальних криз перспективи розвитку маркетингу державної безпеки безпосередньо пов'язані з необхідністю постійного вдосконалення існуючих комунікаційних стратегій, підготовки висококваліфікованих фахівців, які володіють не лише сучасними комунікаційними технологіями, але й глибокими знаннями в галузі психології кризової комунікації та управління інформаційними потоками. Активне використання новітніх цифрових технологій, включаючи штучний інтелект для аналізу великих обсягів інформації та прогнозування потенційних кризових ситуацій, а також технологій віртуальної та доповненої реальності для створення більш ефективних навчальних та інформаційних матеріалів, відкриває нові можливості для значного підвищення ефективності комунікації. Ретельне вивчення та адаптація успішного міжнародного досвіду у сфері маркетингу державної безпеки під час різних типів криз, глибокий аналіз впроваджених комунікаційних стратегій та їхніх результатів є важливим елементом розвитку цієї критично важливої сфери в Україні.

Висновки. Маркетинг державної безпеки в умовах кризи є невід'ємною складовою забезпечення національної стійкості та підтримки суспільної довіри. Ефективна, прозора, оперативна та достовірна комунікація, що базується на принципах емпатії та послідовності, дозволяє не лише своєчасно інформувати суспільство про загрози та способи їх подолання, але й ефективно запобігати паніці, мобілізувати громадян на спільну боротьбу з кризовими явищами та протидіяти деструктивним інформаційним впливам. Постійне вдосконалення комунікаційних стратегій, інтеграція сучасних технологій та глибоке вивчення міжнародного досвіду є ключовими напрямками розвитку маркетингу державної безпеки в умовах зростання глобальних викликів. Подальші наукові дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані на розробку практичних

рекомендацій та інноваційних інструментів для значного підвищення ефективності комунікаційної діяльності державних органів у різноманітних кризових ситуаціях.

Список літератури

1. Коваль, В. С., & Іванова, Н. В. (2021). *Інформаційна безпека держави в умовах гібридної війни: комунікаційний аспект*. Вісник Національної академії державного управління при Президентові України. Серія "Державне управління", (1), 105-112.
2. Ліпкан, В. А., & Максименко, Ю. Є. (2022). *Кібербезпека України в умовах воєнної агресії Російської Федерації: комунікаційний вимір*. Право та державне управління, (1), 147-154.
3. Романюк, А. П., & Терещенко, О. М. (2023). *Стратегічні комунікації державних органів в умовах воєнного стану: досвід України*. Державне управління та місцеве самоврядування, (1), 55-62.
4. Україна. Указ Президента України "Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 28 грудня 2021 року "Про заходи щодо протидії загрозам національній безпеці в інформаційній сфері"". (Офіційне інтернет-представництво Президента України).
5. Vos, M., Schoemaker, F., & Verhoeven, P. (2022). *Crisis Communication: A Strategic Approach* (3rd ed.). Routledge.

UDC 316.346.2-055.2

O.V. Polous, Doctor of Economics, Associate Professor,
Professor of Marketing Department
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

The phenomenon of the "glass ceiling" in the modern business environment as a factor necessitating the improvement of personnel marketing

A conceptual framework for analyzing the "glass ceiling" as an institutional barrier to women's career advancement is presented. Key findings from international and Ukrainian sources highlight persistent gender inequalities in leadership representation and wage parity are presented. The relevance of integrating gender-sensitive strategies into personnel marketing is substantiated.

Genesis of the "glass ceiling" phenomenon

The phenomenon of the "glass ceiling," which entered academic discourse in the 1980s in the United States, refers to artificially constructed barriers rooted in ideological and organizational biases that hinder the advancement of qualified professionals - primarily women - into managerial positions [3, p. 287; 6, p. 548]. In the context of the modern business environment, this phenomenon emerges as a critical factor that underscores the necessity of improving personnel marketing based on the principles of gender equality.

The term "glass ceiling" was first introduced by Marilyn Loden during her participation as a panelist at the 1978 Women's Exposition in New York. Initially expected to discuss the perceived shortcomings of women in achieving career advancement, Loden instead highlighted systemic and historically overlooked structural barriers that have impeded women's access to leadership positions. Her conceptualization brought attention to the implicit forms of discrimination that constrain women's upward mobility within organizational hierarchies [5].

The phenomenon of the "glass ceiling" in scholarly conceptualization is understood as a set of invisible and artificially constructed constraints that, while not formally institutionalized, significantly hinder women's advancement within career hierarchies [2, p. 339; 7; 10, p. 1]. According to D. Woo, such barriers are not based on objective criteria of qualification or competence, which underscores their inherently discriminatory nature [11, pp. 45-46].

Although the "glass ceiling" is often interpreted as purely invisible or artificial, in practice, career limitations for women may be evident to both the women themselves and organizational leadership. Persistent gender stereotypes, biased competence assessments, and institutional inequality continue to restrict women's access to senior positions. As D. Woo notes, these barriers are not always artificial; even when they are real, they often originate from discriminatory practices in the labor market.

The phenomenon of the "glass ceiling" in the modern business environment: international and Ukrainian perspectives

According to The Economist's glass-ceiling index, which evaluates gender equality in the workplace across 29 OECD countries using ten indicators - including

labor force participation, wage parity, parental leave, and political representation - progress toward equal treatment for women has plateaued in recent years. While Nordic countries, particularly Iceland, consistently top the rankings due to strong institutional support and inclusive labor policies, nations like South Korea, Japan, and Turkey remain at the bottom, reflecting persistent structural barriers. Despite prior gains, the 2024 data reveal a substantial employment gap: only 52% of women globally (and 75% within the OECD) are employed, compared to 95% and 91% of men, respectively, underscoring the enduring challenge of balancing career and family responsibilities [9].

The McKinsey & Company report “Women in the Workplace 2024” is structured into four main sections, each highlighting key aspects of women's status in the U.S. corporate environment over the past decade. Although there has been an increase in the representation of women across all levels of corporate hierarchy - particularly at the C-suite level, which rose from 17% in 2015 to 29% in 2024 - this progress remains uneven. Women, especially those from minority backgrounds, continue to face barriers at early career stages, leading to their underrepresentation in leadership positions [8].

Over the past ten years, companies have introduced numerous initiatives to support women, such as flexible work arrangements and leadership development programs, however, the effectiveness of these measures is often limited by a lack of systemic support and insufficient engagement from senior leadership. A weakening of corporate commitment to diversity and inclusion threatens the progress achieved thus far. To attain gender equality, companies must implement systemic changes aimed at eliminating barriers at all organizational levels. This includes revising hiring and promotion processes, investing in the development of women's leadership capabilities, and ensuring leadership accountability. Without such measures, progress will remain slow and unsustainable [8].

In Halyna Pustova’s article “Can Women Overcome the Glass Ceiling in the Modern World?”, key barriers limiting women's career advancement are examined, particularly the phenomena of the “glass ceiling” and the “sticky floor.” The author presents statistical data revealing a significant gender pay gap and the underrepresentation of women in leadership positions both in Ukraine and globally. At the same time, she highlights positive trends, such as the growing participation of women in entrepreneurship and the ICT sector [4].

In the article by Diana Andrusenko titled “The Gender Pay Gap Is a ‘Myth’”, the issue of wage inequality between women and men is analyzed, challenging the widespread misconception that such a gap does not exist. According to data from the State Statistics Service of Ukraine, in 2015 Ukrainian women earned, on average, 26% less than men, and by 2023 this gap had narrowed to 18.6%, which still represents a significant disparity. The primary causes of this gap include the "glass ceiling" and the unequal distribution of family responsibilities, which results in women more frequently taking maternity leave or working part-time, thereby negatively affecting their income and career progression [1].

Conclusion

Thus, the phenomenon of the "glass ceiling" remains a pressing challenge in both global and national business environments, as the persistence of gender stereotypes, discriminatory competence assessments, and structural inequality continue to result in uneven career trajectories, despite the implementation of initiatives aimed at supporting women. This situation underscores the urgent need to enhance personnel marketing by integrating the principles of gender equality and strategic inclusion at all stages of human resource management.

References

1. Андрусенко Д. Гендерний розрив у зарплатах — це «міф». 2024. URL: https://genderindetail.org.ua/season-topic/feminism-in-detail/hendernyi-rozryv-u-zarplatah-tse-mif.html
2. Близнюк В. Ґендерні відносини в економічній сфері. Основи теорії гендеру: навч. посіб. Київ: К.І.С., 2004. С. 325-351.
3. Кіммел М.С. Гендероване суспільство: пер з англ. / Майкл С. Кіммел. Київ: Сфера, 2003. 490 с.
4. Пустова Г. Чи зможуть жінки подолати «скляну стелю» у сучасному світі? 2025. URL: https://blog.liga.net/user/hapustova/article/55476
5. BBC News. “100 Women: ‘Why I Invented the Glass Ceiling Phrase’. 2017. URL: https://www.bbc.com/news/world-42026266
6. Boyd K. (2008). Glass Ceiling. Encyclopedia of Race, Ethnicity, and Society. Vol. 2 / ed. by Richard T. Schaefer. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, Inc. P. 548-551.
7. Kagan J. The Glass Ceiling: Definition, History, Effects, and Examples. 2025. URL: https://www.investopedia.com/terms/g/glass-ceiling.asp#citation-11
8. McKinsey & Company. Women in the Workplace 2024: The 10th-anniversary report. URL: https://www.mckinsey.com/featured-insights/diversity-and-inclusion/women-in-the-workplace
9. The Economist’s glass-ceiling index (March 6th 2024). URL: https://www.economist.com/graphic-detail/glass-ceiling-index
10. Wirth L. (2001). Breaking through the glass ceiling: Women in management. International Labour Office. URL: http://www.ilo.org/public/libdoc/ilo/2001/101B09_102_engl.pdf
11. Woo D. (2000). Glass ceilings and Asian Americans: the new face of workplace barriers. Walnut Creek: AltaMira Press.

УДК 339.138

Олексій Кашпур, Володимир Кочетков, проф.д.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інтеграція штучного інтелекту в систему управління: виклики, можливості та моделі цифрової трансформації в публічному секторі

У роботі проаналізовано вплив інтеграції штучного інтелекту на управлінські процеси у публічному секторі. Визначено основні переваги, такі як ефективність та прозорість, а також виклики: етичні питання, кібербезпека, адаптація законодавства. Розглянуто міжнародний досвід цифровізації та сформульовано рекомендації для України.

Вступ. Цифрова трансформація є одним із ключових пріоритетів сучасного управління та адміністрування, особливо в умовах глобалізації та стрімкого технологічного розвитку. Штучний інтелект (ШІ) стає каталізатором змін, забезпечуючи інноваційні моделі для підвищення ефективності управлінських рішень у публічному секторі. Дослідження таких експертів як Є. Кузнецова, Ю. Г. Лисенко та міжнародних організацій (OECD, Світового банку) підкреслюють необхідність вивчення особливостей інтеграції ШІ у державне управління, що робить цю тему надзвичайно актуальною. Глобальні тренди та міжнародні стандарти визначають необхідність активної адаптації державних структур до новітніх технологій, що є важливим для забезпечення конкурентоспроможності та ефективності державного управління.

Матеріали та методи. Предметом дослідження є процеси інтеграції технологій штучного інтелекту в управлінські структури публічного сектору. Використано метод системного аналізу та порівняльний метод для визначення найефективніших моделей цифровізації управлінських процесів у різних країнах. Також застосовано метод аналітичного огляду та узагальнення інформації, представленої у звітах міжнародних інституцій (OECD, Європейська комісія), наукових статтях, дослідженнях та статистичних звітах щодо застосування цифрових технологій у державному управлінні.

Результати. Аналіз міжнародного досвіду інтеграції штучного інтелекту в публічний сектор показав, що цифрові технології суттєво підвищують ефективність управлінських процесів, оптимізують роботу державних служб та покращують якість послуг для громадян. Зокрема, у країнах Європейського Союзу, таких як Фінляндія, Естонія та Данія, впровадження ШІ дозволило значно зменшити час обробки адміністративних процедур, підвищити прозорість прийняття рішень та забезпечити більш персоналізований підхід до обслуговування населення. У Фінляндії, завдяки проекту "AuroraAI", запроваджено систему, яка інтегрує різні державні сервіси в єдину платформу, що базується на алгоритмах штучного інтелекту, здатних аналізувати індивідуальні потреби громадян і пропонувати оптимальні рішення. Це значно покращує доступність послуг та знижує бюрократичні бар'єри, одночасно зменшуючи адміністративні витрати держави [2].

В Естонії цифрова платформа X-Road стала ключовим елементом у формуванні прозорої та ефективної цифрової інфраструктури. Вона забезпечує безпечний обмін даними між державними установами, бізнесом і громадянами, а поєднання великих даних із ШІ дозволяє створювати аналітичні моделі для прогнозування соціально-економічних тенденцій та оперативного реагування на виклики. Це сприяє більш гнучкому управлінню у сферах охорони здоров'я, освіти, соціального забезпечення та адміністрування податків, де автоматизація процесів призводить до підвищення якості та швидкості обслуговування [3].

Данія зосередила свої зусилля на автоматизації адміністративних процесів, зокрема впровадженні ШІ для оптимізації документообігу, обробки звернень громадян та підтримки прийняття рішень у державних органах. Це дозволило знизити людський фактор у рутинних завданнях, зменшити кількість помилок та покращити оперативність реагування на запити. Крім того, впровадження ШІ сприяло підвищенню прозорості роботи публічного сектору та посиленню довіри громадян до державних структур.

Водночас аналіз виявив низку суттєвих викликів, які потребують уваги. Основними серед них є етичні питання, пов'язані з прозорістю алгоритмів і ризиком дискримінації, а також проблеми захисту персональних даних у цифровому середовищі. Необхідність підвищення кваліфікації державних службовців стає критичною, оскільки успішна інтеграція ШІ залежить від їхньої компетентності у роботі з новими технологіями. Крім того, забезпечення кібербезпеки є ключовим елементом для запобігання кіберзагрозам, які можуть поставити під загрозу функціонування державних систем.

Згідно з дослідженнями OECD, близько 60% державних установ стикаються з труднощами у впровадженні ШІ через недостатню підготовку персоналу, юридичні обмеження та морально-етичні аспекти використання даних [4]. Вирішення цих проблем вимагає комплексного підходу, включаючи адаптацію нормативної бази, розробку етичних кодексів та інвестиції у професійний розвиток кадрів.

Для України інтеграція ШІ у публічний сектор є надзвичайно актуальною, особливо в контексті реалізації проєкту «Держава в смартфоні», що передбачає повну цифровізацію державних послуг. Використання штучного інтелекту та великих даних уможливить не лише підвищення якості обслуговування громадян, а й значне скорочення бюджетних витрат, забезпечить прозорість процесів та зменшить корупційні ризики. Однак успішність цього процесу залежить від врахування міжнародних стандартів, ефективної адаптації правових норм та створення спеціалізованих навчальних програм для державних службовців, що формуватимуть необхідні компетенції для роботи з передовими технологіями.

Висновки

Інтеграція штучного інтелекту в управлінські процеси публічного сектору є ключовим чинником цифрової трансформації та стимулом інноваційного розвитку державних інституцій. Впровадження ШІ відкриває нові можливості для автоматизації рутинних операцій, підвищення якості

прийняття рішень на основі глибокого аналізу даних, а також для створення більш персоналізованих і доступних сервісів для громадян. Незважаючи на значні переваги, зокрема підвищення ефективності роботи органів влади, оптимізацію бюджетних витрат та зміцнення довіри населення до державних інституцій, процес інтеграції ШІ супроводжується низкою складних викликів. Важливими серед них є етичні аспекти, пов'язані із забезпеченням прозорості алгоритмів, запобіганням дискримінації та захистом прав людини. Юридичні питання вимагають адаптації нормативно-правової бази для регулювання нових технологій і захисту персональних даних. Технічні виклики включають забезпечення високого рівня кібербезпеки, безперервне оновлення інфраструктури та підготовку кваліфікованих кадрів, здатних ефективно працювати з передовими цифровими інструментами.

Список літератури

1. OECD (2021). Artificial Intelligence in the Public Sector: Global Perspectives. OECD Publishing, Paris.

2. Finnish Ministry of Finance (2020). AuroraAI – National Artificial Intelligence Programme.

3. European Commission (2022). eGovernment in Estonia. URL: https://joinup.ec.europa.eu/collection/nifo-national-interoperability-framework-observatory/egovernment-estonia

4. OECD (2020). The Impact of AI on the Public Sector. OECD Digital Economy Papers, No. 291, OECD Publishing, Paris.

УДК 339.138

Олексій Кашпур, Анастасія Сімахова, проф.д.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вплив цифрових технологій на трансформацію маркетингових стратегій у глобальному бізнес-середовищі

У дослідженні розглянуто вплив інноваційних цифрових технологій на трансформацію маркетингових стратегій у глобальному бізнес-середовищі. Визначено основні технологічні тенденції, такі як застосування штучного інтелекту, аналіз великих даних і персоналізація. Також охарактеризовано переваги та потенційні ризики, пов'язані з інтеграцією цих технологій у маркетингову діяльність.

Вступ. Глобалізація, що охопила всі аспекти економічного життя, разом із стрімким розвитком цифрових технологій, докорінно змінює спосіб ведення бізнесу та комунікації з клієнтами. Маркетингове середовище стало значно більш динамічним, а конкуренція — інтенсивнішою. Це зумовлює необхідність переходу від традиційних підходів до інноваційних стратегій, які базуються на глибокій взаємодії з цифровими платформами та аналітичними інструментами. Сучасні технології, зокрема штучний інтелект (ШІ), обробка великих масивів даних (Big Data), автоматизовані CRM-системи та персоналізований маркетинг, стають невід'ємними компонентами стратегії будь-якої компанії, яка прагне не лише зберегти свою ринкову частку, а й масштабувати бізнес у глобальному масштабі. Наукові праці таких авторів, як Ф. Котлер, Д. Чаффі, та Б. Марр, акцентують увагу на важливості цифрової трансформації в маркетингових процесах і надають теоретичне підґрунтя для вивчення цього явища [1,2,3].

Матеріали та методи. Дослідження ґрунтується на міждисциплінарному підході та включає аналіз актуальної наукової літератури, звітів міжнародних консалтингових компаній, аналітичних центрів, а також практичних кейсів транснаціональних корпорацій. Основними методами дослідження стали порівняльний аналіз, теоретичне узагальнення, контент-аналіз маркетингових звітів, а також вивчення динаміки цифрових інновацій у стратегічному плануванні маркетингової діяльності. Також застосовано елементи системного підходу для виявлення взаємозв'язків між впровадженням новітніх технологій та ефективністю реалізації маркетингових стратегій у різних секторах економіки.

Результати. Результати дослідження підтверджують, що цифрові технології докорінно змінюють сучасні підходи до розробки маркетингових стратегій у глобальному бізнес-середовищі. Особливо важливою є трансформація у сфері збору, аналізу та використання даних для персоналізації контенту й комунікацій. Великі дані (Big Data) стали ключовим інструментом для побудови глибокого розуміння потреб споживачів, їхньої поведінки, купівельних шаблонів та змін настроїв, що дозволяє компаніям створювати гнучкі та цільові маркетингові кампанії [3].

На практиці це проявляється в персоналізованих рекомендаціях, індивідуальному ціноутворенні, адаптованих email-розсилках і динамічному контенті на вебсайтах. Компанії, що ефективно інтегрують такі інструменти, демонструють вищі показники конверсії, довший життєвий цикл клієнта та глибший рівень залучення. Наприклад, підхід до мікросегментації аудиторій, детального картування клієнтського шляху (customer journey) та автоматизованого A/B-тестування став стандартом для лідерів ринку [3].

Штучний інтелект (ШІ) активно використовується для автоматизації ключових процесів маркетингу: управління кампаніями, аналізу ринку, генерації текстового контенту, підтримки користувачів через чат-боти, прогнозування попиту та навіть креативного дизайну. Це дозволяє не лише оптимізувати операційні витрати, але й підвищити якість та точність маркетингових рішень [2]. Застосування AI у CRM-системах дозволяє в режимі реального часу адаптувати взаємодію з клієнтом, пропонуючи персоналізовані рішення на основі його минулої поведінки та прогнозованих дій.

Значну роль відіграють також соціальні платформи, які стали критично важливими каналами комунікації та просування у глобальному масштабі. Завдяки алгоритмам на основі ШІ і технологіям аналітики великих даних компанії мають змогу детально аналізувати поведінку користувачів, їхні інтереси, активність, емоційні реакції та ступінь залученості. Це дозволяє проводити глибокий таргетинг, динамічно адаптувати рекламні повідомлення й підвищувати рентабельність маркетингових інвестицій [3].

Крім того, цифрова трансформація сприяє підвищенню швидкості реакції компаній на зміни ринку. Автоматизація процесів, таких як обробка даних, управління контентом і логістика кампаній, зменшує людський фактор, покращує точність і забезпечує сталість виконання [2]. Цей фактор особливо актуальний в умовах високої конкуренції та постійного інформаційного перевантаження клієнтів.

Разом із тим, активна інтеграція цифрових технологій вимагає від компаній створення міждисциплінарних команд фахівців — маркетологів, аналітиків, програмістів, фахівців з UX/UI і фахівців із безпеки. Підвищення цифрової грамотності, постійне навчання персоналу та адаптація до змін — стають важливою умовою ефективної реалізації маркетингових стратегій [1].

Таким чином, цифрові технології не просто модернізують окремі маркетингові інструменти — вони змінюють саму природу маркетингу, перетворюючи його з односторонньої реклами на інтерактивну, адаптивну систему довгострокових відносин із клієнтами. У цьому контексті особливого значення набуває інтеграція інновацій у стратегії брендингу, утримання клієнтів і розширення ринку [1], [2], [3].

Висновки

Впровадження цифрових технологій у маркетингові стратегії є ключовим чинником досягнення конкурентних переваг у сучасному глобалізованому бізнес-середовищі. Інноваційні рішення, такі як штучний інтелект, аналітика великих даних та персоналізований підхід до клієнтів, дозволяють компаніям ефективніше взаємодіяти зі своєю цільовою аудиторією,

створювати більш релевантні пропозиції та підвищувати рівень лояльності споживачів. Ці інструменти трансформують не лише маркетингову комунікацію, але й саму природу взаємин між бізнесом і споживачем, забезпечуючи можливість гнучко реагувати на динамічні зміни ринку.

Загалом, цифрова трансформація маркетингу є незворотною тенденцією, яка буде тільки посилюватися в найближчі роки. Успішні компанії — це ті, хто не лише впроваджує цифрові інструменти, але й створює цілісну цифрову культуру всередині організації. Саме стратегічне бачення, технологічна гнучкість та здатність швидко адаптуватися до змін визначатимуть лідерів ринку в епоху цифрових інновацій.

Список літератури

1. Kotler, P., Kartajaya, H., Setiawan, I. (2019). Marketing 4.0: Moving from Traditional to Digital. Wiley.
2. Chaffey, D., Ellis-Chadwick, F. (2019). Digital Marketing: Strategy, Implementation and Practice (7th ed.). Pearson Education.
3. Marr, B. (2018). Big Data in Practice: How 45 Successful Companies Used Big Data Analytics to Deliver Extraordinary Results. Wiley.

УДК 339.138:658.5:004.9

Р.В. Мельник, О.Я. Ярмолюк
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вплив маркетингового інформаційного забезпечення на бізнес-процеси сучасного підприємства

Сучасні ринкові умови характеризуються високим рівнем динамічності та невизначеності, що змушує підприємства шукати нові способи підвищення ефективності своєї діяльності. Аналіз наукових праць [1, 2] свідчить, що належне маркетингове інформаційне забезпечення стає критичним фактором для прийняття управлінських рішень та оптимізації бізнес-процесів. Як зазначають Ярмолюк О.Я., Колесник М.В. та Созинова І.В. [4], маркетингові стратегії підприємств потребують належної інформаційної підтримки для своєї ефективної реалізації в сучасних умовах бізнесу.

Мета. Визначити та проаналізувати вплив маркетингового інформаційного забезпечення на оптимізацію бізнес-процесів сучасного підприємства в умовах цифрової економіки, а також впливу внутрішніх та зовнішніх факторів.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження є процеси інформаційного забезпечення маркетингової діяльності підприємств різних галузей економіки України. Дослідження базується на системному аналізі та синтезі наукових джерел. Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків використано структурно-функціональний метод. Емпіричну базу склали результати опитування керівників маркетингових відділів підприємств середнього та великого бізнесу України, опублікованого на сайті аналітичної компанії Deloitte [5].

Результати. Маркетингове інформаційне забезпечення являє собою комплексну систему збору, обробки, аналізу та інтерпретації ринкових даних з метою підтримки прийняття управлінських рішень. Проведене дослідження виявило п'ять ключових напрямів впливу цього забезпечення на бізнес-процеси підприємства (рис. 1.):



Рис. 1. Основні напрями впливу маркетингового інформаційного забезпечення на бізнес-процеси підприємства

– Оптимізація виробничих процесів через точне прогнозування споживчого попиту дозволяє підприємствам знижувати витрати та уникати перевиробництва, що підтверджують результати аналізу практик передових виробничих підприємств України.

– Трансформація логістичних процесів завдяки інтеграції маркетингової інформації сприяє покращенню координації між підрозділами, що підтверджується дослідженнями логістичних компаній, які використовують цифрові рішення.

– Персоналізація клієнтського досвіду через детальний аналіз поведінки споживачів дозволяє ефективно реагувати на їхні потреби, збільшуючи рівень задоволеності та лояльності клієнтів, що доведено практиками підприємств у сфері роздрібної торгівлі та електронної комерції.

– Підвищення точності стратегічного планування за рахунок інтеграції маркетингових даних дозволяє підприємствам своєчасно реагувати на зміни ринкових умов, що підтверджують успішні кейси компаній з високим рівнем цифрової зрілості.

– Скорочення часу розробки та виведення нових продуктів на ринок завдяки більш ефективній комунікації та співпраці між відділами, підтверджене успішними практиками інноваційних компаній.

Дослідження показало, що лише 37% українських підприємств досягли високого рівня такої інтеграції, в той час як на глобальному ринку цей показник становить 58%.

Аналіз факторів, що перешкоджають ефективній імплементації маркетингового інформаційного забезпечення в бізнес-процеси підприємств України, виявив три основні перешкоди: недостатній рівень цифрової компетентності персоналу (64% респондентів), обмеженість технічної інфраструктури (59% респондентів) та відсутність узгодженої стратегії цифрової трансформації (52% респондентів).

Результати дослідження також свідчать про наявність значної кореляції ($r=0,78$) між рівнем розвитку маркетингового інформаційного забезпечення та загальною ефективністю бізнес-процесів підприємства. Підприємства з

високим рівнем розвитку маркетингових інформаційних систем демонструють на 34% вищу рентабельність порівняно з конкурентами, які мають низький рівень розвитку таких систем.

Аналіз вітчизняних практик показує, що найбільш успішні приклади трансформації бізнес-процесів під впливом маркетингового інформаційного забезпечення спостерігаються в галузях електронної комерції, телекомунікацій та фінансових послуг. При цьому підприємства традиційних секторів економіки демонструють нижчі темпи інтеграції маркетингової інформації в свої бізнес-процеси.

Результати опитування показують, що підприємства, які ефективно інтегрують маркетингову інформацію у свої бізнес-процеси, демонструють значні переваги в рентабельності та конкурентоспроможності.

Водночас, низький рівень цифрової компетентності персоналу, обмежена технічна інфраструктура та відсутність узгодженої стратегії цифрової трансформації є основними перешкодами на шляху ефективної імплементації маркетингового інформаційного забезпечення.

Висновок

Маркетингове інформаційне забезпечення суттєво впливає на ефективність бізнес-процесів сучасних підприємств. Інтеграція маркетингової інформації дозволяє підприємствам суттєво підвищити ефективність операцій, зменшити витрати та підвищити рівень задоволеності клієнтів, що в кінцевому підсумку веде до посилення конкурентних позицій на ринку. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення критеріїв ефективності інтеграції маркетингових інформаційних систем в діяльність підприємств різних галузей економіки та розробку рекомендацій щодо подолання бар'єрів цифрової трансформації.

Список літератури

1. Котлер Ф., Катарджая Г., Сетьяван І. Маркетинг 4.0. Від традиційного до цифрового. Київ: КМ-БУКС, 2019. 224 с.
2. Окландер М. А., Окландер Т. О., Яшкіна О. І. Цифрові технології в маркетингу: монографія. Одеса: Астропринт, 2019. 292 с.
3. Старостіна А. О., Кравченко В. А. Ризик-менеджмент: теорія та практика. Київ: ІВЦ «Політехніка», 2018. 200 с.
4. Колесник М.В., Ярмолюк О.Я., Созинова І.В. Ефективність управління бізнес-процесами в ринковоіму середовищі цифрової інфраструктури. Цифрова економіка та економічна безпека, 2023, с. 97–103.
5. URL: https://www2.deloitte.com

УДК 656.7.07:004.056

І.Г. Михальченко, к.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Новітні технології контролю безпеки в аеропортах: можливості та виклики просування на ринку

Розглядаються сучасні технології авіаційного контролю безпеки, зокрема системи на основі комп'ютерної томографії, що дозволяють забезпечити вищий рівень захисту пасажирів і поліпшити користувацький досвід. Акцент зроблено на аналізі викликів, з якими стикаються авіаційні хаби при просуванні новітніх рішень на ринку, зокрема регуляторних бар'єрів, глобальної варіативності стандартів та поведінкових аспектів споживання.

Питання безпеки в авіаційних перевезеннях є одним із пріоритетних як для операторів, так і для регуляторів. Однак на тлі постійного зростання пасажиропотоку (до 500 тис. осіб щогодини у світі) та збільшення терористичних загроз зростає потреба у модернізації процедур контролю. Традиційні методи, що базуються на ручному огляді та вилученні окремих предметів, викликають невдоволення пасажирів та знижують ефективність системи. Водночас на ринку з'являються новітні технології, здатні не лише підвищити рівень безпеки, а й оптимізувати час обслуговування.

Правила, що регулюють перевезення рідин, були терміново впроваджені на глобальному рівні у 2006 році як тимчасовий захід протидії можливому використанню вибухових речовин. Попри неодноразові обіцянки їхнього скасування чи перегляду, ці обмеження продовжують діяти.

У 2019 році прем'єр-міністр Великої Британії Борис Джонсон оголосив про намір пом'якшити відповідні правила у великих аеропортах країни до 2022 року, що передбачало збільшення допустимого об'єму рідин і відміну обов'язкового окремого сканування. Втім, реалізацію цієї ініціативи було відкладено: уряд переніс термін впровадження змін на 1 червня 2024 року.

Попри те, що окремі аеропорти Великої Британії встигли реалізувати вимоги щодо оновлення систем безпеки, в інших темпи впровадження виявилися недостатніми для дотримання встановленого терміну. Більш того, вже через тиждень після настання дедлайну відбувся фактичний регрес у сфері авіаційної безпеки: Міністерство транспорту Великої Британії зобов'язало навіть ті аеропорти, де вже було встановлено новітнє обладнання, тимчасово повернутися до попереднього обмеження у 100 мл на рідини, аерозолі та гелі (РАГ).

Разом з тим, у деяких аспектах все ж спостерігається позитивна динаміка: в аеропортах, оснащених сучасними сканерами, пасажири можуть залишати ноутбуки, планшети та рідини всередині ручної поклажі під час проходження контролю безпеки.

Перелік заборонених до провезення в ручній поклажі предметів поступово розширювався протягом останніх десятиліть. Введення відповідних обмежень було зумовлене реакцією на терористичні загрози та інциденти.

Уся зброя – незалежно від її типу (вогнепальна, холодна чи вибухова) – заборонена до перевезення в ручній поклажі пасажирів. Водночас чинні норми авіаційної безпеки також передбачають суворі обмеження щодо перевезення значної кількості рідин, аерозолів, гелів, паст, лосьйонів та косметичних засобів, які поширюються навіть на продукти харчування з рідкою або м'якою консистенцією, зокрема йогурти, м'які сири та креми на основі яєць.

Згідно з офіційними положеннями уряду Великої Британії, у більшості аеропортів діють наступні вимоги щодо рідин у ручній поклажі:

– кожен контейнер не повинен перевищувати об'єм у 100 мл;

– усі ємності мають бути розміщені в одному прозорому, повторно закриваємому пластиковому пакеті об'ємом не більше одного літра, розміром приблизно 20 см × 20 см;

– вміст пакета повинен вільно розміщуватися в ньому, щоб забезпечити можливість його герметичного закриття;

– пакет не повинен бути перев'язаний або зав'язаний згори;

– дозволяється лише один такий пакет на одну особу;

– пакет обов'язково слід пред'явити під час проходження контролю безпеки в аеропорту.

Крім того, заборонено перевозити заморожені рідини. Уряд також зазначає, що рішення щодо допустимості певних предметів залишається за співробітниками служби безпеки, які мають право вилучити будь-який об'єкт, що, на їхню думку, становить потенційну загрозу, навіть якщо він формально не входить до списку заборонених.

Запровадження обмежень на перевезення рідин стало наслідком посилення глобальних заходів авіаційної безпеки у серпні 2006 року. Тоді уряд Великої Британії оголосив про викриття терористичної змови, метою якої було здійснення вибухів на борту трансатлантичних рейсів, що прямували з аеропорту Хітроу до Північної Америки. Ця подія стала поштовхом до негайного впровадження нових правил, які значно обмежили можливість перевезення рідких речовин на борту літаків.

Сучасні системи сканування, що використовуються в аеропортах, засновані на технології комп'ютерної томографії (КТ), аналогічній тій, яка застосовується в медичній діагностиці. Ці сканери дозволяють проводити детальний аналіз молекулярної структури вмісту ручної поклажі, забезпечуючи виявлення потенційно небезпечних об'єктів та формуючи тривимірне зображення для співробітників служби безпеки.

Окрім того, зазначене обладнання дає змогу оцінювати рівень ризику, пов'язаний з електронними пристроями, зокрема ноутбуками та іншими гаджетами. Завдяки цьому в аеропортах, де впроваджена дана технологія, пасажирам більше не потрібно виймати рідини або електроніку з ручної поклажі під час проходження контролю.

Основна мета впровадження таких систем полягає в підвищенні рівня безпеки завдяки більш точній і ефективній ідентифікації загроз. Це також сприяє зменшенню потреби у вторинних перевірках, що, своєю чергою, дозволяє персоналу зосередитися на аналізі поведінкових маркерів пасажирів.

З погляду користувацького досвіду, нова технологія значно покращує умови проходження контролю: пасажири не зобов'язані розбирати вміст своєї поклажі, а сам процес стає менш напруженим і комфортнішим.

У деяких аеропортах РАГ все ще потрібно перевозити в прозорому пластиковому пакеті, що закривається, об'ємом не більше одного літра, і вилучати його під час перевірки на безпеку. Але в багатьох аеропортах Великобританії, де вже встановлено сучасне обладнання, рідини можна залишати в багажі пасажира, серед яких Абердін, Міжнародний аеропорт Белфаста, Бірмінгем, Брістоль, Единбург, Гатвік, Лідс Бредфорд, Лондон Сіті, Лутон, Ньюкасл, Саутенд, Тіссайд. В інших ключових аеропортах встановлення обладнання нового покоління йде повним ходом, але ще мають старі технології.

9 червня 2024 року аеропорти, які вклали десятки мільйонів фунтів стерлінгів, щоб вкластися у встановлений урядом термін, несподівано отримали наказ відновити ліміт у 100 мл. Наприклад, у аеропортах Лондон-Сіті та Тіссайд нові сканери добре працювали більше року. Це не було повним скасуванням; пасажири, як і раніше, зможуть залишати рідини, аерозолі, гелі тощо в ручній поклажі, однак вони повинні бути в контейнерах об'ємом не більше 100 мл. У той час Департамент транспорту описав це як «тимчасовий крок», щоб «уможливити подальше вдосконалення нових систем контролю в пунктах пропуску».

Глобальна неоднорідність вимог до авіаційної безпеки становить суттєву проблему для як фахівців галузі, так і пасажирів. У різних країнах спостерігається варіативність правил: наприклад, у частині аеропортів Великої Британії обов'язкове вилучення електроніки, тоді як в інших – ні; обмеження на рідини також не є уніфікованими.

ЄС та Шенгенська зона з 1 вересня 2024 року повернулись до попередніх правил через сумніви щодо ефективності нових технологій. Це викликало труднощі для аеропортів, що першими їх впровадили. В Ізраїлі діють окремі процедури — наприклад, поглиблений контроль із дозволом на провезення рідин (за винятком рейсів до США). Загалом, очікувати єдиних стандартів авіаційної безпеки не слід — навіть у межах однієї країни, як-от Великої Британії, де в окремих регіональних аеропортах перевірки не здійснюються з 2017 року.

США застосовують жорсткі вимоги й до вхідних міжнародних рейсів. Особливу увагу приділено перевезенню порошкоподібних речовин, а правило обмеження рідин до 100 мл суворо дотримується. Адміністрація транспортної безпеки (TSA) попереджає про можливе продовження процедур контролю, включаючи перевірку електроніки та особистих речей. Порошки об'ємом понад 350 мл рекомендовано пакувати у зареєстрований багаж, оскільки незрозумілі речовини в ручній поклажі можуть бути заборонені.

У той час як аеропорти інвестують значні кошти у впровадження нових технологій, кінцева мета полягає в зменшенні операційних витрат і підвищенні ефективності. За даними генерального директора IATA Віллі Волша, модернізація процесів безпеки має забезпечити оптимізацію обслуговування пасажирів без суттєвого зростання витрат.

У 2019 році IATA охарактеризувала стан систем авіаційної безпеки як «більш нестійкий», вказуючи на зростання викликів і потребу в трансформації. Протягом понад десятиліття IATA у співпраці з аеропортами реалізує ініціативу

«Розумна безпека» (Smart Security), спрямовану на підвищення ефективності контролю за рахунок технологічних рішень. Концепція передбачає поетапне скасування традиційних процедур, таких як проходження через металодетектори та фізичний огляд, на користь безконтактного моніторингу за допомогою інтелектуальних сенсорів. Ідеальна модель полягає у створенні коридорів контролю, де пасажир проходитиме перевірку майже непомітно для себе, у той час як система в режимі реального часу оцінюватиме потенційні загрози.

Хоча контрольні пункти й надалі залишатимуться укомплектованими персоналом, роль співробітників служби безпеки зосередиться на поведінковому аналізі пасажирів та ідентифікації осіб, які можуть становити загрозу. Проте, як демонструє досвід часткового скасування перевірок у низці аеропортів Великої Британії та Європейського Союзу, реалізація таких інновацій потребує значного часу та подальшого удосконалення нормативно-технічної бази.

Висновок

Проблематика авіаційної безпеки в сучасному світі характеризується високим рівнем складності, що зумовлено поєднанням технологічних, нормативних і поведінкових чинників. Незважаючи на багаторічні зусилля міжнародних організацій, зокрема IATA, спрямовані на модернізацію систем контролю та запровадження концепції «розумної безпеки», значна кількість аеропортів продовжує дотримуватися застарілих процедур, які не лише ускладнюють подорож для пасажирів, але й не завжди забезпечують очікуваний рівень ефективності.

Глобальна неуніфікованість правил — як щодо обмежень на рідини, аерозолі й гелі, так і щодо перевірки електронних пристроїв — створює виклики як для пасажирів, так і для операторів аеропортів. Попри технологічні досягнення, впровадження новітнього обладнання відбувається нерівномірно, що ускладнює гармонізацію процедур безпеки. Окремі випадки, як-от повернення до обмеження у 100 мл навіть в аеропортах із сучасними сканерами, засвідчують наявність нормативно-організаційних бар'єрів, що стримують прогрес.

Отже, забезпечення авіаційної безпеки вимагає комплексного підходу, який поєднує впровадження інноваційних технологій, удосконалення нормативної бази та врахування людського фактора. Лише завдяки скоординованим міжнародним зусиллям можливо досягти як високого рівня безпеки, так і підвищення якості користувацького досвіду авіапасажирів.

Список літератури

1. Simon Calder. UK airport security rules: What to know as some airports change 100ml liquid requirements, 2025. Independent. URL: https://www.independent.co.uk/travel/news-and-advice/100ml-liquid-rule-uk-airport-security-hand-luggage-b2730110.html.
2. Офіційний сайт IATA. URL: www.iata.org.

UDC 339.138:658.8

T.S. Kaidashova, Olha Polous, Doctor in Economics, Professor,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Brand promotion strategies of an innovative companies in the context of digital transformation

The research examines key digital strategies for brand promotion in innovative companies. The role of social media, personalization, and technological tools is discussed. Special attention is paid to adapting marketing communications in the digital environment and creating a strong, recognizable brand identity.

In the contemporary landscape of an increasingly dynamic and data-centric digital economy, forward-thinking enterprises are encountering both unprecedented avenues for strategic brand positioning and multifaceted challenges associated with market differentiation. The proliferation of advanced digital technologies has catalyzed a paradigmatic shift in marketing paradigms - replacing linear, unidirectional messaging with immersive, interactive, and algorithmically personalized brand engagements.

Digital transformation, in this context, denotes the systemic integration of digital innovations across all functional domains of enterprise activity, engendering a fundamental reconfiguration of value co-creation and customer interface mechanisms. Within the domain of brand promotion, such transformation enables real-time, bidirectional communication, hyper-segmented audience targeting, and sustained consumer involvement through a constellation of interconnected digital platforms and touchpoints.

One of the most pivotal dimensions of contemporary brand promotion is the strategic cultivation of brand visibility within highly saturated and competitive digital ecosystems. Progressive enterprises employ a synergistic integration of advanced digital instruments—encompassing social media platforms, search engine optimization (SEO) techniques, influencer-based outreach, and content-driven engagement frameworks—to amplify brand presence and resonance across diverse market segments[1]. Digital environments such as Instagram, LinkedIn, YouTube, and TikTok serve as multifaceted communicative arenas that enable brands to articulate their identity, project organizational values, and foster affective brand-consumer affiliations through visually and contextually rich narrative strategies.

According to a 2024 survey by DigitalBrandPulse [2], 87% of innovative companies reported that digital platforms significantly improved their brand visibility compared to traditional channels. Data analytics, AI algorithms, and CRM systems allow companies to understand user preferences, behavior, and purchasing history. This enables them to create customized messages, product recommendations, and personalized offers. Personalized emails, retargeted ads, and dynamic content delivery improve conversion rates and foster brand loyalty[3].

For instance, AI-powered personalization increases average customer engagement time by up to 35%, as shown in the Table 1. An innovative company must offer modern products or services and reflect innovation through its branding.

This includes focusing on sustainability, inclusivity, and transparency, which have become crucial to younger consumers.

Augmented reality (AR), chatbots, and interactive storytelling are increasingly used to create memorable brand experiences. Nike's virtual try-on service and IKEA's AR furniture app are prominent examples of innovation-enhancing branding.

Table 1

Comparison of branding metrics with and without personalization

Metric	Without Personalization	With AI-Powered Personalization	Growth (%)
Average time on site (min)	2.3	3.1	+35%
Click-through rate (CTR, %)	1.8	2.9	+61%
Customer retention rate (%)	62	78	+26%
Conversion rate (%)	2.5	3.8	+52%

Modern branding requires consistency across all digital and physical touchpoints. From social media to mobile apps and e-commerce platforms, companies must deliver a seamless experience [4]. Omnichannel marketing enhances convenience and satisfaction while strengthening brand recognition.

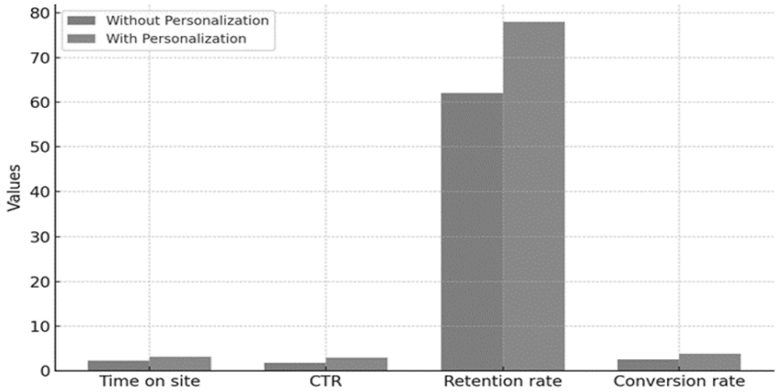


Fig. 1. Impact of AI-powered Personalization on Branding Metrics

As reported by McKinsey[5], organizations that operationalize comprehensive omnichannel strategies exhibit a 91% higher year-over-year customer retention rate compared to entities limited to singular or dual-channel engagement modalities. This empirical evidence underscores the strategic efficacy of integrative digital frameworks in sustaining consumer loyalty across fragmented media landscapes.

Nonetheless, the deployment of digital brand promotion strategies is not devoid of systemic vulnerabilities. Critical challenges include frequent algorithmic recalibrations by dominant platforms, escalating concerns regarding data privacy

and regulatory compliance, audience desensitization to promotional content (commonly referred to as ad fatigue), and diminishing organic visibility due to platform overreliance—particularly on conglomerates such as Meta and Google. Additionally, the exponential proliferation of digital content contributes to a saturated informational environment, thereby complicating brand differentiation and visibility[6].

To mitigate these structural and operational risks, forward-looking firms are encouraged to institutionalize ethical marketing paradigms, prioritize the acquisition and strategic utilization of first-party data assets, and cultivate enduring, trust-based consumer relationships through value-driven engagement models.

Conclusion

In the age of digital transformation, brand promotion strategies must be adaptive, data-driven, and innovation-centric. Personalization, omnichannel presence, and immersive technologies provide a competitive edge for innovative companies. However, maintaining brand authenticity and trust remains essential for long-term success. The ability to combine creativity with technological tools is what defines a successful brand strategy in the modern global space.

References

1. Chaffey D., Ellis-Chadwick F. (2019). Digital Marketing. 8th ed. Harlow: Pearson Education.
2. DigitalBrandPulse. Digital Marketing Metrics in 2024: Global Trends. Annual Study.
3. Kapferer J.-N. (2012). The New Strategic Brand Management. London: Kogan Page.
4. Kotler P., Kartajaya H., Setiawan I. (2021). Marketing 5.0: Technology for Humanity. Hoboken: Wiley.
5. McKinsey & Company (2021). Omnichannel: The Path to Value. Report. URL: https://www.mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/the-survival-guide-to-omnichannel-and-the-path-to-value
6. Ryan D. (2016). Understanding Digital Marketing: Marketing Strategies for Engaging the Digital Generation. London: Kogan Page.

УДК 339.138:656.7:004.738.5

О.О. Казанська, к. держ. упр., доцент, Р.Д. Падалко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Аналіз використання інструментів цифрового маркетингу в діяльності міжнародної авіакомпанії

У тезах досліджено особливості використання інструментів цифрового маркетингу в діяльності міжнародної авіакомпанії Aer Lingus. Обґрунтовано актуальність орієнтації на молодіжний цільовий сегмент (18–25 років) у контексті цифрової трансформації ринку авіаперевезень. Проведено SWOT-аналіз, що дозволив виявити сильні сторони компанії, її слабкі місці, потенційні можливості та загрози. Розглянуто ефективність SEO, таргетованої реклами, email-маркетингу, мобільного додатку, інфлюенсер-маркетингу та соціальних мереж як ключових інструментів залучення молодої авдиторії та підвищення конкурентоспроможності бренду.

У сучасних умовах цифровізації економіки та зростаючої конкуренції на глобальному ринку авіаперевезень компанії змушені переглядати традиційні підходи до маркетингу та шукати нові шляхи взаємодії з клієнтами. Одним із ключових напрямів трансформації є впровадження цифрових інструментів маркетингової комунікації, що забезпечують персоналізацію, оперативність та охоплення широкої авдиторії.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю адаптації авіакомпаній до змін у поведінці споживачів, насамперед серед молоді, яка формує нові вимоги до брендів і взаємодіє з ними переважно в цифровому середовищі.

Aer Lingus - національний авіаперевізник Ірландії, заснований у 1936 році. Штаб-квартира компанії розташована в Клорані, поблизу аеропорту Дубліна. З 2015 року Aer Lingus є дочірньою компанією міжнародного авіаційного холдингу International Airlines Group (IAG), до якого також входять British Airways, Iberia та Vueling. Авіакомпанія обслуговує понад 90 напрямків у Європі, Північній Америці та Північній Африці, використовуючи флот із 57 літаків Airbus, включаючи моделі A320, A321LR/XLR та A330. Aer Lingus дотримується гібридної бізнес-моделі, поєднуючи елементи традиційного та лоукост-перевізника: на європейських рейсах пропонується змішаний тарифний сервіс, а на трансатлантичних - повноцінне обслуговування з двома класами обслуговування. Компанія має програму лояльності AerClub, яка використовує систему балів Avios, та підтримує кодшерінгові угоди з такими авіакомпаніями, як British Airways, Etihad Airways, KLM, JetBlue та United Airlines [1].

Aer Lingus демонструвала стабільне фінансове зростання до пандемії COVID-19. У 2019 році компанія отримала дохід у розмірі €2,125 мільярда та чистий прибуток €225 мільйонів. Проте у 2020 році через пандемію дохід зменшився до €467 мільйонів, а чистий збиток склав €502 мільйони. У 2023 році Aer Lingus відновила прибутковість, отримавши дохід у розмірі €2,147 мільярда та чистий прибуток €169 мільйонів. Однак у 2024 році компанія зіткнулася з фінансовими труднощами через страйк пілотів, який призвів до скасування

понад 600 рейсів. Прямі витрати, пов'язані з цим страйком, оцінюються в €55 мільйонів, що включає витрати на оренду літаків, компенсації пасажирам та інші витрати [2].

У зв’язку з високою конкуренцією на ринку пасажирських перевезень та потребою в оновленні клієнтської бази, Aer Lingus спрямувала зусилля на пошук перспективного цільового сегменту. Аналіз макросередовища дозволив визначити фактори, що впливають на діяльність компанії, а саме:

1. Економічні фактори:

- зростання вартості подорожей через інфляцію;
- загальний приріст світового туризму на 11% у 2023–2024.

2. Технологічні фактори:

- активне використання ШІ та аналітики для прогнозування попиту;
- зростання ролі відеоконтенту в соцмережах (TikTok, Reels);
- удосконалення застосунків: рекомендації, гейміфікація, реальні оновлення рейсів.

3. Соціальні фактори:

- молодь обирає подорожі замість матеріальних благ;
- підвищений попит на сталий туризм та прозорість щодо викидів;
- популярність автентичних культурних вражень, що співвідносяться з ірландською ідентичністю бренду.

4. Політико-правові фактори:

- регламенти ЄС щодо компенсацій за затримки;
- вимоги до впровадження екологічних стандартів (SAF);
- дотримання норм GDPR щодо захисту персональних даних.

З метою комплексної оцінки ринкових умов було здійснено SWOT-аналіз, результати якого занесено у Табл. 1:

Таблиця 1

SWOT-аналіз авіакомпанії Aer Lingus

Сильні сторони (Strengths)	**Слабкі сторони (Weaknesses)**
1	2
Сильний бренд і репутація ірландської гостинності ("You’re Very Welcome")	Менша маршрутна мережа порівняно з основними конкурентами
Високий рівень сервісу у порівнянні з лоукостерами	Низька цифрова активність у соцмережах (менше підписників, низька залученість)
Стратегічне трансатлантичне позиціювання (100+ маршрутів між Європою та Північною Америкою)	Обмежене використання сучасних цифрових інструментів
Різноманітна клієнтська база (туристи, бізнесмандрівники, молодь)	Залежність від обмеженого числа основних ринків
Можливості (Opportunities)	**Загрози (Threats)**
Розширення цифрових інструментів (чат-боти, персоналізація, мобільний додаток)	Агресивна конкуренція з боку Ryanair, Delta, British Airways, Lufthansa, KLM

Продовження табл.1

1	2
Кампанії в TikTok та Instagram для залучення молодіжної аудиторії	Волатильність цін на паливо, що впливає на рентабельність
Відкриття нових трансатлантичних маршрутів (Денвер, Лас-Вегас тощо)	Посилення екологічної свідомості – популярність потягів і альтернативних подорожей
Акцент на екологічну відповідальність (SAF, модернізований флот)	Суворе регулювання в ЄС (компенсації, екологічні стандарти, захист персональних даних)

Проведений SWOT-аналіз надав можливість зробити висновок про те, що одним із головних викликів для Aer Lingus є необхідність зміцнення ринкових позицій у конкурентному середовищі, де лоукостери активно залучають нових клієнтів за рахунок цінової політики та агресивного цифрового просування. У такому контексті компанії доцільно сконцентрувати маркетингову стратегію на перспективних цільових групах, які забезпечать довгострокову лояльність, стабільний попит і високий рівень цифрової взаємодії.

З огляду на аналіз макро- та мікросередовища, Aer Lingus визначає як ключовий цільовий сегмент молодь віком 18–25 років – студентів, молодих спеціалістів, учасників програм академічної мобільності (Erasmus, обміни тощо) та цифрово активних мандрівників.

Цей сегмент є перспективним з огляду на такі чинники:

1. Цифрова активність – молоді споживачі активно використовують соціальні мережі, мобільні застосунки та онлайн-платформи для планування подорожей;
2. Готовність до подорожей – молодь зацікавлена у відкритті нових культур, коротких вікендів та академічних програм (наприклад, Erasmus), що генерує попит на доступні авіаперельоти;
3. Вплив на формування іміджу бренду – покоління Z активно ділиться відгуками в онлайн-просторі, створюючи потужний ефект соціального доказу;
4. Лояльність через досвід – позитивний користувацький досвід у ранньому віці сприяє формуванню довгострокової прихильності до бренда;
5. Відкритість до digital-комунікації – споживання контенту через TikTok, Instagram, YouTube, чат-боти та email-маркетинг є для них звичним середовищем.

Таким чином, орієнтація на молодіжний сегмент є стратегічно виправданою для Aer Lingus, оскільки дозволяє формувати нову хвилю лояльних клієнтів, активізувати цифрові канали продажів і зміцнити бренд у динамічному конкурентному середовищі.

Ці особливості зумовлюють необхідність застосування цифрового маркетингу для ефективної комунікації з цим сегментом. У випадку Aer Lingus застосовуються такі інструменти:

– таргетована реклама (Google AdWords, Instagram, TikTok Ads) із акцентом на студентські знижки та сезонні пропозиції;

– інфлюенсер-маркетинг, який створює довіру через реальні історії користувачів;

– соціальні мережі, що дають змогу формувати бренд через інтерактивний контент, конкурси та відео;

– мобільний застосунок, який надає персоналізовані рекомендації, бонуси та зручний функціонал для бронювання;

– email-розсилки, адаптовані під стиль і потреби молодіжної аудиторії.

Висновки

Проведений аналіз доводить, що орієнтація на молодіжний сегмент (18–25 років) є стратегічно обґрунтованою для Aer Lingus в умовах цифрової трансформації ринку авіаперевезень. Високий рівень цифрової активності молоді, чутливість до контенту в соцмережах, потреба у персоналізації та вплив на формування бренду роблять цю аудиторію пріоритетною. Цифрові інструменти, зокрема таргетована реклама, email-маркетинг, мобільні додатки, соціальні мережі та інфлюенсер-комунікації, сприяють підвищенню впізнаваності бренду, залученню нових клієнтів та формуванню лояльності. Надалі доцільно розвивати персоналізовані сервіси та вдосконалювати цифрову присутність компанії з урахуванням динаміки поведінки молодіжної цільової групи.

Список літератури

1. Wikipedia. (2025). Aer Lingus. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/ Aer_Lingus *(дата звернення 11.04.2025)*

2. Lingus, A. (2024). Aer Lingus delivers profits of €225m in 2023. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://mediacentre.aerlingus.com/ pressrelease/details/108/19118 *(дата звернення 11.04.2025)*

3. Lingus, A. (2024). About Aer Lingus. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://mediacentre.aerlingus.com/factsheet/about-aer-lingus *(дата звернення 11.04.2025)*

4. AirTravelGenius. Easyjet vs Ryanair - Low Cost Airlines Comparison by Numbers (2020). [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https:// www.airtravelgenius.com/easyjet-vs-ryanair/*(дата звернення 11.04.2025)*

УДК 658.8:005.591.6

Т.М. Хайдарова, І.М. Сабірова
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Інновації маркетингу, які допоможуть посилити стратегію просування

Розглянуто 5 інновацій маркетингу, які допоможуть посилити стратегію просування шляхом поєднання творчого і технологічного підходів на всіх етапах рекламної кампанії.

Маркетинг, особливо цифровий, – це сфера, що динамічно розвивається, яка знаходиться в процесі постійної трансформації. Соціальні мережі та штучний інтелект, великі дані та віртуальна реальність – сучасна реклама активно освоює нові технології у пошуках більш ефективних способів просування продуктів та послуг.

Як результат, майже 80% маркетологів згодні з тим, що за останні кілька років галузь змінилася більше, ніж за попередні п'ять десятиліть.

У відповідь народилася концепція інноваційного маркетингу, яка пропонує поєднувати творчий і технологічний підходи в усіх етапах рекламної кампанії.

В основі такого підходу лежить постійний пошук нових ідей та інструментів для створення конкурентоспроможних пропозицій. Прихильників маркетингу інновацій з кожним роком стає дедалі більше: вже понад 50% маркетологів у всьому світі відчули необхідність використовувати нові рішення для просування своїх послуг та товарів.

Розглянемо деякі х них.

1.Гейміфікація. Суть гейміфікації – перетворити будь-який процес на гру. Цей підхід знайшов своє застосування у маркетингу. Для взаємодії з аудиторією бізнес все частіше використовує ігрові формати: запускає різні ігри, розіграші та конкурси, які дозволяють отримати приз у вигляді товару чи знижки. Залучаючи клієнтів до гри, компанія стимулює їх продовжувати користуватися товаром чи послугою, а також привертає увагу аудиторії, збільшує лояльність, формує репутацію бренду та підвищує його впізнаваність.

Найчастіше гейміфікація реалізується у кількох форматах:

• Невеликі ігри на сайті компанії, в мобільному додатку або окремих лендингах. Також популярні варіанти ігор у соціальних мережах, у тому числі з використанням сторіс – за рахунок обмеженого часу перегляду вони змушують користувачів щодня та уважно стежити за новими публікаціями.

• Взаємодія з клієнтами у рамках програм лояльності.

Важлива складова гейміфікації – інтерактивність. Більшість рекламного контенту, як правило, статична (пости в соціальних мережах, статті у виданнях і навіть відео на хостингах) – тобто аудиторії не доводиться активно взаємодіяти з ним, щоб отримати інформацію.

2.Штучний інтелект (ШІ). Штучний інтелект сьогодні проникає у всі сфери життя та роботи, і маркетинг не виняток. Наприклад, інструменти ІІ

можна використовувати для тонкого аналізу та побудови гіпотез на основі масивів даних, для надання інформації про клієнтів або автоматизації деяких маркетингових процесів.

Ось кілька популярних варіантів застосування ШІ в маркетингу:

• Генерація контенту – розробка нових ідей, написання текстів, створення зображень та відео тощо. Зараз генеративний ШІ частіше використовується для натхнення, начерків та чернеток, і 95% маркетологів редагують контент, написаний нейромережами. Однак немає сумнівів, що з розвитком технологій ШІ справлятиметься з подібними завданнями все краще.

• Сегментація аудиторії – ШІ дозволяє швидко вибирати з масиву користувачів тих, хто відповідає певним, часто множинним умовам, щоб спрямовувати їм індивідуальні рекламні пропозиції.

• Пошукова оптимізація – за допомогою ШІ можна автоматизувати такі SEO-завдання, як аналіз ключових слів, побудова посилань, виявлення актуальних закономірностей видачі та просування сайтів.

• Створення персоналізованих рекомендацій на основі аналізу інтересів та вже здійснених покупок клієнта.

• Автоматизація email-маркетингу – ШІ, зокрема, допомагає створювати контент-план, писати тексти, верстати листи, планувати їхнє відправлення, покращувати доставляння та відкритість.

Згідно з дослідженням Gitnux, ці та інші можливості штучного інтелекту вже використовують майже 54% маркетологів. Ще 38% мають намір впровадити відповідні технології у свою стратегію найближчим часом

3.Big Data. Великі дані – це структуровані і не дуже масиви інформації, зібрані з різних джерел. Кожен перегляд реклами, клік за посиланням або покупка стають частиною цих цифрових даних. При грамотному аналізі можливості застосування Big Data практично не обмежені, причому для всіх етапів роботи з продуктом: від розробки до персоналізованої онлайн-комунікації.

Маркетинг на основі Big Data дозволяє краще пізнати своїх клієнтів, щоб якісно сегментувати аудиторію та потім запропонувати кожній групі максимально персоналізований досвід взаємодії з продуктом.

Приклад, як це працює – у недавньому кейсі для фармацевтичного бренду від команди martech-платформи First Data.

Щоб налаштувати рекламну кампанію для препарату ентеросорбенту, цільовою аудиторією виявили користувачів, які з великою ймовірністю купують такі препарати. Подібні сегменти можна зібрати завдяки аналізу деперсоналізованих даних щодо купівельної активності.

За зібраними сегментами запустили 10- та 30-секундні рекламні ролики в соціальних мережах. Використовували тематичні та сезонні креативи. Завдяки точному націленню на базі Big Data вдалося досягти і навіть перевищити поставлений KPI. Дохідність на сайт зросла на 56%, а VTR становив 76% для 10-секундних роликів та 58% для 30-секундних відео.

4.Іммерсивні технології. Ще одна інновація у маркетингу. З розвитком технологій віртуальної та доповненої реальності бізнес отримав шанс вийти на новий рівень персоналізації та взаємодії з клієнтом. За допомогою VR та AR у

поєднанні з алгоритмами штучного інтелекту, компанії можуть оперативно підлаштовуватися під дії користувача, реагувати на його запити в режимі реального часу або передбачати поведінку покупців, щоб рекомендувати товари, виходячи з їх переваг.

Серед різних варіантів використання іммерсивних технологій у маркетингу можна згадати три:

• Віртуальні примірювальні – спеціальні програми дозволяють, не виходячи з дому, приміряти одяг, аксесуари та зачіски або протестувати декоративну косметику. Для цього використовуються фотографії клієнта, сканери тіла, віртуальні манекени та дзеркала.

• Віртуальні презентації товарів. Наразі необов'язково везти габаритний об'єкт на виставку. Продемонструвати новинку публіці та навіть дати можливість повзаємодіяти з нею тепер можна, наприклад, за допомогою VR-окулярів.

• Віртуальні заходи.

5.Нейромаркетинг. Нейромаркетинг з'явився на стику психології, нейрофізіології та маркетингу. Його ідея заснована на тому, що переважна кількість рішень людина приймає підсвідомо, на підставі емоцій, інстинктів, минулого досвіду та інших факторів. Покупець може вибрати товар конкретної марки з ряду подібних, тому що йому підсвідомо сподобалося слово в назві або колір оформлення упаковки.

Нейромаркетинг досліджує підсвідомі реакції людського мозку на різні подразники, щоб краще зрозуміти нераціональну складову відгуку на рекламні пропозиції. Побачивши закономірності сприйняття, особливості мотивації та формування переваг, маркетологи можуть підвищити привабливість реклами.

Виміряти фізіологічні та нейронні сигнали в різних ситуаціях можна, наприклад, за допомогою:

• сканування мозку, яке вимірює нейронну активність;

• моніторингу рухів очей, частоти пульсу та інших фізичних показників активності під час взаємодії з рекламою;

• перевірки на поліграфі, який вимірює фізіологічний рівень відгуку пропозицію.

В Україні нейромаркетингові дослідження поки що поширені мало, через свою високу вартість, а також складність інтерпретації та застосування результатів.

Проте експерти вважають, що цей інструмент має гарне майбутнє, адже 85% рішень про купівлю приймаються несвідомо. У ситуації посилення конкурентної боротьби та зниження ефективності класичної реклами компанії обов'язково захочуть дізнатися, що насправді рухає покупцями, коли вони обирають той чи інший продукт.

Щоб залучати нових клієнтів, утримувати лояльних користувачів та збільшувати продажі, маркетологу сьогодні просто необхідно стежити за останніми трендами та інноваціями у маркетингу.

Наведений вище список включає лише деякі з ефективних інструментів, які фахівці можуть використовувати, щоб посилити свій маркетинговий план і адаптувати його до зростаючих запитів і змін смаків аудиторії.

УДК 658.15:005.334(043.2)

К.М. Стремінська,
Н.В. Васюткіна, д.е.н., професор,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Управління операційними ризиками в діяльності підприємств: виклики та підходи до мінімізації

У роботі розглянуто сутність операційних ризиків підприємств, їх джерела, а також методи управління та мінімізації. Досліджено основні підходи до визначення операційних ризиків, визначено джерела їх виникнення, зокрема людський фактор, недосконаліть бізнес-процесів, технологічні збої та зовнішні події. Окреслено ключові методи управління ризиками, серед яких диверсифікація діяльності, автоматизація бізнес-процесів, підвищення кваліфікації персоналу, страхування ризиків та резервування фінансових ресурсів.

В умовах нестабільності та постійних змін, що відбуваються у бізнес-середовищі підприємства, необхідність в управлінні ризиками зростає, а особливо операційними. Операційні ризики є важливим компонентом загальної системи ризик-менеджменту підприємства, оскільки вони безпосередньо впливають на його ефективність, фінансову стабільність та конкурентоспроможність. Невизначеність бізнес-середовища підприємства може спричинити значні економічні втрати, що обумовлює необхідність розроблення та впровадження ефективних механізмів управління ризиками. Визначення джерел операційних ризиків, їх оцінка та розробка заходів щодо їх мінімізації є пріоритетними завданнями для підприємств різних галузей економіки.

Операційна діяльність підприємства включає виробництво товарів, надання послуг та реалізацію продукції, що нерозривно пов'язана з операційними ризиками, які впливають на її ефективність. Отже, операційні ризики є невід’ємною складовою діяльності підприємств. Такі автори, як С. Кінгслі, М. Кроухі, Д. Галай і Р. Марк , а також Ганібал Аффонсо, характеризують операційний ризик як виникнення перебоїв в операційних процесах, що виникають у внутрішньому або зовнішньому середовищі та пов’язані з неправильним управлінням ресурсами та подіями, які впливають на діяльність підприємства [1].

У «Стратегії управління ризиками АТ КБ «ПРИВАТБАНК», зазначається, що операційний ризик являє собою ймовірність виникнення збитків або додаткових втрат, або недоотримання запланованих доходів внаслідок недоліків або помилок в організації внутрішніх процесів, дій працівників або інших осіб, збоїв у роботі систем або внаслідок зовнішніх факторів [2]. Аналогічного твердження притримуються Посохов І. М., Коваленко В. В., Гончар К. О. [3; 4]. У свою чергу Співак С.М. [5] зазначає, що операційні ризики, пов’язані з внутрішніми процесами підприємства, такими як перебої в роботі обладнання, помилки персоналу та недоліки у виробничих процесах.

Міщенко В. І., Міщенко С. В. та Тіщенко Є. розглядають операційні ризики через призму їх економічної природи, характеризуючи їх як складний комплексний вид ризиків, що пов'язаний з широким спектром напрямів діяльності, продуктів, послуг та процесів, функціонування технічних засобів, роботою працівників, взаємодії з клієнтами та постачальниками, а також впливом зовнішніх факторів, що може призвести до прямих та непрямих збитків [6, с. 44; 7, с. 92].

Виходячи з приведених тверджень, можемо охарактеризувати операційний ризик – як ризик виникнення збитків, зумовлених недоліками у внутрішніх операціях та процесах підприємства, включаючи помилки персоналу та порушення, які відбуваються у бізнес-процесах. Отже, операційні ризики зазвичай виникає з чотирьох різних джерел: люди, бізнес-процеси, технології та зовнішні події.

Операційний ризик, спричинений людським фактором, може бути результатом непрофесійності або некомпетентності працівників. Також охоплює всі аспекти діяльності працівників, які можуть призвести до порушень у роботі підприємства. Основними причинами таких ризиків є: відсутність необхідних навичок, знань або досвіду може спричинити помилки в операційних процесах; неналежне виконання обов’язків, невідповідальність або несвоєчасне виконання завдань можуть вплинути на ефективність діяльності підприємства; зловживання службовим становищем, нечесні дії з боку співробітників можуть завдати підприємству фінансових збитків; стрес, перевтома, емоційне вигорання, особисті проблеми працівників можуть негативно позначатися на їхній продуктивності та прийнятті рішень.

Бізнес-процеси є основою функціонування підприємства, тому будь-які збої або недоліки в їх організації можуть призвести до значних ризиків, де основними аспектами в них є неефективна організація процесів, помилки в управлінні, неналежна система внутрішнього контролю, логістичні проблеми. Відсутність чітких регламентів, дублювання функцій, недостатня автоматизація можуть призводити до збоїв у роботі. Прийняття неправильних рішень через недостатню інформацію або неефективний контроль може спричинити фінансові та репутаційні втрати. Підприємство у своїх бізнес-процесах, підпадають під вплив ризику через незадовільний внутрішній контроль, зокрема відсутність ефективного моніторингу та аналізу бізнес-процесів може призвести до накопичення ризиків та їх реалізації. Серед логістичних проблем виділяється перебої в постачанні, неефективне управління запасами, відсутність альтернативних джерел постачання можуть порушити операційну діяльність.

Технологічні ризики є невід’ємною частиною сучасного бізнесу, оскільки підприємства значною мірою залежать від цифрових рішень. Операційний ризик включає ймовірність того, що технології, які використовує підприємство можуть бути застарілими, мати технічні недоліки, що призводять до збільшення впливу кіберзлочинності. Серед застарілих або неефективних технологій, можна виділити використання морально застарілих систем може сповільнювати операційні процеси та знижувати продуктивність. Збої в IT-інфраструктурі, це можуть бути системні помилки, несправність серверів, втрати даних через відмови обладнання можуть паралізувати роботу компанії.

Збільшувати кіберзагрози та хакерські атаки спричиняють витік конфіденційної інформації, крадіжка даних, атаки на IT-системи можуть завдати значної шкоди підприємству. Автоматизація без належного контролю призводить до помилок в алгоритмах, проблемах в налаштуванні програмного забезпечення, що можуть спричинити масові операційні збої.

Що стосується зовнішніх подій, то шкоду підприємство може отримати в результаті стихійних лих, політичних змін, які обмежують здатність підприємства здійснювати свою діяльність, економічної нестабільності, соціальних та демографічних змін. Повені, землетруси, урагани можуть знищити інфраструктуру компанії та спричинити серйозні збитки. Політичні ризики, зокрема зміни у законодавстві, нестабільна політична ситуація, санкції, міжнародні конфлікти можуть обмежувати можливості компанії. Інфляція, коливання валютних курсів, зміни в оподаткуванні можуть вплинути на фінансовий стан підприємства. Зміни у поведінці споживачів, трудовій міграції, тенденції ринку праці можуть потребувати коригування стратегії підприємства.

Оскільки ризики постійно виникають та змінюються, важливо здійснювати управління ними. Основною метою управління ризиками підприємства є розробка цілісного уявлення про найбільш значні ризики, що перешкоджають досягненню найважливіших цілей підприємства. Управління операційним ризиком - це системний підхід, який організації використовують для виявлення, оцінки, управління та пом'якшення ризиків, пов'язаних із внутрішніми процесами, людьми, системами та зовнішніми подіями. Якщо не керувати ними ефективно, операційні ризики можуть призвести до фінансових втрат, репутаційної шкоди та збоїв у роботі. Для їх ефективного управління необхідно своєчасно ідентифікувати можливі загрози, оцінювати їхній вплив та розробляти стратегії мінімізації, що являє собою процес управління ризиками, який наведено на рис 1.

Рис. 1. Процес управління операційними ризиками [8; 9; 10]



Зважаючи на те, що ризики постійно виникають і розвиваються, важливо розуміти, що управління ризиками – це постійний процес, тому необхідно враховувати те, що операційний ризик не можна повністю усунути, тому керівництво підприємства має визначити, який рівень операційного ризику йому необхідно прийняти. Враховуючи велике розмаїття видів операційного ризику, його мінімізація передбачає комплекс заходів для мінімізації ймовірності виникнення несприятливих подій в операційній діяльності підприємства та їх наслідків.

Для ефективного управління операційними ризиками необхідно своєчасно ідентифікувати можливі загрози, оцінювати їхній вплив та розробляти стратегії мінімізації. Застосовуючи ці практики, компанії можуть не тільки зменшити ймовірність і вплив несприятливих подій, але й підвищити стійкість і реагування, забезпечуючи безперервність і успіх бізнесу. Згідно міжнародного стандарту, вплив на ризик - це ітеративний процес, що охоплює вибір варіантів впливу на ризик, оцінювання ефективності такого впливу та прийняття рішення про прийнятність залишкового ризику [10]. Виділяють такі варіанти впливу на ризик: зменшення, уникнення, прийняття та розподілення ризику. Виходячи зі специфіки впливу операційного ризику на діяльність підприємства, можливо використати такі методи мінімізації операційних ризиків, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Методи мінімізації операційних ризиків

Назва методу	Характеристика
Диверсифікація діяльності	Розширення асортименту продукції та напрямів діяльності з метою зниження впливу окремих ризикових факторів, використання багатоканальної моделі збуту, що зменшує залежність підприємства від змін у споживчому попиті та коливань ринку
Впровадження сучасних технологій	Автоматизація бізнес-процесів, використання інформаційних систем для моніторингу та аналізу ризиків, що дозволяє зменшити ризик людського фактора, оптимізувати управлінські процеси та підвищити ефективність ресурсного планування
Підвищення рівня кваліфікації персоналу	Впровадження програм навчання та професійного розвитку для зниження впливу людського фактора, формування культури ризик-орієнтованого мислення, що сприятиме оперативному реагуванню на загрози та покращенню якості прийняття рішень
Розробка антикризових стратегій	Формування механізмів реагування на непередбачувані події, зокрема через сценарне планування та тестування можливих кризових ситуацій.
Страхування ризиків	Застосування страхових механізмів для захисту від фінансових втрат, що дозволяє підприємствам

	зменшити потенційні збитки від несприятливих подій
Резервування фінансових ресурсів	Створення стабілізаційних фондів для забезпечення фінансової гнучкості підприємства, що дозволяє підприємствам ефективно реагувати на кризові ситуації, підтримувати ліквідність і уникати збоїв у виробничій діяльності.

Джерело: 3; 5; 7; 8; 11; 12.

Методи мінімізації операційних ризиків є ключовими інструментами для забезпечення стабільності та ефективності підприємства в умовах невизначеності. Їхнє використання дозволяє не лише зменшити ймовірність виникнення ризикових ситуацій, але й оперативно реагувати на можливі загрози. Диверсифікація діяльності допомагає знизити залежність від окремих ринків та факторів. Підприємство може запроваджувати нові продукти або послуги, щоб зменшити залежність від одного товару або ринку. Залучення клієнтів із різних регіонів чи країн допомагає зменшити вплив локальних економічних ризиків. Використання онлайн- і офлайн-продажів, співпраця з різними дистриб'юторами мінімізує ризик втрати клієнтів через зміну споживчих уподобань. Підприємство може відкривати дочірні компанії або створювати нові бізнес-моделі для зменшення залежності від одного напряму діяльності.

Впровадження сучасних технологій підвищує ефективність бізнес-процесів і мінімізує людські помилки. Серед найбільш дієвих сучасних технологій можна виділити автоматизацію бізнес-процесів, моніторинг ризиків за допомогою аналітичних платформ, захист інформаційних систем, технології управління ланцюгами постачання. Впроваджуючи автоматизацію бізнес-процесів можна домогтися зменшення впливу людського фактора, пришвидшення операцій та підвищення ефективності. Наприклад, CRM-системи допомагають покращити взаємодію з клієнтами, а ERP-системи – ефективно управляти ресурсами. Технології штучного інтелекту та Big Data можуть допомогти передбачити ризики та уникнути їх. Автоматизовані системи прогнозування та контролю запасів допомагають мінімізувати ризики збоїв у постачанні.

Розвиток персоналу сприяє формуванню культури ризик-менеджменту. Регулярні курси підвищення кваліфікації допомагають працівникам краще адаптуватися до змін у бізнес-середовищі. Важливий розвиток ризик-орієнтованого мислення – навчання працівників розпізнавати загрози та швидко реагувати на них (наприклад, програми управління ризиками). Моделювання потенційних проблемних сценаріїв допомагає персоналу діяти більш ефективно в реальних ситуаціях. Різного роду мотиваційні програми прияють створенню корпоративної культури, яка стимулює відповідальність і ініціативність у запобіганні ризикам.

Розробка антикризових стратегій сприяє підвищенню стійкості підприємства до непередбачуваних обставин, мінімізації негативних наслідків

кризових ситуацій та забезпеченню безперервності операційної діяльності. Завдяки сценарному плануванню, тестуванню можливих ризиків та розробці механізмів швидкого реагування підприємства можуть ефективніше адаптуватися до змін у бізнес-середовищі, своєчасно приймати стратегічні рішення та зменшувати фінансові втрати. Крім того, наявність антикризових стратегій допомагає зміцнити довіру інвесторів, партнерів і споживачів, що позитивно впливає на загальну конкурентоспроможність компанії.

Страхування захищає від фінансових втрат, зумовлених непередбачуваними подіями, такими як технічні збої, помилки персоналу, юридичні ризики або зовнішні фактори (стихійні лиха, економічні кризи тощо), а резервування ресурсів гарантує фінансову гнучкість. Завдяки страхуванню компанія може забезпечити стабільність своєї діяльності, мінімізувати негативні наслідки ризикових ситуацій та зберегти фінансову ліквідність. Крім того, використання страхових механізмів підвищує довіру інвесторів і партнерів, оскільки свідчить про проактивний підхід до управління ризиками та стратегічне планування фінансової безпеки.

Комплексне застосування цих методів допомагає підприємствам підвищити свою стійкість, адаптивність та конкурентоспроможність у динамічному бізнес-середовищі.

Висновок

Операційні ризики є невід'ємною складовою діяльності підприємств у сучасних економічних умовах, оскільки вони виникають через внутрішні та зовнішні чинники і можуть призводити до фінансових втрат, зниження ефективності бізнес-процесів та погіршення репутації компанії. Розуміння чотирьох джерел операційних ризиків дозволяє підприємствам своєчасно ідентифікувати загрози, розробляти ефективні механізми управління та мінімізувати їхній негативний вплив. У зв’язку з цим управління операційними ризиками стає важливим завданням для забезпечення стабільного функціонування підприємств. Ефективне управління операційними ризиками є необхідною умовою стабільного розвитку підприємства. . З метою мінімізації цих ризиків підприємства повинні впроваджувати комплексний підхід до управління ними, що включає диверсифікацію діяльності, автоматизацію процесів, підвищення кваліфікації персоналу, розробку антикризових стратегій та використання страхових механізмів. Запровадження зазначених методів сприятиме підвищенню стійкості підприємств до можливих загроз, забезпеченню їх фінансової стабільності та конкурентоспроможності в умовах динамічного бізнес-середовища.

Список літератури

1. Annibal Affonso Operational Risk: Concept, Characteristics and Mitigation URL: https://professorannibal.com.br/2024/08/27/operational-risk-concept-characteristics-and-mitigation/ (Last accessed: 18.03.2025).

2. Стратегія управління ризиками АТ КБ «ПРИВАТБАНК» URL: https://static.privatbank.ua/files/0000003705874235.pdf / (Last accessed: 20.03.2025).

3. Посохов І. М. Операційні ризики: управління та основні напрями зниження. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2012. № 37. С. 229–232.

4. Коваленко В. В., Гончар К. О. Методичний інструментарій оцінювання операційного ризику в банках в умовах цифрової економіки. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*. Одеса : ОНЕУ, 2021. № 1-2 (278-279). С. 46–52. DOI: 10.32680/2409-9260-2021-1-2-278-279-46-52

5. Співак С. М. Методології оцінки ризиків для промислових підприємств. *Вісник ХНУ*. 2021. № 4. С. 27–35

6. Міщенко В. І., Міщенко С. В. Стратегічні підходи до управління ризиками функціонування нежиттєздатних банків і обслуговування проблемних активів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2014. № 10. С. 40-46

7. Тіщенко Є. Управління операційними ризиками. *Фінансовий простір*. 2017. № 4 (28). С. 91–96.

8. Vice Vicente Operational Risk Management: Overview and Guide. URL: https://www.auditboard.com/blog/operational-risk-management/ (Last accessed: 20.03.2025).

9. MARK S. BEASLEY What is Enterprise Risk Management (ERM)? URL: https://erm.ncsu.edu/resource-center/what-is-enterprise-risk-management/ (Last accessed: 21.03.2025).

10. IEC 31010, *Risk management — Risk assessment techniques* *https://practicalrisktraining.com/iso31000* (Last accessed: 21.03.2025).

11. Абрамова А. Трансформаційна природа операційних ризиків комерційних банків. URL: https://reicst.com.ua/pmt/issue/view/issue_3_2022 (Last accessed: 21.03.2025).

12. Назаренко, С., Чорноус, О., Филик, А. (2024). Механізми управління ризиками в процесі збутової діяльності підприємства. *Економіка та суспільство*, (68). URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5020 (Last accessed: 21.03.2025).

УДК 330.47

К.А. Руденко,
І.С. Гращенко, к.е.н, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інформаційні системи і технології управління в інноваційній економіці

У статті розглядається роль інформаційних систем та технологій управління у розвитку інноваційної економіки. Визначено, що стрімке розвиток цифрових технологій, таких як штучний інтелект, великі дані, хмарні обчислення, блокчейн та Інтернет промов, докорінно трансформує моделі ведення бізнесу та управлінські підходи. Особливу увагу приділено управлінню знаннями, інформаційній безпеці та перспективам застосування доповненої та віртуальної реальності у сфері менеджменту.

В нашому сьогоденні інноваційна економіка інформаційних систем та технології управління стали фундаментальними інструментами для забезпечення гнучкості, адаптивності та конкурентоспроможності підприємств. Стрімкий розвиток цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту (AI), великих даних (Big Data), хмарних обчислень (cloud computing), блокчейну та Інтернету речей (IoT), суттєво змінив як моделі ведення бізнесу, так і підходи до прийняття управлінських рішень [1].

Інноваційна економіка потребує швидкого реагування на зміни ринку та високого рівня аналітичного супроводу управлінських процесів. Застосування цифрових технологій дозволяє підприємствам інтегрувати внутрішні та зовнішні джерела даних для створення цілісної картини бізнес-середовища, що забезпечує ефективну підтримку прийняття рішень [2]. Особливо важливою є роль цифрових платформ, які забезпечують доступ до ресурсів, інструментів і партнерських екосистем в режимі реального часу.

Управлінські інформаційні системи нового покоління дедалі частіше базуються на хмарних рішеннях, які забезпечують масштабованість, економічну ефективність і швидке впровадження інновацій. Що дозволяє підприємствам зменшувати витрати на IT-інфраструктуру, адаптуватися до нових ринкових умов і забезпечувати безперебійний доступ до критично важливої інформації [3].

Ключовою перевагою сучасних ІС є можливість інтеграції інтелектуальних технологій для автоматизації складних процесів, зокрема через використання алгоритмів машинного навчання (ML) для прогнозування споживчого попиту, оптимізації ланцюгів постачання та управління ризиками [4]. Такі підходи суттєво підвищують продуктивність і стратегічну стійкість компаній в умовах турбулентного середовища.

Все це також вимагає нових підходів до управління знаннями та людським капіталом. Системи управління знаннями (Knowledge Management Systems, KMS) забезпечують збереження, поширення та оновлення критично важливої інформації, що сприяє створенню умов для постійного навчання персоналу та підвищення інноваційного потенціалу організації [5].

Не менш важливим аспектом є інформаційна безпека. Із зростанням обсягів даних і поширенням віддаленої роботи, підприємства зобов'язані впроваджувати надійні системи кіберзахисту, зокрема технології блокчейну для забезпечення прозорості та достовірності транзакцій, а також системи контролю доступу, моніторингу і шифрування даних [6].

Одним із перспективних напрямів розвитку інформаційних систем в інноваційній економіці є інтеграція технологій доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR) в управлінські процеси. Вони дозволяють моделювати різні сценарії розвитку бізнесу, проводити навчання персоналу в імітаційній середовищі та тестувати управлінські рішення без реальних ризиків.

Значного поширення набувають і концепції «розумних підприємств» (Smart Enterprises), які поєднують можливості IoT, AI, робототехніки та аналітики даних для створення саморегулюючих виробничих та управлінських процесів. Це забезпечує підвищення ефективності використання ресурсів, оперативне реагування на зміни ринкової ситуації та мінімізацію людських помилок.

Таким чином, сучасні інформаційні системи та цифрові технології в інноваційній економіці перетворюються з допоміжного інструменту на стратегічний ресурс, що визначає ефективність управління, темпи інноваційного розвитку та рівень конкурентоспроможності підприємства. Організації, які здатні швидко інтегрувати новітні ІКТ в управлінські процеси, отримують суттєві переваги на глобальному ринку.

Висновки

Інформаційні системи та технології управління є ключовими драйверами розвитку інноваційної економіки. Їхнє впровадження забезпечує оперативність прийняття рішень, оптимізацію бізнес-процесів, посилення стратегічної стійкості підприємств та підвищення їх конкурентоспроможності в умовах постійної технологічної динаміки. Застосування штучного інтелекту, великих даних, хмарних обчислень, блокчейну та Інтернету суттєво змінює традиційні підходи до організації управління, наголошуючи на автоматизації, аналітиці та забезпечення інформаційної безпеки. Роль управлінських інформаційних систем переходити від суто операційної до стратегічної, що дозволяє підприємствам ефективно адаптуватися до мінливої зовнішньої середовища.

Перспективним напрямом подальших досліджень є вивчення впливу інтегрованих інформаційних систем на процеси стратегічного управління в умовах високої невизначеності. Також актуальним є розроблення моделей оцінки ефективності впровадження інтелектуальних ІТ-рішень у різних секторах економіки. Значний інтерес становить дослідження соціально-економічних наслідків цифрової трансформації підприємств, особливо у контексті розвитку людського капіталу та забезпечення кібербезпеки.

Список літератури

1. Almeida, F., Santos, J. D., & Monteiro, J. A. (2020). The Challenges and Opportunities in the Digitalization of Companies in a Post-COVID-19 World. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, 6(4), 150. https://doi.org/10.3390/joitmc6040150
2. Ghobakhloo, M., & Fathi, M. (2020). Corporate survival in Industry 4.0 era: the enabling role of lean-digitized manufacturing. Journal of Manufacturing Technology Management, 31(1), 1–30. https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2018-0417
3. Marston, S., Li, Z., Bandyopadhyay, S., Zhang, J., & Ghalsasi, A. (2021). Cloud computing — The business perspective. Decision Support Systems, 51(1), 176–189.
4. Jeble, S., Dubey, R., Childe, S. J., Papadopoulos, T., Roubaud, D., & Prakash, A. (2021). Impact of big data and predictive analytics capability on supply chain sustainability. The International Journal of Logistics Management, 32(1), 191–209.
5. Ferraris, A., Belyaeva, Z., & Bresciani, S. (2021). Digital transformation in international business: A dynamic capabilities perspective. Journal of World Business, 56(3), 101165. https://doi.org/10.1016/j.jwb.2020.101165
6. Gupta, H., & Bose, I. (2022). Strategic learning for cyber resilience: a review and future research directions. Information Systems Frontiers, 24, 197–214. https://doi.org/10.1007/s10796-020-10010-7
7. Пурій Г. М. Інформаційні системи і технології в управлінні діяльністю підприємства. *Ефективна економіка*. 2019. № 6. – URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7127 (дата звернення: 11.04.2025). DOI: 10.32702/2307-2105-2019.6.56

УДК 349.22: 656.7: 347.82 (045)

Р.Т. Баран, к.е.н, почесний працівник
авіаційного транспорту України,
член-кор. Транспортної академії України (арбітр НСПП), Україна

Проблеми колективних трудових спорів (конфліктів) в галузі авіатранспорту, правові моменти та пропозиції щодо їх мінімізації (на прикладі здійснення реструктуризації державного авіапідприємства «львівські авіалінії»)

Подано комплексний організаційно-правовий аналіз актуальних теоретичних і практичних проблем, юрспорів у сфері вирішення колективних трудових спорів (конфліктів) в Україні (КТС) і саме в галузі авіаційного транспорту (АТ) та спроб вироблення практичних підходів до їх вирішення із досвіду автора та на конкретному прикладі особистої участі у цих процесах у Державіапідприємстві «Львівські авіалінії» (ДАП). Об'єктом тут є правовідносини, пов'язані із захистом трудових прав авіапрацівників і менеджменту персоналу (авіаспеціалістів).

ДАП, як авіаперевізник (АВП), базувався в аеропорту (А) міста Львова на так званому летовищі «Скнилів» (Л), яке існує тут фактично від 1925 року. Тобто тези підготовлено до 100-річного ювілею. І всі ті роки звідси виконувалися авіаперевезення (АП). За виявленими автором архівними даними тяглість функціонування Л має під собою основу тутешнього сталого функціонування АТ на протязі новітньої міської історії. Стало відомо, що рішення про переведення служб тогочасного одного, чи не із найперших таких Л Європи, яким тоді було Левандівське, приймалося ще у 1924 році. Отже автори, які намагаються писати дані щодо історії Л, зазначають чомусь його помилкове постання, бо наведеною ними датою 1929 роком вони мали б позначати АВП, які саме відтоді звідси здійснювались польоти і тільки тому разі це було б правильним [1]. Тобто дата для АВП, але не для ДАП, у їхній транскрипції є не те що правильною, а й навіть відповідною, оскільки воно (певним чином ДАП), як місцевий базовий АВП тут проіснувало спочатку із осені 1939 по 1941, а тоді - з 1944 про 2009 роки відповідно. Тобто крайньою датою є та, коли ДАП фактично було знищене під виглядом чи то реструктуризації, чи то реорганізації, а ще більше через намагання «прихватизації» його складових об'єктів [2]. Отже автор свідомо не вживає заяложених визначень щодо місцевого АВП, оскільки чітко усвідомлює, що такого поняття, яким послуговуються деякі автори у своїх публікаціях, як, наприклад, «авіакомпанії» або «авіапідприємства» тощо у правовому полі національного законодавства з АТ не визначені. І тому дещо дивними є такі нігілістичні, з огляду на правові приписи статей Повітряного кодексу України (ПКУ), жонглювання ними у «наукових» публікаціях та ще й із тематики повітряного права, авіаційних економіки чи менеджменту персоналу і особливо в умовах розвитку АТ і, особливо в умовах настання трудових конфліктів і т. і. [3]. І тому зазначимо, що Л і його, скажімо так, ДАП було розташоване тут на скнилівських землях і поза містом Львовом майже пів-віку. Чому поза містом, а тому, що якщо брати юридично, то останні зміни меж міста відбулися ще у 1978 році. Саме тоді львівська міська межа була проведена за 3 км від крайньої північної межі службово-технічної території Л [4]. І в подальшому вона лишень фактично, але не юридично, збільшується в радіусі.

Отак, в загальному варто відзначити, що сьогоднішній А знаходиться у західному регіоні України та має до обслуговування тяжіння авіапасажирського попиту з 9-ти областей Західної України (ЗУ). Він фактично залишається основним авіатранспортним вузлом, що з'єднує нашу країну з її регіонами внутрішніх авіасполучень та із Західною та Центральною частинами Європи. Для виконання рейсових АП ДАП мало відповідні призначення на 28 міжнародних авіалініях (маршрутах). ДАП було відповідним правонаступником колишнього Львівського об'єднаного авіазагону (ЛОАЗ), сформованого ще в далекі 1950-ті роки тогочасним очільником Українського територіального управління цивільного повітряного флоту Прокопом Степановичем Бебешком (1913, Канів – 1960, Київ). Цей авіазагін та його правонаступники проіснували в Україні, чи не найдовше [5]. ЛОАЗ був єдиним комплексом підсистем у формі так званого тоді виробничо-територіального авіапідприємства, до якого входили: Л, А, служби ЕРТЗП, АТБ, 2-ва авіазагони, міська агенція тощо. І так було аж до липня 1993 року. Тобто до часу, коли із приходом сюди Л. Ю. Загреви (1950-2009) було утворене Львівське державне авіапідприємство (ЛДАП). Вже саме з цього утворення АТ нашої держави з прибуттям до Львова автора та юрисконсульта Олексія Музичка у 1998 році ЛДАП реорганізувалося у ДАП, про що вже нами було дещо описано [5]. В таких гео-соціальних та економіко-господарських умовах переходу від планової економіки до ринкових відносин ДАП на належному рівні мав, як це визначене і синтезоване автором на науковому рівні, свою економічну архітектоніку з освоєння авіатранспортних потоків та як АВП функціонував на беззбитковій основі [6]. Проте в час сходження на владний олімп транспортної галузі Г. Кирпи відбувся такий стан речей, що на АТ наставала стагнація. Практично всі складові єдиної транспортної системи України (ЄТС) окрім залізничної підсистеми зазнали розвалу [7]. Ось якраз тоді колектив і роботу ДАП почало лихоманити від міністерських експериментів. Якраз вони то і будувалися не на держрегулюванні, а фактично на втручанні у внутрішньо-господарську діяльність, хоча як відомо таке втручання мало статутну заборону, якою ДАП не відповідало за наслідки рішень держорганів, а вони у свою чергу – за результати роботи останнього [8]. І це тоді, коли з кінця 1970-их років у світовій мережі АТ приймалися заходи із дерегуляції та заборон втручання держорганів у його роботу.

Авторові разом із профкомом, який очолювався в ті часи незабутнім Якимом Григоровичем Ткачем (1942-2019) довелося вступити із міністром у судові дебати. У результаті розгляду наших справ у Печерському суді Києва в період 2001-2003 років було скасовано декілька наказів щодо «розподілу» ДАП. І тільки після того, як ряд осіб вищого менеджменту АВП команд Л. Загреви, що мав при ньому навіть акредитацію в ІКАО, було звільнено, то тоді на основі таємного «окремого доручення» міністра, що в принципі не відповідало ні конституційним нормам, ні чинному законодавству, ні статуту в столиці вдалося видати та реалізувати сяк-так написаний черговий наказ [9]. Чого він, з огляду на юридично-правові та організаційно-розпорядчі умови вартий, говорить про це сама його назва. Не дивлячись на це, допоки авторові довелося поновлятися на роботі у ДАП через суд, то новопризначена «команда» розпочала розбазарювання фінансових засобів, які були в активах ДАП від попереднього вищого менеджменту. Тобто тоді то через призначених на тіньовій основі «земляків» з

освітами близькими до спорткафедр, різних училищ тощо успішно функціонуючий АВП фактично знищувався [9]. Так, наприклад, одноосібним «розчерком пера» нового гендиректора, бо ж, - «я – тут начальник», в кінці 2004 року біля 80 тис. грн без жодної участі фінансово-економічних служб чи трудового колективу на вибори януковичів було загнано до азаровфонду «Проффесіонал». При цьому настала декілька місячна невиплата за платежами і навіть припинилася оплата праці. Потім через якийсь районний суд невідома та не встановлена судом особа на прізвище «Колісник», через держвиконавчу службу стягнула з ДАП понад 300 000 грн. неіснуючого «боргу» з її ніби то оплати праці?! Були й інші справи такого ж характеру. У результаті цих протиправних діянь призначених на посади осіб клімат в колективі був збуреним. Виник не те що колективний спір, а таки конфлікт…

Його подали до місцевого управління Нацслужби посередництва та примирення (НСПП) на підставі чинного законодавства [10]. Ось в цих умовах авторові довелося окунутися у правове поле відповідного закону та взятися за опис і дослідження чинного законодавства на предмет співвідносності трудового, господарського і конституційного права та з прив'язкою цих моментів до повітряного права (ПКУ) [11]. Можна вважати цей КТС та його прийняття НСПП до розгляду просто пілотним проектом застосування теоретичних до цього підходів до вирішення такого роду проблем в АТ. Робота того трудового арбітражу була спрямована в сторону соціально-правової ретроспективи вивчення причин їх виникнення, досвіду їх уникнення на умовах використання організаційно-правових, соціально-економічних засобів державного впливу, вироблених в інших державах та рекомендованої міжнародними організаціями практики з умиротворення сторін КТС [12]. І хоча тоді жодних реєстраційних дій зі сторони НСПП не відбулося, проте трудовий колектив ДАП був почутий. Всі і все від держоргнанів змушували НСПП спускати конфлікт на гальмах. Якраз про це був виступ у ЗМІ А. Оршак - його очільниці [13]. Відбулося поновлення автора на роботі, проте практично одразу ж довелося здійснити перехід до новоствореного Державного підприємства «Міжнародний аеропорт «Львів». Описати більше ширше ситуацію із ДАП у цьому стислому викладі не вдається через тезові ліміти, а тому цей напрямок економіко-фінансових та організаційно правових досліджень реальних подій та менеджменту персоналу в умовах КТС потрібно буде продовжити іншим разом. Тим більше, що негаразди у ДАП почали навалюватися «сніжним лавинним сходом», як про такі ж проблеми описані і на фірмі «Антонов» [14]. І через певний час до НСПП було скеровано ще й другу справу КТС у ДАП із дій тепер вже місцевих ділків [15]. Проте відвідини автора НСПП з тим, щоб отримати доступ до архіву та їх вивчення поки що на розгляді…

Висновки. Таким чином практичні юридичні аспекти реалізації механізму колективного захисту трудових прав найманих працівників з урахуванням визначень в Розділі VII ПКУ понять «авіаційного персоналу» автор, як авіаційний експерт в галузі АТ, може екстраполювати на реальному секторі економіки. Тому, який означений саме відносинами в галузі послуг на підсистемах АТ, як складової ЄТС державної форми власності. Тобто у результаті піднятої теоретико-економічної та організаційно-правової проблем, з огляду на чинне законодавство та з урахуванням вже виробленої примирної практики НСПП за задумом автора мають бути внесені зміни та доповнення до чинного

ПКУ. Це необхідно зробити в частині саме авіаційної економіки, фінансів, менеджменту персоналу, комерційної діяльності тощо. Отож, завершуючи у цій тезовій подачі результати нашого розгляду вказаної теми, намагаємося коротко висвітлити теоретичні аспекти глибинних причини, що породжують трудові спори або випадки переростання їх у КТС, а також їх соціальну сутність і правові основи означення цих процесів у порівняльних аспектах чинного національного законодавства, нормативної практики, рекомендацій Міжнародної Організації Праці (МОП) і саме в системі АТ, як одної із базових складових ЄТС. Робимо це на прикладі ліквідованого на тепер аж у XXI ст. АВП, яким було ДАП. Маємо переконання, що орієнтована на авіапрацівника і сформована при його участі гуманізація трудових відносин в АТ за рахунок поліпшення «умов праці» і, особливо, менеджменту персоналу у повному розумінні цих юридичних та організаційно-економічних понять є частиною досягнень практичного застосування в управлінні понять та необхідності законодавчого означення сучасних: «економічної демократії», «соціального партнерства», «соціального діалогу» тощо. Організаційне здійснення і відповідний розвиток демократичного керівництва підприємством характеризується визнанням де-факто і де-юре цих соціальних принципів і методів «менеджменту персоналу» та управління, а також їхнім застосуванням, так би мовити, на практиці у «менеджменті» органів державного регулювання, якими є міністерства та відомства. І це має бути також закладене у ПКУ замість «управління» галуззю АТ, а фактично втручання у внутрішньогосподарські справи, що не те що знижує економічну ефективність роботи суб'єктів АТ, а й навіть їх знищує. Прикладом є те ж саме ДАП, хоча це стається не тільки і не стільки в АТ, а й в цивільній авіації взагалі, про що йдеться в у книзі сл. п. Дмитра Семеновича Ківи (1942-2024), яку можна вважати певним чином саме висновком до нашої цієї подачі [14]. То ж хай не буде причин для КТС (конфліктів) на АТ і не тільки!

Список літератури

1. Б. Білан, Ю. Танчин. Історія аеропорту "Львів" там, де його усі звикли бачити. Режим доступу: https://photo-lviv.in.ua/istoriia-aeroportu-l-viv-tam-de-yoho-usi-zvykly-bachyty/ .
2. Р. Баран і ін. Представники ДП «Львівський аеропорт» проти передачі підприємства у комунальну власність// Форум. УА, 22.10.2007 17:03. Режим доступу: http://forum.milua.org/viewtopic.php?t=3256; Р. Баран і ін. Львівський аеропорт – приклад дозування інформації для львів'ян від Садового?// ЗІК, середа, 07.11.2007 10:54. Режим доступу: http://e-news.com.ua/show/187581.html.
3. Н. І. Горбаль, Я. П. Радченко. Стан та перспективи розвитку авіатранспортної галузі України в умовах євроінтеграції, постпандемії та війни // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку, № 1 (9), 2023. – С. 249-259. Режим доступу: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2023/sep/31282/menedzhment-253-264.pdf; Висоцька М.П. Аналіз та перспективи розвитку авіатранспортної галузі України// Економічний простір № 191/2024. Режим доступу: file:///G:/Downloads/1549-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-1627-2-10-20240717.pdf; Д.

Кухнюк і ін. Правова природа та порядок вирішення колективних трудових спорів// Вісник КНУ ім. Т. Шевченка/ С. Юридичні науки. 1(125)/2023. – С. 54-58.

4. Про розширення меж міста Львова: Указ Президії ВР Укр. РСР від 27.04.1978 № 3308-IX та від 09.03.1988 № 5541-XI.

5. Р. Баран. Тернополянин Бронислав Ґловинський в історії авіації Західної України// The 2nd International scientific and practical conference "Global trends in science and education" (March 10-12, 2025) SPC "Sci-conf.com.ua", Kyiv, Ukraine. 2025. – С. 559. Режим доступу: https://sci-conf.com.ua/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw782_BhDjARIsABTv_JAbthM8DVXa5OI7G270Qbhj2efjYvfe8Qo3jWS_p3j630Ueh0MX4_kaAhb5EALw_wcB .

6. Р. Баран. Повышение эффективности использования земельных ресурсов, экономико-правовые и организационные критерии реконструкции аэропортов (на примере подготовки аэропорта «Львов» к Евро-2012)// Наука – будущее Литвы. Инженерия транспорта и организация перевозок/ Сб. ст. 15-й конференции молодых ученых Литвы, 4 мая 2012г., - Вильн. – С. 366; Шляхи трансформації статистичних оцінок летовищних комплексів// Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Методологія статистичних оцінювань соціально-економічних процесів. (Збірник наукових праць) Випуск 3 (XLI). ІРД НАН України. – Львів, 2003. – С. 411.

7. Про транспорт: Закон України від 10.11.1994р. № 232/94-ВР. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text .

8. Г. Манчуленко. Під крилом «сірого кардинала»// Україна молода, № 204 від 04.11.2003. Режим доступу: https://umoloda.kyiv.ua/number/52/200/1102/ .

9. Щодо створення Державної холдингової компанії: наказ Мінтрансу від 19.12.2003р. № 988. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0988361-03#Text .

10. Про порядок вирішення колективних трудових спорів (конфліктів): Закон України від 03.03.1998р. № 137/98-ВР232/94-ВР. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/137/98-%D0%B2%D1%80#Text .

11. Р. Баран, Л. Баран. До означення причин проблем трудових і соціальних прав працівників та мінімізації виникнення колективних трудових спорів. Загальнотеоретичний, організаційно-економічний, соціальний та правовий аспекти // Бюлетень НСПП, № 10, 2007. – С. 24-30.

12. Міжнародна організація Праці. Конвенції та рекомендації 1919- 1990 т.1, т. 2.МБТ – Женева, 1991; Міжнародні правові акти, якими регулюються питання вирішення розбіжностей між сторонами соціально-трудових відносин // Бюлетень НСПП, № 11/2003. – с. 36.

13. А. Оршак. На 19.06.07 ніхто не літає // ЗІК. Режим доступу: http://www.fin.org.ua/newws.php?i=493777 .

14. Д. С. Ківа. Відверто про головне. Моє життя в авіабудуванні. – К.: Брайт Букс, 2023.

15. Працівники «Львівських авіаліній» стверджують, що майно підприємства розкрадається // Інтернет версія за суботу, 20 вересня 2014 р. о 13:02. Режим доступу: https://varianty.lviv.ua/publikatsiyi/pratsivnyky-lvivskykh-avialinii-stverdzhuiut-shcho-maino-pidpryiemstva-rozkradaietsia.

УДК 349.22: 656.7: 347.82 (045)

Р.Т. Баран, к.е.н, почесний працівник
авіаційного транспорту України,
член-кор. Транспортної академії України (арбітр НСПП), Україна

Проблеми колективних трудових спорів (конфліктів) в галузі авіатранспорту, правові моменти та пропозиції щодо їх мінімізації (на прикладі здійснення реструктуризації державного авіапідприємства «львівські авіалінії»)

Подано комплексний організаційно-правовий аналіз актуальних теоретичних і практичних проблем, юрспорів у сфері вирішення колективних трудових спорів (конфліктів) в Україні (КТС) і саме в галузі авіаційного транспорту (АТ) та спроб вироблення практичних підходів до їх вирішення із досвіду автора та на конкретному прикладі особистої участі у цих процесах у Державіапідприємстві «Львівські авіалінії» (ДАП). Об'єктом тут є правовідносини, пов'язані із захистом трудових прав авіапрацівників і менеджменту персоналу (авіаспеціалістів).

ДАП, як авіаперевізник (АВП), базувався в аеропорту (А) міста Львова на так званому летовищі «Скнилів» (Л), яке існує тут фактично від 1925 року. Тобто тези підготовлено до 100-річного ювілею. І всі ті роки звідси виконувалися авіаперевезення (АП). За виявленими автором архівними даними тяглість функціонування Л має під собою основу тутешнього сталого функціонування АТ на протязі новітньої міської історії. Стало відомо, що рішення про переведення служб тогочасного одного, чи не із найперших таких Л Європи, яким тоді було Левандівське, приймалося ще у 1924 році. Отже автори, які намагаються писати дані щодо історії Л, зазначають чомусь його помилкове постання, бо наведеною ними датою 1929 роком вони мали б позначати АВП, які саме відтоді звідси здійснювались польоти і тільки тому разі це було б правильним [1]. Тобто дата для АВП, але не для ДАП, у їхній транскрипції є не те що правильною, а й навіть відповідною, оскільки воно (певним чином ДАП), як місцевий базовий АВП тут проіснувало спочатку із осені 1939 по 1941, а тоді - з 1944 про 2009 роки відповідно. Тобто крайньою датою є та, коли ДАП фактично було знищене під виглядом чи то реструктуризації, чи то реорганізації, а ще більше через намагання «прихватизації» його складових об'єктів [2]. Отже автор свідомо не вживає заяложених визначень щодо місцевого АВП, оскільки чітко усвідомлює, що такого поняття, яким послуговуються деякі автори у своїх публікаціях, як, наприклад, «авіакомпанії» або «авіапідприємства» тощо у правовому полі національного законодавства з АТ не визначені. І тому дещо дивними є такі нігілістичні, з огляду на правові приписи статей Повітряного кодексу України (ПКУ), жонглювання ними у «наукових» публікаціях та ще й із тематики повітряного права, авіаційних економіки чи менеджменту персоналу і особливо в умовах розвитку АТ і, особливо в умовах настання трудових конфліктів і т. і. [3]. І тому зазначимо, що Л і його, скажімо так, ДАП було розташоване тут на скнилівських землях і поза містом Львовом майже пів-віку. Чому поза містом, а тому, що якщо брати юридично, то останні зміни меж міста відбулися ще у 1978 році. Саме тоді львівська міська межа була проведена за 3 км від крайньої північної межі службово-технічної території Л [4]. І в подальшому

вона лишень фактично, але не юридично, збільшується в радіусі.

Отак, в загальному варто відзначити, що сьогоднішній А знаходиться у західному регіоні України та має до обслуговування тяжіння авіапасажирського попиту з 9-ти областей Західної України (ЗУ). Він фактично залишається основним авіатранспортним вузлом, що з'єднує нашу країну з її регіонами внутрішніх авіасполучень та із Західною та Центральною частинами Європи. Для виконання рейсових АП ДАП мало відповідні призначення на 28 міжнародних авіалініях (маршрутах). ДАП було відповідним правонаступником колишнього Львівського об'єднаного авіазагону (ЛОАЗ), сформованого ще в далекі 1950-ті роки тогочасним очільником Українського територіального управління цивільного повітряного флоту Прокопом Степановичем Бебешком (1913, Канів – 1960, Київ). Цей авіазагін та його правонаступники проіснували в Україні, чи не найдовше [5]. ЛОАЗ був єдиним комплексом підсистем у формі так званого тоді виробничо-територіального авіапідприємства, до якого входили: Л, А, служби ЕРТЗП, АТБ, 2-ва авіазагони, міська агенція тощо. І так було аж до липня 1993 року. Тобто до часу, коли із приходом сюди Л. Ю. Загреви (1950-2009) було утворене Львівське державне авіапідприємство (ЛДАП). Вже саме з цього утворення АТ нашої держави з прибуттям до Львова автора та юрисконсульта Олексія Музичка у 1998 році ЛДАП реорганізувалося у ДАП, про що вже нами було дещо описано [5]. В таких гео-соціальних та економіко-господарських умовах переходу від планової економіки до ринкових відносин ДАП на належному рівні мав, як це визначене і синтезоване автором на науковому рівні, свою економічну архітектоніку з освоєння авіатранспортних потоків та як АВП функціонував на беззбитковій основі [6]. Проте в час сходження на владний олімп транспортної галузі Г. Кирпи відбувся такий стан речей, що на АТ наставала стагнація. Практично всі складові єдиної транспортної системи України (ЄТС) окрім залізничної підсистеми зазнали розвалу [7]. Ось якраз тоді колектив і роботу ДАП почало лихоманити від міністерських експериментів. Якраз вони то і будувалися не на держрегулюванні, а фактично на втручанні у внутрішньо-господарську діяльність, хоча як відомо таке втручання мало статутну заборону, якою ДАП не відповідало за наслідки рішень держорганів, а вони у свою чергу – за результати роботи останнього [8]. І це тоді, коли з кінця 1970-их років у світовій мережі АТ приймалися заходи із дерегуляції та заборон втручання держорганів у його роботу.

Авторові разом із профкомом, який очолювався в ті часи незабутнім Якимом Григоровичем Ткачем (1942-2019) довелося вступити із міністром у судові дебати. У результаті розгляду наших справ у Печерському суді Києва в період 2001-2003 років було скасовано декілька наказів щодо «розподілу» ДАП. І тільки після того, як ряд осіб вищого менеджменту АВП команд Л. Загреви, що мав при ньому навіть акредитацію в ІКАО, було звільнено, то тоді на основі таємного «окремого доручення» міністра, що в принципі не відповідало ні конституційним нормам, ні чинному законодавству, ні статуту в столиці вдалося видати та реалізувати сяк-так написаний черговий наказ [9]. Чого він, з огляду на юридично-правові та організаційно-розпорядчі умови вартий, говорить про це сама його назва. Не дивлячись на це, допоки авторові довелося поновлятися на роботі у ДАП через суд, то новопризначена «команда» розпочала розбазарювання фінансових засобів, які були в активах ДАП від попереднього вищого

менеджменту. Тобто тоді то через призначених на тіньовій основі «земляків» з освітами близькими до спорткафедр, різних училищ тощо успішно функціонуючий АВП фактично знищувався [9]. Так, наприклад, одноосібним «розчерком пера» нового гендиректора, бо ж, - «я – тут начальник», в кінці 2004 року біля 80 тис. грн без жодної участі фінансово-економічних служб чи трудового колективу на вибори януковичів було загнано до азаровфонду «Проффесіонал». При цьому настала декілька місячна невиплата за платежами і навіть припинилася оплата праці. Потім через якийсь районний суд невідома та не встановлена судом особа на прізвище «Колісник», через держвиконавчу службу стягнула з ДАП понад 300 000 грн. неіснуючого «боргу» з її ніби то оплати праці?! Були й інші справи такого ж характеру. У результаті цих протиправних діянь призначених на посади осіб клімат в колективі був збуреним. Виник не те що колективний спір, а таки конфлікт…

Його подали до місцевого управління Нацслужби посередництва та примирення (НСПП) на підставі чинного законодавства [10]. Ось в цих умовах авторові довелося окунутися у правове поле відповідного закону та взятися за опис і дослідження чинного законодавства на предмет співвідносності трудового, господарського і конституційного права та з прив'язкою цих моментів до повітряного права (ПКУ) [11]. Можна вважати цей КТС та його прийняття НСПП до розгляду просто пілотним проектом застосування теоретичних до цього підходів до вирішення такого роду проблем в АТ. Робота того трудового арбітражу була спрямована в сторону соціально-правової ретроспективи вивчення причин їх виникнення, досвіду їх уникнення на умовах використання організаційно-правових, соціально-економічних засобів державного впливу, вироблених в інших державах та рекомендованої міжнародними організаціями практики з умиротворення сторін КТС [12]. І хоча тоді жодних реєстраційних дій зі сторони НСПП не відбулося, проте трудовий колектив ДАП був почутий. Всі і все від держоргнанів змушували НСПП спускати конфлікт на гальмах. Якраз про це був виступ у ЗМІ А. Оршак - його очільниці [13]. Відбулося поновлення автора на роботі, проте практично одразу ж довелося здійснити перехід до новоствореного Державного підприємства «Міжнародний аеропорт «Львів». Описати більше ширше ситуацію із ДАП у цьому стислому викладі не вдається через тезові ліміти, а тому цей напрямок економіко-фінансових та організаційно правових досліджень реальних подій та менеджменту персоналу в умовах КТС потрібно буде продовжити іншим разом. Тим більше, що негаразди у ДАП почали навалюватися «сніжним лавинним сходом». І через певний час до НСПП було скеровано ще й другу справу КТС у ДАП. Проте відвідини автора НСПП з тим, щоб отримати доступ до архіву та їх вивчення поки що на розгляді…

Висновки. Таким чином практичні юридичні аспекти реалізації механізму колективного захисту трудових прав найманих працівників з урахуванням визначень в Розділі VII ПКУ понять «авіаційного персоналу» автор, як авіаційний експерт в галузі АТ, може екстраполювати на реальному секторі економіки. Тому, який означений саме відносинами в галузі послуг на підсистемах АТ, як складової ЄТС державної форми власності. Тобто у результаті піднятої теоретико-економічної та організаційно-правової проблем, з огляду на чинне законодавство та з урахуванням вже виробленої примирної практики НСПП за задумом автора мають бути внесені зміни та доповнення до чинного

ПКУ. Це необхідно зробити в частині саме авіаційної економіки, фінансів, менеджменту персоналу, комерційної діяльності тощо. Отож, завершуючи у цій тезовій подачі результати нашого розгляду вказаної теми, намагаємося коротко висвітлити теоретичні аспекти глибинних причини, що породжують трудові спори або випадки переростання їх у КТС, а також їх соціальну сутність і правові основи означення цих процесів у порівняльних аспектах чинного національного законодавства, нормативної практики, рекомендацій Міжнародної Організації Праці (МОП) і саме в системі АТ, як одної із базових складових ЄТС. Робимо це на прикладі ліквідованого на тепер аж у XXI ст. АВП, яким було ДАП. Маємо переконання, що орієнтована на авіапрацівника і сформована при його участі гуманізація трудових відносин в АТ за рахунок поліпшення «умов праці» і, особливо, менеджменту персоналу у повному розумінні цих юридичних та організаційно-економічних понять є частиною досягнень практичного застосування в управлінні понять та необхідності законодавчого означення сучасних: «економічної демократії», «соціального партнерства», «соціального діалогу» тощо. Організаційне здійснення і відповідний розвиток демократичного керівництва підприємством характеризується визнанням де-факто і де-юре цих соціальних принципів і методів «менеджменту персоналу» та управління, а також їхнім застосуванням, так би мовити, на практиці у «менеджменті» органів державного регулювання, якими є міністерства та відомства. І це має бути також закладене у ПКУ замість «управління» галуззю АТ, а фактично втручання у внутрішньогосподарські справи, що не те що знижує економічну ефективність роботи суб'єктів АТ, а й навіть їх знищує. Прикладом є те ж саме ДАП, хоча це стається не тільки і не стільки в АТ, а й в цивільній авіації взагалі, про що йдеться в у книзі сл. п. Дмитра Семеновича Ківи (1942-2024), яку можна вважати певним чином саме висновком до нашої цієї подачі [14]. То ж хай не буде причин для КТС (конфліктів) на АТ і не тільки!

Список літератури

1. Б. Білан, Ю. Танчин. Історія аеропорту "Львів" там, де його усі звикли бачити. Режим доступу: https://photo-lviv.in.ua/istoriia-aeroportu-l-viv-tam-de-yoho-usi-zvykly-bachyty/ .
2. Р. Баран і ін. Представники ДП «Львівський аеропорт» проти передачі підприємства у комунальну власність// Форум. УА, 22.10.2007 17:03. Режим доступу: http://forum.milua.org/viewtopic.php?t=3256; Р. Баран і ін. Львівський аеропорт – приклад дозування інформації для львів'ян від Садового?// ЗІК, середа, 07.11.2007 10:54. Режим доступу: http://e-news.com.ua/show/187581.html.
3. Н. І. Горбаль, Я. П. Радченко. Стан та перспективи розвитку авіатранспортної галузі України в умовах євроінтеграції, постпандемії та війни // Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку, № 1 (9), 2023. – С. 249-259. Режим доступу: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2023/sep/31282/menedzhment-253-264.pdf; Висоцька М.П. Аналіз та перспективи розвитку авіатранспортної галузі України// Економічний простір № 191/2024. Режим доступу: file:///G:/Downloads/1549-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-1627-2-10-20240717.pdf; Д.

Кухнюк і ін. Правова природа та порядок вирішення колективних трудових спорів// Вісник КНУ ім. Т. Шевченка/ С. Юридичні науки. 1(125)/2023. – С. 54-58.

4. Про розширення меж міста Львова: Указ Президії ВР Укр. РСР від 27.04.1978 № 3308-IX та від 09.03.1988 № 5541-XI.

5. Р. Баран. Тернополянин Бронислав Ґловинський в історії авіації Західної України// The 2nd International scientific and practical conference "Global trends in science and education" (March 10-12, 2025) SPC "Sci-conf.com.ua", Kyiv, Ukraine. 2025. – С. 559. Режим доступу: https://sci-conf.com.ua/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw782_BhDjARIsABTv_JAbthM8DVXa5OI7G270Qbhj2efjYvfe8Qo3jWS_p3j630Ueh0MX4_kaAhb5EALw_wcB .

6. Р. Баран. Повышение эффективности использования земельных ресурсов, экономико-правовые и организационные критерии реконструкции аэропортов (на примере подготовки аэропорта «Львов» к Евро-2012)// Наука – будущее Литвы. Инженерия транспорта и организация перевозок/ Сб. ст. 15-й конференции молодых ученых Литвы, 4 мая 2012г., - Вильн. – С. 366; Шляхи трансформації статистичних оцінок летовищних комплексів// Соціально-економічні дослідження в перехідний період. Методологія статистичних оцінювань соціально-економічних процесів. (Збірник наукових праць) Випуск 3 (XLI). ІРД НАН України. – Львів, 2003. – С. 411.

7. Про транспорт: Закон України від 10.11.1994р. № 232/94-ВР. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text .

8. Г. Манчуленко. Під крилом «сірого кардинала»// Україна молода, № 204 від 04.11.2003. Режим доступу: https://umoloda.kyiv.ua/number/52/200/1102/ .

9. Щодо створення Державної холдингової компанії: наказ Мінтрансу від 19.12.2003р. № 988. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0988361-03#Text .

10. Про порядок вирішення колективних трудових спорів (конфліктів): Закон України від 03.03.1998р. № 137/98-ВР232/94-ВР. Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/137/98-%D0%B2%D1%80#Text .

11. Р. Баран, Л. Баран. До означення причин проблем трудових і соціальних прав працівників та мінімізації виникнення колективних трудових спорів. Загальнотеоретичний, організаційно-економічний, соціальний та правовий аспекти // Бюлетень НСПП, № 10, 2007. – С. 24-30.

12. Міжнародна організація Праці. Конвенції та рекомендації 1919- 1990 т.1, т. 2.МБТ – Женева, 1991; Міжнародні правові акти, якими регулюються питання вирішення розбіжностей між сторонами соціально-трудових відносин // Бюлетень НСПП, № 11/2003. – с. 36.

13. А. Оршак. На 19.06.07 ніхто не літає // ЗІК. Режим доступу: http://www.fin.org.ua/newws.php?i=493777 .

14. Д. С. Ківа. Відверто про головне. Моє життя в авіабудуванні. – К.: Брайт Букс, 2023.

UDC 321.1

Tetiana Hohol
Doctor of of Science in Public Administration
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

State regulation of the use of unmanned aerial vehicles

One of the most important areas in modern aviation is related to the development of unmanned aerial vehicles (UAVs). Unmanned aerial vehicles (AT) are experiencing a real boom. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) are an exciting new remote sensing tool capable of acquiring high-resolution spatial data. Thus, the UAV is not just a modern class of aircraft, but also a qualitatively new, higher level of development of not only military but also civil aviation.
The discusses the preconditions for the development of legal regulation of the use of unmanned aerial vehicles in the national policy and in European countries. It is substantiated that for the development of legal regulation of the use of unmanned aerial vehicles in the airspace of Ukraine, the study of European experience, as well as the implementation of European Union rules and standards in the domestic legislation on the use of unmanned aerial vehicles, will be relevant and useful.

The use of UAVs in the civilian domain as remote sensing tools presents new and exciting opportunities. Improvements in the availability of accurate and miniature Global Positioning System (GPS) units and Inertial Measurement Units (IMUs), along with the availability of quality off the shelf consumer grade digital cameras has resulted in an increased use of civilian UAVs [1].

A. Regulation of the use of unmanned aerial vehicles in Ukraine. Today in our country there is no comprehensive legal act on the regulation of UAVs. However, public authorities are trying to adopt it.

During this work, the State Aviation Service of Ukraine developed general recommendations for UAV remote pilots, namely: to check its unmanned aircraft before every flight; perform flights at an altitude of not more than 100 meters; keep the distance between the UAV and people, animals, buildings and property at least 50 meters; before the flight of its UAV, check that it will be performed within the airspace allowed for use; never lift your UAV into the air if it could be dangerous to the pilot, other people or animals; in advance plan the flight trajectory of your own UAV, assess possible obstacles and determine the places of its possible forced landing; always stop the flight of UAVs at the request of representatives of law enforcement agencies or military formations formed in accordance with the laws of Ukraine, if they believe that the UAV threatens the interests of national security or the safety of others, etc. [2].

The State Aviation Service of Ukraine presented the Priorities of activity for 2021-2023, where the priorities are formulated as follows:

Priority 1. Safe integration of unmanned aerial vehicles into the existing system of airspace use, development of the unmanned aerial vehicles market.

Priority 2. Development of the State program on flight safety.

Priority 3. Approximation of the regulatory framework of Ukraine in the field of civil aviation to the legislation of the European Union and harmonization of

national standards with the standards, recommended practices and procedures of the International Civil Aviation Organization (ICAO) [3].

In the previous period in the relevant areas:

- the Green Paper "Profession of the Future: Development of a system for training remote pilots of unmanned aircraft" was developed, which analyzed the system of training remote pilots in different countries and presented the results of a survey of remote pilots in Ukraine;
- in order to regulate the order of unmanned aerial vehicles, developed a draft Law "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine" (on measures to deregulate economic activity and adapt Ukrainian legislation to European Union legislation in the field of civil aviation, as well as establishing liability to implement effective control over aviation security ");
- the Action Plan for Preparation for the Introduction of the Common Aviation Area of Ukraine with the European Union and its Member States was partially implemented;
- regulations implementing the relevant requirements of the European Union and ICAO standards included in the regulatory action plan of the State Aviation Service of Ukraine for 2021.

Analyzing foreign experience regarding the use of UAVs, it should be noted that in most countries there are similar restrictions on the operation of UAVs. They primarily concern the prohibition of flights in certain areas, the protection of privacy and property, as well as the rules of safe piloting. Undoubtedly, the more effective the control and legislation of the use of UAVs, the less it poses a threat to other aircraft, man, society and so on.

B. Legal regulation of UAV use at the international level. The Convention on International Civil Aviation (Chicago Convention), signed in 1944, establishes certain rules for the use of UAVs. According to Art. 8 prohibits the flight of any unmanned aerial vehicles over the territory of another state without its permission. It is also required to use UAVs in the air corridors of civil aircraft in such a way as to ensure the safety of civil aviation. The annexes to the Convention contain standards and rules for the licensing of pilots, operations and airworthiness of aircraft.

In 2007, the International Civil Aviation Organization (ICAO) established a research group to develop standards for the use of remotely piloted aircraft systems (RPAS). In 2011, the general principles of operational use of UAVs were explained. It is noted that UAVs are aircraft, so the basic rules and regulations of civil aviation apply to them. Some changes have also been made to the annexes to the Chicago Convention, in particular on the mandatory certification of UAVs for safety requirements and the management of licensed pilots and and the supervision of a certified operator.

Today, ICAO is working with several member states to develop regulatory requirements for the use of UAVs. At the same time, rule-making is supervised by EASA, to create a recommendation for a single set of technical, operational and safety requirements for UAVs.

C. Use of unmanned aerial vehicles in the European Union. Many countries (eg France, Germany, Italy, the United Kingdom, Austria and Denmark) have adopted or are about to adopt (eg Belgium) rules on certain aspects of the use of civil remotely

piloted aircraft systems with a payload of up to 150 kg. However, these rules vary in scale, level of detail and content. At the same time, the participating countries did not agree on recognizing each other's rules. This leads to the need to obtain a separate permit for DPAS flights in each country [4].

On July 4, 2018, the European Union Rules on General Rules in the Field of Civil Aviation and the Establishment of the European Union Aviation Safety Agency (2018/1139) were adopted [5]. Establishing rules for unmanned aerial vehicles, regardless of their weight, is the responsibility of the European Commission.

In the coming years, the Commission will present a complete regulatory framework to ensure the further development of the European drone sector [6].

The approach adopted by the Commission with the support of the European Union Aviation Safety Agency is to apply the highest safety standards achieved in manned aircraft to drones as well. The rules are based on operational risk assessment and provide a balance between the obligations of manufacturers and operators of drones on safety, confidentiality, environmental protection environment, noise protection, etc. On the plus side, new drones need to be individually identified, allowing authorities to track a specific drone as needed.

On 12 March 2019, the European Commission adopted a COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems [7], which defines the functions and capabilities that drones must meet for safe flight and at the same time help stimulate investment and innovation in this promising sector. EU rules are based on national rules that have been in place and currently provide a harmonized framework in the European Union. Chapter II of these Rules defines, in particular, harmonization legislation (CE marking), which sets out the requirements that unmanned aerial vehicles must meet in order to be used in the "open" category of operations, ie without the need for prior authorization from the authorities.

In addition to the technical requirements already adopted for drones, the Commission intends to adopt provisions concerning their operation. The rules will cover each type of operation, as well as the minimum requirements for remote pilot training. These technical and operational rules will also replace any national rules on drones that may currently exist in different Member States. Particular attention should be paid to product compliance in the context of the growth of e-commerce. To this end, EU Member States should be encouraged to cooperate with the competent authorities in third countries and to develop cooperation between market surveillance authorities and customs authorities.

Article 3 of the Commission Delegated Regulation on unmanned aerial vehicles and operators of unmanned aerial vehicles of third countries [7] defines "unmanned aircraft" (UA) means any airplane which is operated or intended to operate autonomously or for remote control without a pilot; «Equipment to control unmanned aircraft remotely" - means any tool, equipment, mechanism, apparatus, device, software or accessory necessary for the safe operation of the UA, except for the part that is not on board; "Unmanned aircraft system" (UAS) means an unmanned aircraft and equipment for its remote control; “Unmanned aircraft system operator” (UAS operator) means any legal or natural person acting or intending to operate one or more unmanned systems; "CE marking" means the marking by which the manufacturer

indicates that the product satisfies the applicable requirements set out in the harmonization of the Union by the legislation providing for its application (subject to general principles set out in Article 30 of Regulation (EC) № 765/2008).

In addition, in the Rules of the European Union "On general rules in the field of civil aviation and the establishment of the European Union Aviation Safety Agency - European Union The Aviation Safety Agency (2018/1139) [5] also uses the term “unmanned aircraft” (UA). The term used by the legislation of Ukraine fully reflects its essence - an unmanned aircraft, under which, according to paragraph 23 of Art. 1 of the Air Code of Ukraine [8] an unmanned aircraft is an aircraft designed to perform a flight without a pilot on board, the flight control of which is controlled by a special control station located outside the aircraft.

Creating a system of legislative regulation of use drones - one of the requirements of Ukraine's integration into the European Union. This integration involves, inter alia, the adaptation of Ukraine's regulations to the relevant requirements and standards and recommended practices of the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the European Union (EU).

CONCLUSION. So, today not only in Ukraine, but also in other countries legislative regulation of related activities with the use of UAVs is in its infancy. The current legal framework for the use of unmanned aerial vehicles in the European Union is the European Union Rules on General Rules in the Field of Civil Aviation and the Establishment of the European Union Aviation Safety Agency (2018), and the Delegated Regulation of the European Commission on Unmanned Aerial Systems and operators of unmanned aerial systems of third countries"(2019). These acts introduce maximum altitude rules to prevent drone operators from endangering people on the ground and to protect other people who use the airspace for activities such as air sports. For security reasons, access to airports, embassies, prisons, and all critical infrastructure should be restricted or prohibited.

References

1. Nebikera, S., A. Annena, M. Scherrerb and D. Oeschc (2008). A Light-weight Multispectral Sensor for Micro UAV - Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Beijing.
2. Official site of the State Aviation Service of Ukraine. Unmanned aerial vehicles. - [Electronic resource]. - Access mode: http://avia.gov.ua/bezpilotni-povitryani-sudna-2/.
3. Priorities of the State Aviation Service of Ukraine for 2021-2023. - [Electronic resource]. - Access mode: https://mtu.gov.ua/news/32962.html
4. A new era for aviation Opening the aviation market to the civil use of remotely piloted aircraft systems in a safe and sustainable manner. COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL. 2014. URL: http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0207&from=EN.
5. REGULATION (EU) 2018/1139 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 4 July 2018 On common rules in the field of civil

aviation and establishing a European Union Aviation Safety Agency, and amending Regulations (EC) No. 2111/2005, (EC) No. 1008/2008, (EU) No. 996/2010, (EU) No. 376/2014 and Directives 2014/30/EU and 2014/53/EU of the European Parliament and of the Council, and repealing Regulations (EC) No. 552/2004 and (EC) No. 216/2008 of the European Parliament and of the Council and Council Regulation (EEC) No. 3922/91. URL: http://data.europa.eu/eli/reg/2018/1139/oj.

6. Regulatory framework to accommodate unmanned aircraft systems in the European aviation system.Terms of reference for rulemaking task RMT.0230. ISSUE 2 – 04.06.2018. URL:https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/ToR%20RMT.0230%20%E2%80%93%20Issue%202.pdf.

7. COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) …/... of 12.3.2019 On unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems. URL: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/legislation/c20191821-drones_en.pdf.

8. Air Code of Ukraine: Law of Ukraine of May 19, 2011 № 3393-VI. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/ show / 3393-17.

УДК 351/354

І.В. Бовсунівська, кандидат економічних наук, доцент
Г.П. Нестеренко, кандидат наук з державного управління, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Авіаційний сектор і державна політика: сучасні тенденції управління

Авіаційний сектор є ключовою складовою економіки, що вимагає ефективного державного регулювання для забезпечення безпеки, сталого розвитку та інновацій. У статті аналізуються сучасні тенденції державної політики, зокрема діджиталізація, екологічна сталість, лібералізація ринку та розвиток інфраструктури. Досліджується роль міжнародного співробітництва та державно-приватного партнерства у формуванні ефективної стратегії управління авіаційною галуззю.

Авіаційний сектор є стратегічною галуззю економіки, яка відіграє важливу роль у забезпеченні мобільності населення, розвитку міжнародної торгівлі та інтеграції країн у світову економіку. У зв'язку з глобалізацією та швидкими змінами в технологіях, державна політика у сфері авіації має адаптуватися до нових викликів та тенденцій. У цьому дослідженні розглядаються основні аспекти сучасного державного управління авіаційним сектором, включаючи питання регулювання, безпеки, інфраструктурного розвитку та інноваційних технологій.

Основні напрями державного регулювання авіаційної галузі

Державне регулювання авіаційної галузі охоплює такі ключові аспекти:

1. *Безпека польотів і сертифікація* – встановлення стандартів безпеки, ліцензування авіакомпаній, контроль за станом повітряних суден.
2. *Екологічне регулювання* – впровадження норм щодо зменшення викидів CO_2, шумового забруднення та використання екологічно чистих технологій.
3. *Регулювання тарифів і конкуренції* – контроль за ціноутворенням, запобігання монополізації ринку та створення умов для чесної конкуренції.
4. *Митне та прикордонне регулювання* – спрощення процедур контролю для покращення міжнародної логістики та перевезень.
5. *Розвиток аеропортової інфраструктури* – інвестиційні програми, державно-приватне партнерство (ДПП) та модернізація аеропортів.

Міжнародні організації та їх роль у регулюванні авіаційної галузі

Міжнародне авіаційне законодавство формується під впливом глобальних організацій [1]:

- *Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO)* – встановлює стандарти безпеки та регулює міжнародні перевезення.
- *Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA)* – сприяє взаємодії між авіакомпаніями та державами.
- *Європейське агентство з безпеки авіації (EASA)* – регулює авіаційні стандарти в ЄС.

● *Федеральна авіаційна адміністрація США (FAA)* – задає тон розвитку авіаційної галузі в США та інших країнах.

Екологічне регулювання в авіації

Сучасні держави активно впроваджують екологічні ініціативи [1]:

● *ЄС запровадив Систему торгівлі квотами на викиди (ETS)* для скорочення забруднення.

● *Програма CORSIA від ICAO* передбачає зниження викидів авіаційного транспорту до 2050 року.

● *Авіакомпанії переходять на біопаливо* – прикладом є ініціатива KLM із використанням екологічного пального.

Державне регулювання авіаційного ринку

● *Політика відкритого неба:* приклад угоди між ЄС і США, що сприяє конкуренції та доступності авіаперельотів.

● *Регулювання лоукост-компаній:* забезпечення доступності перельотів, контроль за якістю обслуговування.

● *Антимонопольне регулювання:* запобігання домінуванню великих перевізників та підтримка нових гравців.

Виклики та перспективи державного регулювання

● *Кібербезпека* – загроза кібератак на аеропорти та авіакомпанії.

● *Баланс між регулюванням і лібералізацією* – необхідність адаптації нормативної бази до нових технологій.

● *Впровадження інновацій* – дронова авіація, штучний інтелект у керуванні повітряним рухом.

Державне регулювання авіаційної галузі є необхідною умовою безпеки, ефективності та сталого розвитку. Взаємодія між державними органами, міжнародними структурами та приватним сектором дозволяє забезпечити якісне управління та вдосконалення авіаційної інфраструктури. Майбутнє регулювання має бути гнучким, інноваційним і спрямованим на екологічну сталість та цифровізацію галузі.

Державне регулювання авіаційного сектора здійснюється через впровадження національних та міжнародних стандартів, які визначають умови діяльності авіакомпаній, аеропортів та інших учасників ринку. Основними напрямами регулювання є: сертифікація та ліцензування авіаперевізників; контроль за безпекою польотів; моніторинг екологічного впливу авіації; регулювання тарифної політики та конкуренції.

Міжнародні організації, такі як ІКАО (ICAO), Європейське агентство з безпеки авіації (EASA) та Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA), відіграють ключову роль у формуванні глобальних стандартів, які впроваджуються на національному рівні [1].

Тенденції розвитку державної політики в авіаційному секторі

Державна політика відіграє ключову роль у регулюванні авіаційної діяльності, забезпеченні безпеки, екологічної стійкості та впровадженні інноваційних технологій. Сучасні державні політики орієнтуються на такі основні тенденції:

1. Діджиталізація та автоматизація управління

Однією з ключових тенденцій сучасної державної політики є діджиталізація та автоматизація авіаційної сфери. Це включає:

- *Електронні документи та квитки:* запровадження цифрових паспортів пасажирів, електронних посадкових талонів та безконтактної реєстрації.
- *Розумні аеропорти:* використання штучного інтелекту та автоматизованих систем безпеки для покращення пасажиропотоку.
- *Системи моніторингу польотів:* GPS та супутникові технології, які допомагають оптимізувати маршрути та зменшити витрати на паливо.

Прикладом успішного впровадження цифрових технологій є аеропорт «Чангі» у Сінгапурі, який застосовує біометричну ідентифікацію для швидкого проходження митного контролю [1].

2. Екологічна сталість та «зелена авіація»

Сучасні державні політики все більше орієнтуються на екологічні стандарти та скорочення викидів CO_2. Основні заходи включають:

- *Запровадження екологічних податків:* Європейський Союз стимулює авіакомпанії до використання більш екологічного пального шляхом запровадження «зелених» податків.
- *Розвиток альтернативного пального:* дослідження в галузі біопалива та водневих технологій.
- *Оптимізація повітряного руху:* удосконалення маршрутів для скорочення витрат пального. Успішним прикладом є ініціатива «Fly Net Zero» від IATA, яка передбачає досягнення нульових викидів вуглецю до 2050 року [1].

3. Лібералізація та конкуренція на ринку авіаперевезень

Держави все більше сприяють відкриттю авіаційного ринку, що веде до зростання конкуренції та підвищення якості послуг. Основні кроки в цьому напрямі:

- *Дерегуляція авіаперевезень:* розширення відкритого неба між країнами.
- *Стимулювання бюджетних авіаперевізників*: розвиток лоукостерів сприяє доступності авіаперевезень.
- *Зменшення бар'єрів для нових компаній:* спрощення процедур ліцензування та сертифікації.

Прикладом є угода про відкрите небо між ЄС і США, яка дозволила новим авіакомпаніям виходити на ринок без обмежень.

4. Розвиток авіаційної інфраструктури

Держави активно інвестують у модернізацію аеропортів та авіаційних хабів, що сприяє зростанню економіки. Основні аспекти:

- *Будівництво нових аеропортів:* Китай активно інвестує у будівництво нових авіахабів для підвищення транзитного потенціалу.
- *Модернізація наявних терміналів:* запровадження автоматизованих систем обробки багажу.

● *Поліпшення наземної інфраструктури:* створення швидкісних транспортних коридорів між містами та аеропортами.

Яскравим прикладом є розвиток нового аеропорту «Даксін» у Пекіні, який став одним із найсучасніших у світі.

5. Безпека та кібербезпека в авіації. З розвитком технологій зростає потреба у посиленні авіаційної безпеки, особливо в контексті кіберзагроз. Основні заходи:

● *Розширення заходів кібербезпеки:* запровадження нових стандартів захисту цифрових систем авіакомпаній.

● *Боротьба з терористичними загрозами:* посилення контролю на кордонах.

● *Автоматизація заходів безпеки:* використання AI для аналізу загроз.

Прикладом є запровадження нових протоколів безпеки у США після інцидентів з хакерськими атаками на системи управління повітряним рухом.

Державна політика у сфері авіації продовжує активно змінюватися у відповідь на глобальні виклики та технологічний прогрес. Основними пріоритетами є діджиталізація, екологічна сталість, лібералізація ринку, модернізація інфраструктури та посилення безпеки. Для забезпечення сталого розвитку авіаційної галузі необхідна ефективна співпраця між урядами, міжнародними організаціями та приватним сектором.

Взаємодія державного та приватного секторів

Значну роль у розвитку авіації відіграють механізми державно-приватного партнерства (ДПП), які сприяють залученню інвестицій у будівництво та модернізацію інфраструктури. Основними моделями такої взаємодії є: концесії на управління аеропортами; спільне фінансування інноваційних проєктів; стимулювання розвитку авіаційного туризму та вантажних перевезень. Успішні приклади таких моделей можна спостерігати в країнах ЄС, США та Азії, де приватний капітал активно залучається до розвитку аеропортової мережі [1].

Державна політика у сфері авіації повинна бути гнучкою та орієнтованою на інновації, безпеку та стале зростання. Співпраця між урядами, міжнародними організаціями та приватним сектором є запорукою ефективного управління та сталого розвитку авіаційного сектора в умовах глобалізації. Майбутні виклики включають необхідність подальшої екологізації галузі, посилення заходів кібербезпеки та інтеграцію новітніх технологій у процеси державного управління.

Список літератури

1. Future of Aviation Industry 2035. URL: https://www.iata.org/contentassets/690df4ddf39b47b5a075bb5dff30e1d8/iata-futureairline-industry-pdf.pdf (дата звернення 03.04.2025).

УДК 368

О.М. Горбачова к.е.н., доцент
В.В. Німченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вплив цифровізації на процес врегулювання страхових випадків

У дослідженні проаналізовано трансформацію процесу врегулювання страхових випадків під впливом цифровізації. Показано, що впровадження інструментів на основі штучного інтелекту, нейронних мереж та мобільних сервісів істотно пришвидшує та спрощує обробку звернень. Зазначено, що цифрові технології не лише підвищують ефективність роботи страхових компаній, а й формують нову якість взаємодії з клієнтами.

Цифровізація фінансової сфери стало головним трендом в двадцять першому столітті. Сфера страхування не стало виключенням. В умовах стрімкого технологічного прогресу, звичні методи вирішення страхових подій втрачають свою ефективність, що спонукає страховиків до активного впровадження цифрових інновацій. Ці нові інструменти гарантують швидкість, відкритість та зміцнення довіри клієнтів до страхових компаній.

Аби визначити масштаб впливу цифровізації, насамперед необхідно проаналізувати принципи традиційного процесу врегулювання страхових подій. Такий підхід дасть змогу глибше зрозуміти, які саме складові підлягатимуть трансформації. Врегулювання страхового випадку – це процес, в рамках якого страховик розглядає страхову подію, перевіряє відповідність її положенням страхового договору, а також виносить рішення про виплату страхового відшкодування.

Традиційний спосіб врегулювання передбачає, що клієнт мусить особисто відвідати офіс страхової компанії, заповнити заяву, зібрати необхідні документи та очікувати на рішення, що часто вимагає значного часу. Основні недоліки такого підходу включають складність процедури, надмірну бюрократію, залежність від людського фактору та низький рівень прозорості для страхувальника.

Водночас, процес врегулювання є надзвичайно важливим для формування репутації страхової компанії. Від оперативності та якості вирішення питання щодо страхового випадку залежить ступінь довіри клієнта до компанії, його бажання продовжувати співпрацю та готовність рекомендувати компанію іншим.

Цифровізація — це впровадження цифрових рішень у бізнес-процеси, що забезпечує автоматизацію, поліпшення взаємодії з клієнтами та оптимізацію видатків. У страхуванні цифровізація торкається як внутрішніх процесів фірми (управління інформацією, документообіг, аналітика), так і зовнішніх сервісів (мобільні додатки, онлайн-кабінети, чат-боти).

Сучасні страхові фірми активно використовують такі інструменти, як електронні форми заяв, мобільні додатки для подачі звернень, онлайн-оцінку збитків, чат-боти для надання консультацій, а також штучний інтелект для

обробки даних. Застосування big data дає змогу компаніям передбачати ризики та збільшувати точність оцінки страхових випадків.

Міжнародний досвід показує ефективність цифровізації: компанії у США, Німеччині, Японії успішно використовують автоматизовані системи врегулювання, що дозволяє здійснювати виплати впродовж декількох годин після події. Україна також поступово впроваджує ці рішення, хоч і з певними труднощами, пов'язаними з технічною базою та рівнем цифрової грамотності.

Цифрові інновації значно покращують процедуру врегулювання страхових подій. Замість друкованих копій, клієнт може завантажувати документи через мобільний додаток, надсилати світлини пошкоджень, а також відстежувати поточний статус розгляду заяви в режимі реального часу. Це не тільки прискорює процес, але й робить його зручнішим для клієнта.

Автоматизовані системи, побудовані на алгоритмах і машинному навчанні, дозволяють миттєво аналізувати дані, виявляти потенційне шахрайство та приймати рішення без втручання людей. Це зменшує навантаження на співробітників компанії та збільшує точність оцінювання страхових ризиків.

Проте цифровізація має й свої труднощі: зокрема, питання безпеки особистих даних, потреба в постійному оновленні програмного забезпечення, технічні неполадки та неоднорідний рівень цифрової обізнаності серед населення. Але в цілому вплив цифровізації на врегулювання страхових випадків, безумовно, позитивний.

Нейронні мережі нині мають вагоме значення у страховій галузі. Завдяки таким технологіям страхові компанії можуть значно пришвидшити обробку інформації та прийняття рішень. Скажімо, нейромережі беруть участь в аналізі даних про страхові випадки, передбачають ймовірні ризики, та навіть виявляють спроби шахрайства. Це відчутно полегшує роботу страхових агентів та дозволяє економити дорогоцінний час.

Один з ключових напрямків використання нейромереж — автоматизація врегулювання страхових виплат. Наприклад, замість того, щоб очікувати оцінювача, клієнт може надіслати фото пошкоджень, а система самостійно визначить розмір збитків. В деяких випадках рішення про виплату приймається за лічені години, що безперечно зручніше, аніж традиційний процес.

Також за допомогою нейронних мереж страховики мають можливість глибше розуміти потреби своїх клієнтів. Здійснюється аналіз стилю водіння, звичок, попередніх звернень – і на основі отриманої інформації пропонуються індивідуальні умови страхування. Це дає змогу зробити тарифи справедливими й вигіднішими, як для компанії, так і для клієнта.

Ще одним позитивним аспектом є покращена боротьба з шахрайськими діями. Нейромережі здатні виявляти підозрілі звернення або поведінку клієнтів, які часто звертаються за виплатами. Система порівнює аналогічні випадки в базі даних і сигналізує про можливий ризик шахрайства. Таким чином, страхова компанія може уникнути невиправданих витрат.

Втім, не все так просто. З появою таких технологій виникає багато питань – такі як захист персональних даних, можливі помилки в роботі алгоритмів, а також складність в їх налаштуванні. Але загалом спостерігається,

що нейромережі поступово трансформують страхову сферу на краще – роблять її швидшою, ефективнішою і зручнішою для всіх залучених сторін.

В Україні вже є успішні приклади цифровізації у врегулюванні страхових випадків. Кілька страхових фірм пропонують оформлення заяв онлайн, оцінку збитків за допомогою відеозв'язку чи фотофіксації, електронне підписання документів. Наприклад, такі компанії, як ARX, Універсальна, TAS активно вдосконалюють свої мобільні додатки.

Водночас існують деякі проблеми на шляху повної цифровізації. До них належать відсутність єдиних стандартів обробки інформації, обмежені технічні можливості в деяких організаціях, а також недостатній рівень цифрової грамотності серед частини співробітників та клієнтів. До того ж, клієнти не завжди готові цілковито довіряти цифровим платформам, особливо у питанні страхових виплат.

Незважаючи на ці виклики, запит на цифрові сервіси збільшується. Молодь, яка страхується, охоче використовує мобільні сервіси, цінує зручність і прозорість процесів. Це підштовхує страхові компанії до подальших інвестицій у цифрову трансформацію, що є позитивним сигналом для подальшого розвитку галузі.

Висновок

Цифровізація докорінно трансформує практику врегулювання страхових подій, роблячи цей процес значно оперативнішим, зрозумілішим і зручнішим для клієнтів. Автоматизація, мобільні додатки, штучний інтелект та нейронні мережі сприяють суттєвому поліпшенню якості обслуговування, мінімізації людського фактора та прискоренню ухвалення рішень щодо виплат. Традиційні підходи до врегулювання поступово втрачають свою актуальність через високі вимоги сучасних споживачів до рівня сервісу.

Не дивлячись на позитивні зрушення, цифровізація зумовлює потребу в подоланні низки викликів. Йдеться про захист особистої інформації, потенційні технічні неполадки, необхідність цифрової грамотності серед працівників та клієнтів, а також певний рівень недовіри до нових інструментів. Проте, ці труднощі є типовими для будь-якої трансформації та можуть бути вирішені шляхом поступового вдосконалення цифрової інфраструктури, проведення навчальних заходів і формування нової культури взаємодії зі страховими послугами.

Відтак, цифровізація вже зараз справляє відчутний вплив на страхову галузь та виступає важливою передумовою її стійкого розвитку. Збільшення попиту на швидкі й доступні онлайн-сервіси підкреслює необхідність подальшої цифрової трансформації. Компанії, що вчасно адаптуються до нових умов, матимуть суттєві конкурентні переваги та зможуть повністю задовольнити потреби сучасного клієнта.

Список літератури

1. Журавка О., Медвідь А., Журавка А. Сучасні тенденції цифровізації страхового ринку. *Вісник СумДУ*. 2023. Серія «Економіка». С. 24–31.

URL:https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream- download/123456789/94781/1/Zhuravka_digitalization.pdf(дата звернення: 09.04.2025).

2. Сосновська О. Інноватизація страхового бізнесу в умовах розвитку цифрової економіки. *Бізнес інформ*. 2021. № 7. С. 62–69. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/39289/1/Sosnovska_O_BI_7_FITU.pdf(дата звернення: 09.04.2025).

3. Сосновська О., Сиренко І. Тенденції інноваційного розвитку страхових компаній в Україні. *Економіка та суспільство*. 2020. С. 20–30. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/39553/(дата звернення: 10.04.2025).

УДК 656.073.7

Т.О. Сімкова, к.е.н., доцент
А.Р. Пікуза, здобувач вищої освіти
(ДУ «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості формування собівартості послуг з перевезення вантажу автотранспортними підприємствами

Проаналізовано основні статті витрат, що формують собівартість, виявлено ключові внутрішні та зовнішні чинники, що впливають на її структуру. Досліджена методика обліку витрат. Запропоновано рекомендації щодо оптимізації витрат з метою підвищення ефективності діяльності автотранспортних підприємств.

Вантажні автоперевезення є критично важливим сегментом економіки, який забезпечує стабільне функціонування промисловості, торгівлі та сільського господарства. Успішна діяльність автотранспортних підприємств залежить від цілого ряду факторів, серед яких важливе місце займає формування собівартості послуг. Собівартість перевезення вантажів є одним із головних показників економічної ефективності підприємства та базою для встановлення цінової політики, оцінки прибутковості маршрутів, фінансового планування та розвитку.

В умовах посиленої конкуренції, зростаючих цін на енергоносії, коливань валютних курсів, а також технологічних змін в логістиці, автотранспортні підприємства змушені ретельно аналізувати витрати та впроваджувати ефективні механізми їх оптимізації. Особливості автоперевезень — мобільність основних засобів, велика частка змінних витрат, залежність від зовнішніх факторів (стан доріг, погодні умови, законодавство) — ускладнюють точне прогнозування витрат, але водночас вимагають гнучкого та адаптивного підходу до управління собівартістю.

Формування собівартості послуг з перевезення вантажів автотранспортом є динамічним і багатокомпонентним процесом, що потребує не лише глибокого розуміння економічної суті витрат, а й здатності адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі. На практиці собівартість формується як сукупність усіх витрат, понесених підприємством для забезпечення конкретного перевезення. Її рівень залежить від низки змінних: тип вантажу, обсяги перевезення, відстань, стан доріг, час доставки, потреба у спеціальному обладнанні, митне оформлення, безпека, сезонність та інші [1].

Собівартість вантажного автоперевезення формується як сукупність прямих і непрямих витрат, що виникають у процесі доставки вантажу від пункту А до пункту Б. До основних прямих витрат належать витрати на паливно-мастильні матеріали, заробітну плату водіїв, амортизацію транспортних засобів, витрати на технічне обслуговування та ремонт, витрати на шини, мийку, охолоджуючі рідини тощо. Ці витрати прямо залежать від пробігу транспортного засобу, обсягу та типу вантажу, складності маршруту, тривалості поїздки. Зміна будь-якого з цих чинників веде до відповідної зміни рівня витрат.

Окремі автотранспортні компанії мають значні відмінності у структурі витрат через різний профіль діяльності — одні спеціалізуються на контейнерних міжнародних перевезеннях, інші — на доставці сипучих матеріалів, треті — на рефрижераторних перевезеннях. Відповідно, витратна структура буде відображати специфіку роботи, що потрібно враховувати при плануванні. Наприклад, витрати на енергоресурси при роботі рефрижераторів будуть значно вищими за середні, а вартість обслуговування тягачів для великотоннажних перевезень перевищує витрати при використанні малотоннажного транспорту [2].

Витрати на паливо зазвичай становлять найбільшу частку собівартості, тому підприємства активно впроваджують інструменти контролю за витратами пального: GPS-навігацію, бортові комп'ютери, датчики витрат, системи диспетчеризації. Крім того, важливим чинником є якість палива та вибір оптимального постачальника. Зменшити витрати можна за рахунок оптимізації маршрутів, уникнення пробок, зниження кількості холостих пробігів, навчання водіїв принципам економічного водіння.

Наступним важливим елементом собівартості є заробітна плата водіїв, яка може формуватися на основі погодинної, відрядної або змішаної системи оплати. В умовах дефіциту кваліфікованих кадрів підприємства вимушені пропонувати конкурентні умови оплати праці, що збільшує витратну частину, але одночасно знижує ризики простоїв і забезпечує якісне виконання перевезень. Витрати на амортизацію залежать від облікової вартості транспортних засобів, їхнього технічного стану та методу нарахування зносу. На практиці більшість підприємств використовує прямолінійний метод амортизації, проте в умовах активного зношення техніки можливе використання прискорених методів. Амортизація транспорту та витрати на його технічне обслуговування й ремонт також істотно впливають на собівартість. Старий автопарк тягне за собою високі експлуатаційні витрати, низьку паливну ефективність, часті простої, втрати часу і в підсумку — зростання витрат. У зв'язку з цим економічно доцільною є модернізація автопарку, іноді — навіть через фінансовий лізинг, що дозволяє оновити техніку без значного навантаження на бюджет підприємства. Порівняльний аналіз підприємств показує, що компанії з технікою віком до 3 років мають на 12–18% нижчу собівартість перевезень порівняно з підприємствами, які експлуатують автомобілі старше 8 років.

До непрямих витрат входять витрати на управлінський персонал, оренду офісів, комунальні послуги, IT-обслуговування, страхування, податки, витрати на рекламу, зв'язок та інші адміністративні витрати. Хоча вони не прив'язані до конкретного маршруту, ці витрати необхідно рівномірно розподіляти на обсяги перевезених вантажів, що впливає на розрахунок собівартості одиниці послуги. У практиці сучасних підприємств доцільно запроваджувати управлінський облік з поділом витрат за напрямками діяльності, клієнтами, видами транспорту, що дає змогу точніше визначати рентабельність.

Зовнішні чинники, такі як зміни в законодавстві, ставки податків, акцизів, тарифів на страхування, митні правила, обов'язкові екологічні норми (наприклад, вимоги Євро-5 або Євро-6), також впливають на структуру витрат.

Плата за користування дорогами, обов'язкові технічні огляди, витрати на отримання ліцензій та дозволів включаються до витратної частини і мають враховуватись у фінансовому плануванні.

Значна увага сьогодні приділяється впровадженню цифрових технологій у сфері обліку витрат та планування перевезень. Використання спеціалізованого програмного забезпечення для обліку перевезень, планування маршрутів, обробки замовлень, автоматичного формування документів дозволяє скоротити час обробки даних, уникнути помилок, прискорити обробку інформації та оперативно реагувати на зміни в діяльності. Крім того, цифрові інструменти дозволяють проводити глибокий аналіз витрат, виявляти «вузькі місця» в логістичному ланцюзі та оцінювати ефективність рішень [3].

Окремо варто відзначити значення інвестиційної політики в контексті собівартості. Наприклад, оновлення автопарку на більш енергоефективні або екологічні моделі (зокрема електровантажівки або газові двигуни) дозволяє суттєво зменшити витрати на експлуатацію у довгостроковій перспективі. Також це покращує екологічний імідж підприємства, що має дедалі більше значення при участі в тендерах або співпраці з великими компаніями.

Питання зниження собівартості не слід розглядати лише через призму економії. Неправильне скорочення витрат (наприклад, через зменшення витрат на ТО або оплату праці) може призвести до зниження якості послуг, втрати клієнтів та зниження безпеки перевезень. Оптимізація повинна мати комплексний, системний характер — з акцентом на ефективність, інноваційність, автоматизацію та управлінську гнучкість.

Формування собівартості послуг з перевезення вантажів автотранспортом — це багатокомпонентний процес, що вимагає глибокого аналізу, системного підходу та постійного моніторингу. В умовах зростаючих витрат і високої конкуренції підприємства повинні використовувати сучасні підходи до управління витратами: впроваджувати управлінський облік, оптимізовувати логістику, оновлювати технічну базу, навчати персонал і автоматизувати процеси. Собівартість не лише відображає фактичні витрати, але й формує основу для ціноутворення, фінансового планування та інвестиційної стратегії. Комплексний контроль за витратами сприяє досягненню стабільної прибутковості, підвищує конкурентоспроможність підприємства та забезпечує його сталий розвиток у довгостроковій перспективі.

Список літератури

1. Воскресенська Т., Теслюк М. Особливості формування собівартості послуг з перевезення вантажу. *Економіка та суспільство*. 2021. 32. С. 36-48.
2. Сімкова Т.О., Котик Р.В. Резерви зниження собівартості послуг транспортного підприємства. Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference *EUROPEAN SCIENTIFIC DISCUSSIONS*. Rome, Italy 23-25 May 2021. - P. 546-551
3. Сімкова Т.О., Борисюк І.О. Управління витратами авіабудівних підприємств через процесно-орієнтований підхід у соціально-поведінковій економіці. Бізнес-інформ, 2020. №9. С. 181 - 188. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-9-181-188

УДК 338.242

К.В. Антоненко, к.е.н, доцент, Є.А. Сідак
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Антикризове управління авіаційним підприємством

Висвітлено основні аспекти антикризового управління авіаційними підприємствами. Запропоновано стратегії, що дозволяють підприємствам не тільки протистояти кризам, але й використовувати їх для свого розвитку, інвестуючи в інноваційні рішення. Розглянуто систему моніторингу кризових ситуацій для виявлення потенційних загроз і своєчасного реагування на них.

В умовах ринкової економіки підприємства, особливо авіаційні, функціонують як відкриті системи у зовнішньому середовищі, яке не є постійними, а іноді змінюються з неочікуваною динамікою. Це середовище, що базується на факторах невизначеності та нестабільності, створює необхідність швидкої адаптації до ситуації, пізнання законів розвитку та пошуку шляхів виживання і розвитку в умовах ринкової економіки. Підприємства функціонують у макро-, мезо- та мікросередовищі, яке постійно загрожує їхньому виживанню. Ризик кризи завжди присутній, навіть якщо вона фактично не настає. Це пояснюється тим, що хоча всі соціально-економічні системи розвиваються циклічно, зовнішнє середовище розвивається дуже динамічно, тому ризики завжди присутні в бізнесі. Це призводить до зміни співвідношення контрольованих і неконтрольованих процесів.

Авіаційна галузь є однією з найдинамічніших і водночас найуразливіших сфер сучасної економіки. Високий рівень конкуренції, залежність від зовнішніх факторів, таких як ціни на паливо, регуляторні зміни та глобальні події, робить авіапідприємства особливо схильними до кризових ситуацій. Саме тому антикризове управління є ключовим елементом для забезпечення стабільності та виживання авіаційних компаній в умовах невизначеності.

Кризові ситуації можуть виникати з різних причин – це як зовнішні фактори, такі як економічні рецесії, пандемії чи політична нестабільність, так і внутрішні проблеми, зокрема неправильне фінансове планування або управлінські помилки.

Основне завдання антикризового управління полягає у визначенні можливих варіантів дій, їх швидкому втіленні на практиці, виборі найкращого варіанту, ефективному впровадженні його в систему та запобіганні накопиченню кризових рівнів [1].

Антикризове управління передбачає створення нових систем управління, визначення нового механізму управління підприємством на короткий проміжок часу, зосереджуючи всю увагу на протидії розвитку криз, через те що звичайні засоби впливу не завжди дають необхідний підприємству ефект у передкризовій та кризовій ситуації [2].

Формування стратегії антикризового управління авіапідприємством можливе лише за умови, що воно має стратегічну орієнтацію. Це забезпечує такі переваги:

- зменшення негативного впливу змін;
- урахування об'єктивних зовнішніх та внутрішніх чинників;
- створення відповідної організаційної та інформаційно-аналітичної бази для антикризового управління;
- формування інструментарію для прийняття стратегічних і тактичних антикризових рішень;
- впровадження заходів, спрямованих на відновлення ефективності та прибутковості в коротко- та довгостроковій перспективі;
- підвищення керованості підприємства;
- запровадження системи стимулювання адаптації до змін через реалізацію концепції тактичної антикризової гнучкості;
- забезпечення прискореного впровадження антикризової стратегії та програм;
- відновлення й розширення зовнішніх зв'язків, що зміцнює антикризову здатність і відкриває нові можливості для розвитку підприємства.

При виборі антикризової стратегії та відповідних заходів необхідно враховувати такі фактори, як стадія розвитку підприємства, причини виникнення кризи, симптоми кризи та їх діагностика, ступінь серйозності й тривалість кризи, поточна стратегія компанії та її здатність адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі, економічна ситуація, конкурентна позиція, організаційна структура, а також структура витрат і цін [3].

Процес антикризового управління авіапідприємством свідомо будується на основі принципів раціональності, оптимального використання ресурсів, максимальної ефективності та економії часу. Це визначається як технологія антикризового управління, яка передбачає вибір і реалізацію певної послідовності форм, методів, механізмів та інструментів для ухвалення управлінських рішень, зокрема й у сфері державного управління. Водночас у державному управлінні, на відміну від економічної сфери, на перший план виходять не економічні показники ефективності, а, наприклад, збереження керованості системою або забезпечення справедливості державних рішень, навіть за умов низької рентабельності чи великих витрат ресурсів [4].

Криза також може стати поштовхом до інновацій і модернізації. Підприємства, які здатні адаптуватися до нових умов і використовувати кризу як можливість для розвитку, мають більше шансів не лише пережити кризовий період, але й вийти з нього сильнішими. Наприклад, інвестиції в нові технології, такі як оптимізація логістичних процесів або впровадження більш економічних літаків, можуть дати підприємству конкурентну перевагу в довгостроковій перспективі.

Важливим чинником підвищення ефективності антикризового управління є система моніторингу кризових ситуацій. Вона включає спеціально організовані заходи для оцінки ймовірності та реальності негативних впливів на

діяльність підприємства і потрібна для своєчасного виявлення потенційних криз.

Висновки

Антикризове управління авіаційним підприємством є складним і багатогранним процесом, що вимагає швидкої адаптації до змін зовнішнього середовища та пошуку ефективних рішень для виживання й розвитку. В умовах високої конкуренції та зовнішніх викликів авіапідприємства повинні не лише справлятися з кризами, але й використовувати їх як можливості для інновацій та підвищення конкурентоспроможності. Основою успішного антикризового управління є стратегічне планування, своєчасне впровадження заходів для стабілізації ситуації, а також використання сучасних технологій для оптимізації бізнес-процесів.

Список літератури

1. Kudyn S., Soshnykov A., Tokunova A., Volkova A., Antonenko K. Fostering Socially Responsible Business Practices Amidst Uncertainty. *International Journal of Organizational Leadership*. 2025. 14 First Special Issue. Pp. 45-54. doi: 10.33844/ijol.2025.60458.
2. Arefieva Olena, Poberezhna Zarina, Piletska Samira, Arefiev Serhii, Kwilinski Aleksy. Motivational management of enterprise innovation development in the context of limited resources and environmental influences. E3S Web of Conferences 477, № 11, 00012 (2024). https://doi.org/10.1051/e3sconf/20244770001.
3. Васюткіна Н. В., Селемонка Г. М. Формування моделі побудови системи стратегічного управління на підприємстві. Бізнес Інформ. 2023. № 11. С.332-339.
4. Сафонік Н. П., Ковальчук А. М., Карпенко І. О. Особливості формування економічного потенціалу підприємства із позицій його іміджу в умовах адаптації до змін. Бізнес Інформ. 2021. №11. С. 287–293. URL: https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-11-287-293

UDC 336.137

Alexander Holubchykov,
Yuliia Vladyka, Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor,
(State University "Kyiv Aviation Institute"))

Mechanisms and organization of financial restructuring of banking institutions

The analyzes scientific and methodological approaches to defining the concept of "enterprise restructuring", reveals the content, tasks and key characteristics of this process. Particular attention is paid to the economic essence of financial restructuring, its mechanism, scope, main tasks and expected results. The need for the implementation of financial restructuring for Ukrainian enterprises, especially in the context of modern challenges, is substantiated, and recommendations are provided on key aspects of practical implementation.

For international corporations, restructuring represents a continuous, organic, and essentially ongoing process of transformation and redesign aimed at adapting to the dynamics of the external environment. This is largely driven by the need to maintain resilience in the face of adverse external factors, a priority strategic goal for any economic entity operating in an unstable business climate. Consequently, an effective restructuring strategy serves as a key tool for securing long-term competitive advantages and sustaining the strategic stability of banking operations. To revitalize the development of the banking sector in Ukraine, an ongoing restructuring process is necessary, encompassing every aspect of banking operations.

The Basel Committee Recommendations identify the key factors contributing to the emergence of weak banks as financial crises, adverse macroeconomic shocks—including currency risks—poor performance in the real economic sector, and the insufficient readiness of the banking system for economic liberalization processes, among other similar factors [2].

The activities associated with rescuing weak and unstable banks can be characterized as crisis management efforts implemented on two distinct levels: on the one hand, through the internal actions of the bank's leadership, and on the other, via the implementation of systemic measures introduced by the country's central bank. In economic literature, this type of intervention is often referred to as crisis financial management [3]. Scholars in this field have identified two integral components within such a framework: risk management systems and financial rehabilitation systems focused on the recovery of the management entity.

The necessity for financial restructuring has been significantly intensified by the overarching crisis precipitated by the full-scale war. This situation is characterized by a range of adverse factors, including: – The collapse of market activity in the eastern regions of the country; – The loss of production capacities or their prolonged incapacitation for indeterminate durations; – The disruption of established logistics chains and the subsequent need to construct new ones, alongside the destruction or damage of storage facilities; – The erosion of traditional commodity and financial markets, compounded by the migration of labor resources; – An ecological crisis

exacerbated by the contamination of natural resources and the widespread mining of territories.

The need for restructuring typically arises during a stage in a company's development when it becomes clear that a crisis is unavoidable and financial forecasts appear unfavorable both in the short and long term. However, restructuring can also be employed in what might initially seem like a stable environment, serving as a proactive measure to address inevitable external changes. [5; 1].

This type of restructuring encompasses specific measures such as debt restructuring with creditors, securing additional loans, increasing or decreasing charter capital, altering the organizational form of the enterprise (e.g., converting from an LLC to a joint-stock company), retracting or freezing investment commitments, or isolating a center of responsibility into a separate property complex with the potential creation of a subsidiary entity. It is essential to highlight that, as of today, there remains no unanimous consensus among scholars regarding the role, significance, implementation specifics, and defining characteristics of financial restructuring.

Financial restructuring becomes necessary when a company's financial system fails to adequately fulfill its core functions, such as provisioning, regulation, and stimulation. Such shortcomings often trigger negative financial trends and serve as clear evidence of inefficiencies in the enterprise's financial management. Ultimately, restructuring aims to restore financial health by altering the capital structure, assets, and property of the business. This process not only sets the foundation for improving the company's market value but also establishes liabilities as the primary focus for these efforts. Drawing on various academic perspectives, we propose this definition: financial restructuring of an enterprise is a comprehensive system of coordinated financial and economic measures aimed at reshaping the management mechanisms of capital, debt, and investments.

These include adjustments in the structure and size of equity and borrowed capital, changes in ownership structure (if necessary), reallocation of non-current and current assets as needed, revisions in investment policy approaches, and shifts in pricing strategies, motivational schemes, funding priorities, debt repayment hierarchies, or dividend policies. [4]. This type of restructuring encompasses specific measures such as debt restructuring with creditors, securing additional loans, increasing or decreasing charter capital, altering the organizational form of the enterprise (e.g., converting from an LLC to a joint-stock company).

Implementation of the proposed approaches within the framework of financial restructuring can significantly accelerate the process of financial recovery for enterprises. Three primary directions of restructuring emerge: asset and capital optimization, debt management policies, and the development of an innovation-driven investment breakthrough program. The anticipated result of these measures is a substantial improvement in all key financial indicators. Scholars and practitioners categorize various forms of restructuring, including bank restructuring, into such types as operational, financial, corporate (reorganization), organizational, technical, managerial, production-oriented, anticipatory, adaptive, legal, strategic, market-based, social, environmental, and others.

Conclusions

The primary dimensions for examining the concept of restructuring in scientific and methodological literature include its consideration as a management tool, as a process, and as structural transformation. In our view, the concept of restructuring should encompass terms such as renewal, financial and economic measures, creation of added value, and enhancement of economic potential. These elements underscore the purpose and anticipated outcomes of restructuring, thereby providing a more comprehensive understanding of its essence.

Financial restructuring of an enterprise is a comprehensive system of coordinated techniques and financial-economic measures aimed at managing its capital, debt, and investments. The ultimate goal of this process is to rapidly improve the company's financial health, generate added value, and enhance its economic potential. It is recommended to conduct financial restructuring along three primary directions: optimizing assets and capital, establishing an effective debt management policy, and developing and implementing a program for innovative breakthroughs.

However, in order to achieve the above advantages, it is necessary to ensure a number of conditions for the successful application of the author's approach to the restructuring of the bank: transparency of financial reporting; automated document processing; clear distribution of functions in the analysis process; unchanged methods of calculating financial ratios; ensuring comparability of source data.

References

1. Okonkwo J. J., Okere W., Okoye N. J., Mkparu E. T. The Effect of Capital Restructuring on Bank Financial Performance. *AKRUAL: Jurnal Akuntansi.* 2023. № 15.1. P. 14-25.
2. Likarchuk N., Andrieieva O., Likarchuk D., Bernatskyi A. Impression Marketing as a Tool for Building Emotional Connections in the Public Administration Sphere. *Studies in Media and Communication*. 2022. Vol.10(1). P. 9-16.
3. Ren Y., Xiao D. Restructuring cost and its prediction analysis. *Journal of Corporate Accounting & Finance.* 2024. № 35.1. P. 218-227.
4. Vladyka Y, Turova L. Zaderaka N. Management accounting and internal economic control of the warehouse control systems at the enterprise. *Azov Economic Bulletin.* 2024. №2 (38).
5. Teti E., Tron A., Colantoni F., Celani E. The efficiency of preventive restructuring procedures: Evidence from France. *Strategic Change.* 2024. № 33.2. P. 79-93

УДК: 004.8:658.5

О.В. Пономарьов, к.е.н., В.О. Савченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Оцінка ризиків у проєктах розробки кіберспортивних платформ з використанням авіаційних симуляторів

Узагальнено ризики проєктів розробки кіберспортивних платформ із використанням авіаційних симуляторів. Проведено класифікацію ризиків, застосовано сучасні методи їх оцінки, проаналізовано міжнародний досвід і запропоновано шляхи мінімізації загроз для підвищення ефективності управління реалізації подібних проєктів.

Кіберспорт набуває стрімкого розвитку як на глобальному, так і на українському рівнях. Особливу нішу у ньому займають авіаційні симулятори, що поєднують високий рівень реалізму, технічну складність і потенціал для професійної підготовки. Проте розробка таких платформ супроводжується суттєвими ризиками, які потребують глибокої системної оцінки. Метою дослідження є оцінка ключових ризиків проєктів розробки кіберспортивних платформ на базі авіаційних симуляторів, спираючись на міжнародний досвід управління проєктами, методики оцінки ризиків та специфіку кіберспортивної індустрії.

Основні ризики та їх класифікація:

1. Технологічні ризики: висока вартість розробки високореалістичних фізичних моделей польоту та інтеграція VR/AR-технологій [1]; ризик застарівання технологічних стеків у процесі реалізації довготривалих проєктів [2].

2. Фінансові ризики: висока залежність від інвесторів та спонсорів у нестабільному ринку кіберспорту [3]; невизначеність у монетизації продукту (модель free-to-play vs. pay-to-play).

3. Організаційні ризики: дефіцит кадрів з досвідом в авіаційній симуляції та геймдеві; недосконалість нормативної бази, що регулює кіберспорт в Україні [4].

4. Користувацькі та соціальні ризики: високі очікування геймерської спільноти щодо якості симуляції та мультиплеєру; ризики кібербулінгу та токсичної поведінки у спільнотах [5].

5. Правові ризики: питання авторського права на авіаційні моделі, прототипи літаків, ПЗ, тощо; проблеми з сертифікацією ПЗ у випадку залучення до освітніх або військових цілей [6].

Методи оцінки ризиків. У проєктах розробки кіберспортивних платформ із використанням авіаційних симуляторів доцільно використовувати комбінований підхід до оцінки ризиків, який забезпечує всебічне охоплення технічних, організаційних та поведінкових чинників. Такий підхід базується на застосуванні кількох взаємодоповнюючих методик:

1. SWIFT (Structured What-If Technique) [7]. Це структурований метод якісної оцінки ризиків, який базується на принципі запитань «що, якщо...?».

Мета: виявити нетипові, малоймовірні, але потенційно критичні сценарії, які можуть не потрапити до уваги в класичному аналізі.

Застосування у проєкті:

– «Що, якщо ключовий серверний компонент вийде з ладу під час міжнародного турніру?»

– «Що, якщо зміни у VR-API викличуть конфлікти з системою керування польотом?»

Метод SWIFT дозволяє сформувати список ризиків на ранніх стадіях планування й заздалегідь передбачити їх наслідки, визначаючи відповідальні сторони. Основні переваги: швидкість реалізації; не потребує складних розрахунків, ефективний для ідейної фази проєкту.

2. FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) [8]. Метод аналізу видів і наслідків потенційних відмов використовується для виявлення технічних дефектів у системі та оцінки їх серйозності.

Мета: запобігти технічним відмовам, ідентифікувавши можливі несправності ще на етапі проєктування.

Ключові параметри аналізу: Severity (S) – серйозність наслідків; Occurrence (O) – ймовірність виникнення; Detection (D) – можливість виявлення.

Використовується для: виявлення ризиків у модулюванні польотних параметрів; оцінки потенційних збоїв у VR-інтерфейсах чи зниження частоти кадрів під навантаженням.

Основні переваги: систематичність; можливість кількісного ранжування ризиків; підвищення технічної надійності системи;

3. Матриця ризиків (Probability/Impact Matrix) [8]. Це візуальний інструмент, який дозволяє класифікувати ризики за двома ключовими критеріями: ймовірність виникнення (Probability); ступінь впливу (Impact).

Ризики розміщуються у відповідній комірці матриці (наприклад: висока ймовірність + середній вплив), що дозволяє визначити їх пріоритет обробки.

Переваги: простота візуалізації; добре підходить для стратегічного прийняття рішень; легко комунікувати з командою та інвесторами.

Комбіноване використання SWIFT, FMEA і матриці ризиків забезпечує комплексне охоплення ризиків у проєкті:

– SWIFT ідентифікує нетривіальні ризики;

– FMEA формалізує технічні загрози;

– Матриця допомагає визначити пріоритетність реагування та візуалізувати карту ризиків для керівництва.

У США та ЄС авіаційні симулятори часто використовуються не лише у геймінгу, а й у військовій підготовці. Компанії на кшталт DCS World (Eagle Dynamics) реалізували успішні моделі розвитку з гібридною бізнес-структурою, поєднуючи геймерський ринок та ринок оборонних контрактів [10].

В Японії та Кореї кіберспорт офіційно визнаний, що знижує регуляторні ризики для інвесторів [11].

Пропозиції щодо мінімізації ризиків. Впровадження етапного фінансування з контрольними точками ефективності.

Розробка партнерських моделей з університетами авіаційного профілю для кадрової підтримки.

Юридична експертиза на всіх етапах – від ліцензування до сертифікації.

Залучення користувачів на етапах бета-тестування для зниження користувацьких ризиків.

Висновок

Розробка кіберспортивних платформ на базі авіаційних симуляторів має високий потенціал, але вимагає проактивного підходу до управління ризиками. Використання системних методів оцінки та адаптація міжнародного досвіду дозволяє підвищити успішність реалізації подібних проєктів в Україні.

Список літератури

1. Sommerville, I. (2016). *Software Engineering*. 10th Ed. Pearson.
2. Schwalbe, K. (2021). *Information Technology Project Management*. Cengage Learning.
3. Newzoo. (2023). *Global Esports and Live Streaming Market Report*.
4. Лавренюк О. (2019) Кіберспорт і права інтелектуальної власності. Jurnalul juridic national: teorie şi practică Nr. 3(37). Режим доступу: https://ibn.idsi.md/vizualizare_articol/84479
5. Kowert, R. (2020). *Video Games and Well-being: Press Start*. Springer.
6. ICAO. (2022). *Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices*.
7. IEC/ISO 31010:2019. *Risk Management – Risk Assessment Techniques*.
8. Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*. ASQ Quality Press.
9. Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* – 7th Edition.
10. Eagle Dynamics. (2024). Company Reports. URL: https://www.digitalcombatsimulator.com
11. Ministry of Culture, Sports and Tourism of Korea. (2023). *Annual Esports Industry Report*.

УДК 005.8:339.92

О.В. Поліщук, к.е.н., доц., О.В. Пономарьов, к.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Трансфертне ціноутворення у міжнародних проєктних структурах: сучасні виклики, тенденції та підходи до регулювання

Здійснено комплексний аналіз трансфертного ціноутворення (ТЦУ) в межах міжнародних проєктних структур з урахуванням вимог ОЕСР, ініціатив BEPS та українського законодавства. Розглянуто проблематику функціонального аналізу, порівняльного підходу та викликів документування внутрішньогрупових операцій. Узагальнено сучасний досвід транснаціональних компаній щодо побудови прозорих цінових політик у проєктній діяльності.

Глобалізація економічних процесів, зростання обсягів транснаціонального співробітництва та ускладнення фінансових моделей проєктного управління зумовили зростання ролі трансфертного ціноутворення як стратегічного інструменту. У міжнародних проєктних структурах, де взаємодіють юридичні особи, зареєстровані в різних податкових юрисдикціях, питання формування внутрішньогрупових цін набуває особливого значення.

Питання ТЦУ активно розробляється на рівні міжнародних організацій:

OECD Transfer Pricing Guidelines (2022) чітко визначають принцип «витягнутої руки» (*arm's length principle*) як основу формування цін у контрольованих операціях. Принцип вимагає, щоб умови угод між пов'язаними особами не відрізнялись від умов, які були б застосовані між незалежними контрагентами в подібних обставинах [1].

План BEPS (Base Erosion and Profit Shifting) включає низку заходів щодо запобігання виведенню прибутку до низькоподаткових юрисдикцій. Ключовими стали дії № 8–10 (ціноутворення за функціями, ризиками, активами) та дія №13 (документація та звітність за країнами) [2].

В Україні, стаття 39 Податкового кодексу встановлює правила ТЦУ, зокрема критерії контрольованих операцій, методи визначення відповідності умов принципу «витягнутої руки», обов'язкову звітність та відповідальність за порушення [3].

У межах багатонаціональних проєктів (наприклад, інфраструктурних, інноваційних чи технологічних), структура взаємовідносин може включати:

- материнську компанію (головного замовника або координатора);
- регіональні офіси чи підрядників;
- спільні підприємства (Joint Ventures);
- субпідрядників у юрисдикціях зі спрощеним оподаткуванням.

В умовах такої структури визначення ролі, функцій та ризиків кожної сторони є надзвичайно складним, але критично важливим для обґрунтування рівня маржі чи методів розподілу прибутку. Наприклад, компанія, яка лише адмініструє проєкт, не може мати високий рівень прибутковості, якщо не несе відповідних ризиків і не має матеріальних активів.

Найпоширеніші методи ТЦУ, які застосовуються у проєктному середовищі:

1.Метод порівняльної неконтрольованої ціни (CUP) – застосовується у разі наявності ідентичних або подібних ринкових операцій, що рідко трапляється у складних проєктних структурах.

2.Метод чистого прибутку (TNMM) – найчастіше використовується при аналізі діяльності окремих проєктних одиниць, наприклад, IT-центрів, проєктних офісів, виробничих підрозділів.

3.Метод розподілу прибутку (PSM) – актуальний для ситуацій, де кілька учасників проєкту здійснюють значний внесок у створення цінності (наприклад, спільна розробка технології).

Ці методи передбачають порівняльний аналіз, який вимагає доступу до баз даних фінансової звітності (наприклад, Bureau van Dijk, Amadeus, S&P Capital IQ).

Ефективну реалізацію цих методів, можна побачити в практичних кейсах міжнародних компанії таких, як:

– IBM – для внутрішніх IT-сервісів між країнами використовує метод TNMM з орієнтацією на операційну рентабельність у межах 3–6% [4];

– Siemens – у рамках R&D проєктів застосовує метод розподілу прибутку з чіткою диференціацією ролей учасників;

– Ericsson – використовує централізовані хаби з фіксованою рентабельністю для регіонального управління проєктами.

Для українських суб'єктів міжнародного проєктного співробітництва основні виклики полягають у:

1.недостатній аналітичній базі для порівняльного аналізу;

2.складності доказу економічної доцільності трансфертних цін;

3.мінливому законодавстві (часті зміни Податкового кодексу);

4.високих ризиках донарахування з боку податкових органів.

Станом на 2024 рік, найбільш частими порушеннями є:

– неповне розкриття інформації в документації;

– використання методів без належного обґрунтування;

– укладання угод з офшорними структурами без комерційної логіки.

Висновок

У контексті міжнародного управління проєктами трансфертне ціноутворення відіграє ключову роль як механізм забезпечення податкової прозорості, розподілу прибутку відповідно до створеної цінності та мінімізації регуляторних ризиків.

Розробка ефективної політики ТЦУ в межах проєктної структури має ґрунтуватися на: точному функціональному аналізі; співставному фінансовому моделюванні; дотриманні міжнародних стандартів документації.

Для України важливо сприяти гармонізації національного законодавства з рекомендаціями ОЕСР, удосконалювати практику збору порівняльної інформації та підвищувати кваліфікацію фахівців з проєктного та податкового управління.

Список літератури

1. OECD. (2022). Transfer Pricing Guidelines for Multinational Enterprises and Tax Administrations. Paris: OECD Publishing. URL: https://www.oecd.org/tax/transfer-pricing/oecd-transfer-pricing-guidelines.htm

2. United Nations. (2021). Practical Manual on Transfer Pricing for Developing Countries. New York: UN. URL: https://www.un.org/development/desa/transfer-pricing-manual.html
3. Податковий кодекс України. (2024). Стаття 39. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show
4. PwC. (2023). *Transfer Pricing Perspectives: Leading Practices in* Documentation. PwC Global. URL: https://www.pwc.com/gx/en/services/tax/transfer-pricing.html
5. Deloitte. (2023). Global Transfer Pricing Documentation Requirements. Deloitte Insights. URL: https://www2.deloitte.com

УДК 33.005.31

Г.Б. Мирошниченко, к.е.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
Б.А. Кацаненко, бакалавр
(ЗСУ, Україна)

Особливості стартапу як інноваційного проекту

У статті проаналізовано концепції управління стартапами, зокрема концепцію Leap як найбільш ефективну завдяки оптимальному використанню ресурсів та орієнтації на потреби клієнтів. Доведено, що ця модель дозволяє вдосконалювати продукт ще на етапі розроблення, мінімізуючи стартові витрати.

Умови воєнного стану в Україні загострили економічні проблеми, зокрема інфляцію, безробіття та втрату виробничого потенціалу, що потребує швидких рішень для стабілізації ситуації. У цьому контексті першочерговим завданням є стимулювання інноваційної підприємницької активності шляхом державної підтримки створення стартапів, які здатні забезпечити нові робочі місця, підвищити інвестиційну привабливість та сприяти економічному відновленню країни.

Інноваційний розвиток підприємництва характеризується поступовим впровадженням сучасних міжнародних підходів до організації бізнесу. Сьогодні здатність компаній до конкуренції тісно пов'язана з використанням інноваційних рішень у вирішенні бізнес-завдань. Для ефективної реалізації стартапів виконавцям необхідно володіти чіткою методологією та концепцією управління [1]. Теоретичні засади створення стартапів і специфіка управлінських підходів до реалізації стартап-проектів як інноваційних ініціатив із метою залучення венчурного капіталу, спираючись на міжнародний досвід і є метою дослідження.

Концепції управління стартапами відіграють важливу роль у зниженні ризиків на кожному етапі розвитку інноваційного проекту. Розуміння структури стартапу як послідовного процесу - від ідеї до реалізованого продукту - дозволяє більш ефективно планувати ресурси та дії команди.

Стартапи проходять умовні етапи: від народження ідеї до перетворення її на інноваційний об'єкт. Ініціаторами таких проектів можуть бути інвестори, науковці або державні структури. На будь-якому етапі існує ймовірність невдачі, адже 75% стартапів не досягають успіху.

Щоб мінімізувати ризики, застосовуються різні концепції управління стартапами. Так, концепція PRINCE2 (Projects In Controlled Environments) передбачає структурований підхід до управління проєктом, розбиваючи його на чіткі етапи з визначеними цілями, ролями та обов'язками, що дозволяє раціонально використовувати ресурси та контролювати виконання на кожному етапі. Scrum, у свою чергу, є гнучкою методологією, яка найбільш ефективна для ІТ-проектів, оскільки передбачає короткі спринти, постійний зворотний зв'язок з клієнтом, високу адаптивність до змін та активну командну взаємодію. Концепція

Kanban базується на візуалізації робочого процесу через спеціальні дошки, де встановлюється пріоритетність завдань, що дає змогу уникати перевантаження команди, своєчасно реагувати на зміни та підтримувати баланс між плануванням і виконанням завдань, забезпечуючи принцип «точно в строк» [1].

Більш детально зупинимось на концепції Lean Startup – це інноваційна концепція управління стартапами, заснована на науковому підході до створення та тестування бізнес-ідей, що дозволяє зменшити ризики та скоротити витрати в умовах невизначеності [2]. Метод передбачає створення мінімально життєздатного продукту (MVP), тестування гіпотез, отримання зворотного зв'язку від клієнтів і поступову адаптацію продукту до ринку. Такий підхід особливо актуальний в умовах обмежених ресурсів, що характерно для сучасної України в умовах воєнного стану.

Ключовим елементом Lean Startup є циклічний процес: ідея → гіпотеза → MVP → тестування → аналіз → рішення (перевірка або зміна напрямку). Цей процес повторюється до досягнення бажаного ринкового ефекту. Замість класичної стратегії «плануй-впроваджуй-контролюй», Lean орієнтується на «створи-виміряй-навчайся».

Для пришвидшення оцінювання потенціалу нового бізнесу застосовують шаблон моделі Lean Canvas, який є одним із найзручніших візуальних інструментів для аналізу. Його використання дозволяє виявити слабкі місця проєкту ще на початковому етапі. Модель Lean Canvas має спільні риси з класичною Business Model Canvas, однак між ними існують суттєві відмінності, що зумовлені різним фокусом: Lean Canvas орієнтована на стартапи з високим рівнем невизначеності, тоді як базова модель більш пристосована до стабільних бізнес-середовищ. Порівняльна характеристика моделей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння моделей Lean Canvas та Business Model Canvas

Критерій	Lean Canvas	Business Model Canvas
1	2	3
Мета	Фокус на вирішенні проблем і MVP	Опис інфраструктури та загальної стратегії.
Ціннісна пропозиція	«Нечесна» конкурентна перевага	Детальне формування ціннісної пропозиції
Робота з клієнтами	Основний акцент на ранніх гіпотезах	Повноцінна стратегія взаємодії з клієнтами.
Фінанси	Основна увага на витратах і доходах.	Більш глибокий аналіз фінансових потоків.
Придатність	Стартап на етапі тестування	Діючі або масштабовані бізнес-моделі.

Джерело: власна розробка авторів

Методологія Lean Startup передбачає поетапну реалізацію інноваційного проєкту з використанням науково-обґрунтованого підходу. Першим етапом виступає формулювання гіпотези, що полягає у створенні перевірюваної ідеї, яка в подальшому підлягає тестуванню. Наступним кроком є розробка MVP (Minimum Viable Product) – мінімально життєздатного продукту, що дозволяє

зібрати первинний зворотний зв'язок від споживачів з мінімальними ресурсними витратами. Цей підхід дає змогу не лише зменшити ризики, але й визначити реальні очікування цільової аудиторії. Подальший розвиток проекту базується на вимірюванні реакції ринку, коли гіпотеза проходить тестування через взаємодію з потенційними користувачами. На основі аналізу отриманих результатів приймається рішення: чи варто масштабувати обраний напрям або внести корективи у бізнес-модель. Останнім етапом є повторення ітеративного циклу, що передбачає удосконалення продукту до досягнення відповідності очікуванням клієнтів.

Таким чином, Lean Startup є ефективним інструментом в умовах нестабільної економічної ситуації, особливо під час військових дій, коли ресурси обмежені, а ризики високі. Використання MVP, швидке тестування і гнучкість дозволяють швидше адаптуватися до змін на ринку. Особливої цінності концепція набуває для українських інноваторів, які прагнуть створити життєздатні проекти навіть у складних умовах.

Концепція «бережливого стартапу» (Lean Startup), незважаючи на широке визнання та ефективність у впровадженні інновацій, має й певні критичні аспекти, які варто враховувати під час її практичного застосування. Зокрема, одним із зауважень є те, що модель часто стимулює розробку окремих функціональних елементів або обмежених прототипів замість формування цілісного, комплексного продукту. Такий підхід може знижувати стратегічну цілісність розробки, спричиняючи фрагментацію бачення кінцевого результату.

Крім того, інтенсивний темп роботи та постійне тестування великої кількості гіпотез у стислі строки нерідко створюють додатковий психологічний тиск на команду. Такий формат роботи може призводити до емоційного виснаження, втрати мотивації та зниження рівня залученості працівників. Проте, незважаючи на ці недоліки, методологія Lean Startup демонструє високу результативність, зокрема, у швидкій адаптації до змін ринку, оптимізації витрат і виведенні на ринок релевантних продуктів, які відповідають очікуванням споживачів. Її доцільність підтверджується численними прикладами успішного впровадження в різних галузях економіки.

Висновок

Проведений системний аналіз підходів до управління стартапами виявив переваги Lean-концепції як найбільш адаптивної та ресурсоефективної моделі. Її орієнтація на раннє тестування, зворотний зв'язок із користувачами та впровадження інновацій сприяє мінімізації ризиків і оптимізації витрат. Унаслідок цього досягається раціоналізація витрат і мінімізується ризик неуспішної реалізації стартапу.

Список літератури

1. Седікова І.О. Особливості стартапу як інноваційного продукту. *Причорноморські економічні студії.* 2020. Т.5-22. С. 12-16.

2. The Lean Startup: How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation to Create Radically. *Successful Businesses. Crown Publishing.* 2015. Vol. 10. No. 4. P. 100–103.

УДК 336.1+629.7

Ю.В. Керпатенко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Матеріально-технічне і фінансове забезпечення державної авіації у системі зміцнення обороноспроможності України

Виконано історичний контекст розвитку державної авіації України, охарактеризовано її структуру, правове забезпечення. Охарактеризовано типи літальних апаратів державної авіації, встановлено вимоги до матеріально-технічного оснащення повітряних сил України. Формалізовано економіко-фінансові аспекти державної авіації, які дозволятимуть найбільш повною мірою реалізувати її стратегічне призначення.

Історія державної авіації України бере свій початок з моменту проголошення незалежності у 1991 році. Після розпаду Радянського Союзу Україна успадкувала значну частину авіаційних підрозділів, що базувалися на її території. Цей період характеризувався складними процесами трансформації радянських військових структур у національні збройні сили, що супроводжувалося реорганізацією командування та переосмисленням стратегічних завдань. Формування авіаційних підрозділів відбувалося в умовах економічної кризи та обмеженого фінансування, що суттєво впливало на боєздатність повітряних сил. Перші роки незалежності були спрямовані на збереження наявного потенціалу, переатестацію особового складу та адаптацію до нових геополітичних реалій. Важливим етапом стало приведення до присяги на вірність Україні військовослужбовців, які вирішили продовжити службу в українських збройних силах.

Еволюція авіаційної структури незалежної України пройшла кілька етапів реформування. У 2004-2005 роках відбулася масштабна реорганізація з метою підвищення ефективності управління та оптимізації структури повітряних сил. Цей процес включав об'єднання різних видів авіації під єдиним командуванням та впровадження сучасних методів управління. Ключові етапи модернізації авіаційного комплексу пов'язані з технічним оновленням парку літальних апаратів, впровадженням нових систем зв'язку та навігації, а також підвищенням рівня професійної підготовки персоналу. Особливо інтенсивними ці процеси стали після 2014 року, коли виникла необхідність швидкого відновлення боєздатності у зв'язку з зовнішньою агресією. Значний вплив на розвиток державної авіації мало також зближення з НАТО та перехід на стандарти Альянсу в питаннях організації, підготовки та технічного забезпечення [1, с. 32].

Функціонування державної авіації України регулюється комплексною системою нормативно-правових актів, що охоплюють різні аспекти діяльності повітряних сил та інших авіаційних підрозділів спеціального призначення. Основу правового забезпечення складають Конституція України, Закони України “Про Збройні Сили України”, “Про оборону України” та “Про

національну безпеку України", які визначають загальні принципи організації та діяльності Збройних Сил, у тому числі й державної авіації.

Спеціалізованим законодавчим актом є Повітряний кодекс України, що регламентує діяльність у галузі авіації та використання повітряного простору України. Окремий розділ цього документу присвячений питанням державної авіації, її структури, завдань та особливостей функціонування. Важливими є також Закони України "Про Державну програму авіаційної безпеки цивільної авіації" та "Про Державну спеціальну службу транспорту", що регулюють окремі аспекти авіаційної діяльності державних органів.

Україна є учасницею численних міжнародних угод у сфері авіації та авіаційної безпеки, що встановлюють стандарти та правила міжнародного співробітництва. Серед них – Чиказька конвенція про міжнародну цивільну авіацію, Договір з відкритого неба, Конвенція про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки цивільної авіації, та інші. Важливим аспектом є також імплементація стандартів НАТО в сфері державної авіації, що відбувається в рамках програм співробітництва та партнерства з Альянсом.

Структура державної авіації України є складною та багаторівневою системою, що забезпечує виконання широкого спектру завдань у сфері національної безпеки та оборони. Повітряні сили Збройних Сил України становлять основу державної авіації та включають у себе авіаційні бригади, полки та окремі ескадрильї, розташовані в різних регіонах країни для забезпечення охоплення всієї території. До складу повітряних сил входять тактична авіація, транспортна авіація, армійська авіація, а також підрозділи спеціального призначення. Тактична авіація представлена винищувальними, бомбардувальними та штурмовими авіаційними частинами, які забезпечують виконання завдань з протиповітряної оборони, ураження наземних цілей та підтримки сухопутних військ. Транспортна авіація відповідає за перевезення особового складу, військової техніки та матеріальних засобів, виконання десантних операцій та евакуацію поранених. Армійська авіація, оснащена переважно вертольотами, забезпечує мобільність сухопутних військ та виконує завдання з вогневої підтримки. Типи авіаційної техніки, що перебувають на озброєнні державної авіації України, включають винищувачі (МіГ-29, Су-27), штурмовики (Су-25), бомбардувальники (Су-24), транспортні літаки (Ан-26, Іл-76), навчально-тренувальні літаки (Л-39), вертольоти (Мі-8, Мі-24) та інші спеціалізовані літальні апарати. Поступово відбувається модернізація існуючого парку та впровадження нових зразків техніки, включаючи безпілотні літальні апарати різних класів.

Організаційна побудова авіаційних підрозділів базується на принципах ієрархічного управління та чіткого розподілу повноважень. Вищим органом управління є Командування Повітряних Сил України, якому підпорядковуються повітряні командування, авіаційні бригади та окремі частини. Кожен підрозділ має свій штаб, що здійснює безпосереднє керівництво діяльністю особового складу та експлуатацією техніки. Важливим елементом структури є також системи технічного обслуговування та ремонту, навчальні заклади та центри, а також науково-дослідні установи, що забезпечують розвиток та вдосконалення державної авіації.

Технічне оснащення повітряних сил України є комплексною системою, що включає літальні апарати, наземне обладнання, системи озброєння та спеціальне обладнання для забезпечення виконання бойових завдань. Постійна модернізація наявної техніки та впровадження нових зразків озброєння є пріоритетним напрямом розвитку державної авіації, особливо в умовах сучасних викликів національній безпеці.

Сучасні літаки та вертольоти, що становлять основу авіаційного парку, постійно проходять процеси модернізації та удосконалення. Винищувачі МіГ-29 та Су-27 отримують нові системи навігації, прицілювання та зв'язку, що дозволяє підвищити їх бойові можливості. Штурмовики Су-25 модернізуються для забезпечення можливості застосування високоточних авіаційних засобів ураження. Вертольоти Мі-24 та Мі-8 оснащуються сучасними системами нічного бачення, керованим ракетним озброєнням та засобами захисту від переносних зенітно-ракетних комплексів. Відбувається також поступове впровадження нових типів безпілотних літальних апаратів, що суттєво розширює можливості повітряної розвідки та ударні можливості.

Системи радіоелектронного обладнання авіаційних комплексів включають засоби навігації, зв'язку, розвідки та радіоелектронної боротьби. Сучасні навігаційні системи, інтегровані з супутниковою навігацією GPS (англ. *Global Positioning System*) та ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система), забезпечують високоточне визначення місцеположення та навігацію літальних апаратів у будь-яких умовах. Багатофункціональні радіолокаційні станції дозволяють виявляти повітряні, наземні та морські цілі на значних відстанях. Системи розпізнавання “свій-чужий” забезпечують ідентифікацію об'єктів у повітряному просторі, а засоби радіоелектронної боротьби дозволяють протидіяти системам наведення противника та захищати власні літальні апарати від ракетних атак.

Озброєння та спеціальні комплекси, що встановлюються на літальних апаратах, включають авіаційні гармати, некеровані та керовані ракети, авіаційні бомби різних типів, а також спеціалізовані контейнери з розвідувальним та прицільним обладнанням. Особливу увагу приділяють впровадженню високоточного озброєння, такого як керовані авіаційні ракети класів “повітря-повітря” та “повітря-земля”, керовані авіаційні бомби з лазерним, телевізійним та інерціальним наведенням. Розвивається також потенціал для застосування крилатих ракет та інших засобів ураження на значні відстані. Модернізація існуючих зразків озброєння та розробка нових типів зброї здійснюється з урахуванням світових тенденцій та досвіду застосування авіації в сучасних збройних конфліктах.

Стратегічне призначення державної авіації визначається її роллю в системі національної безпеки та оборони України. Як ключовий компонент військово-повітряних сил, державна авіація забезпечує виконання широкого спектру завдань, від захисту суверенітету повітряного простору до підтримки наземних операцій та проведення спеціальних місій. Захист повітряного простору є пріоритетним завданням державної авіації. Винищувальна авіація, взаємодіючі з системами протиповітряної оборони, забезпечує контроль та оборону повітряного простору країни від несанкціонованого проникнення

повітряних суден противника. Це передбачає постійне бойове чергування, патрулювання визначених зон, перехоплення та ідентифікацію повітряних цілей, а у разі необхідності – їх знищення. Особливе значення ця функція має в умовах гібридної війни та терористичних загроз, коли необхідно швидко реагувати на раптові зміни повітряної обстановки. Система раннього виявлення та оповіщення, інтегрована з засобами перехоплення, дозволяє ефективно протидіяти будь-яким спробам порушення повітряного кордону

Розвідувальні операції є важливим напрямом застосування державної авіації, що забезпечує командування актуальною інформацією про противника, стан місцевості та результати бойових дій. Спеціалізовані літаки-розвідники та безпілотні літальні апарати здійснюють фото- та радіотехнічну розвідку, моніторинг радіоелектронної обстановки, виявлення цілей для ураження. Розвідувальна інформація, отримана авіаційними засобами, є основою для планування операцій, оцінки ефективності ударів та коригування подальших дій. Сучасні технології дозволяють здійснювати розвідку в режимі реального часу та передавати інформацію безпосередньо на пункти управління, що забезпечує оперативність прийняття рішень.

Транспортування військ та вантажів є однією з ключових функцій державної авіації, що забезпечує стратегічну та тактичну мобільність збройних сил. Транспортні літаки та вертольоти здійснюють перевезення особового складу, військової техніки та матеріальних засобів на значні відстані, забезпечують десантування парашутистів та вантажів, евакуацію поранених та доставку гуманітарної допомоги. В умовах сучасних конфліктів, що характеризуються високою динамічністю та необхідністю швидкого реагування на зміни обстановки, повітряне транспортування часто є єдиним ефективним способом перекидання резервів та забезпечення військ. Важливою функцією є також забезпечення ротації особового складу та доставка вантажів у віддалені або ізольовані райони, включаючи міжнародні миротворчі контингенти.

Економічні аспекти функціонування державної авіації є важливим фактором, що визначає її розвиток та боєздатність. Фінансування авіаційного компоненту оборонної системи вимагає значних ресурсів, особливо в умовах необхідності модернізації парку літальних апаратів та впровадження нових технологій [2, с.149].

Бюджетне фінансування державної авіації здійснюється через Міністерство оборони України та інші силові відомства, що експлуатують літальні апарати спеціального призначення. Основними статтями витрат є закупівля нової техніки, модернізація існуючого парку, забезпечення паливно-мастильними матеріалами, технічне обслуговування та ремонт, підготовка особового складу, будівництво та підтримка інфраструктури. Затверджений державний бюджет передбачає щорічне виділення коштів на забезпечення діяльності Повітряних сил, однак реальні потреби часто перевищують можливості фінансування. В умовах обмежених ресурсів особлива увага приділяється пріоритезації витрат, зосередженню на критично важливих напрямах та пошуку шляхів оптимізації використання наявних коштів. Важливим елементом є також залучення міжнародної допомоги для фінансування окремих проектів модернізації авіаційної техніки та

інфраструктури, підготовки персоналу, а також отримання сучасних зразків озброєння та обладнання.

Вартість авіаційної техніки на світовому ринку постійно зростає, що ускладнює оновлення парку літальних апаратів. Сучасний багатофункціональний винищувач коштує від 30 до 100 мільйонів доларів, залежно від комплектації та додаткового обладнання. Транспортні літаки середнього класу оцінюються в 15-30 мільйонів доларів, а вертольоти різного призначення – від 5 до 25 мільйонів. Тому витрати на утримання та модернізацію авіаційної техніки складають значну частину бюджету державної авіації. Технічне обслуговування сучасних літальних апаратів вимагає не лише значних фінансових ресурсів, але й висококваліфікованого персоналу та спеціального обладнання. Вартість години польоту бойового літака включає витрати на паливо, витратні матеріали, амортизацію ресурсу планера та двигунів, а також витрати на підготовку та обслуговування. Для різних типів літальних апаратів ці показники суттєво відрізняються – від кількох тисяч доларів для навчально-тренувальних літаків до десятків тисяч для сучасних винищувачів. Значними є також витрати на модернізацію авіаційної техніки, що передбачає встановлення нового обладнання, систем озброєння, засобів зв'язку та навігації. Оптимізація цих витрат досягається через впровадження сучасних методів технічного обслуговування за станом, продовження ресурсу існуючої техніки, а також розвиток власних можливостей з ремонту та модернізації.

Висновок

Таким чином, встановлено, що найбільш болючою проблемою матеріально-технічного і фінансового забезпечення державної авіації України є обмежений оборонний бюджет. Тому одномоментна закупівля значної кількості нової авіаційної техніки є надзвичайно складним завданням, вирішення якого потребує пошуку шляхів оптимізації витрат, включаючи поетапне оновлення парку, закупівлю техніки, що була у використанні, але має значний залишковий ресурс, модернізацію існуючих літальних апаратів для підвищення їх бойових можливостей. Важливим напрямом є також розвиток власного виробництва авіаційної техніки та комплектуючих, що дозволятиме не тільки зменшити залежність від імпорту, але й забезпечити робочі місця в високотехнологічному секторі економіки.

Список літератури

1. Новічонок С. М., Бабіч О. В., Терент'єва І. В. Проблеми стандартизації аеродромно-технічного забезпечення державної авіації України та шляхи їх вирішення в умовах взаємодії з НАТО та міжнародної інтеграції. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 2. С. 24-34.

2. Новічонок С. М., Дробот О. А., Усачов О. М. Розробка загальної методики прийняття рішень з розподілу державних ресурсів, призначених для виконання завдань наземного забезпечення дій авіації на базі об’єктно-діяльнісного підходу. *Системи озброєння і військова техніка*. 2008. № 3. С. 147-150.

УДК 336.22+629.7

Я.В. Якубов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості оподаткування операцій авіаційного лізингу та оцінки їх ризиків

Визначено зміст авіаційного лізингу як фінансового механізму, охарактеризовано структуру, правове забезпечення функціонування ринку авіаційного лізингу, його суб'єктів. Систематизовано основні податки і спеціальні податкові режими, що впливають на економіку авіаційного лізингу. Охарактеризовано складові податкової взаємодії при міжнародному авіаційному лізингу. Ідентифіковано зміст податкових ризиків в операціях авіаційного лізингу, методи їх визначення, зміст управління ними і застосування законних методів податкової оптимізації.

Авіаційний лізинг є важливим фінансовим інструментом у сучасній авіаційній галузі, що дозволяє авіакомпаніям отримувати доступ до повітряних суден без значних початкових капітальних витрат. Цей фінансовий механізм відіграє ключову роль у формуванні сучасного ринку авіаційних перевезень, забезпечуючи гнучкість та ефективність використання ресурсів. Основними учасниками ринку авіаційного лізингу є: авіаційні лізингові компанії (наприклад, *AerCap, GECAS*) – спеціалізовані організації, що займаються придбанням літаків і передачею їх в лізинг; авіакомпанії – основні споживачі лізингових послуг; виробники повітряних суден (*Airbus, Boeing*) – співпрацюють з лізинговими компаніями як постачальники; банки та фінансові установи – забезпечують фінансування лізингових операцій; страхові компанії – забезпечують страхове покриття ризиків; податкові органи – здійснюють нагляд за правильністю оподаткування лізингових операцій.

Основою взаємодії учасників ринку авіаційного лізингу є авіалізингові угоди - складні юридичні документи, які ґрунтуються на вимогах національного законодавства, міжнародних авіаційних конвенцій та податкових норм. Вони регулюють широкий спектр питань: фінансові аспекти, питання технічного обслуговування, страхування, реєстрації повітряних суден, відповідальності сторін тощо. Податкові аспекти мають значний вплив на структурування лізингових угод та загальну економічну ефективність інвестицій у повітряні судна. Розуміння податкових механізмів, наявних пільг та міжнародних аспектів оподаткування є критично важливим для оптимізації прибутковості лізингових операцій. Основу оподаткування лізингових операцій в Україні становлять Податковий кодекс України, Закон України "Про фінансовий лізинг", Повітряний кодекс України та інші нормативно-правові акти. Податковий кодекс України визначає загальні принципи оподаткування лізингових операцій, розрізняючи фінансовий та операційний лізинг для цілей оподаткування.

Міжнародне регулювання оподаткування авіаційного лізингу здійснюється через систему двосторонніх та багатосторонніх податкових угод. Ключову роль відіграють конвенції про уникнення подвійного оподаткування, які визначають, яка країна має право оподатковувати доходи від лізингових операцій.

Україна має розгалужену мережу таких угод, які впливають на оподаткування міжнародних лізингових операцій. Крім того, важливим міжнародним документом є Модельна податкова конвенція ОЕСР, яка часто слугує основою для двосторонніх угод і містить спеціальні положення щодо оподаткування доходів від лізингу.

Податкове законодавство є динамічною системою, що постійно змінюється. За останні роки в Україні відбулося кілька значних реформ податкового законодавства, включаючи зміни в оподаткуванні лізингових операцій. Ці зміни спрямовані на гармонізацію українського законодавства з міжнародними стандартами та підвищення інвестиційної привабливості авіаційного сектору. Важливим аспектом є впровадження стандартів BEPS (*Base Erosion and Profit Shifting*), Європейської директиви проти ухилення від оподаткування (*ATAD - Anti Tax Avoidance Directive*) та автоматичного обміну податковою інформацією, що суттєво впливає на структурування міжнародних лізингових операцій та вимагає від учасників ринку відповідної адаптації стратегій податкового планування. Ці ініціативи встановлюють нові стандарти прозорості та економічної сутності для міжнародних податкових структур.

Розуміння взаємодії національного законодавства та міжнародних податкових угод є критично важливим для ефективного планування та оптимізації оподаткування авіаційного лізингу. Учасники ринку повинні враховувати, що неправильна інтерпретація податкових норм може призвести до значних фінансових ризиків, включаючи подвійне оподаткування або податкові спори з фіскальними органами.

Лізингові операції в авіаційній галузі підпадають під дію різних податкових режимів залежно від юрисдикції та структури угоди. Основними податками, що впливають на економіку лізингу, є:

- податок на прибуток - застосовується до доходів лізингодавця від лізингових платежів та потенційного приросту капіталу при продажу активу;

- податок на додану вартість (ПДВ) - може застосовуватися до лізингових платежів у деяких юрисдикціях, хоча міжнародні авіаційні операції часто звільняються від ПДВ;

- митні збори та імпортні податки - можуть виникати при переміщенні повітряних суден між країнами;

- податок на майно - в деяких юрисдикціях застосовується до вартості повітряного судна;

- податок на джерело доходу (*withholding tax*) - може стягуватися з лізингових платежів, що виплачуються нерезидентам.

Важливим аспектом фінансової ефективності лізингових операцій є також оптимізація податкових аспектів шляхом вибору юрисдикції базування лізингової компанії, структурування угод з урахуванням міжнародних податкових угод, використання прискореної амортизації та інших легальних механізмів податкової оптимізації. Важливим елементом податкового планування є розмежування операційного та фінансового лізингу для цілей оподаткування, яке впливає на статус суб'єктів, які можуть претендувати на податкові переваги власності, зокрема на амортизаційні відрахування [1, с. 79].

Багато країн пропонують спеціальні податкові режими для стимулювання авіаційного лізингу та залучення цього бізнесу до своїх юрисдикцій:

1.Прискорена амортизація - дозволяє швидше списувати вартість повітряного судна для податкових цілей, що зменшує податкове навантаження у перші роки експлуатації. Наприклад, у США дозволяється амортизація комерційних літаків протягом 7 років, хоча їх економічний термін служби становить 20-25 років [2, с. 382].

2.Пільги з ПДВ - більшість країн звільняє міжнародні авіаційні операції від ПДВ або застосовує нульову ставку, що спрощує структурування лізингових угод та зменшує податкове навантаження.

3.Спеціальні податкові режими - Ірландія, Сінгапур, Гонконг та деякі інші юрисдикції створили спеціальні податкові режими для авіаційного лізингу з пониженими ставками корпоративного податку, податковими кредитами та іншими стимулами. Наприклад, в Ірландії діє ставка корпоративного податку 12,5%, а Сінгапур пропонує податкові канікули для нових лізингових компаній.

4.Обмеження податкових пільг - для боротьби з агресивним податковим плануванням багато країн впроваджують обмеження на виплати відсотків, правила трансфертного ціноутворення та анти-*BEPS*, а також реалізують інші заходи для обмеження можливостей податкової оптимізації.

Міжнародний характер авіаційного лізингу створює складні податкові взаємодії, що потребують ретельного планування: уникнення подвійного оподаткування передбачає використання мережі міжнародних податкових угод для запобігання оподаткуванню одних і тих самих доходів у різних юрисдикціях; структурування через проміжні юрисдикції шляхом використання проміжних компаній у країнах з розвиненою мережею податкових угод для оптимізації податкових аспектів міжнародних лізингових операцій; управління податком на джерело доходу - мінімізація або уникнення відрахувань податку на джерело доходу при виплаті лізингових платежів через структурування угод з урахуванням відповідних податкових угод; постійне представництво - уникнення створення постійного представництва в країнах з високим податковим навантаженням для запобігання додатковому оподаткуванню. Ефективне податкове планування в авіаційному лізингу вимагає балансу між використанням доступних податкових переваг та дотриманням посилених вимог до економічної сутності та прозорості міжнародних структур. Лізингові компанії все частіше інвестують у створення реальної присутності в ключових юрисдикціях, наймаючи кваліфікований персонал та розвиваючи локальну експертизу для підтвердження економічної обґрунтованості своїх податкових структур.

Податкові ризики є невід'ємною частиною операцій авіаційного лізингу, особливо в міжнародному контексті. Здатність ефективно виявляти, оцінювати та управляти цими ризиками є критично важливою для успішного функціонування бізнесу в авіаційній галузі. Комплексний підхід до управління податковими ризиками дозволяє не лише уникнути потенційних санкцій, але й оптимізувати податкове навантаження в рамках чинного законодавства. Процес оцінки податкових ризиків має бути систематичним та охоплювати всі аспекти лізингової угоди: стратегічний рівень передбачає проведення аналізу загальної структури угоди та її відповідності бізнес-цілям; технічний аналіз вимагає детальної

перевірки відповідності угоди податковому законодавству; кількісна оцінка ґрунтується на визначенні фінансового впливу потенційних ризиків; моніторинг передбачає постійне відстеження змін у податковому законодавстві та практиці.

Оцінка податкових ризиків у договорах лізингу має такі об’єкти:

- класифікація договору - правильне визначення типу лізингу (фінансовий чи операційний) має критичне значення для податкового обліку. Основні ризики виникають при наявності умов, що можуть призвести до різного трактування договору податковими органами та платником податків. Наприклад, опціон викупу повітряного судна за ціною значно нижче ринкової може призвести до перекваліфікації операційного лізингу у фінансовий;

- трансфертне ціноутворення - для лізингових угод між пов’язаними особами існує ризик коригування податкових зобов’язань при невідповідності лізингових платежів принципу "витягнутої руки". Особливо ретельного аналізу вимагають угоди з компаніями, зареєстрованими в низькоподаткових юрисдикціях або при використанні складних багаторівневих структур;

- міжнародні аспекти - міжнародні лізингові угоди піддаються ризикам, пов’язаним із різним трактуванням податкових норм у різних юрисдикціях, потенційним подвійним оподаткуванням, питаннями постійного представництва та застосуванням норм конвенцій про уникнення подвійного оподаткування.

Податкові посередники відіграють важливу роль у структуруванні складних лізингових операцій та управлінні податковими ризикам:

- консультанти з податкового планування – це професійні податкові консультанти, які допомагають розробити ефективну структуру лізингової угоди з урахуванням усіх податкових аспектів. Рекомендації можуть включати: вибір оптимальної юридичної структури для лізингової операції та найбільш вигідних юрисдикцій для різних її елементів; розробку методології трансфертного ціноутворення; оптимізацію структури лізингових платежів тощо. Залучення авторитетних консультантів також створює додатковий захист у випадку податкових спорів, оскільки свідчить про добросовісні наміри щодо дотримання податкового законодавства;

- аудитори та експерти з фінансової звітності – забезпечують правильне відображення лізингових операцій у фінансовій та податковій звітності, що вимагає від них спеціальних знань, особливо з урахуванням складності міжнародних стандартів фінансової звітності (МСФЗ) та їх взаємодії з податковим законодавством. Професійні аудитори можуть: підтвердити правильність класифікації лізингу, забезпечити належне розкриття інформації у звітності, виявити потенційні невідповідності між бухгалтерським та податковим обліком, надати рекомендації щодо удосконалення систем внутрішнього контролю.

Ефективна стратегія мінімізації податкових ризиків повинна включати проактивні заходи, спрямовані на запобігання проблемам, а також механізми реагування на потенційні виклики:

- документальне забезпечення, яке полягає у розробці та підтримці комплексної документації щодо лізингових операцій, включаючи обґрунтування комерційної доцільності обраної структури, методології визначення лізингових платежів, а також документацію з трансфертного ціноутворення для операцій з пов'язаними особами;

- попереднє узгодження з податковими органами - використання механізмів попереднього узгодження податкових підходів, таких як індивідуальні податкові консультації або угоди про попереднє ціноутворення (*Advance Pricing Agreements - APA*) для складних міжнародних угод;

- впровадження систем раннього виявлення ризиків на основі процедур регулярного моніторингу змін у податковому законодавстві та практиці його застосування, а також систематичного аналізу існуючих лізингових структур на предмет відповідності цим змінам;

- страхування податкових ризиків - для особливо значних лізингових угод може бути доцільним використання спеціалізованих страхових продуктів, що забезпечують покриття потенційних податкових претензій.

Практичні рекомендації щодо мінімізації податкових ризиків в авіаційному лізингу полягають у такому: проведення комплексного податкового аудиту (*due diligence*) перед укладанням значних лізингових угод; залучення професійних податкових консультантів для структурування складних міжнародних операцій; розробка внутрішніх політик щодо управління податковими ризиками та регулярний контроль їх дотримання; моніторинг судової практики та рішень податкових органів щодо аналогічних операцій; підготовка заздалегідь аргументованої позиції для потенційних податкових перевірок та спорів; забезпечення узгодженості комерційної та податкової стратегій, уникнення структур, спрямованих виключно на податкову оптимізацію без реальної економічної суті

Висновок

Таким чином, лізингові операції в авіаційній галузі підпадають під дію різних податкових режимів залежно від юрисдикції та структури угоди. Основними податками, що впливають на економіку лізингу, є: податок на прибуток, податок на додану вартість, митні збори та імпортні податки, податок на майно, податок на джерело доходу. Важливим аспектом фінансової ефективності лізингових операцій є оптимізація податкових аспектів шляхом вибору юрисдикції базування лізингової компанії, структурування угод з урахуванням міжнародних податкових угод, використання прискореної амортизації та інших легальних механізмів податкової оптимізації. Ефективне управління податковими ризиками в авіаційному лізингу вимагає балансу між податковою ефективністю та податковою безпекою. Оптимальним є підхід, що дозволяє досягти прийнятного рівня податкового навантаження при мінімізації ризиків податкових спорів та додаткових нарахувань.

Список літератури

1. Телегуз А. В. Фінансовий лізинг: порядок відображення в податковому і бухгалтерському обліку. *Вчені записки університету "КРОК". Серія : Економіка.* 2017. Вип. 46. С. 75-81.

2. Клименко Г. А. Міжнародна практика авіаційного лізингу та його значення в умовах глобалізації світової економіки. *Сталий розвиток економіки*. 2013. № 4. С. 381-383.

UDC 330.341

Tetiana Koliada, Candidate of Economic Sciences,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)
Yuriy Prozorov,
(Institute for Economics and Forecasting of National Academy of Science of Ukraine, Ukraine)

Modernization of institutional support for innovative development of Ukrainian industry

The problem of overcoming institutional restrictions on attracting investment in the Ukrainian economy to establish an innovative model of state development is studied. The essence of the concept of 'institutional trap' is revealed. The relationship between implementation decisions on the establishment of the National Development Bank and the risks of delay at the legislative support for structural reforms in the field of investment with a possible final loss of the scientific and industrial potential of Ukraine is determined.

Ensuring the achievement of sustainable development goals in the process of post-war economic recovery, increasing employment and living standards will largely be determined by the level of funding for the development, implementation and industrial use of the latest infrastructure, digital and environmental technologies. The ability of the state to create acceptable conditions for investment and long-term lending in the country is one of the determining factors in the post-war reconstruction of the national economy.

Without a consistent state industrial policy and elimination of various institutional and structural constraints on the way to attracting and financing technologies of the XXI century, it is impossible to talk about the transition of the economy to a new technological system. A number of Ukrainian scientists are currently studying this problem, including V. M. Heiets, A. A. Grytsenko, M. I. Zveriakov, M. O. Kyzym, V. V. Korneev, T. N. Rud, S. V. Sidenko, O. L. Yaremenko and others.

Over the past decade, the structure of investment in fixed assets in Ukraine has undergone significant institutional deformations, which resulted in incomplete structural adjustment of the national economy, insufficiently effective redistribution of ownership of means of production in the course of privatization, long and sometimes inconsistent transition to market methods of management, etc. The World Intellectual Property Organization has released the Global Innovation Index 2024 (GII), which ranks countries by their innovation potential. This annual ranking analyses more than 130 countries using about 80 indicators. In this year's report, Ukraine was ranked 60th, down five positions from last year [1]. At the same time, it is ranked 4th among lower-middle-income countries.

Despite Russia's aggression, the Global Innovation Index 2024 notes positive trends in innovation in Ukraine. In particular, the country produces more innovative products relative to the level of investment in innovation, taking into account the ratio to GDP. Traditionally, Ukraine has shown higher results in the

field of innovation than in terms of its contribution to it. The index analysts compare the innovative efficiency of countries with their economic level, assessing the latter by GDP per capita. In the 2024 ranking, Ukraine was ranked 6th by this criterion.

Ukraine is part of a group of economies that are developing innovatively faster than their overall economies. This trend has been observed for a decade – from 2014 to 2024.

Analyzing the data on the structure of Fixed asset investments by type of economic activity for 2020-2024, it can be argued that the bulk of investments are directed to Tangible Assets. Recently, their share has been almost 95%. At the same time, investments in industry during the martial law period significantly dominate (43.1% in 2023, compared to 36.2% in 2021) (Figure 1). This indicates a significant internal structural change in the direction of investment flows in the country, especially after the initial stage of the war (2023-2024).

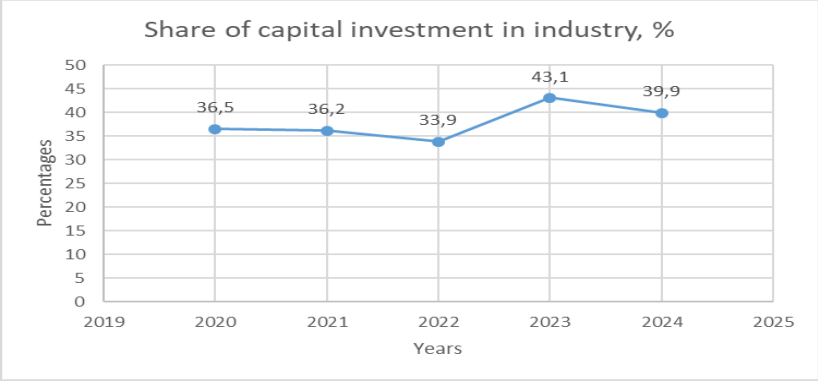


Figure 1. Share of capital investment into industry at a total investment in 2020-2024, % [2].

However, it should also be noted that not all investments in fixed assets meet the criteria of the 'building back better' BBB model of Ukraine's reconstruction [3], which is defined as one of the main strategic priorities of Ukraine's economic and social development.

In this regard, it is advisable to consider and analyze the structure of sources of financing technological innovations at Ukrainian industrial enterprises in recent years, i.e. to answer the question – at the expense of what Funds (own or borrowed) the technical re-equipment of domestic enterprises took place in the pre-war period? (Table 1).

Table 1.

The structure of sources of financing innovation activities in Ukraine (2015-2020), %

Sources	**2015**	**2018**	**2019**	**2020**
Total for Ukraine, incl.	100	100	100	100
– own funds	97,2	88,2	87,7	85,4

– state budget	0,4	5,1	3,9	1,9
– local budgets	0,3	0,1	0,8	0,3
– foreign investors	0,4	0,9	0,3	0,3
– domestic investors	0,6	0,9	0,5	0,3
– loans	0,8	3,9	6,0	9,6
– other sources	0,4	0,8	0,8	1,6

Source: [4].

As Ukraine is under martial law now, the publication of statistical data related to innovation funding may pose a threat to national security. Therefore, some of the data is hidden. The dynamics of indicators for 2020-2023 on sources of innovation financing at Ukrainian industrial enterprises is shown in Table 2.

Table 2.

The structure of sources of financing for innovations at industrial enterprises in Ukraine (2020-2023), %

Sources	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**
Total in Ukraine, incl.	100,0	100,0	100,0	100,0
– own funds of enterprises	85,4	79,8	78,9	81,7
– funds of state budget	1,9	н/д	3,4	н/д
– funds of non-resident investors	0,9	н/д	0,4	н/д
– funds from other sources	11,8	н/д	17,3	н/д

Source: calculated by the authors based on data from [2].

The analysis of the above data suggests that the main source of financing for innovations in the Ukrainian industry (almost 81.7% in 2023 – see Table 2) remains enterprises' own funds. As for this type of investment, which is made by enterprises mainly at the expense of profits, according to statistics [2] for January-September 2024, 27.4% of domestic industrial enterprises are currently unprofitable, so there are no sufficient grounds to talk about the possibility of introducing the latest technologies in production at an acceptable level at the expense of own profits. The own funds of enterprises also include proceeds from depreciation charges. At present, depreciation funds of enterprises do not play the role they should due to significant depreciation of fixed assets (insignificant residual balance of fixed assets) and misuse of these funds.

The thesis that enterprises, including the aviation industry, are unable to provide adequate support for investment in innovation from internal resources is indirectly supported by long-term data series from the State Statistics Committee of Ukraine. The share of industrial enterprises that implemented innovations in production, which was already very small in the mid-1990s (22.9%), decreased by 1.6 times between 1995 and 2001, and in 2001 it was 14.3% of the total number of surveyed enterprises [2]. In 2010, 13.8% of their total number were engaged in innovative activities in industry, and in 2015 their share increased to 17.3%, but in 2020 it dropped to 16.8%, and even before the start of large-scale aggression by Russia, it fell sharply in 2021 - to 9.6% [2].

Given the limited statistical data on sources of financing for innovation at industrial enterprises, it is advisable to study the structure of sources of financing for capital investment in Ukraine in 2020-2024 (Table 3).

Table 3.

Structure of sources of capital investment financing in Ukraine (2020-2024), %

Sources	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Total in Ukraine, incl.	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
– state budget funds	8,7	9,2	9,4	9,9	10,9
– local budget funds	10,4	8,4	4,6	7,2	5,7
– own funds of enterprises and organizations	66,5	68,6	72,8	72,2	71,0
– bank loans and other borrowings	6,6	5,0	4,2	2,9	3,8
– of which non-resident bank loans	*2,9*	*1,8*	*1,1*	*0,9*	*1,0*
– funds of investment companies and funds	1,0	0,6	0,1	0,3	1,2
– funds of non-resident investors	0,4	0,1	0,03	0,1	0,04
– funds of the population for housing construction	4,9	5,4	6,4	5,5	6,2
– other sources of financing	1,4	2,7	2,5	1,9	1,2

Source: calculated by the authors based on data from [2].

The next element of the above structure is the provision of funds from the state budget for the innovative development of enterprises, which at the present stage is not systematic. This is evidenced by the significant volatility of the amount of funds provided in different budget years, for example, in 2015 – 0.4%, while in 2018 – 5.1%, in 2020 – 1.9% (Table 1), which leads to the conclusion that there is no targeted medium-term state investment program, not to mention a separate development budget.

At the same time, in contrast to financing innovations, state and local budgets are the second most important source of capital investment financing (Table 3). Their total share before the start of the armed aggression was 19.1%, and as of 2024, it decreased to 16.6%. This indicates the interest of the state and local authorities in renewing production assets.

The next most important source of financing (Table 3) is bank loans, whose share in 2020 was 6.6% and decreased to 3.8% in 2024, which is 14 times less than the share of enterprises' own funds. The share of borrowed funds used by industrial enterprises to finance technological innovations is unacceptably low and has been on a downward trend over the past three years. This indicates a negative trend towards the strengthening and accumulation of institutional constraints that impede the

process of attracting vital long-term credit resources to ensure an innovative model of economic development in Ukraine. This is due to the fact that commercial banks continue to favor short-term lending (see Table 4 – loans of up to 1 year confidently occupy 1/2 of the banking system's loan portfolio). These funds are mainly used to finance commercial and financial transactions in the trade and intermediary sector [4, p. 86], where there is a rapid turnover of capital. Banks in Ukraine, as well as 20 and 10 years ago, are rather restrained in their attitude to long-term (more than 5 years) lending to industrial enterprises, except for those that are members of their own, often informal financial&industrial groups.

Table 4

The structure of loans extended by commercial banks to non-financial corporations by maturity (2020-2024), %

Indicators	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Short-term loans (up to 1 year)	51,4	55,2	54,6	51,6	50,0
Medium-term loans (from 1 to 5 years)	32,2	32,2	31,8	34,3	36,7
Long-term loans (over 5 years)	16,4	12,6	13,6	14,1	13,3
For reference: share of long-term loans as a % of GDP	*2,8*	*1,7*	*1,9*	*1,6*	*1,5*

Source: calculated by the authors based on data from [5].

According to the data (Table 4), starting in 2021, a gradual overall decrease in the share of long-term loans granted by commercial banks to business entities began, both in the total amount of loans granted and as a percentage of GDP.

At the same time, as shown by [6, p. 87], more than 55% of this very small amount of long-term loans in 2024 were granted by banks for real estate transactions, while the share of loans over 5 years old to manufacturing enterprises was only 8.3%. It should be noted as a significant negative factor that foreign direct investment (FDI) in Ukraine's economy has recently decreased significantly (by USD 918 million in 2024 alone), the volume of which mainly depends on the domestic political situation in the country, the legislative unresolved issues of protecting the rights of investors and creditors (including foreign ones) and the international image of our country. Due to the limited nature of such a growth resource as capital, the FDI as indicator of attraction of foreign investors' funds into the economy has always been considered an indicator of the country's development.

As for such an important source of financing as attracting funds from domestic investors, it is practically absent in Ukraine due to the underdevelopment of the securities market and the lack of an effective mechanism for mobilizing funds from the population for the investment needs of both a particular enterprise and the state as a whole. The situation is similar with other sources of financing for innovation at enterprises.

The need to eliminate the current institutional constraints and barriers to attracting large-scale investment in Ukraine's economy requires urgent, bold and proactive management decisions at the state level. Further delays in structural

reforms in the field of investment threaten to completely lose Ukraine's still high scientific and industrial potential as a country.

As for the financial and credit sector, the dynamics of lending to Ukraine's economy by domestic commercial banks (see Table 3) shows that although the share of long-term loans is constantly growing both in terms of volume and share in the total loan portfolio, it is still very small and cannot meet the existing, let alone the possible future demand from the real sector.

The expectation that administrative pressure may be exerted on commercial banks to perform the function of credit support for long-term innovation and investment projects, which is not inherently inherent in them, is one of the signs of the deep 'institutional trap' that the Ukrainian banking system has fallen into after the cycle of multiple crises of 1998-2022.

An institutional trap is an inefficient but time-stable norm or institution (formal or informal) characterized by a status of the banking system when a small group of market participants refuses to abandon the existing stereotype of behavior, they lose, while the simultaneous transition of all participants to an alternative norm would improve public welfare [7, p.140].

However, solving the problem of lending by the banking system to innovation and investment projects in the real sector of the economy requires more radical institutional structural measures on the part of the state. In our opinion, the basis for the much-needed structural changes in the institutional structure of the domestic banking system should be the creation of the National Development Bank of Ukraine (hereinafter – *NDBU*) to channel the flow of post-war investments into the priority sectors of the new Ukrainian economy. The source of funds for the *NDBU* should be: part of the frozen assets of the aggressor country, funds from foreign donors, part of budget expenditures, targeted deductions from the profits of enterprises in certain industries, and the NBU's issue and loan funds. We also propose to use targeted loans from commercial banks granted for investment programs, part of the proceeds from the sale of government securities, including to the public, part of the funds from the privatization of state property in the form of fines, penalties and other deductions from business entities, part of the taxes on luxury goods, as well as funds seized by law enforcement agencies in the course of disclosing various 'shadow' transactions etc.

At the first stage, centralized budgetary resources can be provided to the *NDBU* in the form of subventions. And at the second stage of the bank's functioning, the main form of financing priority investment projects should be syndicated lending, i.e., attracting resources from international financial organizations, other intergovernmental and national development banks, primarily from OECD countries, and private investment institutions and green and social finance funds.

It is quite possible that, given the recent significant excess liquidity on the interbank lending market, commercial banks could use some of their free funds to finance the NBU (for example, by purchasing or participating in the placement of long-term debt securities issued by the Development Bank among their clients). Such securities, in our opinion, could include, first of all, long-term (over 5 years) secured bonds for specific investment projects, medium-term recovery bonds issued under government guarantees of Ukraine's partner countries (for a period of 3-5

years), or short-term (1-3 years) bonds, which the bank would issue on market terms, but with a so-called “currency clause” that would allow buyers of these securities to hedge their currency risks to a certain extent.

Given the state status of the newly created NDBU, the reliability of its financial instruments would be almost as good as long-term government securities. However, by introducing their permanent bilateral exchange quotation, for example, through the institution of authorized banks or market makers on domestic exchanges, the NBU's debt securities would be in much greater demand among a wide range of investors, both banks and non-banks. In this case, commercial banks could use ***NDBU Recovery bonds*** as liquid collateral for refinancing operations by the NBU along with Ukrainian domestic government bonds (OVDPs).

In our view, the pension funds that will be created in the course of the funded stage of the pension reform would be able to invest long-term contributions accumulated in personalized pension accounts of citizens in the NBU debt obligations. Many domestic economists have previously expressed the same opinion. In particular, in [8, p. 22] it was determined that the creation of a system of mandatory contributions in Ukraine raises the problem of rational use of pension funds. One way to solve this problem could be to mobilize these additional long-term resources of the 2nd mandatory accumulation level by the State Development Bank, which could direct them to finance national investment programs, where the priority of recovery will be, among other things, the post-war renovation of Ukrainian airports and the restart of domestic aircraft construction, production of modern avionics and development of the aerospace industry according to Western standards.

If the National Development Bank is not established in Ukraine as a powerful and effective structural measure to correct ‘market failures’ on the part of the state, the current institutional structure of the ratio of private local, state and foreign banking capital in Ukraine may change significantly towards an increase in the share of foreign capital [9, p. 250] and the final supranational redistribution of the higher hierarchical echelons of the local banking sector architecture after the war in favor of global rather than local actors.

Conclusions. We believe that one of the new directions of the NDBU's activities could be to mobilize private investment in the public sector by placing hybrid financial instruments of state-owned enterprises, primarily some specific types of corporate bonds that are not yet widespread in the domestic securities market and that would combine the properties of equity and debt securities (voting bonds, convertible bonds, and bonds with variable interest that depends on the profitability of the issuing company).

It will be important to unblock the problem regulating the establishment of the NDBU that banking associations support this issue and the current management of the NBU will change their negative position as a banking regulator. The main thing is that this decision will be made in a timely manner and contributions to the stimulation of economic growth in the country, because solving the issue of creating the NDBU as a powerful and effective institution for attracting investments to the economy is extremely important for the establishment of an innovative model of state development and the improvement of the domestic banking system from the

longtime institutional trap. Further research should answer two key issues: 1st what type of the form of ownership of the Development Bank will be created in Ukraine? – fully state or with the involvement of funds of international financial organizations and 2nd what level such a banking institution should be? – the first or second, that is, whether the NDB of Ukraine will directly lend to the enterprises of priority sectors of the national economy, or indirectly – through the institute of the authorized commercial banks.

References

1. Global Innovation Index 2024: How Ukraine retains innovative potential in war. Ukrainian National Intellectual Property and Innovation Office. URL: https://nipo.gov.ua/hlobalnyj-innovatsijnyj-indeks-24/
2. State Statistics Service of Ukraine. Official site.URL: https://www.ukrstat.gov.ua/
3. Modrzyńska, J., Szpak, A., & Willa, R. (2024). The concept of 'building back better' and the reconstruction of Ukraine and its cities. *European Planning Studies*, *33* (1), 1-19. URL: https://doi.org/10.1080/09654313.2024.2405960
4. Rud, T.N. (2024) Analysis of sources of financing of innovative development of Ukraine. II International Scientific and Practical Conference "*Globalization and Development of Innovative Systems: Trends, Challenges, Prospects*", Kyiv, March 14-15 2024. 323-325.
5. National Bank of Ukraine. Official site. URL: https://bank.gov.ua/ua/statistic/
6. Prozorov, Y., Svistun, A., & Berezovyk, V. (2025). Development bank as a post-crisis sectoral state measure of institutional influence on the banking system of Ukraine. *Finance of Ukraine*, (1), 77-94. DOI: https://doi.org/10.33763/finukr2025.01.077
7. Institute of Trust in the Coordinates of Economic Space-Time : monograph (2012). Edited by Corresponding Member of the NAS of Ukraine A. A. Grytsenko. Kyiv, 212 p.
8. Koliada T. (2014). Financing of expenditures for economic activity in the context of implementing modern state budget policy. *Economy of Industry*. 3 (67), 13-24. URL: http://econindustry.org/arhiv/html/2014/3_67_5.pdf
9. Koliada, T., Prozorov, Y., & Yasenetskyi, V. (2023). Transformation of Management by Financial Public Corporations in the Context of Post-War Reconstruction of Ukraine's Economy. *The Problems of Economy.* 3, 244-253. DOI: https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-244-253

УДК: 336.22:339.543

С.О. Криниця
кандидат економічних наук, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Проблеми та перспективи цифровізації податкової та митної систем України

Досліджено цифрову трансформацію податкової та митної систем, розмежовуючи оцифрування й інноваційні технології 4-ї промислової революції. Висвітлено світовий досвід, економічні ефекти цифровізації та окреслено виклики впровадження в Україні з урахуванням інституційних та інфраструктурних обмежень.

У сучасних умовах стрімкого зростання цифрової економіки у світі трансформація податкових і митних систем набуває критичного значення для забезпечення економічної стабільності та сталого розвитку держав. Цифрова модернізація фіскальних механізмів більше не є просто технологічним трендом - вона перетворилася на ключовий чинник підвищення конкурентоспроможності національних економік на глобальній арені. Використання інноваційних цифрових рішень у податковому та митному адмініструванні дозволяє вирішувати глибокі проблеми, пов'язані з низькою ефективністю управління, поширеністю тіньової економіки та податковими втратами, що актуалізує необхідність дослідження цих процесів.

Історично податкове й митне адміністрування еволюціонувало під впливом технологічного прогресу — від ручної обробки до цифрових платформ. На початковому етапі функціонування системи відповідали моделі Tax Administration 1.0, що базувалась на паперових процесах. Від платників податків вимагалося подавати документи у фізичному вигляді, що створювало низку проблем: повільну обробку, часті помилки й обмеження у масштабуванні. Лише з розвитком Інтернету та цифрових технологій з'явилася можливість кардинально змінити взаємодію бізнесу з фіскальними органами.

У відповідь на нові виклики податкові органи почали активно впроваджувати цифрові інструменти, переходячи до моделей Tax Administration 2.0 і згодом — 3.0. Друга модель сформувалася на хвилі третьої промислової революції, що ознаменувалася автоматизацією та комп'ютеризацією. У цей період почали використовуватись електронні документообіги та системи управління, що підвищили ефективність податкової служби. Завдяки автоматизації рутинних завдань вдалося зосередити ресурси на аналітиці та управлінні ризиками.

Tax Administration 3.0, що відповідає викликам четвертої промислової революції, є більш комплексним підходом, де цифрові технології не просто підтримують процеси, а трансформують саму сутність податкової системи в умовах цифрової економіки.

Подібні перетворення відбуваються і в митному адмініструванні: від ручної обробки до цифрової інтеграції, впровадження сервісної моделі замість

виключно контрольної, ризик-орієнтованого підходу, автоматизації та використання штучного інтелекту. Цифрові платформи дозволяють оперативно обмінюватися даними між усіма учасниками ланцюгів постачання, що підвищує прозорість і рівень довіри. Використання комунікаційних інструментів у режимі реального часу зменшило кількість спірних ситуацій на 35% серед компаній, які застосовують ці рішення [1].

Використання технологій третьої промислової революції у фіскальній сфері сприяє зменшенню тінізації, збільшенню доходів бюджету та ефективнішому використанню ресурсів. Особливо важливим стало впровадження електронних рахунків, які спростили бізнес-процеси та підвищили податкову дисципліну. Очікується, що обсяг глобальних транзакцій з використанням електронних рахунків перевищить 550 млрд доларів США, а економія порівняно з традиційними методами складе до 80% [2].

Приклад України демонструє поступове впровадження цифрових сервісів у фіскальній сфері. В податковій службі запроваджено електронний кабінет платника, електронну звітність, системи доступу до реєстрів, програмні РРО та сервіс «Пульс» для контролю й боротьби з корупцією [9]. Інтерактивна податкова карта, як новий цифровий інструмент, дозволяє відслідковувати платежі, борги та прогнози податкових надходжень. Створення "єдиного вікна" спростило взаємодію бізнесу з державними органами, скоротивши адміністративні бар'єри.

У митній сфері запроваджено систему e-Customs та електронне декларування, що скоротили час митного оформлення та зменшили можливості для корупції. Інтеграція з європейською системою NCTS дозволила оптимізувати транзитні процедури та зміцнити позиції українських перевізників на міжнародному ринку.

Усі ці зміни свідчать, що цифрова трансформація фіскального адміністрування в Україні сприяє підвищенню ефективності державного управління навіть в умовах зовнішніх викликів. Водночас важливо відрізняти процеси простого переведення функцій у цифровий формат (оцифрування) від глибшої цифровізації, притаманної четвертій промисловій революції.

Так, із 26 проєктів, запланованих до 2030 року Державною податковою службою [3], лише кілька стосуються передових технологій 4.0, як-от автоматизовані системи аналізу ризиків з трансфертного ціноутворення. Більшість проєктів зосереджені на технічному вдосконаленні наявної інфраструктури та інтеграції з європейськими системами. Аналогічна ситуація спостерігається і в митниці: хоча стратегічні документи проголошують цифрову трансформацію з використанням штучного інтелекту, на практиці застосування таких технологій обмежується базовими функціями, як розпізнавання VIN-кодів чи автоматичне заповнення декларацій.

Однак потенціал технологій четвертої промислової революції значно ширший. Використання аналітики даних і штучного інтелекту у фіскальному адмініструванні відкриває нові можливості — від стратегічного планування до виявлення порушень у реальному часі. Податкові органи можуть ефективніше запобігати ухиленню від сплати податків, а бізнес — краще орієнтуватися у своїй податковій політиці.

Сучасні технології, зокрема Інтернет речей (IoT), відіграють важливу роль у митній сфері, забезпечуючи можливість відстеження товарів у режимі реального часу на всіх етапах логістичного ланцюга. Такий підхід сприяє більш ефективному контролю за дотриманням регуляторних вимог, а також покращує безпеку та управління товарними запасами.

Блокчейн-технології стають потужним інструментом трансформації податкової системи та дотримання вимог, забезпечуючи децентралізований та незмінний реєстр транзакцій. Їх впровадження значно підвищує прозорість, дозволяє верифікувати ПДВ-операції в реальному часі, зменшуючи ймовірність шахрайства та посилюючи довіру до фінансової інформації.

Цифровізація відкриває нові можливості для підвищення адміністративної ефективності податкових органів. Використання штучного інтелекту для обробки паперової документації прискорює процес цифрової трансформації та підвищує якість даних. Автоматизація рутинних завдань дозволяє співробітникам зосередитися на більш стратегічних функціях. Досвід країн, що впроваджують хмарні технології та штучний інтелект у податковій сфері, свідчить про зростання надходжень до бюджету на 21% та покращення ефективності податкового аудиту на 84% протягом одного року [4].

Водночас слід зазначити, що цифровізація податкової та митної системи сама по собі не гарантує зростання надходжень до бюджету. Як свідчать дослідження [5], вирішальну роль у цьому процесі відіграють супровідні чинники, зокрема наявність якісного інтернет-з'єднання, кваліфікований персонал податкових органів, належний рівень IT-інвестицій та ефективне управління.

Відтак у країнах із недостатньо розвиненою цифровою інфраструктурою запровадження електронного подання податкової звітності може не лише не забезпечити очікуваних результатів, а й спричинити негативний ефект. Попри значний прогрес України у розвитку цифрових технологій, Державна податкова служба продовжує зіштовхуватися з низкою системних викликів. Серед таких — скарги платників податків на низький рівень професійності податкових інспекторів, відсутність належних консультацій, технічні проблеми з електронними сервісами, а також надмірні часові витрати на взаємодію з податковими органами порівняно з європейськими країнами [6].

Ці обставини підкреслюють, що цифрова трансформація у сфері оподаткування та митниці має бути елементом комплексної стратегії розвитку, яка включає не лише впровадження новітніх технологій, а й посилення інституційної спроможності та управлінської якості.

Висновки. Цифрова трансформація податкових і митних органів є ключовою складовою оновлення фіскального адміністрування, яка сприяє прозорості, зменшенню тіньової економіки та зростанню бюджетних надходжень. Міжнародний досвід демонструє, що впровадження інноваційних технологій - від електронного декларування до штучного інтелекту та блокчейну - значно покращує податкові й митні процеси, знижуючи адміністративні витрати та ризики ухилення. Успішність цифрових перетворень залежить від розвиненої IT-інфраструктури, належного рівня управління та

фахової підготовки персоналу. В Україні вже зроблено значні кроки у напрямку цифрового адміністрування, однак подальший прогрес вимагатиме інтеграції цифровізації до загальної стратегії розвитку, з урахуванням як технологічних, так і інституційних передумов.

Список літератури

1. Partner Government Agencies and Businesses Join CBP to Demonstrate Global Interoperability Standards. U.S. Customs and Border Protection. 2025. URL: https://www.cbp.gov/newsroom/national-media-release/partner-government-agencies-and-businesses-join-cbp-demonstrate (дата звернення: 10.04.2025).
2. Bancroft Smith C. Data Culture, the Obstacle to SMART Customs in the Face of Disruptive Innovations – a Jamaican Perspective. *World Customs Journal*. 2023. Vol. 17, № 1. P. 55–67. DOI: 10.55596/001c.73213.
3. План цифрового розвитку Державної податкової служби України до 2030 року. Міністерство фінансів України. Наказ № 660 від 24.12.2024. URL: mof.gov.ua/storage/files/План%20цифрового%20розвитку%20ДПС%20України%20(1).PDF (дата звернення: 10.04.2025).
4. Staying ahead of global customs regulations: How technology can keep you compliant and competitive. Cargowise. 2024. URL: https://www.cargowise.com/news/staying-ahead-of-global-customs-regulations-how-technology-can-keep-you-compliant-and-competitive/ (дата звернення: 9.04.2025).
5. Nose M., Mengistu A. Exploring the adoption of selected digital technologies in tax administration: A cross-country perspective. Washington : International Monetary Fund, 2023. URL: https://www.elibrary.imf.org/downloadpdf/view/journals/068/2023/008/article-A001-en.pdf (дата звернення: 12.04.2025).
6. Системні проблеми Державної податкової служби України: виклики для нового керівництва. ICC Ukraine. 16 січня 2025. URL: https://iccua.org/systemni-problemy-derzhavnoyi-podatkovoyi-sluzhby-ukrayiny-vyklyky-dlya-novogo-kerivnycztva/ (дата звернення: 12.04.2025).

УДК 65.012.8: 332.656

З.М. Побережна, д.е.н., професор,
Д.В. Мальнов, аспірант PhD
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Розвиток автомобільної та залізничної транспортної інфраструктури в контексті економічного розвитку та безпеки

В сучасних умовах постає необхідність забезпечення стійкого транспортного сполучення. Автором запропоновано пріоритетні напрямки розвитку транспортної інфраструктури України з точки зору економічної безпеки. А також пропозиції з переорієнтації вантажопотоків на нові транспортні коридори, особливо пов'язаної із залізничним та автомобільним транспортом.

Важливою складовою економічної безпеки будь-якої країни є забезпечення стійкого та безперебійного транспортного сполучення як всередині, так і зовні. Це значно впливає на діяльність підприємств, фіскальні збори, транспортну мобільність, обороноздатність та сталий економічний розвиток[1,2]. За останні роки відбулись суттєві організаційні зміни в сфері транспорту та транспортної інфраструктури, такі як перебудова маршрутів та непроста адаптація до умов, що склались.

До 2022 року мультимодальні та інтермодальні перевезення в Україні досить добре розвивались, активно використовувались морські порти, особливо Одеської агломерації. Після початку військової агресії проти України морське транспортне сполучення на деякий час майже припинилось, і виникла гостра необхідність переорієнтувати вантажопотік на залізничний та автомобільний транспорт.

Транспортні компанії почали активно використовувати порти Румунії та Польщі з подальшим автомобільним чи залізничним перевезенням в Україну. На Рис.1 зображений відповідний розподіл контейнерних поставок у 2023 році.

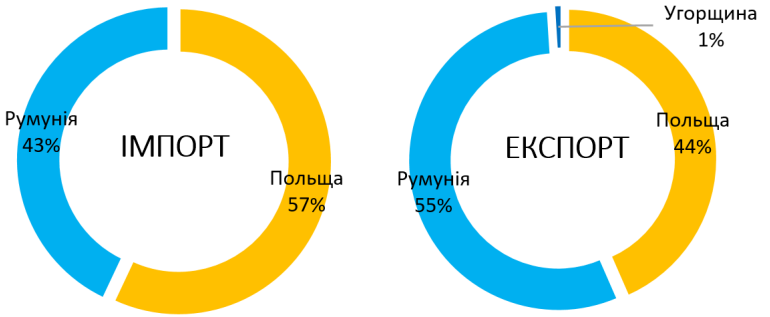


Рис. 1. Розподіл контейнерних поставок в Україну між портами Румунії та Польщі за 2023 рік.
Джерело: за даними [3]

Таким чином, змінилась роль відповідних транспортних коридорів з точки зору економічної та транспортної безпеки: постала необхідність використання їх для зовнішньоекономічної діяльності, особливо у забезпеченні обороноздатності, проте наявна інфраструктура не була розрахована на такі об'єми. Тому питання створення, розвитку та модернізації транспортної інфраструктури (пункти пропуску, транспортні термінали, якісні автомобільні та залізничні шляхи сполучення) на нових логістичних маршрутах є дуже актуальним в сучасних умовах.

Важливо проектувати модернізацію транспортного коридору не лише з урахуванням поточного вантажопотоку, а й з огляду на прогнозований прибуток (П) від його подальшого використання. Для розрахунку прогнозованого прибутку від пасажиропотоку пропонується за такою формулою (1):

$$\max П = \sum_{(u,v)\in E}(p_{uv} \cdot f_{uv} - w_{uv} \cdot f_{uv}) \qquad (1)$$

де f_{uv} – потік між вузлами u і v;
p_{uv} – прибуток за одиницю потоку;
w_{uv} – витрати на одиницю потоку на кожному відрізку шляху (u, v).

Прибуток стандартно розраховується як різниця між загальними доходами і витратами сумарно на всіх відрізках шляху. Варто зазначити, що заміна колісних пар на кордоні з ширини колії 1520 мм на 1435 мм і навпаки, є досить вартісним процесом, який включає витрати на саму заміну і на простій вантажного потягу. При транспортуванні вантажу залізничним транспортом на відрізку шляху через кордон витрати на одиницю потоку (w_{uv}) будуть складатись з транспортних витрат ($w_{\text{тр}}$), витрат на заміну колісних пар або на розвантаження-завантаження ($w_{\text{з}}$) та витрати на простій ($w_{\text{пр}}$), формула (2):

$$w_{uv} = w_{\text{тр}} + w_{\text{з}} + w_{\text{пр}} \qquad (2)$$

В той же час при транспортуванні вантажу автомобільним транспортом витрати на одиницю потоку на відрізку шляху через кордон залишаться на рівні стандартних транспортних витрат, формула (3):

$$w_{uv} = w_{\text{тр}} \qquad (3)$$

При використанні прикордонних транспортних терміналів, де може відбуватись не заміна колісних пар, а перевантаження вантажів з одного потягу на інший запропонована математична модель не зміниться, так як простій все одно буде виникати.

Тому враховуючи те, що залізничний транспорт в Україні має найбільший вантажообіг і нижчу вартість перевезень, ніж автомобільний, доцільно розбудовувати мережу транспортних терміналів (які будуть давати можливість заміни колісних пар, розвантаження-навантаження між двома потягами та між потягами та автомобілями) поблизу кордонів з Польщею та Румунією. Також (по прикладу країн Балтії) будувати євроколії 1435 мм від європейської залізничної мережі до таких терміналів; розширювати мережу пунктів пропуску, проводити діджиталізацію та пріоритетно залучати інвестиції в транспортну інфраструктуру поблизу вищезазначених кордонів [4].

Висновок

Саме тому, одним із ключових завдань економічного розвитку економіки України та безпеки в системі міжнародних торговельно-економічних зв'язків є забезпечення якісної трансформації наявної в країні інфраструктури транспорту, що обслуговує як внутрішньодержавні перевезення, так і виступає важливим учасником глобальних логістичних ланцюгів. Сучасний рівень транспортної інфраструктури потребує кардинальної зміни як в системі управління, та і в техніко-економічному оновленні всіх складових на засадах інноваційного розвитку.

Список літератури

1. Kuzior A., Arefieva O., Poberezhna Z., Ihumentsev O. The Mechanism of Forming the Strategic Potential of an Enterprise in a Circular Economy. Sustainability. 2022. Vol. 14. No. 6. Art. 3258. DOI: https://doi.org/10.3390/su14063258
2. Постанова Кабінету Міністрів України «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках» від 27.12.2024 № 1550.
3. Берестенко, В. В., Заборський, Л. О., & Белаковський, Л. М. (2024). Зміни у контейнерній логістиці в умовах сучасних глобальних викликів. Здобутки економіки: перспективи та інновації, (8). https://doi.org/10.5281/zenodo.12749967
4. The war in Ukraine and its effects on maritime trade logistics. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/osginf2022d2_en.pdf (date of access: 11.04.2025)

УДК 338.2 (477)

І.Б. Жиляєв, доктор економічних наук, старший науковий співробітник,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Стратегічне планування відновлення України: європейський та національний концепти

Розглядаються основні проблеми формування та історичної трансформації концепції стратегічного планування відновлення України.

Європейська концепція відновлення сформувалась спочатку як реакція на дезорганізацію соціального та економічного розвитку внаслідок пандемії Covid-19, потім, модернізувалася як відповідь на енергетичну кризу, соціально-економічні труднощі та розлад глобального енергетичного ринку, спричинені російським вторгненням в Україну. «Неспровокована та невиправдана військова агресія Росії проти України призвела до масштабних збоїв у світовій енергетичній системі. Це спричинило труднощі через високі ціни на енергоносії та посилило занепокоєння щодо енергетичної безпеки, висунувши на перший план надмірну залежність ЄС від імпорту газу, нафти та вугілля з Росії. Високі суми, сплачені за російське викопне паливо, допомагають Росії підтримувати війну проти України» [1].

Зазначимо, що завдання відновлення постають перед публічною владою та інститутами громадянського суспільства під час надзвичайних ситуацій, військових конфліктів тощо. Зазвичай **теорія відновлення (Theory of Recovery)** включає три загальні стадії процесу відновлення: 1) підготовки до надзвичайних ситуацій (катастроф, воєнних конфліктів тощо); 2) безпосереднє реагування під час цих ситуацій; 3) відновлення після них.

Основою інституційної структури сучасного європейського механізму відновлення та стійкості країн – членів ЄС є зміни у законодавстві, спрямовані на створення спеціальних пост-кризових інститутів та інструментів: 1) «Recovery and Resilience Plan, RRP» (планів відновлення та стійкості), які розроблялися на національному рівні та схвалювались на європейському; 2) «Recovery and Resilience Facility» (Фонд відновлення та стійкості), який був фінансовим інструментом RRP; 3) адаптацією тимчасового фінансового інструменту «NextGenerationEU»; 4) План REPowerEU тощо [2].

На основі накопиченого досвіду ЄС сформував та затвердив у вигляді закону (Regulation) концепцію відновлення України за допомогою європейського механізму Ukraine Facility [3]. Механізм має завдання сприяти ліквідації дефіциту фінансування в Україні до 2027 року шляхом надання безповоротної підтримки та пільгових позик, спрямованих на підтримку макрофінансової стабільності в Україні та забезпечення фінансування відновлення України. Ключовим елементом Регламенту (ЄС) 2024/792, на наш погляд, є чітке визначення терміну «**відновлення**» як тріади компонентів «**відновлення, реконструкція та модернізація**» (recovery, reconstruction and modernisation) України, та його мету «сприяти забезпеченню гідних умов

життя для українського населення та реконструкції критичної інфраструктури, де це можливо, для забезпечення створення робочих місць і доходів, а також для поступового зменшення обсягу необхідної міжнародної допомоги, одночасно пом'якшуючи шкоду навколишньому середовищу, наскільки це можливо в країні, охопленій війною, і підтримуючи Україну в процесі переходу до «зеленого середовища» [3; (17)]. При цьому перший компонент тріади – «**Відновлення**» конкретизується як «Відновлення збитків, завданих російсько-загарбницькою війною», зазначаючи, що це «не може обмежуватися лише відновленням зруйнованого, побудованого до воєнного стану». Другий компонент «**Реконструкція**» визначається як «можливість підтримати Україну в її процесі інтеграції у внутрішній ринок і в прискоренні сталого зеленого та цифрового переходу відповідно до політики Союзу, сприяючи економічній інтеграції з Союзом і сприяючи соціально-економічному розвитку та транскордонному співробітництву. Одночасно зазначається, що реконструкція має сприяти **модернізації** та покращення економіки України, спираючись на правила та стандарти Союзу, інвестуючи в перехід України до сталої зеленої, цифрової та інклюзивної економіки, що приносить користь суспільству в цілому, приділяючи особливу увагу потребам уразливих груп [3; (29)].

Також застосовується більш широкий термін «**Відбудова**», який включає «мирне **відновлення, реконструкцію, реставрацію та модернізацію** країни» [3; (41)]. Регламент (ЄС) 2024/792 поставив чітке завдання «Україна має підготувати План щодо України як узгоджену, комплексну та адекватно збалансовану відповідь на відбудову та модернізацію України, підтримку її економічного, соціального та екологічного відновлення, сталого розвитку та прогресу на шляху вступу до Союзу. Таким чином, План щодо України також стане основою для інших донорів для визначення пріоритетних сфер фінансування для відбудови України та сприятиме підвищенню відповідальності, узгодженості та додаткових внесків з цією метою. З цією метою Україна повинна забезпечити, щоб розроблений План України охоплював її потреби у відновленні, реконструкції та модернізації комплексним чином, визначаючи, якою мірою заходи Плану України, як очікується, фінансуватимуться Союзом через зазначений механізм» [3; (67)].

Визначено також конкретні цілі Фонду Ukraine Facility, що включають, зокрема, **відновлення та модернізацію інфраструктури**, пошкодженої війною, такої як енергетична інфраструктура, систем водопостачання, **внутрішніх та транскордонних транспортних мереж**, зокрема залізниці, доріг та мостів, пунктів перетину кордону, а також освітньої та культурної інфраструктури, сприяння формування сучасній, вдосконаленій та стійкій інфраструктурі [3; пункт б) частини 2 ст. 3].

Встановивши загальний зміст розуміння терміну «відновлення», Регламент (ЄС) 2024/792 поставив конкретні зобов'язання щодо розробки нормативного забезпечення сфер та напрямів інвестиційних проектів, спрямованих на відновлення, запропонувавши Уряду України із залученням Верховної Ради України за погодженням з регіональними, місцевими, міськими та іншими органами державної влади, а також із соціальними

партнерами та організаціями громадянського суспільства відповідно до принципу багаторівневого управління та з урахуванням підходу «знизу вверх» підготувати та подати до 02.05.2024 р. до Європейської Комісії План щодо України [3; ст. 14].

Фактично, самі пропозиції щодо проектів відновлення повинні були сформовані Урядом України в Плані України. Уряд України схвалив План України [14]. План України визначено як один з інструментів для відновлення, реконструкції та модернізації України, який може паралельно прискорити шлях України до набуття членства в Європейському Союзі. Передбачено заходи Плану на 2024-27 рр. В Плані виділено 5 секторів: енергетика, сільське господарство, транспорт, критична сировина (враховуючи важливість розвитку переробної промисловості) та ІТ. Соціально-економічний розвиток України відповідно до Плану передбачається за трьома сценаріями: 1) базовим (73 млрд євро офіційного бюджетного фінансування від донорів у 2024-2034 рр.); 2) помірним, (92 млрд євро офіційного притоку іноземного капіталу) та 3) позитивним (залучення 266 млрд євро). Ключовими керівними принципами процесу відновлення, реконструкції та модернізації, сформульовані у Плані є: «відбудуй краще, ніж було» ("build back better"), фінансова стійкість, інклюзивність, прозорість та підзвітність тощо.

Для окремих пріоритетних секторів Плану було сформовано секторальні стратегічні акти. Варто зазначити, що сформована система підтримки відновлення на європейському, національному та місцевому рівнях безперечно має конкретизовано локальними стратегічними актами. Разом з тим, ця локальна конкретизація має бути узгодженою як з самим Планом України, так й деталізована у вигляді відповідної сукупності проектів публічних інвестицій. Так, зокрема, для транспорту було затверджено Національну транспортну стратегію України на період до 2030 року, яка передбачає будівництво, реконструкцію, відновлення, модернізацію та оновлення пошкоджених та зруйнованих об'єктів транспортної інфраструктури [5].

Для реалізації проектів відновлення в рамках механізму Ukraine Facility ЄС станом на 01.04.2025 було перераховано 19,6 млрд. євро [6].

Висновки

1. Україна за допомогою ЄС сформувала систему перспективного управління відновленням у складі Плану України (2024-2027 рр.), інструментів та механізмів його виконання, відповідної сукупності стратегічних актів як загального характеру щодо інвестиційних проектів так й щодо виділених в Плані секторів з зазначенням комплексу реформ та необхідних інвестицій.

2. Можна констатувати, що європейська та українська концепції відновлення України у значному ступені співпадають, хоча термінологічно та інституційно мають певні відмінності, які доцільно уточнити.

3. Наразі існує нагальна потреба у: 1) визначенні пріоритетності проєктів відновлення; 2) селекції заходів відновлення в залежності від цілей їх спрямування на проекти відновлення, реконструкції та модернізації, які за своєю природою мають різний характер та повинні мати відмінні умови їх

реалізації; 3) встановленні особливих правових режимів щодо високотехнологічних інвестиційних проектів, які, як правило, мають довгостроковий характер, значні витрати на нову техніку та обладнання, а також пов'язані із довгостроковими програмами підготовки висококваліфікованих працівників; 4) мобілізації як підготовки безпосередньо проєктів відбудови так й проектних команд фахівців щодо їх реалізації; 5) формуванням інструментарію оцінки ефективності проектів відновлення; 6) продовженні роботи над інституційними реформами для прискорення майбутнього розвитку.

Список літератури

1. Communication from the Commission to the European Parliament and the Council on a new funding strategy to finance NextGenerationEU. COM/2021/250 final. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0250&qid=1662482558283
2. Жиляєв І.Б., Фурашев В.М. Механізм національного відновлення в сучасному європейському законодавстві. *Інформація і право*. 2022. № 3. с. 31-39. https://doi.org/10.37750/2616-6798.2022.3(42).270094
3. Regulation (EU) 2024/792 of the European Parliament and of the Council of 29 February 2024 establishing the Ukraine Facility URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R0792&qid=1744457323637
4. План України: розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.03.2024 № 244-р URL: https://me.gov.ua/view/bb34572a-7998-4ffc-a3c6-83af50e88560
5. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року: постанова Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 № 1550 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#n22
6. Європейська комісія. Відновлення та відбудова України. URL: https://commission.europa.eu/topics/eu-solidarity-ukraine/eu-assistance-ukraine/recovery-and-reconstruction-ukraine_uk

УДК 658.91+629.7

О.В. Ярошевська, д.е.н., В.І. Чобітько
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Лізинг літаків у системі інвестування авіаційної галузі

Надано характеристику сучасного ринку авіаційного лізингу та його ключових тенденцій. Виділено ретроспективні етапи становлення моделей корпоративного лізингу літаків та його основних типів. Формалізовано економічну модель авіаційного лізингу у частині прогнозування довгострокової вартості літаків, визначення вартості їх оренди, встановлення лізингових ставок. Запропоновано трактування ринку авіаційного лізингу як складної екосистеми і обґрунтовано шляхи її розвитку.

Авіаційний лізинг став невід'ємною складовою сучасної авіаційної індустрії, забезпечуючи гнучкі можливості для авіакомпаній щодо розширення та оновлення флоту без значних початкових капіталовкладень. У 2024 році глобальний ринок лізингу літаків демонстрував стійке зростання після кризового періоду, пов'язаного з пандемією *COVID*-19, і оцінювався експертами в понад 300 млрд. дол. США. За їх даними близько 50% світового комерційного флоту експлуатується на умовах лізингу, що відображає фундаментальну зміну в бізнес-моделях авіакомпаній [1]. Попри глобальні економічні виклики, світовий ринок лізингу літаків демонструє стійке щорічне зростання.

Сучасний ринок авіаційного лізингу характеризується рядом ключових тенденцій. По-перше, посилюється фокус на екологічно ефективних літаках нового покоління, що відповідають стратегіям декарбонізації авіаіндустрії. По-друге, спостерігається консолідація серед лізингових компаній через злиття та поглинання, що підвищує концентрацію ринку. По-третє, диджиталізація процесів управління лізинговими активами та використання технологій штучного інтелекту для оптимізації портфелів повітряних суден. Лізинг відіграє критичну роль у забезпеченні фінансової стійкості авіаційної галузі, особливо в періоди економічної нестабільності. Він дозволяє авіакомпаніям оптимізувати баланс між власними та орендованими активами, ефективно розподіляючи капітал та знижуючи фінансове навантаження. Крім того, лізинг сприяє прискоренню технологічного оновлення флоту, що критично важливо для підтримки конкурентоспроможності авіаперевізників в умовах зростаючих вимог до паливної ефективності та екологічності.

Становлення галузі авіаційного лізингу є яскравим прикладом еволюції фінансових інструментів відповідно до потреб динамічно зростаючого ринку. Від перших експериментальних угод до сучасної глобальної індустрії з багатомільярдним оборотом – історія авіаційного лізингу відображає трансформацію всієї авіаційної галузі.

Перші моделі комерційного лізингу літаків виникли на початку 1960-х років, коли авіакомпанії почали шукати альтернативні методи фінансування для придбання дорогих реактивних літаків. До цього періоду авіакомпанії майже

виключно купували літаки безпосередньо у виробників або використовували банківські кредити для їх придбання. На другому етапі (у 1980-х роках) спостерігалося суттєве ускладнення фінансових інструментів у авіаційному лізингу на основі виникнення моделей зворотного лізингу (*sale and leaseback*), який дозволяв авіакомпаніям продавати свої літаки лізинговим компаніям і одночасно брати їх в оренду, вивільняючи значні кошти для операційної діяльності. У цей же період також сформувалися японські схеми лізингу (*JOL - Japanese Operating Lease*), які активно використовували податкові переваги японського законодавства. Третій етап (1990-тих років) характеризується розвитком сек'юритизації лізингових активів та створенням спеціалізованих інвестиційних фондів для фінансування лізингових операцій. Ця інновація дозволила залучити на ринок авіаційного лізингу значно більший обсяг капіталу, особливо від інституційних інвесторів. Четвертий етап (початку 2000-х років) ознаменувався значним розширенням глобального ринку авіаперевезень, що стимулювало зростання лізингового сектору. Однак фінансова криза 2008 року стала серйозним випробуванням для галузі і призвела до банкрутства ряду лізингових компаній та переформатування ринку. В післякризовий п’ятий період відбулася консолідація ринку, коли великі гравці, такі як *AerCap* (штаб-квартира: Дублін, Ірландія) та *GECAS* (*GE Capital Aviation Services* зі штаб-квартирою у Норуолк, Коннектикут, США), посилили свою присутність через поглинання менших конкурентів. Шостий етап, який розпочався у 2010-х роках, характеризувався виникненням нових потужних гравців з Азії, які активно інвестували в авіаційний лізинг як перспективний напрямок для розміщення капіталу. Пандемія *COVID-19* створила безпрецедентні виклики для галузі лізингу літаків, але водночас стимулювала розробку більш гнучких контрактів та інноваційних фінансових рішень, адаптованих до нестабільних ринкових умов.

Сучасний ринок авіаційного лізингу пропонує різноманітні моделі співпраці, що відповідають специфічним потребам авіакомпаній та інвесторів. Розуміння основних типів лізингових операцій є критично важливим для ефективного структурування угод та оптимізації фінансових потоків [2, с. 40]. Розглянемо їх більш докладно.

1. Операційний лізинг є найпоширенішою формою лізингу в авіаційній галузі, при якій авіакомпанія отримує повітряне судно у користування на обмежений термін (зазвичай від 3 до 12 років). Ключовою особливістю є те, що лізингодавець зберігає право власності на літак протягом усього терміну контракту і після його завершення. Основні переваги операційного лізингу включають: відсутність необхідності значних початкових інвестицій; можливість регулярного оновлення флоту без ризиків, пов’язаних із залишковою вартістю літака; відображення лізингових платежів як операційних витрат, а не капітальних інвестицій; гнучкість у реагуванні на ринкові зміни та сезонні коливання пасажиропотоку.

2. Фінансовий лізинг передбачає, що авіакомпанія фактично фінансує придбання літака через довгостроковий контракт (зазвичай на 10-15 років), після закінчення якого право власності переходить до лізингоотримувача. Фінансовий лізинг за своєю економічною сутністю наближається до купівлі з

розстрочкою платежу. Його характерними рисами є: тривалий термін контракту, наближений до економічного життя повітряного судна; повна амортизація його вартості протягом терміну лізингу; відображення на активі балансу авіакомпанії; використання податкових переваг амортизації.

3. Мокрий та сухий лізинг. Ці терміни описують обсяг послуг, що надаються разом із повітряним судном. При "сухому лізингу" (*dry lease*) авіакомпанія отримує тільки літак і самостійно забезпечує екіпаж, технічне обслуговування, страхування та інші операційні аспекти. "Мокрий лізинг" (*wet lease*) передбачає надання літака разом з екіпажем, технічним обслуговуванням та страхуванням, що дозволяє авіакомпанії швидко збільшити провізну спроможність без додаткових витрат на персонал та дозвільні документи.

4. Зворотний лізинг. Модель, при якій авіакомпанія продає власний літак лізинговій компанії і відразу ж орендує його назад. Вона дозволяє авіаперевізникам вивільнити значні фінансові ресурси, інвестовані в повітряні судна, зберігаючи при цьому можливість їх експлуатації. Зворотний лізинг особливо популярний у періоди фінансової нестабільності, коли авіакомпаніям необхідно швидко покращити ліквідність без скорочення флоту.

Економічна модель авіаційного лізингу базується на складних фінансових розрахунках та прогнозуванні довгострокової вартості активів. Розуміння її основних компонентів є критично важливим для всіх учасників галузі - від лізингодавців до авіакомпаній та інвесторів. Фінансування придбання літаків для подальшої передачі в лізинг зазвичай має багаторівневу структуру, що включає власний капітал лізингодавця та позикові кошти. Типове співвідношення власного та позикового капіталу становить приблизно від 25-30% до 70-75% [3, с. 116]. Джерелами позикового фінансування можуть бути: банківські кредити з фіксованою або плаваючою ставкою; емісія облігацій із різними термінами погашення; сек'юритизовані інструменти, забезпечені пулом лізингових активів; експортно-кредитні агентства (для нових літаків).

Вартість лізингу для авіакомпанії формується з урахуванням кількох ключових компонентів: амортизація основної вартості літака - розподіл вартості повітряного судна на весь термін лізингу з урахуванням прогнозованої залишкової вартості в кінці лізингового періоду; фінансові витрати - відсотки за залученим капіталом, що використовується для придбання літака; маржа лізингодавця - компенсація за управління активом та прийняття ризиків (2-4% річних); адміністративні та страхові витрати - включають управлінські витрати, страхування залишкової вартості та інші операційні витрати.

Встановлення лізингових ставок є динамічним процесом, що відображає ринкові умови та специфічні характеристики кожного повітряного судна. Ключовими факторами є: тип і вік літака - нові та популярні моделі мають вищі лізингові ставки, але й краще зберігають вартість; тривалість лізингового контракту - довші контракти мають нижчі ставки за рахунок зниження ризику для лізингодавця; кредитний рейтинг авіакомпанії - впливає на оцінку ризику та надбавку до базової ставки; загальна ринкова кон'юнктура - включаючи вартість капіталу, попит на конкретні типи літаків, рівень конкуренції серед лізингодавців; прогнозована залишкова вартість літака після закінчення лізингового періоду. Основними сторонами ринку авіаційного лізингу є:

- лізингодавці - спеціалізовані компанії, що володіють флотом повітряних суден і надають їх в оренду авіакомпаніям. Вони виконують функцію фінансового посередника між виробниками літаків та авіакомпаніями, беручи на себе ризики, пов'язані з володінням та управлінням авіаційними активами;

- авіакомпанії - основні споживачі послуг лізингу, що використовують різні моделі оренди для оптимізації структури флоту та фінансового навантаження. Авіакомпанії різних розмірів – від глобальних перевізників до регіональних операторів – активно використовують лізинг як інструмент гнучкого управління провізною спроможністю;

- виробники літаків - компанії, що виробляють повітряні судна, безпосередньо зацікавлені у розвитку лізингового ринку, оскільки він стимулює попит на нові літаки. Деякі виробники створюють власні лізингові підрозділи для підтримки продажів своєї продукції;

- фінансові інституції - банки, інвестиційні фонди та інші фінансові установи, що забезпечують капітал для лізингових операцій через кредитування, інвестиції в акції лізингових компаній або сек'юритизовані інструменти.

Останніми роками спостерігається кілька важливих тенденцій у взаємодії учасників лізингового ринку: посилення ролі лізингодавців у відносинах з виробниками – лізингові компанії стають одними з найбільших замовників нових літаків, що підвищує їх вплив на стратегії виробників; розвиток прямих відносин між авіакомпаніями та фінансовими інституціями через механізми банківського лізингу, особливо для великих перевізників з високими кредитними рейтингами; формування стратегічних альянсів між лізинговими компаніями та виробниками для спільного розвитку нових програм та розподілу ризиків; диверсифікація джерел фінансування лізингових операцій, включаючи залучення інституційних інвесторів через сек'юритизацію та створення спеціалізованих фондів.

Технічний стан літаків є критично важливим фактором, що визначає їх комерційну цінність, безпеку експлуатації та привабливість для потенційних орендарів. Для лізингових компаній ефективне управління технічним станом повітряних суден становить один із ключових аспектів збереження вартості активів та забезпечення їх конкурентоспроможності на ринку. Оцінка технічного стану повітряних суден проводиться за комплексом параметрів, які можна згрупувати у кілька основних категорій: вік та напрацювання - календарний вік літака, кількість польотних циклів (злетів та посадок) та загальний наліт годин є базовими показниками для первинної оцінки стану; технічна документація - повнота, актуальність та безперервність технічної документації, що підтверджує всі виконані роботи з обслуговування та модифікації; стан планера - наявність корозії, втоми металу, пошкоджень та ремонтів елементів конструкції літака; стан силових установок - залишковий ресурс двигунів, стан основних компонентів, історія ремонтів та модифікацій; стан систем та обладнання - працездатність бортових систем, актуальність програмного забезпечення, відповідність сучасним вимогам з навігації та комунікації; стан інтер’єру та комерційного обладнання - загальний стан салону, крісел, розважальних систем та інших елементів, що впливають на комерційну привабливість.

Належне технічне обслуговування є фундаментальною вимогою для збереження вартості повітряного судна та забезпечення його безпечної експлуатації. Лізингові контракти містять детальні положення щодо вимог до технічного обслуговування у частині: дотримання програм, розроблених виробником та схвалених органами авіаційного нагляду; співпраці з сертифікованими організаціями, які забезпечують контроль якості робіт; формування спеціальних резервів на покриття витрат, пов'язаних із крупними формами технічного обслуговування; Авіакомпанія здійснює щомісячні відрахування до цих резервів, розраховані на основі нальоту годин та циклів; установлення контрактних вимог щодо використання тільки сертифікованих запчастин з відповідною документацією, яка підтверджує їх походження.

Особливу увагу лізингові компанії приділяють технічному стану повітряного судна перед його поверненням після закінчення лізингового періоду. Контракти містять детальні умови повернення (*redelivery conditions*), які визначають мінімальний залишковий ресурс основних компонентів, необхідний технічний стан систем, комплектність та актуальність документації. Дотримання цих умов може вимагати від орендаря проведення значних робіт з технічного обслуговування в кінці лізингового періоду, що є важливим аспектом збереження вартості активу для лізингодавця.

Висновок

Таким чином, ринок лізингу являє собою складну екосистему взаємопов'язаних учасників, кожен із яких відіграє специфічну роль у забезпеченні ефективного функціонування авіаційної галузі. Розуміння інтересів, стратегій та механізмів взаємодії цих сторін є необхідним для комплексного аналізу лізингового ринку, успішного інвестування на ньому та здійснення операційної діяльності відповідно до міжнародних стандартів якості та безпеки.

Взаємовідносини між учасниками лізингового ринку характеризуються складними договірними інвестиційними та фінансовими зв'язками. Всі учасники екосистеми авіаційного ринку реалізують спільний інтерес і отримують від цього індивідуальну вигоду: лізингодавці укладають угоди з виробниками на придбання літаків, отримуючи значні знижки за рахунок обсягу замовлень; фінансові інституції забезпечують необхідний капітал для здійснення цих придбань через різноманітні механізми фінансування; авіакомпанії, у свою чергу, орендують літаки у лізингодавців на умовах, що відповідають їх бізнес-стратегіям та фінансовим можливостям.

Список літератури

1. Європейська асоціація лізингу (*Leaseurope*). URL: www.leaseurope.org
2. Ковтуненко В. М., П'ятецька Б. М. Лізинг як ефективний інструмент розвитку авіаційної галузі України. *Агросвіт*. 2018. № 1. С. 36–41.
3. Соловйова О. О., Командровська В. Є., Соколова О. Є., Герасименко І. М., Висоцька І. І. Лізинг повітряних суден як ефективна бізнес-технологія авіакомпанії. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2022. № 3. С. 112–117.

УДК 005.21:339.138:658.8(043.2)

О.Ю. Шевченко, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Теоретико-методичні засади розробки довгострокових стратегій конкурентоспроможності брендів

У сучасних умовах господарювання бренди опиняються під тиском численних факторів: інтенсифікації конкуренції, динамічної зміни потреби споживачів та цифрової революції. Для досягнення стійкої конкурентної переваги організаціям слід не просто зберігати бренд-впізнаваність, а й формувати глибокі емоційні взаємини з аудиторією, підтверджувати свою соціальну відповідальність та вчасно реагувати на трансформацію ринкового середовища. Саме тому вивчення інструментів стратегічного розвитку брендів та підвищення їх конкурентоспроможності стає надзвичайно важливим.

Вступ

На основі аналізу теоретичних концепцій було встановлено, що ефективність бренду визначається не тільки рівнем впізнаваності чи продуктною якістю, а й його адаптаційним потенціалом, здатністю вибудовувати емоційні взаємини зі споживачами та пропонувати цінності, що виходять за межі матеріальних характеристик товару.

Сучасна практика бренд-менеджменту свідчить про ключову роль цифрових інструментів у формуванні конкурентних переваг. Застосування дата-аналітики, індивідуалізованих комунікаційних підходів та інтерактивних форматів взаємодії дозволяє не просто залучати аудиторію, а й культивувати тривалу прихильність. Паралельно з цим, такі фактори як брендова автентичність та соціально-відповідальна позиція набувають вирішального значення для формування довіри клієнтів.

Аналіз стратегій модернізації підкреслює важливість адаптивності, інноваційного підходу та технологічної інтеграції в маркетингові процеси, як критичних умов підтримання конкурентних позицій. Бренди, здатні до оперативного реагування на ринкові трансформації та зміни у споживчих очікуваннях, демонструють істотно вищий потенціал досягнення довгострокового успіху.

Сучасний брендинг вийшов за межі класичних комунікаційних каналів. Цифрова революція кардинально трансформувала правила гри: сьогодні навіть невеликий бізнес може досягти глобальної впізнаваності завдяки соціальним мережам та інтернет-маркетингу, без необхідності інвестувати величезні бюджети в телевізійні ролики чи рекламу в пресі. [11].

Для підтримання конкурентоспроможності в довгостроковій перспективі брендам необхідно впроваджувати адаптивні стратегії, що передбачають постійне оновлення. Сучасний бренд - це не застиглий образ, а живий організм, який постійно трансформується, відповідаючи на виклики ринку та зміни у поведінці споживачів. Саме така динамічність дозволяє зберігати лідерські позиції в умовах високої нестабільності. [12].

Цифрові спільноти стануть ключовим інструментом брендингу майбутнього, де через соціальні медіа бренди залучатимуть споживачів до спільної творчості, формування іміджу та розробки продуктів, що зміцнюватиме довіру, створюватиме відчуття причетності та мотивуватиме клієнтів ставати амбасадорами бренду.

Новий тип споживача - технологічно підкований, вимогливий до персоналізації та орієнтований на цінності. В умовах інформаційної надлишковості він ретельно фільтрує пропозиції, віддаючи перевагу брендам з чіткою позицією та відкритою комунікацією.

Еволюція поведінки покупця - доступ до цифрових інструментів перетворив клієнта на експерта, який обирає не просто продукт, а ідеологічну відповідність. Довіра тепер будується на репутаційних факторах – від чесності бренду до його соціального внеску.

Успішна комунікація з клієнтом тепер вимагає глибокого розуміння його мотивації, прозорості бренду та справжньої взаємодії на основі спільних цінностей. [13].

Сучасний брендинг перетворився на складну систему, яка поєднує стратегічне бачення, технологічний прогрес і відповідальність перед суспільством. В умовах економічної невизначеності, жорсткої конкуренції та постійно зростаючих вимог споживачів компаніям вже недостатньо просто відповідати поточним потребам – вони повинні передбачати майбутні зміни та формувати нові тренди.

Технологічна адаптивність – бренди мають швидко інтегрувати новітні рішення, від штучного інтелекту до метавсесвітів, щоб залишатися на хвилі змін.

Персоналізація взаємодії – споживачі очікують індивідуального підходу, де кожен контакт із брендом будується на основі їхніх уподобань і цінностей.

Майбутнє належатиме брендам-лідерам, які поєднують технологічну могутність з людяністю, інноваційність – з відповідальністю, а комерційний успіх – зі справжньою соціальною місією.

Сталий брендинг стане ключовим трендом майбутнього, оскільки сучасні споживачі дедалі більше цінують екологічну свідомість, що змушує компанії трансформувати виробництво, пакування та бізнес-моделі, впроваджуючи еко-ініціативи, отримуючи відповідні сертифікації та ефективно комунікуючи ці зміни для залучення нових клієнтів та підвищення конкурентоспроможності.

Інноваційний брендинг сьогодні – це мистецтво створення емоційного враження через інтерактивні технології, мультисенсорні рішення та персоналізовані комунікації, що перетворюють звичайну взаємодію з клієнтами на незабутній досвід, який формуватиме глибший зв'язок із брендом.

Висновки

Сучасний бренд-менеджмент набуває нового виміру: цифрові технології (аналітика даних, персоналізовані комунікації та інтерактивний контент) стали

ключовими драйверами конкурентних переваг, допомагаючи не лише залучати, а й утримувати клієнтів через формування довгострокової лояльності.

Водночас автентичність і соціальна відповідальність виступають фундаментом споживчої довіри, що підтверджується дослідженнями, які визначили гнучкість, інноваційність та технологічну інтеграцію критично важливими факторами для підтримання ринкових позицій. Майбутній розвиток галузі передбачає поглиблене вивчення механізмів адаптації брендів до динамічного середовища та вдосконалення цифрових інструментів управління.

Список літератури

1. Майборода Г.О. Показники бренд-менеджменту та ефективність їх використання. Розвиток економіки України: проблеми, перспективи, ефективність. Delevopment of Ukraine's Economy: *Problems, prospects, efficiency: матеріали м*іжн. наук.-практ. конф. м. Арад, Румунія, 17–18 грудня 2020. С. 12–15. https://surl.li/xojxmc (дата звернення: 31.01.2025).
2. Щурко У.В. Підходи до формування та реалізації конкурентних стратегій. *Економіка і суспільство.* 2018. Вип. 17. С. 402-412.
3. Перевозова І.В., Дуда Г.Б., Земляков І.С. Маркетинговий аналіз та формування оптимального товарного асортименту оптового підприємства. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки»*. 2024. Вип. 8. URL: https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-8-10223 (дата звернення: 31.01.2025).
4. Тарлопов І.О. Ринок споживчих товарів України: проблеми та перспективи розвитку. *Економіка. Фінанси. Право.* 2018. Вип. 12. URL: https://elar.naiau.kiev.ua/items/1e4f13fe-6bea-4ae3-b809-be0fc40f399c (дата звернення: 31.01.2025).
5. Матвієнко К.В., Кваско А.В. Стратегії розвитку підприємства в сучасному конкурентному середовищі. *V Міжнародна науково-практична конференція «Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспекти*ви». С. 85-86. URL: https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/303666 (дата звернення: 31.01.2025).
6. Reflective Model of Brand Awareness on Repurchase Intention and Customer Satisfaction / G. B. Ilyas et al. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*. 2020. Vol. 7, no. 9. P. 427–438. URL: https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no9.427 (date of access: 04.02.2025).
7. Muchenje Ch., Mtengwa E., Forbes K. Building a Strong Brand: Future Strategies and Insights. In book: *Sustainable Marketing, Branding, and Reputation Management: Strategies for a Greener Future*. 2023. P. 238-257. URL: https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0019-0.ch012 (date of access: 04.02.2025).
8. Katrandjiev H. I. Genesis of Branding: Methodological Framework for Studying Ancient Egyptian Cylinder Seals (3000 BC - 2150 BC*). Economic Alternatives,* 2023. Vol. 2(2). P. 235-255. URL: https://doi.org/10.37075/EA.2023.2.01 (date of access: 04.02.2025).
9. Åström Rudberg E., Kuorelahti E. 'We have a prodigious amount in common'. Reappraising Americanisation and circulation of knowledge in the interwar

Nordic advertising industry. *Business History*. 2021. P. 1–23. URL: https://doi.org/10.1080/00076791.2021.1991915 (date of access: 04.02.2025).

10. Belanche D., Casaló, L.V., Flavián M., Ibáñez-Sánchez S. Understanding influencer market-ing: The role of congruence between influencers, products and consumers. *Journal of Business Research,* 2021. Vol. 132. P. 186-195. URL: https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.03.067 (date of access: 04.02.2025).

11. Zhuravskaya, E., Petrova, M., Enikolopov, R. Political effects of the internet and social media. *Annual Review of Economics*, 2020. Vol. 12(1). P. 415-438. URL: https://doi.org/10.1146/annurev-economics-081919-050239 (date of access: 04.02.2025).

12. Пенькова О.Г., Лементовська В.А., Бортник Т.І. Стратегії просування бренду на різних етапах життєвого циклу продукції. *Економіка та суспільство.* 2024. Вип. 66. URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-31 (дата звернення: 31.01.2025).

13. Wongsansukcharoen J. They seek brands with transparent business practices, ethical standards, and a commitment to social and environmental responsibility. They value brands that demonstrate authen-ticity and align with their values, supporting causes they care about. *Journal of Retailing and Consumer Services,* 2022. Vol. 64. URL: https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102826 (date of access: 04.02.2025).

14. Перевозова І.В., Жарська Т.М. Розробка стратегії просування бренду як дієвий інструмент бренд-менеджменту. *Економіка та суспільство.* 2023. Вип. 53. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-53-76 (дата звернення: 31.01.2025).

15. Zu L., Carlyle T. Purpose-driven leadership for sustainable business : From the Perspective of Taoism. *International Journal of Corporate Social Responsibility*, 2019. Vol. 4(3). P. 1-31. DOI: https://doi.org/10.118640991-019-0041-z (date of access: 04.02.2025).

УДК 004.65

О.С. Яцко
І.С. Гращенко к.е.н, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оптимізація обробки даних в інтелектуальних інформаційних системах за допомогою технологій штучного інтелекту

У статті розглянуто підхід до оптимізації обробки даних в інтелектуальних інформаційних системах з використанням технологій штучного інтелекту. механізмів.

В сучасних умовах цифровізації суспільства інформаційні потоки зростають експоненціально, що вимагає від інформаційних систем здатності до швидкої обробки великих обсягів даних і підтримки прийняття рішень в реальному часі. роботи ІІС значною мірою залежить від оптимізації процесів обробки даних, особливо при роботі з неструктурованими і великими масивами інформації.

Інтелектуальні інформаційні системи (ІІС) є незамінними в умовах стрімкого зростання обсягів інформації, допомагаючи користувачам аналізувати дані та приймати обґрунтовані рішення. Однак великі масиви даних створюють виклики, пов'язані з їхньою обробкою та інтерпретацією в реальному часі. Штучний інтелект (ШІ) відкриває нові можливості для автоматизації та оптимізації цих процесів, підвищуючи ефективність ІІС. Актуальність дослідження полягає в необхідності створення швидких і точних інструментів для роботи з даними, що є критично важливим для сучасних технологій.

У рамках роботи запропоновано підхід до оптимізації обробки даних в ІІС, який базується на алгоритмах глибокого навчання. Зокрема, використано згорткові нейронні мережі (CNN) для автоматичного виявлення закономірностей у неструктурованих даних (текстах, зображеннях) і рекурентні нейронні мережі (RNN) для аналізу часових рядів. Для реалізації прототипу використано мову програмування Python із бібліотеками PyTorch та Pandas. Тестування проводилося на наборі даних, що містив 10 000 записів, зібраних із реальної ІІС у сфері логістики.

Додатково для підвищення продуктивності системи було реалізовано механізми попередньої обробки даних, зокрема нормалізацію ознак та виявлення аномалій за допомогою алгоритмів ізоляційних лісів (Isolation Forest). Це дозволило ще на етапі підготовки даних суттєво знизити обчислювальне навантаження на моделі.

Результати показали:

- Скорочення часу обробки даних на 35% порівняно з традиційними методами.
- Підвищення точності аналізу закономірностей до 92%, що вимірювалося метрикою F1-score.

- Зменшення навантаження на серверні ресурси на 20% завдяки оптимізованим алгоритмам.

- Підвищення стабільності роботи ІІС у пікові періоди навантаження на 15%, що було досягнуто шляхом застосування динамічного балансування обчислювальних потоків.

Розроблений підхід може бути застосований у різних типах ІІС, наприклад, у системах прогнозування попиту або аналітичних платформах для бізнесу. Окрему увагу варто приділити можливості використання запропонованого рішення в медицині для аналізу електронних медичних записів, у фінансовому секторі для виявлення мошенництва та у державному управлінні для моніторингу соціально-економічних процесів.

У перспективі планується інтеграція технологій обробки природної мови (NLP) для аналізу текстових даних користувачів, а також впровадження адаптивних алгоритмів, які враховуватимуть специфіку галузі застосування системи.

Висновки

У роботі запропоновано підхід до оптимізації обробки даних в інтелектуальних інформаційних системах з використанням технологій штучного інтелекту . Результати експериментального аналізу. У роботі запропоновано підхід до оптимізації обробки даних в інтелектуальних інформаційних системах з використанням технологій штучного інтелекту. Результати експериментального тестування свідчать про суттєве підвищення ефективності обробки даних, скорочення часу їх аналізу та зменшення навантаження на ресурси. Використання згорткових та рекурентних нейронних мереж дозволило значно підвищити точність виявлення закономірностей у даних, а впровадження механізмів попередньої обробки забезпечило додаткову оптимізацію процесу. Запропонований підхід може бути успішно адаптований до різних сфер застосування, де важливими є швидкість і якість обробки інформації.

Надалі планується поглибити дослідження у напрямку інтеграції методів обробки природної мови (NLP) для роботи з текстовими та напівструктурованими даними. Особливу увагу буде приділено розробці адаптивних механізмів навчання моделей на основі специфіки предметної галузі, а також застосуванню методів активного навчання для мінімізації потреб у великих обсягах розмічених даних. Крім того, перспективним є вивчення можливостей використання гібридних архітектур, що поєднують традиційні алгоритми обробки даних із сучасними нейронними мережами для підвищення стійкості та надійності роботи ІІС в умовах неповних або зашумлених даних.

Список використаних джерел

1. Коваленко О. В. (2022) Інтелектуальні інформаційні системи: теорія та практика, Київ: Вид-во НПУ, 320 с.
2. Петренко П. П. (2021) Штучний інтелект у бізнес-процесах, Харків: Видавництво "Технології", 280 с.

3. Іваненко І. І. (2020) Машинне навчання для оптимізації даних., Львів: ЛНУ, 240 с.
4. Сидоренко С. С. (2019) Нейронні мережі в інтелектуальних системах., Дніпро: ДНУ, 300 с.
5. Григоренко Г. Г. (2018) Технології штучного інтелекту в освіті., Одеса: ОНУ, 260 с.
6. Приймак, Є. О., Зайцев, Є. О., Лемешко, А. В., Антоненко, А. В. (2024). Дослідження можливостей оптимізації процесу обробки даних в державних інформаційних системах із використанням штучного інтелекту. ITSynergy, (1), 6–15. https://doi.org/10.53920/ITS-2024-1-1

УДК 336.7

А.Д. Семенюк,
Г.В. Тельнова, д.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості функціонування процентного каналу трансмісійного механізму монетарної політики

У сучасних умовах монетарна політика центрального банку відіграє ключову роль у забезпеченні макроекономічної стабільності. Особливе значення має процентний канал трансмісійного механізму, через який реалізуються рішення центрального банку щодо управління інфляцією та економічною активністю.

Трансмісійний механізм— це процес, за допомогою якого грошово кредитна політика центрального банку впливає на реальну економіку, зокрема на сукупний попит і обсяг виробництва. Один із ключових каналів цього механізму — це процентний канал, через який зміни в грошовій масі впливають на реальну відсоткову ставку. Основним фактором впливу в межах цього механізму є облікова ставка, яка виступає сигналом для зміни вартості кредитування в економіці. Зміна облікової ставки формує імпульс у процентний канал трансмісії. Трансмісійний механізм можна охарактеризувати наступною схемою (1):

$$M \uparrow \Rightarrow i \downarrow \Rightarrow I \uparrow \Rightarrow Y \uparrow \qquad (1)$$

де M ↑ означає експансійну грошово-кредитну політику, яка веде до зниження реальних відсоткових ставок (i ↓), що, своєю чергою, знижує вартість капіталу, спричиняючи зростання інвестиційних витрат (I ↑), що, врешті-решт, призводить до зростання сукупного попиту та збільшення випуску продукції (Y ↑).

Процентний канал функціонує шляхом впливу змін облікової ставки або інших ключових процентних ставок на вартість кредитування та інвестування. Імпульси які надходять у процентний канал , можуть виражатися або зниженням облікової ставки , або її підвищенням . Підвищення процентної ставки здорожчує кредити, зменшуючи сукупний попит, тоді як її зниження стимулює споживчу та інвестиційну активність.
Зміна облікової ставки впливає на короткострокові процентні ставки на міжбанківському ринку, які в подальшому транслюються на ставки за кредитами та депозитами для бізнесу і домогосподарств. Через це змінюються обсяги кредитування, споживання та інвестицій, що врешті-решт впливає на темпи зростання ВВП та рівень інфляції. Загалом, механізм монетарної трансмісії означає вплив зміни гршової пропозиції на стан реального сектору економіки (рис.1).

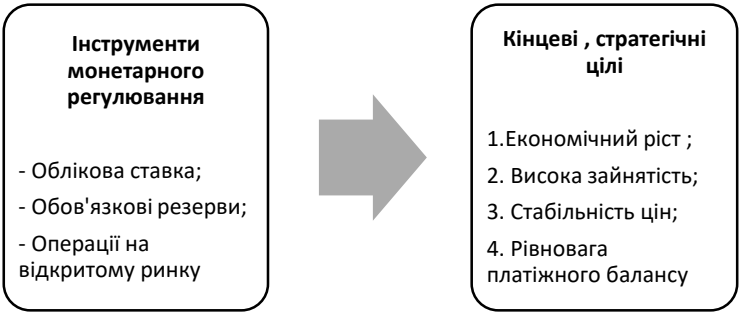


Рис.1 Стратегічні цілі роботи механізму монетарної трансмісії

Процентний канал працює через такі інструменти : короткострокові процентні ставки на мібанківському ринку , процентні ставки за кредитами для бізнесу і населення , ставки за депозитами у банках та облігації. Ці інструменти формують умови, в яких ухвалюються споживчі та інвестиційні рішення.

Імпульс передається до інфляції поетапно :

1. Зміна облікової ставки (наприклад, зменшення);
2. Зниження короткострокових процентних ставок;
3. Здешевлення кредитів та зниження дохідності за депозитами;
4. Зростання споживчої та інвестиційної активності;
5. Зростання сукупного попиту в економіці;
6. Навантаження на виробничі потужності;
7. Зростання цін (інфляційний тиск).

Цей ланцюг працює і в зворотному напрямку — підвищення ставок гальмує попит і знижує інфляцію.

Ефективність процентного каналу залежить від: - ступеня розвитку фінансового ринку; - швидкості та повноти передавання змін ставки на комерційні ставки; - рівня доларизації економіки; - очікувань економічних агентів щодо майбутньої політики центрального банку.

В Україні процентний канал набуває дедалі більшої ефективності після впровадження режиму інфляційного таргетування у 2015 році. НБУ активно використовує її для впливу на інфляцію та стабілізацію економіки.. Наприклад , у 2022–2023 роках ставка досягала 26,6 % через інфляційні ризики та війну. У 2024 році НБУ почав поступово її знижувати до 12%, що свідчить про активну роботу процентного каналу (рис.2).

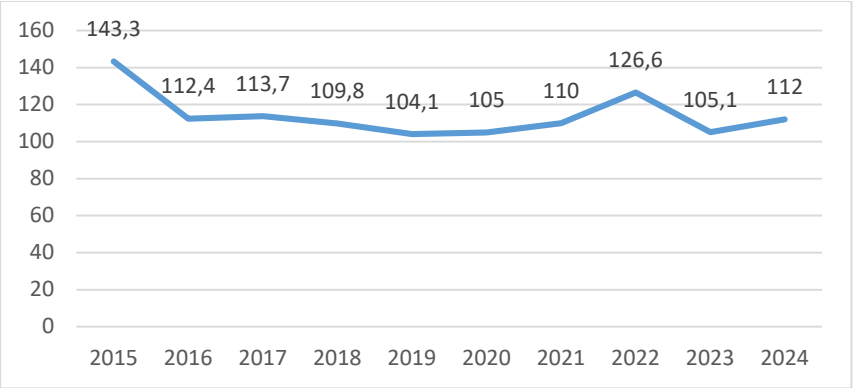


Рис.2. Темп інфляції , % 2015-2024 рр.[1]

Однією із проблем функціонування процентного каналу в Україні є висока доларизація. Вона зменшує ефективність монетарної політики . Наприклад, якщо НБУ зменшує облікову ставку на 1% , це ніяк не впливає на тих , хто зберігає кредити або бере в доларах. Частка валютних вкладів населення України на початок 2025 року становила 34,9% , що є доволі високим значенням [2].

Висновок

Процентний канал є ключовим інструментом реалізації монетарної політики, особливо в умовах інфляційного таргетування. Для посилення його ефективності необхідна стабільна макроекономічна політика, розвиток фінансових ринків і посилення незалежності центрального банку.

Список літератури

1. Індекс інфляції [Електронний ресурс] . – Режим доступу : https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/ .

2. Огляд банківського сектору / Лютий 2025 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://bank.gov.ua/ua/news/all/oglyad-bankivskogo-sektoru-lyutiy-2025-roku .

УДК 336.71:332.024.4 (477)

Т.О. Гаврилко, к.е.н., В.О. Свобода, здобувач
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Перспективи розвитку ринку "зелених" облігацій

Виявлені ключові тенденції розвитку ринку "зелених" облігацій у 2024–2025 роках, проаналізований його сучасний стан як на глобальному рівні, так і в Україні. Визначені чинники, які можуть сприяти або гальмувати його активне зростання у найближчому майбутньому.

Сьогодні усе більше уваги приділяється темі захисту довкілля та переходу до сталого розвитку. У зв'язку з цим зростає популярність фінансових інструментів, які підтримують "зелені" ініціативи. Одним із таких інструментів є "зелені" облігації — цінні папери, за допомогою яких залучаються кошти на реалізацію екологічно важливих проєктів. У світі обсяг інвестицій у цей сектор стрімко зростає, а багато країн активно розвивають відповідне законодавство та стандарти.

"Зелені" облігації спрямовують капітал на реалізацію ініціатив, що зменшують негативний вплив на довкілля, тому у контексті глобальних змін та зростаючого попиту на сталі інвестиції аналіз перспектив розвитку ринку "зелених" облігацій набуває особливої актуальності. Водночас в Україні цей ринок лише формується, але вже є позитивні приклади та наміри до подальшого розвитку.

У 2025 році очікується, що обсяг випуску "зелених", соціальних та сталих облігацій (GSS+) перевищить 1 трлн доларів США, що свідчить про зростаючий інтерес інвесторів до сталого фінансування [3]. За прогнозами, обсяг емітованих «зелених» облігацій у 2025 році досягне 620 млрд дол., що складатиме 58% загальної величини сталих облігацій.

2024 рік відзначився емісією «зелених» облігацій у розмірі 609 млрд дол., що на 10% перевищувало значення цього показника за попередній річний період, а загальна капіталізація ринку «зелених» облігацій на кінець 2024 року знаходилася на рівні 2,9 трлн дол. Відповідно до інформації, оприлюдненої Банком міжнародних розрахунків, за період 2018-2024 рр. рівень капіталізації ринку «зелених» облігацій зріс у шість раз.

Зростання попиту на екологічно стійкі інвестиції супроводжується формуванням сприятливого середовища відсоткових ставок та впровадженням нових стандартів, таких як добровільний стандарт ЄС (EU GBS), який вимагає спрямування не менше 85% залучених коштів на діяльність, що відповідає таксономії ЄС у сфері сталого розвитку [3].

Дослідження підтверджують ефективність "зелених" облігацій у фінансуванні екологічних проєктів. Кореляційно-регресійний аналіз показав сильний зворотний зв'язок між рівнем викидів CO_2 та обсягом випущених "зелених" облігацій (коефіцієнт кореляції R=0,733), що свідчить про їхню роль у зменшенні викидів парникових газів [1].

До найбільших світових емітентів у сфері випуску «зелених» облігацій

відносять Францію, Німеччину та Великобританію. У 2024 році вперше був здійснений випуск таких облігацій Румунією, Ватаром, Ісландією, Кот-д'Івуаром та Гондурасом.

В Україні розвиток ринку "зелених" облігацій набирає обертів. Законодавчі ініціативи, спрямовані на регулювання цього сегменту, були започатковані ще у 2018 році, а у 2020 році прийнято закон №738-IX, який заклав основу для впровадження "зелених" облігацій в Україні [2].

У 2021 році Національною комісією з цінних паперів та фондового ринку (НКЦПФР) були схвалені рекомендації, які стосувалися реалізації або фінансування проєктів, що носять екологічний характер, за рахунок випуску «зелених» облігацій. Особливості, за якими облігації можуть бути віднесені до категорії «зелених, викладені у відповідному Стандарті ЄС, що визначає умови використання «зелених» облігацій; Міжнародною асоціацією ринків капіталу сформульовані принципи «зелених» облігацій

У 2024 році НКЦПФР оголосила про підготовку умов для запровадження облігацій сталого розвитку (ESG bonds), що свідчить про прагнення інтегруватися в європейські стандарти сталого фінансування [3].

Відповідність розвитку вітчизняного ринку «зелених» облігацій європейським нормам повинна виражатися у наступному:

– пріоритетне спрямування потоків капіталів на реалізацію цілей сталого зростання;

– створення механізму ризик-менеджменту з першочерговим акцентом на фінансові ризики, виникнення яких зумовлюється змінами клімату, вичерпанням ресурсів, погіршенням стану навколишнього середовища, соціальними проблемами;

– дотримання принципу прозорості стосовно фінансів та економіки загалом з орієнтуванням на одержання довгострокових прибутків.

Урахування міжнародних принципів «зелених» облігацій відображено у Рекомендаціях та ключових ознаках емітованих в Україні облігацій, що віднесені до даної категорії, розроблених НКЦПФР:

– проєкти, які будуть фінансуватися чи рефінансуватися за рахунок коштів, що залучаються внаслідок емісії «зелених» облігацій, повинні відповідати положенням міжнародної таксономії;

– акцентується увага на обов’язковому цільовому використанні коштів, отриманих від емітованих «зелених» облігацій;

– емітенти повинні звітуватися про те, як впливають фінансовані проєкти на стан навколишнього середовища;

– емітенти повинні залучати зовнішніх незалежних контролерів (верифікаторів);

– емітентами повинна бути сформульована власна політика щодо «зелених» облігацій.

У випадку невідповідності облігацій хоча б одній ознаці, вони не можуть відповідати сутності «зелених» облігацій і будуть віднесені інвесторами та державними органами до «зеленого камуфляжу», що означає неправдиве надання інформації щодо використання одержаних в результаті розміщення «зелених» облігацій коштів.

Вперше в Україні були випущені зелені єврооблігації сталого розвитку обсягом 825 млн дол. у листопаді 2021 року, емітент – НЕК «Укренерго». Розміщення облігацій відбулося на Лондонській фондовій біржі, термін погашення складає 7 років. Призначення одержаних коштів – компенсувати витрати на розвиток «зеленої» енергетики та ліквідувати заборгованість перед виробниками відновлюваних джерел енергії.

На сьогоднішній день уряд нашої країни не має намірів щодо випуску суверенних (державних) зелених облігацій. На основі проведеного дослідження, яке стосується можливостей здійснення «зелених» інвестицій, із 750 наявних інвестиційних проєктів 150 проєктів носять екологічний характер; їх реалізація може бути здійснена шляхом виявлення інтересу інституційними інвесторами у тому випадку, коли розміщення буде відбуватися на міжнародних фінансових ринках українських «зелених» облігацій.

Декількома містами та державними підприємствами оприлюднені наміри щодо емітування муніципальних та корпоративних «зелених» облігацій. Щодо потенціалу українського ринку «зелених» облігацій, ПРООН оцінює його з розрахунку на середньостроковий термін в 5 млрд дол.

Однак, існують певні бар'єри для розвитку ринку "зелених" облігацій в Україні, зокрема недостатня обізнаність інвесторів, обмежений доступ до інформації та відсутність чітких стандартів сертифікації. Для подолання цих перешкод необхідно вдосконалити нормативно-правову базу та забезпечити прозорість процесів емісії та використання залучених коштів.

Висновок

Ринок "зелених" облігацій демонструє стійке зростання як на глобальному, так і на національному рівнях. Для України розвиток цього сегменту фінансового ринку відкриває нові можливості для залучення інвестицій у екологічні проєкти та сприяє досягненню цілей сталого розвитку. Проте, для реалізації потенціалу "зелених" облігацій необхідно усунути існуючі бар'єри, вдосконалити законодавчу базу та забезпечити інтеграцію з міжнародними стандартами сталого фінансування.

Список літератури

1. Карнаушенко А. С. Розвиток ринку зелених облігацій у контексті глобальної стратегії сталого розвитку та переходу до циркулярної економіки. *Проблеми сучасних трансформацій.* Серія: економіка та управління. 2024. №16. URL: https://doi.org/10.54929/2786-5738-2024-16-06-01 (дата звернення: 3.04.2025).

2. Olenyuk A. Development of Legal Regulation of Green Bonds in Ukraine. NaUKMA Research Papers Law. 2025. Vol. 14. P. 57–65. URL: https://doi.org/10.18523/2617-2607.2024.14.57-65 (дата звернення: 4.04.2025).

3. Ключові тренди сталого інвестування та ESG для добувної галузі у 2025 році. NEIAU. 2025. URL: https://neiau.com.ua/klyuchovi-trendy-stalogo-investuvannya-ta-esg-dlya-dobuvnoyi-galuzi-u-2025-roczi/ (дата звернення: 5.04.2025).

УДК 656.7:330.341.1(477.87)

І.В. Шевченко, к.е.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
І.Є. Максютенко, к.е.н.
(Національний університет будівництва і архітектури, Україна)

Маркетингова модель створення авіа-ХАБу «Ужгород»

Запропоновано маркетингову модель створення авіаційного ХАБу на базі аеропорту «Ужгород» на основі забезпечення національних інтересів в сфері авіаперевезень, оптимізації комерційних зусиль як аеропорту, так і користувачів послуг, а також повернення української авіації на світовий ринок. Представлені результати моделювання та пропозиції щодо реалізації моделі.

У сучасних умовах відкритої воєнної агресії на території України, а також при наявності щоденних повітряних тривог і вимушеного безпольотного простору, українська авіації суттєво втрачає свої позиції на міжнародному ринку авіаперевезень. Крім стратегічних втрат на міжнародному авіаринку, на внутрішньому транспортному ринку України втрачаються переваги пов'язані із швидкістю перевезень.

Наразі аеропорт «Ужгород» є найбільш безпечним для відкриття та експлуатації, що пов'язано з його географічним розташування за грядою Карпатських гір. Аеропорт «Ужгород» розташований у безпосередній близькості до кордонів Європейського Союзу (Словаччина — 2 км, Угорщина — близько 30 км, Румунія — до 90 км). Це створює унікальні умови для транс'європейського пасажирського та вантажного транзиту.

Інфраструктурна база аеропорту «Ужгород» включає існуючу злітно-посадкову смугу, довжиною 2038 м, шириною 40 м, курс/напрямок 10/28, яка розрахована на прийом середньомагістральних літаків (типу Embraer, Saab, ATR, Dash-8, малих Boeing). Відповідно злітно-посадкова смуга потребує модернізації, але не повного будівництва з нуля [1].

Аеропорт має в своєму розпорядженні невеликий пасажирський термінал, що обслуговує внутрішні та міжнародні рейси й може приймати приблизно до 150 пасажирів на годину.

Унікальність розташування аеропорту полягає в тому, що при зльоті та посадці літаки частково використовують повітряний простір Словаччини, відстань до кордону зі Словаччиною приблизно 2 км, — це єдиний такий аеропорт в Україні. У 2022 році було підписано міжурядову угоду зі Словаччиною, яка дозволяє відновити використання повітряного простору цієї країни для злетів та посадок — це відкриває можливість для повноцінної роботи аеропорту.

Унікальна торгова пропозиція (USP) створення хабу на базі аеропорту «Ужгород» формулюється як: «Єдиний регіональний хаб України з прямим доступом до повітряного простору ЄС та унікальним транскордонним розташуванням». Ключовими перевагами реалізації даного проєкту є:

– аеропорт є найзахіднішим аеропортом країни, що знаходиться впритул до ЄС;
– відкриває можливості для швидкого сполучення з ключовими європейськими столицями;
– має в розпорядженні доступні земельні ресурси та кадри для розвитку інфраструктури.
– має потенціал вантажного хабу для логістики з Європи.

В умовах війни особливо важливо мати резервні аеродроми в західних областях. Аеропорт може використовуватись для евакуаційних рейсів, гуманітарних поставок, або як тимчасовий аеровузол у разі недоступності інших летовищ.

Потенціал аеропорту «Ужгород» як логістичного хабу полягає у розвитку вантажних перевезень шляхом організації вантажного терміналу, що дозволить залучити логістичні компанії для доставки товарів між Європою та Україною, особливо в умовах зміщення ланцюгів постачання через війну. Організація авіапоштових перевезень та участь у e-commerce, що спонукає попит на швидкі авіаперевезення з Європи.

Можна виділити основні сегменти споживачів [2], табл. 1.

Таблиця 1

Сегментація споживачів послуги аеропорту «Ужгород»

Сегмент	**Опис**	**Потреби**
Пасажири-туристи	Українці та іноземці	Дешеві квитки, зручне розташування
Трудові мігранти	Працюють у ЄС	Регулярні рейси до Кошице, Братислави, Варшави
Логістичні компанії	DHL, Meest, Nova Poshta Global	Наявність вантажного терміналу
Лоукост авіакомпанії	Ryanair, WizzAir, SkyUp	Доступна інфраструктура та пільгові умови
Інвестори / партнери	Бізнес у сфері обслуговування	Прозорі правила, пільгові умови оренди

Математична модель створення авіа-хабу «Ужгород» передбачає максимізацію прибутковості та трафіку авіа-хабу через оптимізацію маркетингових стратегій та залучення цільових груп [3].

Основні вхідні параметри моделі представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Вхідні параметри для розрахунку модель створення авіа-ХАБу «Ужгород»

Позначення	**Значення**
Pt	Пасажиропотік за період *t*
Cf	Витрати на функціонування аеропорту
Rt	Дохід від авіаперевезень за період *t*
M	Бюджет на маркетинг
L	Обсяг вантажних перевезень (т)

α	Ефективність маркетингової кампанії (коеф. конверсії)
β	Залежність доходу від пасажирів
γ	Залежність доходу від вантажів
δ	Знижки/субсидії для лоукостерів або інвесторів

Таким чином, цільова функція моделі матиме вигляд:

$$\max_M^Z = R_t - C_f, \quad (1)$$

де

$R_t = \beta \cdot P_t + \gamma \cdot L - \delta$,

$P_t = f(M, \alpha) = P_0 + \alpha \cdot M$,

$L = g(M, \alpha) = L_0 + \alpha \cdot M$.

Обмеження моделі передбачають:

- обмеження бюджету на маркетинг: $M \le M_{\max}$;
- максимальну пропускну здатність терміналу: $P_t \le P_{\text{cap}}$, де P_{cap} — максимально обумовлена пропускна спроможність пасажирів P і вантажу L;
- вантажну пропускну здатність: $L \le L_{\text{cap}}$;
- при цьому $\delta \in [0, \delta_{\max}]$.

Графічна (блокова) модель представлена на рис. 1.

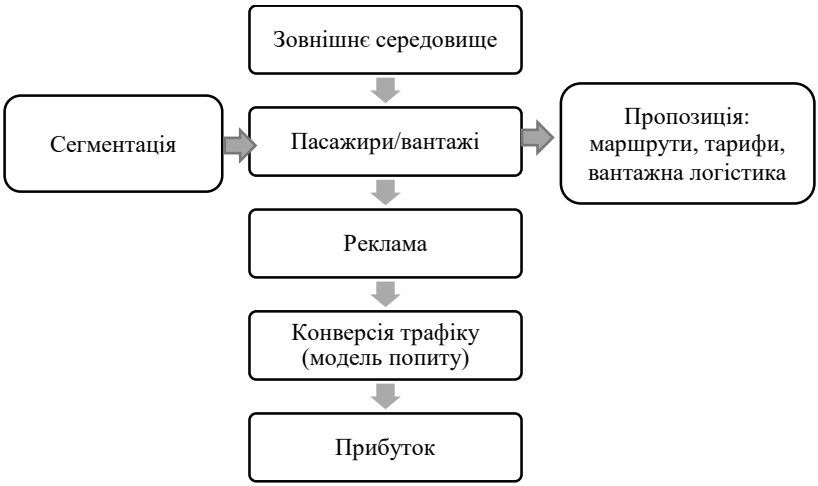


Рис. 1. Графічна (блокова) модель створення авіа-ХАБу «Ужгород»

Таким чином, маркетингова стратегія впливає на обсяг потенційного трафіку (*Pt*, *L*), який конвертується у прибуток [2]. Бюджетні обмеження та

інфраструктурна пропускна здатність обмежують максимальні можливості моделі. Модель можна реалізувати в Excel, Python або R для симуляцій різних сценаріїв.

Також необхідно зазначити, що при невеликих витратах маркетинг не дає суттєвого приросту пасажирів/вантажів → прибуток від'ємний (нижче нуля). Із зростанням інвестицій у маркетинг починає зростати трафік, а отже — і прибуток. Приблизно з бюджету в 600–800 тис. грн авіахаб починає працювати в плюс.

Очікувані результати (KPI) моделі створення авіа-ХАБу «Ужгород» представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Очікувані результати (KPI) моделі створення авіа-ХАБу «Ужгород»

Показник	Рік 1	Рік 3
Кількість рейсів на тиждень	5–10	25–40
Пасажиропотік	30 000	150 000+
Обсяг вантажів	до 500 т	понад 1500 т
Кількість нових робочих місць	80–100	300+

Інфраструктурна модернізація аеропорту у поєднанні з державно-приватним партнерством, залученням інвестицій та підтримкою європейських програм розвитку транскордонного співробітництва є критично важливими для реалізації цього проєкту.

Запропонована модель передбачає впровадження концепції 4P (Product, Price, Place, Promotion) з акцентом на конкурентні тарифи для перевізників, сучасний сервіс та активну інформаційну кампанію.

Висновок

Маркетингова модель розвитку хабу в Ужгороді базується на поєднанні унікального географічного положення, сучасних логістичних потреб та підтримки з боку держави й міжнародних партнерів. Це дозволяє перетворити аеропорт на справжній «західний портал» України в Європу.

Список літератури

1. Державна авіаційна служба України. URL: https://avia.gov.ua/.
2. Маркетинг транспортних послуг: навч. посібник за ред. О. І. Зоріної. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 305 с.
3. Математичні моделі в маркетингу та менеджменті: Навчальний посібник/ Укладачі: Гамалій В.Ф., Сотніков В.С., Вишневська В.А., Жовновач Р.І., Загреба М.М. Кропивницький, 2023. 181 с.

УДК 336.7

Ю.М. Коваленко, д.е.н., професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Специфіка венчурного фінансування інвестиційних проектів в авіаційній галузі

У ринковій економіці конкурентоспроможним є авіаційне підприємство, що націлене на вирішення певних задач, які пов'язані з НТП та інноваційним розвитком підприємництва. Тож особлива актуальність належить розвитку невеликих підприємств, які націлені на реалізацію ризикового проекту, інноваційної ідеї, створення і розвиток інноваційного проєкту.

Основними організаційними формами є венчурні фонди і компанії, які найбільш поширені у наукоємних сферах і базуються на новітніх дослідженнях та розробках. Відповідно, специфіка венчурного авіаційного підприємства полягає в інтенсифікації дослідницького процесу і створенні інновацій за умов зростаючих ризиків та тиску ринкових чинників. Венчурному авіаційному проекту притаманні такі специфічні характеристики(табл. 1)

Таблиця 1

Характеристики венчурного проекту [1]

Характеристика	Опис
Ступінь ризикованості діяльності	Найвищий ступінь ризику
Очікувана прибутковість діяльності	Висока прибутковість діяльності
Тип продукту або послуги, який пропонує бізнес	Інноваційні товари та / або послуги
Пріоритетна форма організації діяльності	Малий і середній бізнес або профільний структурний підрозділ великої компанії
Пріоритетна форма організації бізнесу	Стартап
Пріоритетні інвестори	Венчурні фонди, цільові фонди, бізнес-ангели

Особливого значення венчурні авіаційні проекти набувають у сучасних умовах, оскільки вони мають на меті:

– створення новітніх життєздатних одиниць господарювання, які впливають на всю традиційну структуру реалізації наукових досліджень і спонукають до зміни в авіаційному транспорті;

– підвищення зайнятості висококваліфікованих спеціалістів;

– сприяння технічному переозброєнню авіації;

– вдосконалення важелів управління та організаційних структур;

– підкреслення необхідності орієнтації на довгострокові цілі [2].

За роллю венчурного авіаційного підприємства у суспільстві можна виділити такі його типи:

а) венчурне підприємство, яке діє за принципами філантропії: функціонує на основі залучення людських ресурсів та фінансування, що інвестуються як благодійність венчурними капіталістами, трастами і корпораціями у пошуках соціальної віддачі від своїх інвестицій;

б) комерційний венчур: націлений на одержання фінансової віддачі від залученого інвестування [3].

Ключові гравці на ринках авіаційного венчурного капіталу – це:

- «інноватори, які потребують необхідного фінансування;
- інвестори, які прагнуть отримати велику віддачу;
- інвестиційні банкіри, яким потрібні активи для продажу;
- венчурні капіталісти, які заробляють гроші в результаті діяльності на ринку венчурного капіталу» [1, С. 25].

Взаємодія між основними гравцями на ринках венчурного капіталу наведена на рис. 1.

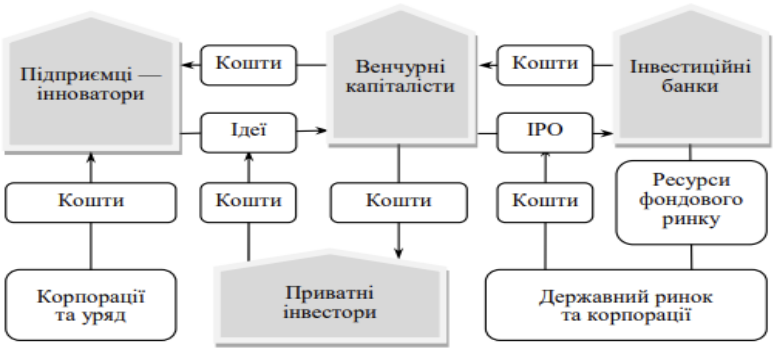


Рис. 1. Взаємодія учасників ринку венчурного капіталу [4]

У результаті взаємодії між учасниками ринків венчурних капіталів відбувається його кругообіг як процес руху капіталів, де вони проходять стадії обігу та виробництва (Д — Т і $Т^1$ — $Д^1$). У процесі кругообігу венчурного капіталу відбувається реалізація його функцій, зокрема:

– «акумулювання капіталу та подальше спрямування його на розвиток перспективних інновацій;

– фінансове забезпечення інноваційних проектів

– надання управлінських навичок і досвіду ведення бізнесу інноваційним підприємствам;

– стимулювання інноваційної діяльності;

– гарант економічної стійкості інноваційних підприємств;

– комерціалізація інноваційної діяльності;

– сприяння проривному зростанню нових виробництв і галузей» [1].

Сукупність цих функцій спонукає виникнення низки ефектів, за рахунок яких венчурні ресурси чинять свій вплив на інноваційну складову економічних процесів в авіації, зокрема чинять істотний вплив на структурне оновлення галузі, забезпечують зростання прибутків, створюють передумови для фінансування інвестиційних проектів, посилюють комерціалізацію наукових розробок, диверсифікацію персоналу, що у підсумку приведуть до поліпшення сервісу.

Отже основною перевагою венчурного фінансування в авіації є здатність інвесторів підтримати інноваційні проекти без будь-яких гарантій. Тобто венчурні капіталісти готові розділити великі ризики з підприємцем, який розвиває авіаційний інноваційний бізнес. Окрім того, істотна частка таких інноваційний проектів дає змогу отримати прибутки переважно у довгостроковій перспективі. Тож венчурні інвестори готові до відсутності прибутку протягом великого проміжку часу. Однак самі вкладення венчурних капіталів передбачають одержання найбільших прибутків, що відбувається через фінансування новітніх напрямків за високого ступеня невизначеності.

Висновки. Для інноваційного бізнесу фінансування венчурних інвестиційних проектів в авіації набуває додаткового значення. На відміну від традиційних фінансових ресурсів, венчурний інвестор готовий не тільки запропонувати інвестиційний капітал, але і надати допоміжні консультаційні та управлінські послуги. Це особливо важливо для стартапера, який ще не має відповідного досвіду для здійснення управлінських функцій, зокрема щодо вирішення питань у наймі ключових працівників, підготовки до первинного розміщення акцій на фондовому ринку, маркетингу, стратегічного планування функціонування компаній. Реалізація комплексу цих функцій венчурного інвестиційного фінансування в авіаційній галузі закладає основи інноваційного процесу, а також формування передумов задля її інноваційного розвитку**.** Велику роль у цих процесах відіграє фінансування через фінансовий ринок [5], а також формування ефективного фінансового сектору економіки [6].

Список літератури

1. Диба М. І., Гернего Ю. О. Венчурне фінансування: навч. посіб.. К.: КНЕУ, 2021. 144 с.
2. Форми розвитку венчурного бізнесу на малих підприємствах. URL: https://studexpo.ru/121082/ekteoriya/formi_rozvitku_venchurnogo_biznesu
3. Pepin, J. (2015) Venture capitalists and entrepreneurs become venture philanthropists. *Journal of philanthropy and marketing*, 10, 3, 165 — 173.
4. Zider B. How Venture Capital Works. Harvard Business Review. URL: https://hbr.org/1998/11/how-venture-capital-works
5. Коваленко Ю. М., Онишко С. В., Кужелєв М. О. Фінансовий ринок: підручник. Ірпінь: Університет ДФС України, 2018. 442 с.
6. Коваленко Ю. М. Формування інституційних передумов розвитку фінансового сектору економіки України. *Економіка України*. 2011. № 7 (596). С. 49–60.

УДК 351

Ю.В. Середа, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інформаційно-комунікаційний механізм як чинник цифрової трансформації державного управління у сфері дорожнього будівництва

Охарактеризовано інформаційно-комунікаційний механізм як стратегічний інструмент реалізації управлінських рішень та складову комплексного механізму державного управління. Розкрито сутність та наведено приклади ефективного застосування механізму, проведено порівняльний аналіз цифрових інструментів в Україні та країнах ЄС.

Цифрова трансформація державного управління має низку викликів, одним з яких є питання ефективного використання інформаційно-комунікаційних технологій для оптимізації функціонування державних інституцій. Зокрема, у сфері дорожнього будівництва інформаційно-комунікаційний механізм є стратегічним інструментом забезпечення прозорості, підзвітності та результативності управлінських рішень. Інформаційна відкритість, цифрові сервіси, електронне урядування та сучасні засоби зворотного зв'язку стають невід'ємними атрибутами сучасного адміністративного середовища.

Через цифрові інструменти здійснюється громадський контроль та моніторинг дорожнього будівництва. Інформаційно-комунікаційні рішення забезпечують змогу органам державної влади та органам місцевого самоврядування, а також громадськості, здійснювати зворотний зв'язок, надавати фотофіксацію недоліків, ініціювати перевірки якості виконання робіт.

Інформаційно-комунікаційний механізм у сфері державного управління дорожнім будівництвом є інтегрованою системою, яка охоплює комплекс взаємопов'язаних інструментів, що забезпечують створення, обробку, передачу та використання інформації для прийняття управлінських рішень. Водночас, інформаційно-комунікаційний механізм є підсистемою комплексного механізму державного управління та функціонує поряд із нормативно-правовим, фінансово-економічним та організаційно-розпорядчим механізмами, включаючи в себе технічні, організаційні, нормативні та кадрові елементи, спрямовані на забезпечення ефективного інформаційного обміну між усіма суб'єктами управління інфраструктурною сферою.

Основні елементи інформаційно-комунікаційного механізму описані в таблиці 1:

Таблиця 1.

Елементи інформаційно-комунікаційного механізму

Цифрова інфраструктура	Електронна система публічних закупівель Prozorro, інформаційно-аналітична платформа Dozorro, публічні бюджетні портали, геоінформаційні системи для візуалізації

	дорожніх проєктів, що аналізують інформацію і візуалізують її у вигляді карт і схем (1).
Електронні сервіси управління	Автоматизовані системи контролю виконання робіт, CRM-системи управління проєктами, дашборди для управлінського моніторингу, Платформа для побудови інформаційно-аналітичних, звітних та моніторингових систем «E-Road» (2), Система зважування в русі WIM
IoT (Інтернет речей)	Датчики, камери та радари IoT забезпечують збір та аналіз даних, які в подальшому використовуються для зменшення кількості пішоходів та оптимізації дорожнього руху. Завантаження даних в хмару надає можливість довгострокового аналізу, наприклад оцінки заходів щодо скорочення викидів CO2 або поліпшення дорожніх умов.
Електронні засоби комунікації	Електронні інформаційні табло із зазначенням відстаней проїзду в залежності від поточної дорожньої ситуації сприяють зменшенню завантаженості доріг та, відповідно, кількості ДТП. Смарт-світлофори, що перемикаються не за часом, а з урахуванням поточної ситуації на дорогах оптимізують трафік тощо.
Канали зворотного зв'язку	Соціальні мережі, чат-боти, мобільні додатки, гарячі лінії, онлайн-форуми, форми зворотного зв'язку, інтегровані в цифрову систему контролю якості дорожніх робіт.
Механізми прозорості й підзвітності	Відкриті дані, публічні звіти, аналітичні панелі витрат дорожніх фондів.

Інформаційно-комунікаційний механізм формує основу для реалізації підходу до управління на основі даних (data-driven governance), що дозволяє формувати політику на основі верифікованої та актуальної інформації. Замість того, щоб покладатися виключно на інтуїцію чи неофіційні докази, управління на основі даних наголошує на використанні емпіричних даних для розуміння складних проблем, оцінки варіантів політики та вимірювання ефективності державних програм та ініціатив.

Як в Україні так і в країнах ЄС цифрові інструменти спрямовані на підвищення прозорості реалізації інфраструктурних проєктів, автоматизацію процесів управління (планування, контроль, закупівлі), забезпечення громадського моніторингу, відкритості інформації та покращення міжвідомчої координації через інтеграцію даних. Однак на відміну від України в країнах Європейського Союзу застосування цифрових інструментів більш розповсюджене, а подекуди є обов'язковим. До таких інструментів відносяться, зокрема, інформаційне моделювання будівель, або ж скорочено, BIM (Building Information Modeling), що широко впроваджується як обов'язковий інструмент

для державних інфраструктурних проєктів у Нідерландах, Німеччині, Скандинавських країнах. Важливим інструментом є оновлена інтерактивна карта Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T Dashboard), яка у реальному часі забезпечує моніторинг розвитку дорожньої мережі ЄС. Спільний європейський простір даних про мобільність (Data Space for Smart Mobility) сприяє обміну даними між урядами, бізнесом і громадянами полегшуючи, таким чином доступ, об'єднання та обмін даними про транспорт і мобільність між існуючими джерелами даних. E-Government або електронний уряд надає широкий спектр переваг, до яких належать підвищення ефективності та економія для урядів і підприємств, збільшення прозорості та більша участь громадян у політичному житті. E-Procurement надає підтримку компаніям в управлінні процесами закупівель і, загалом, у реорганізації ланцюжка створення вартості на стороні постачання (3). Дві останні зазначені платформи забезпечують високий рівень цифрової взаємодії між їх користувачами.

Надзвичайно важливими є практичні аспекти впровадження цифрових рішень. Одним із прикладів ефективного використання інформаційно-комунікаційного механізму є публічне оновлення інформації про хід дорожніх робіт у межах програми «Велике будівництво», що тривала до початку повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України. У зв'язку із повномасштабним вторгненням російської федерації на територію України у 2022 році та веденням активних бойових дій подання вказаної інформації було призупинено, однак, на нашу думку, його слід відновити якомога швидше після закінчення воєнного стану, адже це допоможе зробити найважливіше – зберегти людські життя.

Варто відзначити позитивний ефект від запровадження та використання системи електронного документообігу (СЕД), що пришвидшує координацію між Державним агентством відновлення та розвитку інфраструктури України, обласними службами відновлення та розвитку інфраструктури, підрядниками та фінансовими інституціями. Для цього між зазначеними установами використовується система АСКОД.

Не менш важливим є використання порталу відкритих даних data.gov.ua, на якому відображається дані, що допомагають контролювати роботу державних органів, покращувати державні сервіси та створювати нові.

Заслуговує на увагу ефективність запровадження системи електронного урядування. За наявними даними використання системи допомогло досягнути значної економії коштів. У Данії електронне надсилання рахунків економить платникам податків 150 мільйонів євро на рік, а підприємствам – 50 мільйонів євро на рік. Якщо його запровадити в ЄС, річна економія може перевищити 50 мільярдів євро (4). Тим часом в Італії системи електронних закупівель скоротили витрати на понад 3 мільярди євро.

Незважаючи на позитивну динаміку, цифровізація управління дорожнім будівництвом стикається з низкою викликів, таких як технічна нерівність регіонів у доступі до цифрових ресурсів; недостатня кадрова цифрова компетентність фахівців у галузі; фрагментарність законодавчого регулювання щодо електронного урядування; слабкий розвиток інституційного механізму зворотного зв'язку з громадянами.

Висновки

Інформаційно-комунікаційний механізм є важливою складовою за допомогою якої відбувається удосконалення державного управління в дорожньому будівництві. Його розвиток має здійснюватися синхронно з підвищенням цифрової грамотності управлінських кадрів, інституціональним закріпленням стандартів прозорості та розвитком інфраструктури відкритих даних. Успішна цифрова трансформація можлива лише за умови комплексного підходу та належного нормативно-правового забезпечення.

Список літератури

1. Геоінформаційні системи на транспорті : навч. посібник / К. В. Доля, О. Є. Доля; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 230 с.
2. Звіт Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України за 2024 рік. URL: https://restoration.gov.ua/4489/zvity/72733/72734.pdf
3. Cambridge dictionary. URL: https://dictionary.cambridge.org/uk/dictionary/english/e-procurement
4. eGovernment and digital public services. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/egovernment

УДК 332

О.В. Олійник
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сталий розвиток і податкове регулювання: виклики та можливості для бізнесу

У статті розглядається вплив податкового регулювання на сталий розвиток бізнесу. Підкреслюється роль податкових стимулів у підтримці екологічних та соціальних ініціатив, що сприяють підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Зазначено, що ефективна податкова політика може як стимулювати впровадження сталих практик, так і запобігати greenwashing.

Сталий розвиток є однією з найважливіших концепцій для сучасних бізнесів, які намагаються поєднати економічний розвиток, соціальні потреби та екологічну відповідальність. Він передбачає не тільки досягнення високих фінансових результатів, але й прагнення мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище, активно впроваджувати соціальні інновації та створювати умови для економічного зростання, яке не шкодить майбутнім поколінням. З одного боку, сталий розвиток створює нові можливості для бізнесу, з іншого — ставить перед підприємствами чимало викликів, які потребують адаптації до нових умов ведення діяльності, зокрема через зміни в податковому регулюванні.[1]

Податкове регулювання є однією з основних державних політик, що може або заохочувати, або обмежувати сталий розвиток бізнесу. Важливим аспектом є те, що багато держав сьогодні активно вводять податкові стимули для підтримки сталих ініціатив у бізнесі, які сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Наприклад, податкові пільги для компаній, що інвестують у відновлювані джерела енергії або використовують екологічно чисті технології, допомагають знижувати витрати бізнесу і одночасно сприяють зменшенню викидів парникових газів. Така політика дає змогу забезпечити не тільки довгостроковий економічний розвиток, а й гарантувати збереження екосистем, водних ресурсів і грунтів для майбутніх поколінь.[2]

Зокрема, в умовах сталого розвитку податкове регулювання дозволяє бізнесу залучати інвестиції в новітні екологічні технології, які можуть бути більш енергоефективними і менш шкідливими для довкілля. Наприклад, у багатьох країнах передбачені знижки на податки для компаній, що використовують сонячні панелі, вітрові установки, здійснюють переробку відходів або займаються збереженням водних ресурсів. Такі заохочення дозволяють підприємствам не тільки покращити екологічну ситуацію, але й зменшити витрати на енергоспоживання, що, у свою чергу, підвищує їх конкурентоспроможність на ринку.

Крім того, податкові пільги також надаються підприємствам, які активно впроваджують соціально відповідальні практики. Це можуть бути програми, спрямовані на поліпшення умов праці, інтеграцію людей з обмеженими можливостями в робочий процес, а також соціальну підтримку

громад. Сприятливі податкові умови для бізнесів, що займаються соціальними ініціативами, стимулюють їх до збереження високих стандартів у сфері працевлаштування та підтримки місцевих громад.[3]

Водночас, деякі підприємства можуть стикатися з певними труднощами у разі недостатнього розуміння або адаптації до нових екологічних стандартів. Для того, щоб бізнеси могли ефективно впроваджувати стратегії сталого розвитку, необхідна чітка й прозора політика щодо податкових пільг і стимулів. Без належної підтримки з боку урядів, включаючи доступ до фінансування для екологічних ініціатив і чітке визначення податкових преференцій для сталих практик, досягти реального прогресу в цій сфері буде складно.

Податкові інструменти також допомагають у боротьбі з таким негативним явищем, як «зелений мийник» (greenwashing), коли компанії не насправді працюють на сталий розвиток, а лише вигадують «екологічні» кампанії для підвищення свого іміджу. Системи сертифікації та суворі податкові правила можуть зменшити подібні практики, гарантуючи, що лише компанії, що дійсно дотримуються екологічних стандартів, отримуватимуть податкові пільги.[4]

Крім того, важливою складовою ефективного податкового регулювання у сфері сталого розвитку є взаємодія між урядом, бізнесом і громадянським суспільством. Впровадження сталих практик не може бути лише внутрішньою ініціативою підприємств або нав'язаним згори зобов’язанням. Необхідний постійний діалог, у рамках якого бізнес матиме змогу висловлювати свої потреби та бачення, а держава — формувати політику, яка буде не лише ефективною, але й прийнятною для її адресатів. Така взаємодія дозволяє забезпечити прозорість, передбачуваність і адаптивність податкових механізмів, а отже — підвищити їхню ефективність у досягненні цілей сталого розвитку.

Значну роль у формуванні податкової політики для підтримки сталого бізнесу відіграють також міжнародні ініціативи та зобов’язання. Зокрема, Угода про асоціацію між Україною та ЄС передбачає інтеграцію екологічних і соціальних стандартів у внутрішню політику, включаючи систему оподаткування. Приєднання до глобальних екологічних угод, таких як Паризька кліматична угода, спонукає країну формувати стимули для «зелених» інвестицій і трансформації економіки у бік низьковуглецевої. Таким чином, міжнародний контекст також тисне на уряди, вимагаючи від них послідовної податкової політики, орієнтованої на сталий розвиток.[5]

Податкове регулювання виступає не лише інструментом збору доходів до бюджету, а й потужним важелем для стимулювання сталих трансформацій у бізнес-середовищі. В умовах глобальних екологічних та соціальних викликів держава має бути не пасивним спостерігачем, а активним учасником процесів, які формують відповідальне підприємництво. Збалансоване застосування податкових пільг, інвестиційних стимулів і механізмів контролю за їх ефективністю здатне не лише зменшити негативний вплив бізнесу на довкілля, але й забезпечити економічне зростання, яке буде справедливим, інклюзивним і безпечним для наступних поколінь.

Водночас особливу увагу слід приділяти прозорості та підзвітності у використанні податкових стимулів. Щоб уникнути зловживань і забезпечити

цільове використання ресурсів, важливо впроваджувати системи моніторингу й оцінки результативності податкових пільг для сталого розвитку. Це дозволить виявляти найефективніші інструменти, коригувати недієві заходи та формувати практику податкового управління, що базується на фактичних даних та реальних досягненнях у сфері екології й соціальної відповідальності. Такий підхід зміцнить довіру як з боку бізнесу, так і суспільства, сприяючи формуванню справді сталої моделі економіки.

Висновок

Сталий розвиток та податкове регулювання створюють нові можливості для бізнесу. Комплексний підхід до інтеграції екологічних, соціальних і економічних аспектів у стратегії бізнесу може забезпечити йому не тільки короткострокові вигоди, але й довгострокову конкурентоспроможність. Податкові стимули відіграють важливу роль у забезпеченні фінансової вигоди від таких інвестицій, що, своєю чергою, може сприяти більшій залученості компаній до сталого розвитку, що є важливим кроком на шляху до створення стійкої глобальної економіки.

Список літератури

1. Міжнародний банк реконструкції та розвитку. (2023). "Сталий розвиток: виклики та можливості для бізнесу."
2. Організація економічного співробітництва та розвитку (OECD). (2022). "Податкові стимули для сталого розвитку."
3. Міністерство екології та природних ресурсів України. (2021). "Стратегія сталого розвитку України до 2030 року."
4. Платформа сталого розвитку ООН. (2023). "Інвестиції в екологічні технології: податкові аспекти."
5. Крюкова, І. О., І. С. Андрющенко, and С. В. Руденко. "Сучасні виклики і завдання для податкової системи України у контексті сталого розвитку." *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка* 19 (2024): 158-165.
6. Бодров, В. Г. "Податкове регулювання в умовах формування цифрової економіки в Україні." *Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування* 2 (2018).

УДК 330.3

Ю.І. Дияк
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Зелена цифровізація як стратегія управління інноваційним розвитком організацій

У статті досліджується концепція зеленої цифровізації як стратегії управління інноваційним розвитком сучасних організацій. Визначено управлінські моделі, інструменти впровадження та ключові умови реалізації впровадження зеленої цифровізації в управлінську практику організацій.

У XXI столітті стрімкий розвиток цифрових технологій з одного боку, та поглиблення глобальних екологічних проблем з іншого, формують нову парадигму розвитку організацій, де пріоритетами стають не лише прибутковість та ефективність, а й сталість, відповідальність та екологічна свідомість. У цьому контексті набуває актуальності поняття "зеленої цифровізації" — інтеграції екологічно орієнтованих рішень із цифровими інноваціями в усіх сферах управління та виробництва.

Зелена цифровізація постає не просто як сукупність технологічних змін, а як стратегічна трансформація, що поєднує екологічні цілі з перевагами цифрової економіки. Її впровадження передбачає використання таких інструментів, як штучний інтелект, Інтернет речей (IP), блокчейн, хмарні сервіси, цифрові двійники — для досягнення ресурсоефективності, зниження вуглецевого сліду, оптимізації виробничих і логістичних процесів.

У сучасній науковій літературі активно формуються підходи до осмислення взаємодії цифровізації та екологічної трансформації як складових моделі сталого розвитку. Зелена цифровізація розглядається як багатовимірне явище, що поєднує технологічні, управлінські та соціальні інновації. Її концепція базується на синтезі ідей сталого розвитку, принципів зеленої економіки та переваг Четвертої промислової революції.

Управління інноваційним розвитком організації в умовах сучасних викликів потребує нових стратегій, здатних забезпечити як економічну ефективність, так і екологічну стійкість. Зелена цифровізація виступає саме такою стратегією — інструментом, що поєднує технологічні інновації з принципами сталого розвитку.

У контексті менеджменту зелена цифровізація охоплює інтеграцію екологічних критеріїв у стратегічне планування та систему ключових показників ефективності (КПЕ); цифрову трансформацію екологічного менеджменту (моніторинг викидів, споживання ресурсів, відходів тощо за допомогою IP, аналітики, великих даних); створення екосистем інновацій, де цифрові технології прискорюють генерацію та впровадження зелених рішень; розвиток культури інновацій та екологічної відповідальності серед персоналу через цифрові освітні платформи.

Прикладом реалізації зеленої цифровізації є використання цифрових двійників для моделювання енергоефективних процесів, впровадження

блокчейн-рішень для прозорості в ланцюгах постачання, застосування великих даних та штучного інтелекту (ШІ) для оптимізації енерговитрат і скорочення відходів.

Важливо, що зелена цифровізація передбачає і нові підходи до управління змінами — включаючи адаптивні моделі, гнучке лідерство, та посилену взаємодію з зацікавленими сторонами (стейкхолдерами). Таким чином, зелена цифровізація трансформує роль менеджменту з оперативного управління до стратегічного лідерства в інноваціях, орієнтованих на екологічну сталість та соціальну відповідальність.

Ефективне впровадження стратегії зеленої цифровізації вимагає розробки та застосування таких управлінських моделей, які б інтегрували інноваційні технології, екологічні цілі та бізнес-стратегії. Серед ключових моделей і підходів можемо виокремити модель цифрового екологічного менеджменту, модель ESG-інтеграції, модель відкритих інновацій, циркулярну модель.

Модель цифрового екологічного менеджменту базується на створенні цифрової інфраструктури для моніторингу, обліку та аналізу впливу організації на довкілля. До неї належать екологічні панелі управління (eco-dashboards), автоматизовані системи збору даних про викиди, споживання енергії, води тощо.

Модель ESG-інтеграції передбачає включення екологічних (environmental), соціальних (social) та управлінських (governance) показників до системи стратегічного планування, внутрішнього аудиту та звітності організації.

Модель відкритих інновацій у сфері зеленої цифровізації передбачає залучення стартапів, наукових установ, громадських організацій до спільної розробки та впровадження цифрово-зелених рішень (open innovation platforms).

Циркулярна модель орієнтована на цифрове забезпечення принципів циркулярної економіки — повторне використання ресурсів, мінімізацію відходів, діджитал-контроль життєвого циклу продукції.

Серед інструментів реалізації варто виокремити аналітику великих даних для виявлення екологічних ризиків і прогнозування впливів; платформи IP для моніторингу навколишнього середовища в режимі реального часу; блокчейн для створення прозорих і верифікованих систем екологічної звітності; ШІ-алгоритми для оптимізації ресурсоспоживання та прогнозування екологічних трендів.

Успішне впровадження зеленої цифровізації в управлінську практику організацій вимагає системного підходу, що враховує як внутрішні ресурси підприємств, так і зовнішні чинники — нормативні, інфраструктурні, технологічні. Ключовими напрямами та кроками реалізації впровадження можуть виступити:

1. Розробка стратегії зеленої цифровізації. Організаціям варто формалізувати бачення зеленої цифрової трансформації через затвердження відповідної стратегії, яка б включала екологічні цілі, цифрові пріоритети, механізми оцінки ефективності, часові горизонти впровадження.

2. Аудит цифрових та екологічних можливостей. Проведення внутрішнього аудиту допоможе оцінити поточний стан організації щодо ступеня цифрової зрілості, екологічного сліду діяльності, наявності відповідних компетенцій у персоналу, ресурсної готовності до інновацій.

3. Формування міждисциплінарних команд. Успішне управління зеленою цифровізацією потребує залучення фахівців із різних сфер — інформаційних технологій, екології, менеджменту, фінансів, аналітики. Варто створювати кросфункціональні проєктні групи, відповідальні за розробку й реалізацію відповідних ініціатив.

4. Інтеграція з ESG-підходами. Зелена цифровізація має узгоджуватись із загальною політикою сталого розвитку організації, включаючи інтеграцію з ESG-звітністю, принципами прозорості, залученням зацікавлених сторін до прийняття управлінських рішень.

5. Пілотні проєкти та масштабування. Запуск пілотних ініціатив (наприклад, IP-моніторинг споживання енергії на окремих об'єктах, цифрова аналітика екологічного сліду) дозволяє оцінити ефективність інноваційних рішень до їх масштабного впровадження.

6. Партнерство та інноваційні екосистеми. Доцільним є створення або приєднання до інноваційних екосистем: співпраця з університетами, стартапами, міжнародними фондами та іншими компаніями задля обміну досвідом і спільної розробки рішень.

Висновки

Зелена цифровізація постає як потужна стратегія управління інноваційним розвитком організацій, яка поєднує екологічні пріоритети зі здобутками цифрової трансформації. Зелена цифровізація є багатовимірним явищем, що охоплює технологічні інновації, управлінські практики та зміну організаційної культури. Її впровадження дозволяє досягти синергії між економічною ефективністю та екологічною відповідальністю.

У сфері управління зелена цифровізація трансформує стратегічне планування, операційні процеси та систему взаємодії зі стейкхолдерами. Це передбачає інтеграцію екологічних КПЕ, цифровізацію екологічного моніторингу, розвиток інноваційних екосистем.

Для реалізації потенціалу зеленої цифровізації необхідна комплексна стратегія, що включає: аудит екологічно-цифрового стану організацій, формування міждисциплінарних команд, залучення до партнерських інноваційних екосистем, підвищення освітнього рівня персоналу та створення стимулюючого регуляторного середовища.

Список літератури

1. Дияк Ю. І. Зелена цифровізація: взаємодія цифрових технологій та сталого розвитку. Розвиток економіки та бізнес-адміністрування: наукові течії та рішення : зб. тез доп. V Міжнар. науково-практ. конф., м. Київ, 11 листоп. 2024 р. Київ, 2024. С. 39–41.

2. Going Digital: Shaping Policies, Improving Lives. URL: https://www.oecd.org/en/publications/going-digital-shaping-policies-improving-lives_9789264312012-en.html (last accessed: 13.04.2025).
3. Measuring the impact of digital solutions on the climate. Shaping Europe's digital future. URL: https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/measuring-impact-digital-solutions-climate (last accessed: 15.04.2025).
4. Supply chain and manufacturing transformation: Key takeaways from Davos 2025. URL: https://www.weforum.org/stories/2025/01/manufacturing-transformation-sustainability-innovation (last accessed: 15.04.2025).

УДК 330.362:351.822(035.3)

О.П. Назаренко,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Проблеми економіки під час військового стану

Повномасштабне вторгнення РФ стало безпрецедентним випробуванням не тільки для суспільства, але й для економіки України. Майже усі зароблені кошти держава вимушена спрямовувати на сектор оборони, а освіту, медицину й пенсії фінансує за гроші, які надають міжнародні партнери. Обмеження ресурсів вимагає пошуків додаткових джерел, щоб досягти максимальної віддачі від здійснених витрат. Стратегія структурної перебудови економіки України повинна базуватися на активній та цілеспрямованій державній політиці для створення робочих місць.

Дослідження проблем економіки показує, що Україна втратила сотні підприємств та тисячі гектарів земель за час війни з Росією. З початком активних бойових дій відбувається стрімке зниження валового внутрішнього продукту (ВВП). Згідно з даними Світового банку, країни, що ведуть активні бойові дії, можуть втрачати до 30–40% ВВП у перший рік конфлікту. Причинами цього є руйнування підприємств, скорочення обсягів виробництва, втрати трудових ресурсів. Виробництво сталі скоротилося втричі, фонд посівних площ – на чверть, отримані збитки оцінюються в десятки мільярдів доларів. Зрозуміло, що успішне реформування української економіки залежить, перш за все, від правильного визначення пріоритетів і напрямків вдосконалення економічної політики держави. Розвиток економіки в умовах воєнного часу потребує чіткої державної стратегі. Успіх цієї стратегії залежить від системності і злагодженості державної економічної політики та її націленості на конкретні показники та якісні зміни.

Основні напрями вивчення економіки є аналіз бюджету країни. Військові дії потребують перерозподілу бюджетних коштів на користь оборонного сектору. Як правило, частка витрат на національну безпеку та оборону зростає в рази, тоді як фінансування освіти, охорони здоров'я, соціального забезпечення скорочується. Така ситуація призводить до зростання соціального напруження, зниження якості життя громадян і посилення нерівності. Бюджетний дефіцит покривається або за рахунок зовнішніх позик, або через емісію грошових коштів, що, у свою чергу, стимулює інфляційні процеси. Інфляція провокує зниження купівельної спроможності грошей та підвищення цін на товари та послуги. Особливу увагу заслуговує проблема прозорості витрат у воєнний час, адже значна частина операцій стає закритою для громадськості з міркувань безпеки. Війна безпосередньо впливає на ринок праці. З одного боку, частина чоловічого працездатного населення мобілізується, це сприяє скороченню обсягу робочої сили в цивільному секторі. З іншого — руйнування підприємств і згортання бізнес-активності призводять

до масового безробіття. За даними Міжнародної організації праці, у перші місяці повномасштабної війни в Україні було втрачено понад 4,8 млн робочих місць. Крім того, значна кількість громадян виїжджає за кордон, що поглиблює проблему дефіциту кадрів. Особливо критичним є відтік фахівців з ІТ-сектору, медичної сфери, освіти. Малий та середній бізнес в умовах війни стикнувся з безпрецедентними труднощами: це значне порушення логістики, дуже обмежений доступ до фінансування, значне зменшення попиту, ризики фізичного знищення активів. Така ситуація змушує підприємства зупиняти діяльність або переходити в тінь. Тінізація економіки є одним з небажаних побічних ефектів військового стану. Уникнення оподаткування, зростання обігу готівки, «сіра» зайнятість — усе це знижує ефективність державної економічної політики та обмежує можливості для стабілізації фінансової системи.

Хоча треба зазначити, що розвиток воєнної економіки неможливий без державних стимулів та державної підтримки, однак не варто забувати про обмеження державних фінансів та ресурсів, які зросла під час війни. Військові дії значно скоротили реальний та потенційний ВВП України. НБУ припускає поступову нормалізацію умов для економічної діяльності. Проте ризики, які пов'язані з тривалістю війни, є визначальними для нашого прогнозу. Найбільш актуальним та болючим проблемним питанням розвитку сучасної української економіки на сьогоднішній день та найближчий період є втрата її промислового та трудового потенціалу Загалом, у перший рік війни пошкоджено або зруйновано щонайменше 426 великих й середніх приватних підприємств та держкомпаній, проте кількість зруйнованих підприємств може бути суттєво вищою, оскільки наразі немає інформації щодо стану промислових об'єктів на тимчасово окупованих територіях. В той же час найнагальнішим питанням економічної стабільності нашої країни є загрози стабільності обмінного курсу. За оцінками НБУ, рівень безробіття оцінюється у 37% від кількості робочої сили, а реальний ВВП становить лише 60 % від попереднього року. У той же час дефіцит платіжного балансу за 6 місяців поточного року становив 8,1 млрд дол., а девальвація обмінного курсу гривні в річному вимірі – 35%. Аналіз цих даних показує, що можна виділити головні напрями державної економічної політики:

- Підтримка реального сектору економіки
- Адаптація податкової системи
- Створення нових робочих місць
- Антикризове управління та прозорість.

Ми маємо велику необхідність створення нових робочих місць. Такі заходи, як запуск тимчасових громадських робіт (розчищення завалів, укріплення оборони), підтримка малого бізнесу як джерела локальної зайнятості, ондайн-зайнятість та перекваліфікація кадрів, які втратили роботу.

В наслідок бойових дій в нашій країні кардинально змінилась транспортна карта української зовнішньої торгівлі. До війни основна частина експорту й імпорту проходила через морські порти південного регіону (Одеса, Миколаїв, Чорноморськ, Херсон), які забезпечували доступ до глобальних

ринків. Проте з початком бойових дій частина портів опинилася в зоні окупації або були зруйновані, а морські шляхи — заблоковані. Війна змусила Україну переформатувати транспортну стратегію**:** замість морських шляхів розвивається сухопутна логістика з ЄС. З початку повномасштабної війни дефіцит бюджету нашої країни значно розширився і найближчим часом може збільшуватися. Таке зниження бюджету є наслідком зменшення податкових надходжень через втрату робочих місць, скорочення ВВП, падінням економіки: закриттям підприємств, зменшенням експорту та спадом виробництва.

У 2025 році видатки на оборону ще більше зросли та перевищили два трильйони гривень. Це понад чверть усього українського ВВП і понад половина усіх видатків бюджету. Понад половина цих грошей - більше 1,1 трлн грн - має піти на грошове забезпечення та зарплату військових. На зброю і військову техніку – ще понад пів трильйона гривень.

А на державну авіаційну службу, яка відповідає за роботу цивільної авіації України, слід збільшити фінансування, в порівнянні з попереднім роком. Авіаційна галузь завжди була прибутковою та перспективною для нашій країни.

Найближчим часом державна політика повинна бути спрямована на активній стратегії структурної перебудови економіки України. Першочергова задача це створення робочих місць і реалізація наступних напрямків: локалізація та імпортозаміщення; енергетична безпека; логістика та транспортна інфраструктура економіки та мобілізація якомога більшої кількості ресурсів для того, щоб покращити фінансового становища країни.

Висновки:

Аналізуючи всі ці фактори, можна зробити висновок, що існує реальна необхідність у пошуку додаткових джерел фінансування втрат і потреб економіки, оскільки міжнародна фінансова допомога, що надходить, не є постійною та достатньою. Запропоновано напрями реформування економічної політики для підвищення ефективності обороноздатності держави.

Список літератури

1. Скрипниченко М. І. Макроекономічні оцінки та прогнози повоєнного відновлення економіки України. Економічна теорія. 2022. № 2. С. 29–43.
2. Економіка і бізнес: підручник / за ред. д.е.н., проф. Л. Г. Мельника, д.е.н., проф. О. І. Карінцевої. Суми: Університетська книга, 2021. 316 с.
3. Бізнес-планування в підприємництві: навчально-методичний посібник для студентів ОР “бакалавр” спеціальності 076 "Підприємництво, торгівля та біржова діяльність". / Васильченко С.М. Івано-Франківськ: ВДВ ЦІТ Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника, 2020. 57 с.
4. Самойлюк М. Трекер економіки України під час війни. Центр економічної стратегії, 2024. URL: https://ces.org.ua/tracker-economy-during-the-war/

UDC 004.8

O.Yu. Chernyshov, PhD in Economics, Associate Professor
(State University «Kyiv Aviation Institute», Ukraine)

The impact of artificial intelligence on the transformation of business processes in Ukrainian enterprises

The role of artificial intelligence (AI) as a key factor in the transformation of business processes at domestic enterprises is considered. The focus is placed on the opportunities for implementing intelligent technologies in the areas of management, logistics, marketing, finance, and customer service. The main advantages of AI implementation are analyzed, including operational cost optimization, increased labor productivity, automation of routine tasks, and improvement in the quality of managerial decision-making.

In the context of global digital transformation, the integration of artificial intelligence technologies into business activities is becoming a crucial factor in enhancing the efficiency and competitiveness of enterprises. Ukrainian businesses are gradually beginning to implement AI-driven solutions in various operational and strategic areas. This process, although still in its early stages for many companies, opens new opportunities for innovation and development. [1].

The use of AI has a sectoral specificity that determines the scale and depth of digital transformation:

1. In the manufacturing sector, AI enables automated quality control, predictive maintenance of equipment, and supply chain management. Through computer vision and machine learning, enterprises achieve higher productivity and cost reduction.
2. Intelligent systems for demand forecasting, route optimization, and inventory management are significantly transforming the logistics industry. The implementation of AI is especially relevant in air transportation, where precision, safety, and efficiency are critical.
3. Banks actively utilize AI to analyze customer creditworthiness, detect fraud, automate transaction processing, and personalize financial services. Machine learning algorithms enable effective risk management and real-time financial planning.
4. AI contributes to in-depth consumer behavior analysis, personalized offers, and dynamic pricing. The use of chatbots and voice assistants in e-commerce significantly enhances the quality of customer service.
5. In education and content production, AI is used to create adaptive learning content, automate knowledge assessment, generate texts, and process speech.

Despite its clear advantages, the implementation of AI in Ukrainian realities is accompanied by several challenges. Key obstacles include a low level of digital literacy among personnel, limited innovation funding, insufficient infrastructure readiness, and a fragmented state policy in the field of digital economy.

However, the development of a national startup ecosystem, the growth of the IT market, and the activation of educational programs in data science create favorable conditions for the gradual adoption of AI in enterprises. Particularly promising is the creation of cross-sectoral innovation clusters involving academic institutions,

businesses, and government [2, p. 179].

Considering the significant complexity and dynamism of modern economic systems, an important task is understanding the mechanisms that influence their stability and adaptability. In a globalized world, economic systems do not exist in a vacuum, and their resilience largely depends on external factors such as economic, political, environmental, and social changes. These factors can either strengthen or weaken the system's ability to respond to internal and external challenges, creating significant risks for sustainable development.

Modeling economic resilience is an important tool for studying the response of economic systems to changes in external conditions. The structure of economic systems is so complex that a variety of approaches must be applied to analyze it, combining different economic, mathematical, and informational methods. One of the key aspects of such research is isolating and quantitatively assessing the impact of external factors on the ability of an economic system to maintain its functions, effectively adapt to changes, and respond to economic or social shocks.

The impact of external factors on the resilience of economic systems can be expressed through changes in the level of socio-economic stability, financial indicators, investment attractiveness, and overall competitiveness. However, an important point is that each of these factors has a unique nature and specificity of impact on different types of economic systems. Therefore, modeling such influences requires the creation of comprehensive models that can take into account both the interrelationships between factors and their dynamics in real-time.

Given these characteristics, the need to develop a model that allows for the systematization and quantitative assessment of the impact of key external factors on the resilience of economic systems becomes evident. Such a model will not only enable the evaluation of the current level of resilience but will also provide tools for forecasting the impact of external shocks on economic systems in the future. It will also allow for the development of management policies aimed at increasing the resilience of economic systems to various external influences.

To formalize the model of the impact of external factors on the resilience of economic systems, it is necessary to start by defining the main components of the model. The first step is to identify the key variables that affect the resilience of the system [2]. These include factors that characterize the economic situation in the country (changes in GDP, inflation rate, exchange rate), as well as external shocks such as changes in global resource prices, political crises, sanctions, or natural disasters.

The next step is to define the form of the relationship between the resilience of the economic system and external factors. In most cases, this relationship is non-linear, so it is necessary to use functions that can reflect the complex interaction of factors. This typically involves the use of econometric models, such as regression models, systems of differential equations, or system dynamics models.

The third step is to determine the method for assessing the resilience of the economic system, which will allow quantitatively expressing its ability to adapt to changes and recover effectively from shocks. For this, both static and dynamic models need to be applied, which can account for both short-term and long-term impacts of external factors [3].

The proposed model allows for the analysis of the impact of external factors on the resilience of economic systems and the forecasting of their adaptation to crisis situations. The results obtained can be used to develop economic policies aimed at enhancing the resilience of national economies.

Artificial intelligence has significant potential to transform business processes in Ukrainian enterprises, contributing to their modernization and global competitiveness. To ensure effective AI implementation, it is necessary to develop digital competencies among personnel, invest in technological infrastructure, and promote a favorable innovation environment at the national level.

References

1. Чернишов О.Ю., Марина А.С., Мирошниченко Г.Б. Індекс ділової активності малого та середнього бізнесу в Україні. *Інвестиції: практика і досвід,* № 11, 2024. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.11.114
2. Школенко О.Б., Шуляр Н.М., Чернишов О.Ю. Основні пріоритети формування стратегії цифровізації бізнесу. *Вісник Херсонського національного технічного університету,* 3(86), 2023. с. 176-183. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.3.24
3. Захожай В.Б. Застосування статистичних методів для оцінки фінансової стійкості банківських установ в умовах економічної нестабільності. *Академічні візії.* 2024. № 35. URL: https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1345

УДК 657:631.1

І.І. Афанас'єва, к.е.н., доцент
(Національна академія статистики, обліку та аудиту, Україна)

Обліково-аналітичне забезпечення управління виробничими процесами

Визначено місце облікового та аналітичного забезпечення управління виробничими процесами. Розглянуто основні етапи процесу прийняття управлінських рішень щодо витрат (підготовка управлінських рішень, реалізація управлінських рішень, аналіз альтернативних рішень, контроль за прийнятими управлінськими рішеннями) та їх складові. Визначено особливості облікового забезпечення та аналітичного забезпечення, обгрунтовано індивідуальний підхід до вибору аналітичних процедур.

Активні військові дії призвели до економічних втрат та поглиблення кризи, тому актуальними напрямами економіки України є виробнича діяльність, її безперервність, прийняття ефективних управлінських рішень щодо покращення результатів діяльності суб'єктів господарської діяльності. В умовах невизначеності та відповідно значних ризиків, пов'язаних із веденням підприємницької діяльності в зазначених умовах, система управління суб'єкта господарювання потребує прийняття відповідних обгрунтованих рішень та оптимізації управлінських процесів. Саме якісне обліково-аналітичне забезпечення системи прийняття управлінських рішень в умовах значних викликів стає важливим фактором фінансової стійкості та конкурентоспроможності підприємства. Облікова система через контрольні процедури допомагає оцінити поточну виробничу діяльність суб'єкта господарювання, усі загрози та ризики та надати достовірну інформації для прогнозу подальшого розвитку бізнесу. В системі забезпечення функцією системи бухгалтерського обліку являється формування повної та достовірної інформації, якість якої значно впливає на оцінку економічних ризиків та результати аналітичних процедур.

Одним з найбільш проблемних аспектів діяльності підприємств в умовах війни є обліково-аналітичне забезпечення раціонального вибору тактичних і стратегічних напрямів розвитку бізнесу. Зважаючи на різноманітність процесів виробництва щодо моделі управління, сутності та змісту господарських операцій, тривалістю операційного циклу, використовуваними ресурсами важливим питанням формування інформаційного забезпечення управління діяльністю виробничого підприємства залишається значення облікової системи та аналізу для процесу прийняття релевантних управлінських рішень. У системі обліку та аналізу виробничих процесів витрати являються ключовим елементом, що значно впливає на собівартість продукції, формування фінансових результатів та можливість розвивати бізнес.

Варто зазначити, що уточнення поняття «витрати» для цілей відображення у системі бухгалтерського обліку необхідне для формування якісного інформаційного забезпечення системи управління виробничими

процесами та прийняття управлінських рішень. Кузь В.І., Тиніц І.І. сформували поняття «витрати» на основі функцій облікової системи як елементу управління та доповнюють їх визначення як процес використання у виробничих процесах усіх видів ресурсів [1]. Управління витратами та прийняття управлінських рішень доцільно здійснювати у послідовності, яка включає стадії планування, обліку, аналізу та контролю витрат (табл. 1). Зазначені етапи підготовки, реалізації, аналізу та контролю процесу прийняття управлінських рішень щодо витрат.

Таблиця 1

Етапи процесу прийняття управлінських рішень щодо витрат

№ з/п	Етап	Складові
1	Підготовка управлінських рішень	Бюджетний прогноз витрат
		Планування витрат
2	Реалізація управлінських рішень	Система нормування витрат
		Системи та методи обліку витрат
		Калькулювання витрат
3	Аналіз альтернативних рішень	Аналіз витрат
		Аналіз відхилень фактичних витрат від планових витрат
4	Контроль за прийнятими управлінськими рішеннями	Контроль за структурою витрат
		Контроль за відхиленнями

Аналітичне забезпечення реалізується через застосування аналітичних процедур, тобто обробку інформації, на кожній стаді\ прийняття управлінських рішень. Традиційно виділяють наступні ключові етапи аналізу: аналіз структури та динаміки виробничих витрат та аналіз собівартості продукції (робіт, послуг); аналіз собівартості за статтями калькуляції; аналіз факторів зміни собівартості; виявлення резервів та можливостей [2, 3]. Основні якісні та кількісні показники мають забезпечувати безперервний контроль результатів процесу прийняття рішень. Зазначимо, що процес формування обліково-аналітичного забезпечення управління виробничими процесами є індивідуальним для кожного окремого суб'єкта господарювання. Тому обираючи критерії аналітичних процедур необхідно врахувати внутрішні та зовнішні чинники та оцінити їх вплив на процес прийняття управлінських рішень.

Висновки

Суттєвим інструментом управління виробничим підприємством на усіх етапах прийняття управлінських рішень є обліково-аналітичне забезпечення процесами. Проте найбільш суттєвими стають етапи застосування контрольних заходів та аналітичних процедур. Тому для формування ефективної системи інформаційного забезпечення управління виробничими процесами найважливішою є гармонійне поєднання облікового та аналітичного забезпечення, що надає можливість отримати достовірні релевантні данні для прийняття управлінських рішень.

Список літератури

1. Кузь В.І., Тиніц І.І. Обліково-аналітичне забезпечення управління виробничими процесами на підприємстві. *Економіка і суспільство*. 2018. № 18. С. 943-950. URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/18_ukr/131.pdf

2. Сікач Н.С. Сутність і структура обліково-аналітичного забезпечення системи управління підприємницької діяльності. *Регіональна економіка*, 2024. №2. С. 155-165. URL: https://re.gov.ua/re202402/re202402_155_SikachNS.pdf

3. Бабенко, Л. В., Васильєва, В. Г., & Коновалова, О. В. Обліково-аналітичне забезпечення управління виробничими запасами. *Економічний простір*, 2021. № 166. С. 90-96. URL: https://doi.org/10.32782/2224-6282/166-16

УДК 656.7.072:330.341.1:502.131.1

В.Є. Командровська, к.е.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут)

Інтеграція штучного інтелекту в моделі управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній

Дослідження присвячене аналізу ролі технологій штучного інтелекту (ШІ) в трансформації моделей управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіаційних підприємств. У роботі розглянуто сучасні тенденції імплементації ШІ в операційну діяльність провідних авіакомпаній світу, проаналізовано вплив даних технологій на екологічні, економічні та соціальні аспекти сталого розвитку. На основі систематизації емпіричних даних та аналітичних звітів галузевих організацій запропоновано інтегровану модель управління інноваційними процесами авіакомпаній з використанням ШІ, спрямовану на досягнення цілей сталого розвитку в умовах глобальних трансформацій авіаційної індустрії.

Авіаційна індустрія перебуває на порозі фундаментальних трансформацій, зумовлених необхідністю адаптації до викликів сталого розвитку при одночасному збереженні конкурентоспроможності та економічної ефективності. За даними Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA), до початку пандемії COVID-19 глобальний авіаційний сектор щорічно генерував близько 2,7% світових антропогенних викидів CO_2, а до 2050 року цей показник може зрости до 22%, якщо не будуть впроваджені інноваційні технології та моделі управління [1].

Згідно з дослідженням консалтингової компанії McKinsey, авіаційна індустрія повинна скоротити вуглецевий слід на 85% до 2050 року для досягнення цілей Паризької угоди щодо кліматичних змін [2]. Водночас, за прогнозами Boeing, глобальний попит на повітряні перевезення зростатиме на 4-5% щорічно протягом наступних 20 років, що створює додатковий тиск на екологічні системи [3].

У цьому контексті технології штучного інтелекту постають як потужний інструмент для розв'язання дуальної проблеми: забезпечення економічного зростання при одночасному скороченні негативного впливу на довкілля. За оцінками Всесвітнього економічного форуму, до 2030 року потенційний вплив ШІ на економіку авіаційної галузі може перевищити $7 трлн, а впровадження ШІ-рішень може допомогти авіакомпаніям скоротити операційні витрати на 10-15%, підвищити рівень безпеки та зменшити екологічний слід на 5-10% [4].

Метою дослідження є аналіз сучасних практик інтеграції технологій штучного інтелекту в моделі управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній та розробка інтегрованої моделі такого управління, адаптованої до реалій та перспектив розвитку глобальної авіаційної індустрії.

Сталий розвиток авіакомпаній можна визначити як збалансований підхід до управління економічними, екологічними та соціальними аспектами діяльності, що забезпечує довгострокову життєздатність бізнесу при

мінімізації негативного впливу на довкілля та максимізації позитивного внеску в суспільний добробут. У контексті авіаційної індустрії ця концепція набуває особливого значення через специфіку галузі, зокрема її високу вуглецемність та значний вплив на зміну клімату.

Штучний інтелект у цьому контексті виступає як комплекс технологій, що дозволяють автоматизувати когнітивні процеси, оптимізувати прийняття рішень та підвищувати ефективність використання ресурсів на основі аналізу великих масивів даних. За визначенням Європейської комісії, ШІ охоплює «системи, що демонструють інтелектуальну поведінку, аналізуючи своє середовище та здійснюючи дії з певним ступенем автономності для досягнення конкретних цілей» [5].

На основі аналізу наукових джерел та галузевих досліджень можна виділити чотири основні концептуальні підходи до інтеграції ШІ в моделі управління сталим розвитком авіакомпаній:

- технологічний підхід — фокусується на впровадженні конкретних ШІ-рішень для оптимізації окремих бізнес-процесів (планування маршрутів, управління запасами, оптимізація споживання палива тощо);

- екосистемний підхід — розглядає ШІ як елемент ширшої інноваційної екосистеми авіакомпанії, що взаємодіє з іншими технологіями та організаційними процесами;

- стратегічний підхід — інтегрує ШІ в корпоративну стратегію сталого розвитку як інструмент досягнення довгострокових цілей компанії;

- трансформаційний підхід — передбачає фундаментальну перебудову бізнес-моделі авіакомпанії на основі можливостей ШІ для створення нових форм цінності для клієнтів та суспільства в цілому.

Систематизація основних характеристик цих підходів представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

Концептуальні підходи до інтеграції ШІ в моделі управління сталим розвитком авіакомпаній

Підхід	Фокус	Часовий горизонт	Приклади авіакомпаній
Технологічний	Впровадження ШІ-рішень для оптимізації окремих бізнес-процесів	Короткостроковий	Ryanair, easyJet, Air Asia
Екосистемний	Інтеграція ШІ в ширшу інноваційну екосистему компанії	Середньостроковий	Lufthansa Group, Air France-KLM
Стратегічний	Включення ШІ в корпоративну стратегію сталого розвитку	Довгостроковий	Delta Air Lines, Singapore Airlines
Трансформаційний	Перебудова бізнес-моделі на основі можливостей ШІ	Довгостроковий	Emirates, British Airways

Кожен з цих підходів має свої переваги та обмеження, а їх вибір залежить від розміру авіакомпанії, її стратегічних пріоритетів, рівня технологічної зрілості та доступних ресурсів. Водночас, аналіз найкращих практик провідних авіаперевізників свідчить про тенденцію до комбінування елементів різних підходів для досягнення максимального ефекту.

Аналіз сучасних практик та наукових досліджень дозволив ідентифікувати ключові технології ШІ, що мають найбільший потенціал для забезпечення сталого розвитку авіакомпаній:

1. Машинне навчання (Machine Learning, ML) — алгоритми, що дозволяють виявляти приховані закономірності в даних та робити прогнози на їх основі. У контексті авіаційної індустрії ML використовується для оптимізації маршрутів, прогнозування попиту, технічного обслуговування за станом та управління витратами палива.
2. Глибоке навчання (Deep Learning) — підвид машинного навчання, що базується на багатошарових нейронних мережах та здатний обробляти неструктуровані дані (зображення, текст, аудіо). Застосовується для розпізнавання образів, обробки природної мови, аналізу відеоспостереження тощо.
3. Комп'ютерний зір (Computer Vision) — технології, що дозволяють комп'ютерам аналізувати та інтерпретувати візуальну інформацію. В авіації використовується для інспекції літаків, забезпечення безпеки в аеропортах, оптимізації завантаження багажу.
4. Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP) — методи, що дозволяють комп'ютерам розуміти та генерувати людську мову. Застосовується в чат-ботах для обслуговування клієнтів, аналізі відгуків пасажирів, документообігу.
5. Системи підтримки прийняття рішень (Decision Support Systems) — інтегровані рішення, що допомагають керівникам та фахівцям приймати обґрунтовані рішення на основі аналізу даних та моделювання сценаріїв.
6. Цифрові двійники (Digital Twins) — віртуальні моделі фізичних об'єктів або процесів, що постійно оновлюються на основі реальних даних. В авіації використовуються для моделювання поведінки літаків, оптимізації технічного обслуговування, симуляції аеропортових операцій.
7. Предиктивна аналітика (Predictive Analytics) — методи аналізу даних, що дозволяють прогнозувати майбутні події та тренди. Застосовується для прогнозування попиту, технічних несправностей, оптимізації запасів запчастин.

Найбільш поширеними технологіями ШІ серед світових авіакомпаній на теперішній час є машинне навчання, предиктивна аналітика та системи підтримки прийняття рішень. Водночас, такі технології як цифрові двійники та комп'ютерний зір знаходяться на початковому етапі впровадження, що вказує на значний потенціал для інновацій у цих напрямах.

За даними дослідження Airbus та Accenture, глобальний ринок ШІ-рішень для авіаційної індустрії у 2023 році оцінювався у $2,2 млрд та демонструє стабільне зростання зі середньорічним темпом у 28,5%. Очікується, що до 2030 року його обсяг перевищить $15 млрд, при цьому найбільша частка

припадатиме на рішення для оптимізації операційної діяльності, підвищення паливної ефективності та покращення обслуговування клієнтів.

Аналіз галузевих звітів та наукових публікацій дозволив виділити основні тренди у застосуванні ШІ авіакомпаніями для забезпечення сталого розвитку:

– інтеграція ШІ в системи управління польотами для оптимізації маршрутів, висоти та швидкості польотів, що дозволяє скоротити витрати палива та викиди CO_2;

– впровадження предиктивного технічного обслуговування на основі ШІ, що підвищує надійність обладнання, подовжує його життєвий цикл та зменшує кількість незапланованих ремонтів;

– розвиток персоналізованих сервісів для пасажирів на основі аналізу даних та ШІ, що підвищує задоволеність клієнтів та оптимізує завантаження рейсів;

– створення інтегрованих систем управління ресурсами з використанням ШІ для оптимізації використання літаків, екіпажів, наземного обладнання тощо;

– розробка систем динамічного ціноутворення на основі ШІ, що враховують множинні фактори для максимізації доходів та оптимізації завантаження рейсів;

– впровадження автоматизованих систем управління відходами з використанням ШІ для оптимізації процесів сортування, переробки та утилізації відходів;

– розвиток «зелених» технологій на основі ШІ для скорочення екологічного сліду авіакомпаній (електрифікація наземного обслуговування, оптимізація споживання енергії в офісах та терміналах тощо).

На основі аналізу теоретичних підходів та досвіду авіакомпаній розроблено інтегровану модель управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній на основі ШІ.

Запропонована модель базується на системному підході та включає чотири ключові рівні управління:

1. Стратегічний рівень — формування довгострокової стратегії сталого розвитку авіакомпанії, визначення цілей у сфері ESG (Environmental, Social, Governance), розробка інноваційної стратегії та інвестиційної політики з урахуванням потенціалу ШІ.
2. Операційний рівень — трансформація бізнес-процесів та операційної діяльності авіакомпанії на основі технологій ШІ для досягнення цілей сталого розвитку.
3. Технологічний рівень — впровадження технічної інфраструктури, систем збору та аналізу даних, моделей та алгоритмів ШІ, необхідних для забезпечення функціонування інтегрованої системи.
4. Контрольний рівень — моніторинг ключових показників ефективності (KPI), аналіз результатів впровадження ШІ-рішень, корекція стратегії та управління знаннями.

Центральним елементом моделі є інтегрована система штучного інтелекту, що включає три функціональні блоки:

1. Аналітичний блок — відповідає за збір, обробку та аналіз даних з різних джерел (бортові системи літаків, системи бронювання, дані про погоду, операційні показники тощо), моніторинг ключових процесів та виявлення аномалій.

2. Оптимізаційний блок — забезпечує оптимізацію використання ресурсів (паливо, персонал, літаки, запчастини тощо), управління ризиками та підтримку прийняття рішень на всіх рівнях управління.

3. Прогностичний блок — відповідає за прогнозування попиту, предиктивне технічне обслуговування, моделювання сценаріїв розвитку та оцінку довгострокових наслідків управлінських рішень.

Ця інтегрована система забезпечує досягнення цілей сталого розвитку у трьох вимірах:

1. Економічні цілі — підвищення операційної ефективності, зростання прибутковості, забезпечення стійкого розвитку бізнесу.

2. Екологічні цілі — скорочення викидів парникових газів, оптимізація використання ресурсів, мінімізація відходів.

3. Соціальні цілі — підвищення безпеки польотів, покращення комфорту пасажирів, забезпечення доступності авіаперевезень для різних категорій населення.

Важливою особливістю даної моделі є її циклічний характер та наявність зворотних зв'язків між різними рівнями та компонентами, що забезпечує адаптивність та здатність до самовдосконалення.

Успішна імплементація запропонованої моделі потребує комплексного підходу та концентрації зусиль на кількох ключових напрямах. Основою для ефективного функціонування ШІ-рішень є якісні дані та розвинена цифрова інфраструктура. За даними Airbus, сучасний літак генерує до 844 ТБ даних за один політ, проте лише 5-10% цих даних ефективно використовуються для прийняття рішень. Створення інтегрованої системи збору, зберігання та обробки даних є важливим завданням для авіакомпаній. Відповідно до дослідження IATA, авіакомпанії, що інвестували в розвиток даталогічної інфраструктури, демонструють на 23% вищу ефективність впровадження ШІ-рішень порівняно з компаніями, що нехтують цим аспектом.

Для оцінки ефективності запропонованої моделі інтеграції ШІ в систему управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній розроблено комплексну методику, що базується на багатокритеріальному підході та включає економічні, екологічні та соціальні аспекти.

Методика передбачає розрахунок інтегрального індексу ефективності (IEI) на основі трьох субіндексів:

1. Економічний субіндекс (EcI) — відображає вплив імплементації моделі на економічні показники авіакомпанії (рентабельність, доходи, операційні витрати, ринкова частка тощо).

2. Екологічний субіндекс (EnI) — характеризує вплив на екологічні аспекти діяльності (викиди CO_2, споживання ресурсів, управління відходами, шумове забруднення тощо).

3. Соціальний субіндекс (SI) — відображає вплив на соціальні аспекти діяльності (задоволеність клієнтів, безпека польотів, умови праці, взаємодія з громадами тощо).

Кожен субіндекс розраховується як зважена сума нормалізованих значень відповідних показників:

$EcI = \Sigma (w^{ec}_j \times N^{ec}_j)$

$EnI = \Sigma (w^{en}_j \times N^{en}_j)$

$SI = \Sigma (w^{s}_j \times N^{s}_j)$

де:

- w^{ec}_j, w^{en}_j, w^{s}_j — вагові коефіцієнти j-го показника в економічному, екологічному та соціальному субіндексах відповідно;
- N^{ec}_j, N^{en}_j, N^{s}_j — нормалізовані значення j-го показника в економічному, екологічному та соціальному субіндексах відповідно.

Інтегральний індекс ефективності розраховується за формулою:

$IEI = \alpha \times EcI + \beta \times EnI + \gamma \times SI$

де:

- α, β, γ — вагові коефіцієнти економічного, екологічного та соціального субіндексів відповідно ($\alpha + \beta + \gamma = 1$).

Вагові коефіцієнти визначаються експертним шляхом з урахуванням стратегічних пріоритетів конкретної авіакомпанії та специфіки її діяльності.

Показники для розрахунку субіндексів представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

Показники оцінки ефективності інтеграції ШІ в моделі управління сталим розвитком авіакомпаній

Субіндекс	Показники	Вагові коефіцієнти
Економічний (EcI)	Зміна операційних витрат, % Зміна доходів, % Зміна продуктивності праці, % ROI від впровадження ШІ-рішень, % Зміна ринкової частки, п.п. Зміна операційної маржі, п.п. Скорочення часу обробки операцій, %	0,20 0,15 0,10 0,20 0,15 0,10 0,10
Екологічний (EnI)	Зміна викидів CO_2 на пасажиро-кілометр, % Зміна споживання палива, % Зміна рівня утилізації відходів, п.п. Зміна споживання води на пасажира, % Зміна рівня шумового забруднення, % Зміна споживання енергії в наземних операціях, %	0,25 0,25 0,15 0,10 0,15 0,10
Соціальний (SI)	Зміна індексу задоволеності клієнтів, п.п. Зміна показників безпеки польотів, % Зміна кількості скарг пасажирів, % Зміна рівня задоволеності персоналу, п.п. Зміна кількості інцидентів з безпеки, %	0,20 0,25 0,15 0,15 0,10

Субіндекс	Показники	Вагові коефіцієнти
	Вплив на місцеві громади (якісна оцінка) Рівень залучення стейкхолдерів (якісна оцінка)	0,10 0,05

На основі проведеного дослідження та прогнозної оцінки ефективності розроблено комплекс рекомендацій щодо імплементації запропонованої моделі для різних типів авіакомпаній.

Для забезпечення сталого розвитку та підвищення конкурентоспроможності різних типів авіаперевізників необхідно застосовувати диференційований підхід до впровадження штучного інтелекту, враховуючи специфіку їхніх бізнес-моделей та можливостей.

Традиційним мережевим перевізникам рекомендується розробити комплексну стратегію цифрової трансформації з чітко визначеною роллю ШІ та конкретними KPI. Створення централізованого центру компетенцій з ШІ дозволить ефективно координувати зусилля різних підрозділів, забезпечувати послідовність впровадження та управління знаннями. Значні інвестиції слід спрямувати на розвиток інтегрованої платформи даних, що стане фундаментом для всіх ШІ-рішень, об'єднуючи дані з різних джерел та забезпечуючи їх доступність. Враховуючи складність операційної діяльності таких авіакомпаній, особливо ефективним буде впровадження ШІ для оптимізації процесів планування мережі та управління флотом. Стратегічні партнерства з технологічними компаніями та стартапами забезпечать доступ до передових інновацій та прискорять цифрову трансформацію.

Бюджетним перевізникам (LCC) доцільно зосередитись на ШІ-рішеннях з високим потенціалом ROI та коротким терміном окупності, що відповідає їхній бізнес-моделі з фокусом на ефективність. Використання хмарних рішень та готових ШІ-сервісів дозволить мінімізувати капітальні інвестиції та прискорити впровадження. Пріоритетними напрямами є оптимізація основних процесів, що визначають економічну ефективність LCC: управління доходами, оптимізація завантаження та контроль витрат палива. Розвиток гнучкої архітектури даних створить можливості для поетапного нарощування можливостей ШІ-систем без значних початкових інвестицій. Особливу увагу слід приділити цифровим каналам взаємодії з клієнтами з використанням ШІ для персоналізації пропозицій.

Регіональним перевізникам (RC), які зазвичай мають обмежені ресурси, рекомендується поетапний підхід до впровадження ШІ з початковим фокусом на рішеннях з найвищим співвідношенням потенційної ефективності до складності впровадження. Доцільно використовувати галузеві платформи та готові рішення замість розробки власної інфраструктури. Формування стратегічних партнерств з більшими авіакомпаніями та технологічними провайдерами відкриє доступ до технологій та компетенцій без значних інвестицій. Особливу увагу варто приділити ШІ-рішенням для оптимізації специфічних аспектів діяльності регіональних перевізників, таких як планування маршрутної мережі та управління завантаженням на маршрутах з

низьким попитом.

Загальними рекомендаціями для всіх типів авіакомпаній є забезпечення інтеграції ШІ-стратегії з загальною стратегією сталого розвитку, формування організаційної культури, орієнтованої на дані та інновації, впровадження систем моніторингу ефективності ШІ-рішень, дотримання етичних принципів та регуляторних вимог, а також розвиток механізмів управління змінами для подолання опору персоналу та забезпечення ефективної трансформації бізнес-процесів.

Висновки

Проведене дослідження дозволяє зробити наступні висновки. Інтеграція технологій штучного інтелекту в моделі управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній є важливим напрямом трансформації авіаційної індустрії в умовах зростаючих екологічних викликів, посилення конкуренції та підвищення вимог споживачів. Аналіз сучасного стану впровадження ШІ в авіаційній індустрії свідчить про значний потенціал цих технологій для забезпечення сталого розвитку авіакомпаній у всіх трьох вимірах: економічному, екологічному та соціальному. Найбільш успішні кейси впровадження ШІ демонструють суттєві результати: скорочення викидів CO_2 на 5-15%, зменшення витрат палива на 3-10%, підвищення операційної ефективності на 5-15%, покращення досвіду клієнтів та підвищення безпеки польотів. Запропонована інтегрована модель управління інноваційним забезпеченням сталого розвитку авіакомпаній на основі ШІ базується на системному підході та включає чотири ключові рівні управління (стратегічний, операційний, технологічний та контрольний) та центральний елемент — інтегровану систему штучного інтелекту з трьома функціональними блоками (аналітичний, оптимізаційний та прогностичний). Основними напрямами імплементації запропонованої моделі є розвиток інфраструктури даних та цифрової екосистеми, формування ШІ-компетенцій та культури даних, впровадження ШІ-рішень для оптимізації операційної діяльності, використання ШІ для покращення клієнтського досвіду та інтеграція ШІ в систему управління екологічними аспектами діяльності.

Перспективними напрямами подальших досліджень є розробка деталізованих методик оцінки ефективності окремих компонентів запропонованої моделі, дослідження синергетичних ефектів від одночасного впровадження кількох ШІ-рішень, аналіз впливу регуляторних змін на можливості використання ШІ в авіаційній індустрії та розробка специфічних рекомендацій для авіакомпаній різних регіонів світу з урахуванням локальних особливостей.

UDC 338.47

V.O. Pankina
(Technical University in Kosice, Slovak)
I.S. Hrashchenko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Development and prospects of transport logistics worldwide

This paper examines the development and future prospects of transport logistics globally, focusing on the conceptual framework of 'transport logistics' as defined by scholarly sources. By analyzing these definitions, the study aims to provide a comprehensive understanding of transport logistics and its evolving role in the global economy.

Transport logistics plays a pivotal role in the efficient movement of goods and services, significantly impacting global trade and economic development. Understanding the conceptual framework of 'transport logistics' is essential for identifying current trends and future prospects in this field.

In Slovak scientific sources, the concept of "transport logistics" is considered as an integral part of the logistics system that ensures the efficient movement of goods and people in space and time. In particular, the function of transportation is to physically move things and people, creating added value by overcoming distance and time. Logistics in Slovakia is defined as the process of planning and managing the flow of materials and goods, as well as related transportation services from the point of origin to the end users, including storage. The purpose of these processes is to ensure the availability of materials, goods or services at the right time, in the required quality and quantity, while the transpoфrtation costs should not exceed the established limit. Thus, transport logistics in Slovak scientific sources focuses on the coordination and optimization of transportation processes to ensure efficient and cost-effective movement of goods and people, which is a key element of the entire logistics chain.In the United States, transport logistics is commonly associated with supply chain management, focusing on the planning, implementation, and control of efficient movement and storage of goods. The Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) defines logistics management as part of supply chain management that plans, implements, and controls the efficient, effective forward and reverse flow and storage of goods, services, and related information between the point of origin and the point of consumption to meet customers' requirements. This definition underscores the strategic role of logistics in meeting customer demands and maintaining supply chain efficiency.

In the United Kingdom, transport logistics is often examined concerning its impact on economic and environmental sustainability. Scholarly sources emphasize the optimization of transport activities to reduce costs and environmental footprints. For instance, studies highlight the role of logistics in minimizing transportation costs and emissions, thereby contributing to sustainable development goals. This perspective reflects a holistic view of transport logistics, considering economic efficiency and environmental responsibility.

The evolution of transport logistics is influenced by several global trends:

The integration of digital technologies (Digitalization), such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and blockchain, is transforming logistics operations, enhancing visibility, and improving decision-making processes.

There is an increasing emphasis on green logistics practices to reduce carbon emissions and promote environmental sustainability. Companies are adopting eco-friendly transportation modes and optimizing routes to minimize environmental impacts.

The expansion of global trade networks necessitates efficient logistics systems to manage complex international supply chains. This requires harmonization of regulations, infrastructure development, and adoption of global standards.

Recent disruptions, such as the COVID-19 pandemic, have highlighted the need for resilient logistics systems capable of adapting to unforeseen challenges. This includes diversifying supply sources and investing in flexible transportation options.

From the general perspective of transport logistics, the economic impact of transport can be direct, indirect and induced. Let's look at each of the sub-types in more detail:

Direct impacts result from improved capacity and efficiency, where transport provides employment, added value, market expansion, and time and cost savings. Overall economic demand increases;

Indirect impacts result from improved accessibility and economies of scale. Indirect value added and jobs arise from local purchases by companies directly dependent on transport activities.Transport activities generate a wide range of indirect value added and employment impacts through linkages between transport and other sectors of the economy (e.g. office firms, equipment and parts suppliers, maintenance and repair services, insurance companies, consulting and other business services);

Induced impact - the economic multiplier leads to a reduction in the price of products, goods or services and/or their variety. For example, the steel industry needs cost-effective imports of iron ore and coal for blast furnaces and exports of finished products such as steel booms and coils. Manufacturers, retail outlets and distribution centres transporting imported containerised cargo rely on efficient transport facilities and seaports.

Economic growth is increasingly linked to the development of transport, in particular infrastructure, as well as management expertise, which is key to logistics. Thus, although transport is an infrastructure-intensive activity, the capital stock must be supported by a set of key assets, namely labour, management and information systems. Decisions on the use and operation of transport systems should be made in a way that optimises benefits and minimises costs and inconveniences. Transport alone is not a sufficient condition for development. However, the lack of transport infrastructure can be an obstacle to development. Lack of transport infrastructure and regulatory barriers together affect economic development by increasing transport costs and delaying and making supply chain management unreliable. Inadequate transport services can negatively affect the competitiveness of regions and their economic activities, thereby negatively impacting regional value added, economic opportunities and employment. Tools and measures are being developed to assess and compare the performance of national transport systems.

An efficient transport system with modern infrastructure contributes to many economic changes, most of which are positive.

Thus, the economic nature of transport logistics as a type of logistics activity was defined, the impact of macro- and microeconomic factors on it was examined, the economic implications of transport logistics and the impact of transport on the economic implications were considered, noting that transport logistics plays an important role in both the SOE sector and in individual enterprises. Optimising transport logistics will certainly lead to increased profits and minimised costs.

Conclusion

Transport logistics is a multifaceted field encompassing various activities essential for the smooth flow of goods and services. The definitions from Slovakia, the United States, and the United Kingdom provide diverse perspectives, reflecting regional priorities and approaches. Globally, the future of transport logistics will be shaped by technological advancements, sustainability efforts, globalization, and the need for resilient systems. Understanding these dynamics is crucial for stakeholders aiming to navigate the evolving landscape of global logistics.

References

1. Richnák P. Modern logistics technologies in the conditions of Slovak enterprises. *SHS Web of Conferences*. 2020. Vol. 83. P. 01057. URL: https://doi.org/10.1051/shsconf/20208301057 (date of access: 26.03.2025).

2. Pavel Ceniga, Zdenka Vidrová, Viera Šukalová. TRANSPORT LOGISTICS AS A SOURCE OF IMPROVING QUALITY OF LIFE IN A REGIONAL CONTEXT - Business Logistic in Modern Management Conference. *Business Logistic in Modern Management Conference*. URL: https://blmm-conference.com/paper/pavel-ceniga-zdenka-vidrova-and-viera-sukalova-slovakia-transport-logistics-as-a-source-of-improving-quality-of-life-in-a-regional-context/ (date of access: 26.03.2025).

3. Hojdik, Vladimír & Grisáková, Nora & Štetka, Peter. (2022). Slovak transportation sector from the perspective of market concentration level. URL: https://www.researchgate.net/publication/376239440_Slovak_transportation_sector_from_the_perspective_of_market_concentration_level (date of access: 26.03.2025).

УДК 629.7049.5: [656.7.01:061.25(043.2) ІСАО

Д.О. Бугайко, д.е.н., професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Підходи ІСАО щодо протидії ризикам безпеки польотів цивільної авіації в зонах збройних конфліктів

Цивільна авіація не може працювати в ізоляції від процесів, які відбуваються в сучасному світі. На сьогоднішній день на нашій планеті фіксується зростання політичної та військової напруженості, що призводить до збільшення території, де ведуться бойові дії. Цивільна авіації все частіше стає жертвою застосування зброї. Доповідь присвячено розвитку підходів ІСАО щодо протидії цій тенденції.

З моменту створення ІСАО історія світової цивільної авіації нараховує, як мінімум, 11 катастроф цивільних повітряних судів, які виникли в результаті військової активності, потенційно небезпечної для виробництва полетів, жертвами якої стали 1352 людини. При цьому деякі із згаданих катастроф не були пов'язані безпосередньо з збройним протистояннями, але були результатом непередбачених помилок, пов'язаних з проведенням військових маневрів. Основу міжнародно-правового режиму забезпечення безпеки польотів цивільних повітряних судів у районах бойових дій складають договірні та звичайні норми міжнародного права, а також Стандарти та Рекомендовані Практики, а також інші акти, прийняті ІСАО.

У статті 9 Чиказької конвенції 1944 р. (Конвенція) «Захищені зони» наголошено: «а) Кожна держава член ІСАО може за умовами військової необхідності або суспільної безпеки обмежити або заборонити на єдиноподібній основі польоти повітряних судів інших держав над визначеними зонами власної території. При цьому Конвенція лише підтверджує заснування принципу державного суверенітету повітряного простору, як суверенного права кожної держави, але не зобов'язує державу забороняти або обмежувати польоти повітряних судів у межах своєї території при виникненні будь-якої небезпеки. При цьому в Конвенції встановлюється, що здійснення цього суверенного права не повинно мати дискримінаційний характер за ознакою національної реєстрації повітряного судна.

Стандарти і Рекомендована Практика, прийняті ІСАО містяться в додатках до Конвенції. Вони доволі детально регламентують дії держав у випадках, коли має місце діяльність, що створює загрозу безпеці міжнародної аеронавігації [1].

Згідно п. 2.18 і 2.19 Додатку 11 до Конвенції: здійснення діяльності, що створює потенційну небезпеку для цивільних повітряних судів, повинно вчасно координуватися між органами обслуговування повітряного руху та військовими повноправними органами держави з метою забезпечення оптимальних умов, які дозволяють уникнути створення небезпеки для цивільних повітряних судів і звести до мінімуму ризики для нормального виробництва їх полетів. Стандарт 5.1 Додатку 15 до Конвенції («Служби

аеронавігаційної інформації») передбачає державам видавати NOTAM (Notice to Airmen-повідомлення для пілотів) у разі наявності серед іншого «…джерел небезпеки для аеронавігації (включаючи перешкоди, військові маневри…)».

У керівництві ICAO Doc 9554 «Заходи безпеки, пов'язані з військовою діяльністю, потенційно небезпечною для польотів цивільних повітряних суден» міститься інструктивний матеріал для застосування Додатку 11 до Конвенції. У циркулярі ICAO 330 «Співпраця громадянських і військових органів при організації повітряного руху» містяться рекомендації та успішні практичні приклади у сфері співпраці громадянських і військових органів. В ньому наголошується на необхідності тісної координації дій військових і цивільних органів обслуговування повітряного руху при виникненні загроз для польотів цивільних повітряних суден, таких як збройні конфлікти. В циркулярі ICAO 330 вказується на те, що відповідальність за ініціювання процесу координації несе держава, чиї збройні сили беруть участь у конфлікті.

ICAO проводить системну роботу щодо встановлення Стандартів та Рекомендованих Практик щодо авіаційного зв'язку, які встановлюють способи і правила обміну інформацією. Цим аспектами присвячені наступні документи ICAO: Додаток 11 до Конвенції («Авіаційний зв'язок»); Процедури аеронавігаційного обслуговування. Абревіатури та коди ICAO (Doc 8400); Покажчики місця розташування (Doc 7910); Умовні позначення для агентств з експлуатації повітряних суден, аеронавігаційних органів і служб. (Doc 8585).

Таким чином, можна зробити висновок, що в документах ICAO встановлена відповідальність держави, на території якої відбувається конфлікт, за забезпечення безпеки полетів іноземних цивільних суден. У керівництві ICAO Doc 9554 «Заходи безпеки, пов'язані з військовою діяльністю, потенційно небезпечною для польотів цивільних повітряних суден» в пункті 10.5 відзначається, що заходи безпеки, які необхідно прийняти, залежать від оцінки державою ступеня небезпеки для прольоту іноземних цивільних повітряних судів. Тому держава, яка обслуговує повітряний рух, потребує прийняття складних рішень з урахуванням того факту, що помилка може викликати додаткові ризики для цивільних повітряних судів.

27 жовтня 2014 року в ході 1-го засідання 203-й сесії Ради ICAO був розглянутий робочий документ C-WP/14227 «Оцінка ризиків при польотах у повітряному просторі над зонами збройних конфліктів. Відповідальність держави за забезпечення безпеки польотів цивільних повітряних судів в їх національному і делегованому повітряному просторі над зонами збройних конфліктів чи зонами військових навчань». Зокрема, в документі було зазначено, що «Використання недостовірної або попередньо виявленої інформації про наявність ризиків у національному або делегованому повітряному просторі третіх країн з великою ймовірністю не дасть будь-яких позитивних результатів. На противагу, наслідком таких оцінок, наведених на основі недостовірної інформації, можуть бути введені неоправдані обмеження для авіакомпаній, що виконують міжнародні польоти, або навпаки, необґрунтоване продовження польотів у повітряному просторі над зонами, де містяться ризики, пов'язані з військовою діяльністю, потенційно небезпечні

для виробництва польотів цивільних повітряних суден. Також поширення непідтвердженої інформації з великою ймовірністю може бути використано в цілях недобросовісної конкуренції». Таким чином, хоча в Конвенції закріплений принцип повного та виключного суверенітету держави над повітряним простором над її територією, включаючи суверенне право встановлення нею у цьому повітряному просторі закритої зони, вона не містить положення, що прямо передбачає зобов'язання держав встановлювати обмеження або заборони для польотів громадянських повітряних судів у повітряному просторі над всією або частиною їх території де ведуться бойові дії. Такі зобов'язання вочевидь матимуть позитивний вплив на встановлення державами адекватних обмежень використання суверенного або делегованого повітряного простору та наддадуть можливість об'єктивного проведення розслідування авіаційних подій, що сталися у результаті актів незаконного втручання у діяльність цивільної авіації. На противагу, відсутність відповідальності щодо таких зобов'язань створює потенційні умови для застосування зброї проти цивільних повітряних судів у польоті, і не стимулює державу до співробітництва при розслідуванні таких авіаційних подій.

Після трагічного інциденту з малайзійським Боїнгом 777 створено цільову групу ІСАО, яка розробила ґрунтовну програму щодо польотів цивільної авіації в зонах збройних конфліктів. Відповідно до цих рекомендацій були внесені поправки у Конвенцію, а також інші міжнародні документи, що регулюють безпеку в сфері цивільної авіації. Були також випущені нові правила, спрямовані на проактивне управління ризиками при польотах над охопленими конфліктними територіями. У 2023 році ІСАО випустила оновлений навчальний матеріал для надання допомоги авіаційним регулюючим органам і експлуатантам в організації їх повітряного простору під час конфліктів, включаючи прийняття рішень про дозвіл або заборону польотів над зонами конфліктів або поблизу них [3].

Висновки

Розвиток інструментарію проактивного управління ризиками безпеки польотів над зонами військових конфліктів є одним з першочергових завдань ІСАО, що ставить на меті підтримання глобального, регіонального та національного рівнів забезпечення узгодженого рівня безпеки.

Список літератури

1. Art. 44 of the Convention on International Civil Aviation of 1944 – ICAO document 7300/9, 116 p.
2. Annex 11 "Air Traffic Services" to the Convention on International Civil Aviation. 14th ed. ICAO. 2016. pp. 2-11–2-12.
3. Bugayko D.O., Mammadov Ramil, Akhmadov Huseyn. (2025) Challenges in developing the ICAO proactive risk management toolkit for civil aviation flights in armed conflict zones. Intellectualization of logistics and Supply Chain Management. [Online], vol.29, pp.7-13.

УДК 658.018 (045):656.71

Л.М. Докієнко, к.е.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Якість обслуговування пасажирів авіакомпанією: параметри та показники оцінювання

Обґрунтовано необхідність постійного оцінювання якості обслуговування пасажирів авіакомпанією. Запропоновано систему параметрів та показників для оцінювання якості сервісного обслуговування пасажирів авіакомпанією.

Сучасна авіаційна галузь є одним із найбільш орієнтованих на клієнта секторів сучасної світової економіки, де забезпечення якісного обслуговування клієнтів стає все більш важливим для забезпечення конкурентоспроможності на ринку та прибутковості діяльності [1]. Спостерігаючи за конкурентними орієнтирами авіаційної галузі, відзначимо, що сучасні авіакомпанії все більше концентруються на потребах пасажирів та забезпеченні їх якісного обслуговування. Аналізувати запити клієнтів, надавати послуги відповідно до їхніх вимог і потреб, утримувати та підтримувати своїх пасажирів у довгостроковій перспективі, невпинно покращуючи якість обслуговування задля формування позитивного іміджу та забезпечення конкурентоспроможності – головні завдання сучасних авіакомпаній. В даному контексті, оцінювання задоволеності клієнтів якістю обслуговування авіакомпанією дозволяє дослідити всі точки взаємодії з клієнтами, а також рівень якості наданих послуг: фактичний, очікуваний та ідеальний [2].

Важливість якісного обслуговування пасажирів в авіаційному бізнесі підтверджується і тим фактом, що 61% клієнтів подумають про перехід до конкурента після поганого клієнтського досвіду, тоді як 79% стверджують, що вони будуть більше користуватися послугами авіакомпанії після позитивного досвіду клієнта. Також, 55% пасажирів зазначають, що відмінні експертні оцінки можуть підвищити їх довіру до авіакомпанії, в той же час, 64% авіапасажирів більше довіряють інформації, наданій їхніми колегами, ніж інформації, наданій авіакомпанією. І, що не менш важливо, – 68% пасажирів після поганого обслуговування авіакомпанією розкажуть про це своїм друзям і напишуть негативні відгуки на різних ресурсах, але лише 53% авіапасажирів поділяться позитивними відгуками про високу якість обслуговування [3].

Якість обслуговування пасажирів авіакомпанією – це сукупність факторів, які визначають рівень задоволеності клієнтів під час всіх етапів подорожі від бронювання квитків до прибуття в пункт призначення, тобто мова йде не лише про комфорт у літаку, а й про весь спектр взаємодій пасажира з авіакомпанією. Відповідно, для оцінювання якості обслуговування пасажирів авіакомпанією прийнято використовувати набір індикаторів, що характеризують досвід пасажирів у процесі бронювання авіаквитків, реєстрації на рейс, проходження перед польотних процедур, комфорт у салоні літака, обслуговування під час польоту, багажне обслуговування, а також обслуговування в разі затримок (скасування) рейсів та роботу зі скаргами

пасажирів.

Крім цього, досить популярними серед пасажирів та авіакомпаній є рейтинги, що складаються рейтинговими агентствами на основі відгуків (опитувань) пасажирів. Найбільш популярним рейтингом авіакомпаній серед пасажирів є авіаційний «Оскар» – рейтинг «World Airline Awards» від SkyTrax, який оцінює авіакомпанії у 20 номінаціях: краща авіакомпанія, краща лоукост авіакомпанія, краща регіональна авіакомпанія, кращий бортовий екіпаж та краща якість обслуговування в аеропорту, краща авіакомпанія за класами обслуговування, за якістю бортових розваг, інноваційністю, чистотою та інше. Якщо розглянути рейтинг Топ-10 авіакомпаній за останні 3 роки, то він є майже незмінним: Qatar Airways, Singapore Airlines, Emirates, ANA, Cathay Pacific Airways, Japan Airlines, Turkish Airlines, EVA Air, Air France, Swiss International Airlines Korean Air. Опитування пасажирів для вибору кращої авіакомпанії здійснюється за певним набором параметрів і включає оцінку сервісу екіпажу (допомога при посадці, привітність та гостинність, ставлення персоналу, навички вирішення проблем, знання мов персоналу тощо), сервісу в аеропорту (он-лайн бронювання та реєстрація, самостійна реєстрація, зал очікування авіакомпанії, ефективність посадки тощо) та якості бортового продукту (комфорт сидіння, чистота салону та туалету, Wi-Fi у кабіні, якість та кількість страв, співвідношення ціни та якості тощо) [4]. В свою чергу, рейтинг «Air Help Score» оцінює якість обслуговування пасажирів авіакомпанією на основі трьох компонентів: пунктуальність (33,3%), думка клієнтів на основі опитування за параметрами: екіпаж, комфортабельність літака, чистота в літаку, якість харчування та розваги на борту (33,3%) та робота з претензіями (33,3%) за параметрами: обробка претензій, швидкість розгляду претензій, виплати по претензіях та вирішення спорів [5]. На жаль, жодна з українських авіакомпаній до жодного зі світових рейтингів топ-100 авіакомпаній за останні роки не ввійшла, чому є низка причин. Але, це ще раз засвідчує, що їм є над чим працювати і як покращувати клієнтський досвід.

Відповідно, для оцінки якості обслуговування пасажирів авіакомпаніям пропонується використовувати наступну розширену систему параметрів (табл.1), а у якості ключових показників ефективності (KPI) для оцінки якості обслуговування пасажирів пропонується використовувати: Net Promoter Score (індекс лояльності), Customer Satisfaction (індекс задоволеності клієнтів), Customer Effort Score (індекс зусиль клієнта), а також відсоток повторних бронювань на рейси авіакомпанії.

Net Promoter Score (NPS) – це інструмент, який використовується для вимірювання лояльності клієнтів до послуг або бренду авіакомпанії і показує, наскільки охоче клієнти будуть рекомендувати авіакомпанію іншим пасажирам. Клієнти відповідають за шкалою від 0 до 10 на запитання щодо бажання (ймовірності) рекомендації авіакомпанії іншим пасажирам, де: оцінка 0-6 балів – це «Критики», тобто незадоволені клієнти, які можуть негативно вплинути на репутацію авіакомпанії; 7-8 балів – це «Пасивні клієнти», які задоволені, але не є активними промоутерами; 9-10 балів – це «Промоутери» – або лояльні клієнти, які готові рекомендувати авіакомпанію іншим. Наприклад, середній NPS по авіаційній галузі у 2020 році складав 27, тоді як у

2021 році вже 45. У різних авіакомпаній він також суттєво варіюється, наприклад, у Southwest Airlines у 2022 році він складав 57, тоді як у United Airlines лише 12.

Таблиця 1

Система параметрів для оцінки якості обслуговування пасажирів авіакомпанією

1. Наземне обслуговування пасажирів авіакомпанією	*2. Обслуговування пасажирів на борту літака*
1.1. Якість перед польотного обслуговування - сайт авіакомпанії: зручність та легкість користування, інформативність, зрозумілість - різноманітність каналів комунікації з клієнтами: сайт, чат-бот, сторінки у соціальних мережах та месенджерах, мобільний застосунок - он-лайн бронювання квитків: наявність, зручність - он-лайн реєстрація на рейс: наявність, зручність - політика щодо перевезення багажу / ручної поклажі - час очікування реєстрації, якість обслуговування при реєстрації - можливість самостійної реєстрації на рейс - процедури перед посадкою - ефективність та зручність посадки - персонал авіакомпанії: привітність, оперативність - зал очікування та лаундж авіакомпанії: зручності для пасажирів, гостинність	*2.1. Якість роботи екіпажу на борту* - привітність обслуговування та гостинність - уважність та оперативність обслуговування - допомога при посадці на борт літака - знання мов персоналом борту - чуйне ставлення екіпажу та постійна допомога - приділення однакової уваги всім пасажирам - якість та точність оголошень - достатність та своєчасність інформації на борту - достатність знань екіпажу для відповідей на запитання пасажирів - навички вирішення проблем та конфліктних ситуацій - допомога сім'ям з дітьми, мало мобільним пасажирам - зовнішній вигляд екіпажу борту
1.2. Якість після польотного обслуговування - послуги трансферу - послуги по прибуттю в аеропорт призначення - багаж пасажирів: збереженість, доставка - існує чітка схема/правила компенсації щодо втрати або пошкодження багажу	*2.2. Якість обслуговування на борту (бортовий продукт)* - комфорт сидіння - чистота салону, сидінь, туалету - освітлення кабіни / атмосфера на борту - температура салону, робота кондиціонера - комфорт і зручності в салоні - матеріали для читання - Wi-Fi / Fly Net - екран і інтерфейс бортових TV - вибір розваг на борту - якість та підбір страв - кількість їжі / різноманітність меню - вибір напоїв - ціни на борту / співвідношення ціни та якості на борту
1.3. Якість організації авіаційної діяльності - вчасність/пунктуальність відправлення/прибуття рейсів - кількість рейсів - зручність стикування рейсів - доступність квитків - акції на квитки за різними напрямами - ціни авіаквитків варті послуг, які надає авіакомпанія - програми лояльності для постійних клієнтів - якість роботи з претензіями - до офісів авіакомпаній легко дістатися	

Customer Satisfaction (CSAT) або індекс задоволеності клієнтів – це показник, який дозволяє оцінити рівень задоволеності клієнтів взаємодією з

авіакомпанією та її послугами. CSAT вимірюється за допомогою простих запитань, які задаються клієнтам після кожного перельоту (наприклад, на основі анкети, яка включає запропоновану вище систему параметрів). Для обчислення CSAT клієнтам пропонується оцінити свою задоволеність за шкалою від 1 до 5 або 1 до 10 балів, де 1 – найнижчий рівень задоволеності, а 5 або 10 – найвищий. У 2024 році лідерами задоволеності клієнтів були Qatar Airways, Singapore Airlines, Emirates, Turkish Airlines та Air Asia [4].

Customer Effort Score (CES) – це показник, який дозволяє авіакомпаніям оцінити, наскільки легко клієнтам було взаємодіяти з ними або їх послугами. Іншими словами, CES показує, скільки зусиль довелося докласти авіапасажиру, щоб вирішити своє питання або досягти бажаного результату. Зазвичай, для розрахунку CES використовують анкети-опитувальники із шкалою 1-7 балів, а потім отримані дані за всіма анкетами і параметрами оцінювання усереднюють. Наприклад, Qatar Airways відома простотою реєстрації та отримання посадкових талонів через мобільний додаток; Singapore Airlines пасажири відзначають за легкість отримання інформації про рейси та багаж через офіційний сайт; Emirates позитивно оцінюється за простоту взаємодії з клієнтською підтримкою через різні канали зв'язку.

Повторні бронювання або відсоток пасажирів, які знову обирають авіакомпанію для своєї наступної подорожі. Це прямий показник лояльності клієнта та ефективності стратегій авіакомпанії, який є індикатором якості послуг та конкурентною перевагою авіакомпанії, що забезпечує зниження витрат на маркетинг та стабільність доходів. Наприклад, в 2024 році Air Asia Volotea мали найвищі показники повторних бронювань серед лоукост авіакомпаній.

Безперечно, визначення та аналіз розглянутих показників за запропонованою системою параметрів оцінювання якості обслуговування авіакомпанією є необхідною умовою функціонування сучасних авіакомпаній на висококонкурентному авіаринку, що дозволяє виявити існуючі проблеми щодо клієнтського досвіду і розробити відповідні заходи щодо підвищення рівня задоволеності та лояльності пасажирів. Ось деякі *пропозиції* щодо підвищення рівня задоволеності пасажирів, які є особливо актуальними для українських авіакомпаній:

- надавайте підтримку пасажирам у тих каналах комунікації, які їм зручніші – забезпечте багатоканальну підтримку пасажирів;
- активно використовуйте соціальні мережі, месенджери та чат-боти;
- використовуйте найкращі технологічні рішення для безперебійного обслуговування пасажирів в реальному часі та забезпечення самообслуговування пасажирів;
- пропонуйте персоналізований досвід;
- вчасно (максимально швидко) надавайте відповідь на запити пасажирів;
- не давайте зайвих обіцянок пасажирам, адже основне завдання – це перевершити їх очікування;
- виходьте на діалог з незадоволеними пасажирами та максимально швидко і ефективно вирішуйте проблеми (скарги) пасажирів;

- давайте найкращі поради пасажирам та приємно їх дивуйте;
- винагороджуйте своїх пасажирів – створіть привабливу програму лояльності, оскільки це безпосередньо впливає на рівень їх задоволення;
- постійно підвищуйте кваліфікацію своїх сервісних агентів та бортпровідників, а також мотивуйте їх;
- використовуйте аналітику даних для персоналізації та постійно аналізуйте показники якості обслуговування пасажирів.

Висновок. Отже, розгляд параметрів та показників оцінки якості обслуговування пасажирів авіакомпанії, проведений в рамках даного дослідження, дозволив виявити ряд ключових аспектів, що впливають на сприйняття пасажирами рівня якості сервісу авіакомпанії. А виконання наданих рекомендацій, дозволить авіакомпаніям підвищити рівень якості своїх послуг, підвищити рівень задоволеності пасажирів послугами авіакомпанії, зміцнити свою репутацію та імідж на ринку, досягти стійкої конкурентної переваги.

Список літератури

1. Докієнко Л.М., Лямзін А.О. Особливості та ключові складові сервісної діяльності в авіаційній галузі. Системи і технології. 2023. – №66(2). – С.74-82 https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.9
2. Dokiienko L., Osmak V., Triukhan O. Passenger Service on the Aircraft Board as a Component of the Airline's Image and Competitiveness. Економіка: реалії часу. 2023. – №2 (66). – С.26-35. https://doi.org/10.5281/zenodo.8154926
3. Robinson-Yu.S. 15 Customer self-service and experience stats to know. URL: https://vanilla.higherlogic.com/blog/customer-self-service-stats-2020/
4. Skytrax. The World's Best Airlines. URL: https://www.worldairlineawards.com
5. Air Help Score. Global airlines ranking. URL: https://www.airhelp.com/en-gb/airhelp-score/?score-type=airlines

УДК 656.7:004.8/.9

М.М. Семерягіна, К.М. Молчанова, к.е.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості цифрової трансформації в авіаційному бізнесі

Проведений аналіз цифрової трансформації авіаційних підприємств, зокрема виділені основні цифрові інструменти та сфери їх використання в авіакомпаніях та аеропортах.

Ефективне управління підприємствами авіаційного бізнесу тісно пов'язані з впровадженням сучасних цифрових технологій, які дозволяють значно оптимізувати час на планування та виконання операційних процесів, а також збирати і консолідувати дані та проводити їх аналітику, що має позитивний вплив на стратегічне планування та управління авіаційними підприємствами.

Цифрові технології все глибше проникають в управління діяльністю авіакомпаній та аеропортів, при цьому на перше місце виходить кібербезпека (рис. 1), технології та методи якої дозволяють захищати інформаційні системи та мережі авіакомпаній та аеропортів від кібератак. Такий захист пов'язаний з розширенням цифрових операцій на все більшу кількість операційних та управлінських процесів, забезпеченням конфіденційних даних про пасажирів, а також з впровадженням у використання онлайн оплати, IoT та хмарних послуг.

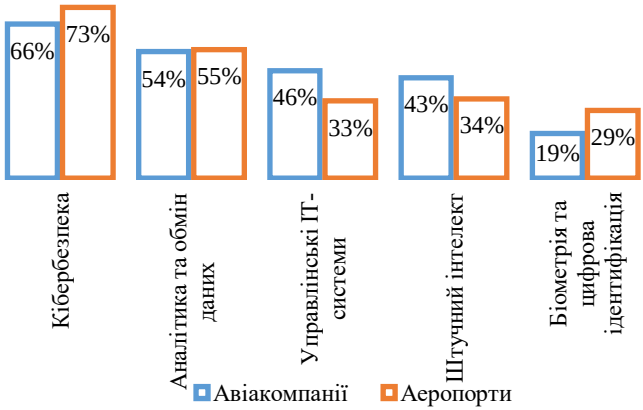


Рис. 1. Результати опитування авіапідприємств щодо топ IT-ініціатив
Джерело: побудовано за даними [1, с. 7, 34]

В рамках кібербезпеки авіапідприємства створюють центри операційної безпеки (security operation centers, SOC) та впроваджують штучний інтелект та машинне навчання для виявлення та аналізу кіберзагроз. SOC за рахунок

наскрізного централізованого управління направлені на покращення часу реагування на інциденти та захист надійності та продуктивності існуючих IT-систем.

Обмін даними в цивільний авіації є важливим та необхідним між всіма підприємствами задіяними в обслуговуванні авіаційних пасажирів та вантажів. Враховуючи, сучасні IT-рішення, що посилюють безпеку передачі даних, як ЕОД та блокчейн, авіаційні підприємства активно впроваджують їх в свою діяльність задля прискорення обміну даними між підприємствами, так і задля усунення помилок під час передачі інформації. Одночасно, значно поширюється використання аналітики даних та штучного інтелекту (ШІ) в авіації, адже за рахунок збору, опрацювання та аналізу різноманітних даних за операційними процесами, а також прогнозуванню, заснованого на алгоритмах штучного інтелекту, авіаційні підприємства можуть підвищити [2, 3]:

– загальну ефективність діяльності через оптимізацію процесів та ресурсів заснованих на виявленні дублювання операцій, зайвих операцій, надмірного використання ресурсів тощо;

– задоволеність клієнтів завдяки персоналізації послуг з урахуванням вподобань клієнтів, що були виявлені в попередні періоди;

– рівень безпеки польотів завдяки прогнозному плануванню технічного обслуговування з урахуванням даних датчиків щодо виявлення потенційних проблем;

– рівень авіаційної безпеки завдяки моніторингу та аналізу даним щодо руху пасажирів, вантажу та багажу, що в свою чергу дозволить оптимізувати розміщення та використання персоналу відділу авіаційної безпеки, сканерів та камер, зменшуючи вірогідність порушення безпеки та забезпечивши найменший час на реагування у випадку загроз;

– рівень управління доходами та оптимізувати ціноутворення завдяки встановленню конкурентоспроможних ситуаційних тарифів з урахуванням ситуації на авіаційному ринку та вподобань клієнтів;

– своєчасність виконання рейсів завдяки прогнозуванню можливих сценаріїв на основі даних попередніх польотних операцій з урахуванням даних щодо можливих збоїв, наприклад через погану погоду чи перевантаження відповідних аеропортів;

– показники стійкого розвитку, наприклад: а) в екологічній політиці авіакомпаній завдяки визначення оптимальних маршрутів, що сприяє зменшенню споживання авіаційного палива та відповідно викидам вуглецю, б) в екологічній політиці аеропортів завдяки визначення поточних показників споживання енергії та оптимізації через управління освітленням, систем опалення, вентиляції тощо;

– рівень стратегічного планування завдяки розумінню майбутніх тенденцій щодо зростання пасажиро- / вантажопотоків, оцінки фінансової доцільності проектів з розширення діяльності чи оптимізації доходів авіаційного підприємства.

Використання ШІ авіакомпаніями та аеропортами здебільшого зорієнтоване на підвищення операційної ефективності та взаємодії з клієнтами, лише 8% авіакомпаній згідно до опитування SITA застосовують штучний

інтелект як один з інструментів під час стратегічного планування. Найбільш важливу роль алгоритми ШІ відіграють в [1, с. 13-14, 43-44]:

– кібербезпеці через спроможність скоротити час та витрати на виявлення шахрайства та управління ризиками;

– сервісному обслуговуванні пасажирів за рахунок використання віртуальних помічників під час руху пасажира терміналами аеропорту, чат-ботів та агрегаторів відгуків клієнтів як з метою покращення взаємодії через автоматизацію обміну повідомленнями під час бронювання авіаквитків, проблем з багажем чи оновлення розкладу рейсу, так і з метою визначення їх пріоритетних вподобань для подальшої персоналізації послуг та тарифів;

– управлінні екіпажами за рахунок збору та аналізу даних за кожним членом екіпажу та визначення оптимальних складів екіпажів на відповідні рейси;

– управлінні паливом з урахування факторів як маршрут, характеристики ПС, кількість пасажирів, прогнозу погоди, що допомагає визначити оптимальну швидкість набору висоти та зниження, економлячи до 3% пального за один рейс;

– управлінні наземним обслуговуванням за рахунок моделювання потоків та оптимізації використання персоналу та інших ресурсів.

Управлінські IT-системи широко використовуються авіаційними підприємствами в операційній діяльності для автоматизації процесів (управління наземними операціями, як реєстрація пасажирів та багажу, диспетчеризація перевезень, обслуговування рейсів тощо) та під час планування (складання розкладу рейсів та флоту, маршрутизації, плануванні ТО та Р та ін.), при цьому сучасні IT-системи все більше посилюються такими інструментами як аналітика даних та ШІ.

Використання біометрії та цифрової ідентифікації дозволяє організувати для пасажирів безконтактну подорож від будинку пасажира через всі пункти в аеропорту до літака, що в свою чергу зменшує черги в точках взаємодії пасажира з персоналом та пришвидшує обробку даних.

Підсумовуючи, відмітимо, що розвиток та використання сучасних IT-інструментів нерозривно пов'язаний з можливістю вивести на високий рівень кібербезпеку даних. Сучасні цифрові інструменти активно використовуються для забезпечення операційних процесів та процесів операційного та тактичного планування, а також починають залучатися до методів стратегічного планування.

Список літератури

1. SITA 2024. AIR TRANSPORT IT INSIGHTS. AIRLINE & AIRPORT. URL: https://communications.sita.aero/l/1045363/2025-02-25/2d2tk/1045363/1740508304P73JRVPY/2024_air_transport_it_insights.pdf (date of access 13.03.2025).

2. The Role of Data Analytics in Enhancing Airline Performance. URL: https://crgsolutions.co/the-role-of-data-analytics-in-enhancing-airline-performance/.

3. The Role of Data Analytics in Optimizing Airport Operations. URL: https://www.gmrgems.com/blogs/the-role-of-analytics-in-optimizing-airport-operations (date of access 13.03.2025).

УДК 658.7:656

С.І. Гриценко, доктор економічних наук, професор,
О.М. Кожемякіна
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Логістичні аспекти автотранспортних підприємств

Логістика відіграє ключову роль у діяльності автотранспортних підприємств (АТП), забезпечуючи ефективне управління матеріальними потоками, оптимізацію маршрутів та підвищення якості обслуговування клієнтів. Розглянуто основні логістичні аспекти функціонування АТП з використанням інформаційних технологій, логістичного контролінгу.

Транспорт у системі логістики відіграє подвійну роль:

– по-перше, він є складовою або компонентом головних функціональних галузей логістики (закупівельній, виробничій, розподільній);

– по-друге, транспорт є однією із галузей економіки, у якій також розвивається підприємницька діяльність: транспорт пропонує на ринку товарів і послуг свою продукцію – транспортні послуги, за які отримує доходи і має прибуток [1, с. 307].

У багатьох країнах досягнення високого рівня надання транспортних послуг, що відповідає вимогам споживачів, стало основним елементом економічних стратегій і важливим чинником ринкового і фінансового успіху.

У сучасних умовах ринкової економіки ефективна організація логістичної діяльності є ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності автотранспортних підприємств (АТП). Швидкий розвиток транспортної галузі, зростання обсягів вантажоперевезень і підвищення вимог до якості логістичного обслуговування вимагають постійного вдосконалення управлінських процесів, оптимізації маршрутів і впровадження новітніх інформаційних технологій [2].

Логістика на автотранспортних підприємствах охоплює широке коло питань: планування та організацію перевезень, управління запасами, контроль за технічним станом автопарку, моніторинг і аналіз логістичних витрат. Раціональне використання ресурсів та своєчасна доставка вантажів напряму впливають на рентабельність діяльності підприємства [3].

Логістична діяльність автотранспортних підприємств охоплює кілька ключових напрямів:

– Логістика постачання: управління процесами закупівлі та доставки необхідних ресурсів для функціонування підприємства.

– Внутрішньовиробнича логістика: організація та контроль внутрішніх матеріальних потоків, спрямованих на оптимізацію виробничих процесів.

– Збутова логістика: планування та реалізація процесів доставки готової продукції або послуг кінцевим споживачам.

– Ресурсна логістика: ефективне управління ресурсами підприємства, включаючи транспортні засоби, персонал та інфраструктуру.

Ці напрями логістичної діяльності спрямовані на підвищення ефективності та конкурентоспроможності АТП.

Логістичний контролінг є важливим інструментом для оцінки та покращення логістичних процесів на підприємстві. Він дозволяє аналізувати ефективність використання ресурсів, виявляти вузькі місця та розробляти заходи для їх усунення [4].

Таблиця 1

Показники оцінки рівня логістичного контролінгу

Показник	Опис
Рівень виконання замовлень	Частка замовлень, виконаних вчасно та в повному обсязі
Собівартість перевезень	Витрати на одиницю перевезеного вантажу або пасажира
Використання транспортних засобів	Відсоток часу, протягом якого транспортні засоби знаходяться в роботі
Рівень запасів	Обсяг товарно-матеріальних запасів на складі

Застосування цих показників дозволяє керівництву АТП приймати обґрунтовані рішення щодо оптимізації логістичних процесів.

Сучасні інформаційні технології відіграють важливу роль у підвищенні ефективності логістичних процесів на автотранспортних підприємствах. Використання спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє автоматизувати такі процеси, як:

– Планування та оптимізація маршрутів перевезень.

– Моніторинг та диспетчеризація транспортних засобів.

– Облік та аналіз витрат на перевезення.

– Управління складськими запасами.

Впровадження таких систем сприяє зниженню витрат, підвищенню точності та швидкості обробки інформації, а також покращенню якості обслуговування клієнтів.

Логістичні операції транспортування (переміщення товарів від постачальників до одержувачів, пакування, маркування вантажних місць, зберігання товарів на проміжних складах, збирання і розукрупнення відправлень та ін.) виконуються в певній послідовності, відповідно до технологічного транспортного процесу, залежно від особливостей якого виконується вибір способу перевезення, технологія доставлення і конкретний маршрут. Удосконалення та поява нових технологій перевезення, модернізація об'єктів транспортної інфраструктури і інтеграційні процеси різних транспортних систем допоможуть знизити транспортну складову логістичних витрат [5, с. 137].

У разі дотримання термінів доставлення за результатами моделювання отримуємо оптимальні маршрути кожного транспортного

засобу, що дозволяють з мінімальними витратами повністю задовольнити вимоги споживачів.

Висновки

Ефективне управління логістичними процесами є критично важливим для успішної діяльності автотранспортних підприємств. Застосування сучасних методів логістичного контролінгу та інформаційних технологій дозволяє оптимізувати використання ресурсів, знизити витрати та підвищити рівень обслуговування клієнтів.

Список літератури

1. Гриценко С.І., Смерічевська С.В., Савченко Л.В. Проєктування логістичних систем. *Навчальний посібник*. К.: НАУ, 2024, 372 с. ISBN 978-966-932-208-1.
2. Програмне забезпечення АСК автотранспортних підприємств. URL: https://pidru4niki.com/81336/tehnika/programne_zabezpechennya_avtotransportnih_pidpriyemstv?utm_source=chatgpt.com.
3. Товарянський В., Гаврилюк А., Ренкас А. Логістичні аспекти діяльності автотранспортних підприємств. та ін. Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали І Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 21-23 травня 2019 р. Рівне: НУВГП, 2019. С. 133-134. URL: https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/5743.
4. Гаврилюк Н.М. Оцінка рівня логістичного контролінгу на автотранспортному підприємстві. Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського. Глобальні та національні проблеми економіки. № 13. 2016. С. 222-229. URL: http://global-national.in.ua/archive/13-2016/47.pdf
5. Гриценко С.І., Матвєєв В.В., Савченко Л.В. Проєктування ланцюгів постачання. *Навчальний посібник*. К.: НАУ, 2023. 256 с. ISBN 978-966-932-195-4.

УДК 339.168

Л.М. Докієнко, к.е.н., доцент, В.В. Марчук
(Держаний університет "Київській авіаційний інститут", Україна)

Технологічна інтеграція у сфері мультимодальних перевезень

Проаналізовані ключові аспекти технологічної інтеграції у сфері мультимодальних перевезень. Показано величезний потенціал використання сучасних інноваційних технологій для революційної зміни способу перевезення вантажів мультимодальним транспортом, що має величезне значення для майбутньої сучасної логістики.

Мультимодальні перевезення постійно розвиваються, використовуючи інноваційні технологічні досягнення. Транспортно-логістичні компанії активно розробляють рішення для задоволення зростаючого попиту, ефективної та екологічно відповідальної логістики. Інвестиції в інфраструктуру та технології мають вирішальне значення для розвитку мультимодальних перевезень, пропонуючи багатообіцяючі можливості для бізнесу процвітати в конкурентному середовищі. Потенціал сектора для створення робочих місць і розширення робочої сили підкреслює його важливість у світовій економіці.

Мультимодальні перевезення (комбіновані перевезення з використанням кількох видів транспорту) активно трансформуються завдяки технологічній інтеграції, яка відіграє важливу роль у майбутньому мультимодальних перевезень (рис. 1).

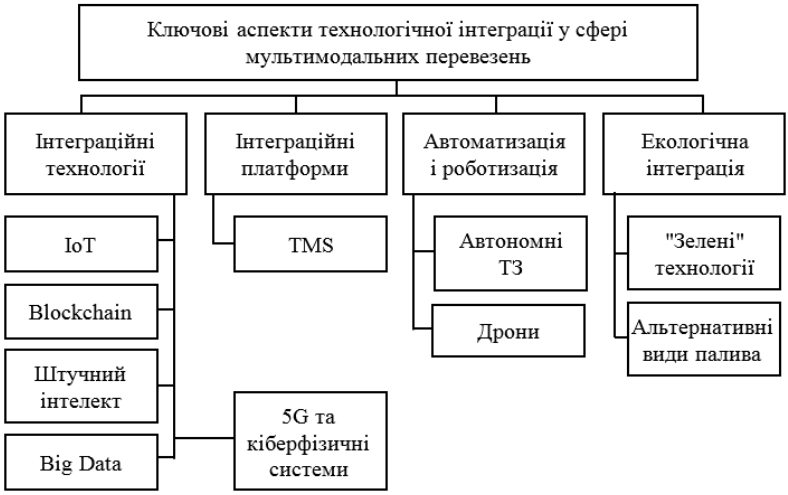


Рис. 1. Ключові аспекти технологічної інтеграції у сфері мультимодальних перевезень

Інтеграція передових технологій відіграє важливу роль у майбутньому транспортної галузі та знаходиться в авангарді мультимодальних перевезень. Використання Інтернету речей (IoT), блокчейну та пристроїв штучного інтелекту підвищує ефективність і прозорість ланцюгів поставок. Пристрої IoT забезпечують відстеження та моніторинг відправлень у реальному часі, що дозволяє краще керувати та зменшує ризик втрати або пошкодження. Аналіз даних IoT допомагає оптимізувати логістичні процеси за рахунок скорочення часу простою в портах, уникнення перевантаження складів, автоматизувати розвантаження (завантаження) вантажів [1].

Технологія блокчейн забезпечує безпечні та прозорі транзакції, мінімізуючи ризик шахрайства та покращуючи довіру між сторонами. Також скорочується час документообігу (до 80% за даними WTO), знижуються операційні витрати (менше паперових процесів, посередників). Перспективами застосування блокчейн у мультимодальних перевезеннях є повна автоматизація митних процедур за допомогою смарт-контрактів, створення децентралізованих логістичних платформ поєднання з IoT (дані з датчиків автоматично записуються в блокчейн) [2].

Штучний інтелект та Big Data у мультимодальних перевезеннях стають ключовими драйверами трансформації транспортної галузі, пропонуючи революційні підходи до управління логістичними процесами. Вони аналізують величезні обсяги інформації, забезпечують оптимізацію маршрутів з урахуванням погодних умов, завантаженості транспортних вузлів, митних процедур та прогнозують можливі збої, забезпечуючи своєчасну доставку та економію коштів [3].

Використання 5G дозволить розраховувати на швидкість передачі даних на багато більше гігабітів в секунду по всіх електронних засобах зв'язку, що значно підвищить ефективність усіх пристроїв, що працюють одночасно. Крім того, оскільки 5G має високу пропускну здатність, до нього можна підключити більше пристроїв без шкоди для якості. Транспорт та кіберфізичні системи стали більш розумними та автономними, ніж будь-коли раніше. Перспективними напрямками розвитку є використання квантових кіберфізичних систем для моделювання складних логістичних мереж з точністю 99.9%, застосування після 2030 року 6G-логістика для голографічного контролю вантажів та автономних мультимодальних мереж (безпілотні вантажівки, автоматичні склади, роботизовані порти) [4].

Інтеграційні платформи TMS (Transport Management Systems) у мультимодальних перевезеннях становлять цифрове ядро сучасної мультимодальної логістики, забезпечуючи комплексне управління складними транспортними потоками. Системи управління транспортом забезпечують оптимізацію маршруту, управління автопарком, фінансовий контроль, консолідацію вантажів для інтермодальних перевезень, автоматичний вибір виду транспорту [5].

Екологічна інтеграція в мультимодальних перевезеннях передбачає мінімізацію шкідливого впливу на навколишнє середовище через оптимізацію логістичних ланцюгів, використання енергоефективного транспорту, перехід на

альтернативні види палива (табл. 1), впровадження «зелених» технологій (електромобілі та гібриди «останньої милі», водневі поїзди, СПГ судна, літаки на авіаційному паливі). (SAF) – зменшує вуглецевий слід на 80% порівняно з гасом) [6, 7].

Таблиця 1.

Альтернативні види палива

Тип палива	**Переваги**	**Недоліки**
Електрика	Нульові викиди, низькі експлуатаційна витрати	Обмежений запас ходу, необхідність інфраструктури
Водень (H_2)	Нульові викиди, висока енергоємність	Висока вартість виробництва, небезпека зберігання
Біопаливо	Зменшення CO_2 на 50-90%	Обмежена доступність
LNG (зріджений газ)	Менше забруднень порівняно з дизпаливом	Викиди метану, висока вартість інфраструктури

Автоматизація та роботизація мультимодальних перевезень спрямовані на зниження витрат за рахунок оптимізації маршрутів, зменшення людського фактору, підвищення точності та швидкості логістичних операцій, зниження аварійності за рахунок автономних систем, інтеграції «розумних» технологій. Основними напрями автоматизації є автономні транспортні засоби, автономні поїзди, безпілотні кораблі, роботизовані термінали, «розумні» інфраструктурні рішення, вантажні дрони та дрони в складській логістиці. У майбутньому мультимодальні перевезення стануть повністю автоматизованими за допомогою штучного інтелекту, автономного транспорту та дронів [8].

Висновок

Мультимодальні перевезення стали незамінним елементом для транспортно-логістичних компаній, які прагнуть оптимізувати свої логістичні операції та залишатися конкурентоспроможними на світовому ринку. Завдяки технологічній інтеграції, унікальному поєднанню ефективності, стійкості та гнучкості, мультимодальні перевезення представляють майбутнє сучасної логістики та несуть в собі величезний потенціал для революційної зміни способів перевезення вантажів.

Список літератури

1. Saul Peralta. Trends in Multimodal Transport: Navigating the Future of Logistics. 2024. https://www.linkedin.com/pulse/trends-multimodal-transport-navigating-future-saul-peralta-li1fc.

2. F. K. Elmay et al.: Blockchain-Based Traceability for Shipping Containers in Unimodal and Multimodal Logistics. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 133539-133556.

https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9997538. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3231689.

3. S. Abirami, M. Pethuraj, M. Uthayakumar, P. Chitra. A systematic survey on big data and artificial intelligence algorithms for intelligent transportation system. *Case Studies on Transport Policy.* 2024. Vol. 17. 101247. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2024.101247.

4. AS Rajawat, SB Goyal, P Bedi, C Verma, EI Ionete. 5G-enabled cyber-physical systems for smart transportation using blockchain technology. *"Mathematics, Cryptocurrencies, and Blockchain Technology", 2nd edition.* 2023, 11(3), 679. https://doi.org/10.3390/math11030679.

5. Rick Lagor. The best software packages for transport management systems (TMS) in 2025. https://www.inteklogistics.com/blog/best-transportation-management-software-tms.

6. Розвиток мультимодальних перевезень в контексті досягнення цілей європейського зеленого курсу: досвід країн v4 та Румунії, можливості для України. Науково-аналітична записка. Львів. 2024. 37 с. https://ird.gov.ua/irdp/p20230037.pdf.

7. Ecological aviation fuel is the key to decarbonization of cargo air transport. 2025. https://dimerco.com/resources/sustainable-aviation-fuel-is-the-key-to-decarbonizing-air-cargo/.

8. Anais Gul Farid, Fabio De Felice, Antonio Forchina, Antonella Petrillo. The role and application of advanced digital technologies in achieving sustainability of multimodal logistics operations: a systematic review of the literature. *Sustainable Futures.* 2024. Vol. 8. 100278. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100278.

УДК №1392

А.А. Лебеденко, О.М. Трюхан, к.т.н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання безпілотних авіаційних систем для забезпечення логістики в умовах війни

У статті розглядається використання безпілотних авіаційних систем для покращення стратегічної логістики в умовах війни. Оцінюються переваги та виклики, пов'язані з інтеграцією безпілотних апаратів у військові перевезення, а також їхній вплив на ефективність та безпеку логістичних операцій.

В умовах сучасних військових конфліктів стратегічна логістика відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності військових операцій. Сучасні технології, зокрема безпілотні літальні апарати (БПЛА), стали невід'ємною частиною військової інфраструктури, відкриваючи нові можливості для доставки вантажів, виконання розвідки та моніторингу. Завдяки своїм характеристикам, таким як автономність, здатність працювати в умовах обмеженої видимості та високі швидкості, БПЛА стають критично важливими для швидкої та ефективної доставки вантажів у зону бойових дій. Метою статті є дослідження ролі БПЛА в забезпеченні військової логістики, аналіз їхніх переваг та перспектив для подальшого розвитку в умовах війни.

БПЛА поділяються на кілька типів в залежності від ваги та призначення. Мікро-БПЛА (до 5 кг) застосовуються для розвідки на малих відстанях. Міні-БПЛА (5-50 кг) використовуються для більш широких завдань, таких як аерозйомка та моніторинг. Тактичні БПЛА (до 200 кг) призначені для виконання складніших завдань на великих відстанях. Стратегічні БПЛА (більше 200 кг) можуть виконувати довготривалі місії з великими вантажами. Переваги БПЛА для військових перевезень включають високий рівень точності доставки вантажів у складних умовах бойових дій, зменшення ризику для особового складу та здатність працювати в умовах, де традиційні методи транспортування є небезпечними чи неефективними [1]. Використання безпілотних літальних апаратів у військових перевезеннях значно підвищує швидкість, безпеку та ефективність логістичних операцій. Завдяки високій маневреності та автономності БПЛА можуть доставляти стратегічно важливі вантажі, такі як боєприпаси, медикаменти чи продовольство, безпосередньо до зони бойових дій, минаючи небезпечні маршрути. Інтеграція безпілотників із сучасними цифровими системами дозволяє здійснювати точне планування маршрутів, оперативно змінювати напрямки доставки та мінімізувати ризики втрат. Використання електричних або гібридних моделей БПЛА також сприяє зменшенню витрат на пальне та технічне обслуговування, що робить військові перевезення більш економічно ефективними.

У сучасних військових конфліктах БПЛА знайшли широке застосування, зокрема, для розвідки, моніторингу та нанесення точкових ударів по ворожих цілях. БПЛА дозволяють здійснювати операції в складних умовах, де участь пілотів є небезпечною або неефективною. Одним із найбільш

поширених варіантів використання БПЛА є удари по важливих інфраструктурних об'єктах або військових базах за допомогою високоточних керованих ракет. Завдяки своїй мобільності та можливості прихованого виведення на бойові позиції, БПЛА значно збільшують ефективність розвідки та зменшують ризики для наземних підрозділів [2].

В умовах ведення бойових дій безпілотні авіаційні системи відіграють ключову роль не лише в доставці матеріальних ресурсів, а й у їхньому захисті. За статистичними та аналітичними оцінками, орієнтовно половина дронів, що залучені до логістичних операцій, використовується для забезпечення прикриття та оборони вантажів, які транспортуються. Це охоплює як повітряне спостереження за маршрутом, так і протидію диверсійним загрозам, що дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки логістичних ланцюгів в умовах бойового середовища.

Застосування БПЛА підвищує швидкість і безпеку операцій, знижуючи витрати на перевезення. Вони можуть швидко доставляти важливі вантажі в зони, де інші види транспорту не можуть працювати, зменшуючи ризики для персоналу та витрати на техобслуговування. Автономність БПЛА також знижує потребу в людських ресурсах, що підвищує безпеку операцій.

Впровадження безпілотних літальних апаратів у логістичні процеси стикається з рядом викликів, що охоплюють технічні, організаційні, правові та етичні аспекти. Технічні труднощі включають обмежену вантажопідйомність дронів, обмежений час польоту через ємність батареї та складнощі з інтеграцією БПЛА у вже існуючі логістичні системи. Крім того, значним викликом є необхідність розробки точних систем навігації та запобігання зіткненням. Організаційні бар'єри стосуються високих початкових витрат на закупівлю та обслуговування дронів, нестачі кваліфікованих операторів та потреби у зміні традиційних логістичних моделей для ефективного використання безпілотників [3].

Правові аспекти охоплюють відсутність єдиних міжнародних стандартів щодо використання БПЛА, складність отримання дозволів на польоти у міських і стратегічно важливих зонах, а також питання відповідальності у разі аварій. Етичні виклики пов’язані з ризиками вторгнення у приватне життя, використанням дронів для несанкціонованого спостереження та можливими загрозами для безпеки цивільного населення.

БПЛА мають значний потенціал для трансформації військової логістики. Впровадження важких вантажних дронів може суттєво покращити можливості постачання на передовій, зменшуючи ризики для персоналу та забезпечуючи швидке транспортування вантажів у важкодоступні райони . Зокрема, автономні дрони здатні розширити логістичні можливості передових позицій, мінімізуючи ризики для військових, які інакше були б змушені керувати літаками в потенційно ворожому середовищі.

Крім того, технологія роїв дронів демонструє перспективи в забезпеченні безперервного автономного моніторингу, що підвищує здатність виявляти та реагувати на загрози. У великих бойових операціях раннє виявлення є ключовим для виживання сил забезпечення, і використання роїв дронів може значно покращити цю здатність.

Висновки

У результаті дослідження встановлено, що безпілотні авіаційні системи стають важливим елементом трансформації військової логістики. Їх ефективне застосування потребує нових підходів до організації транспортування, адаптації інфраструктури та підготовки фахівців, а також інтеграції з цифровими системами управління.

Отже, подальші дослідження варто зосередити на моделюванні взаємодії між пілотованими і безпілотними засобами, оцінці ризиків, а також розробці стандартів кіберзахисту. Це дозволить максимально ефективно й безпечно використовувати БПЛА в логістиці оборонного сектору.

Список літератури

1. Класифікація, застосування та проблеми дизайну дронів: огляд - М. Хассаналіан, А. Абделькеф
URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0376042116301348
2. Аналіз застосування БПЛА в російсько-українському конфлікті
URL: https://www.airmobi.com/analyzing-the-application-of-uavs-in-the-russia-ukraine-conflict/
3. Дрони для управління ланцюгами поставок і логістики: огляд і дослідницька програма URL: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13675567.2021.1981273

УДК 658.7:656

М.О. Кордяк,
С.І. Гриценко, доктор економічних наук, професор,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Цифрові трансформації в транспортних системах і логістиці

Цифрові трансформації в транспортних системах і логістиці включають використання новітніх технологій для оптимізації процесів. Інтелектуальні транспортні системи, автоматизація та аналіз великих даних дозволяють знижувати витрати, підвищувати ефективність і забезпечувати сталий розвиток галузі, відповідаючи на нові виклики сучасності.

Цифрова трансформація в логістиці є важливим чинником, що змінює традиційні методи управління ланцюгами постачання та розподілом товарів. У зв'язку з швидким розвитком технологій і зростанням вимог до ефективності, точності та швидкості обробки замовлень, компанії змушені адаптуватися до нових умов.

Головною метою цифрової трансформації є підвищення конкурентоспроможності через інтеграцію інноваційних і гнучких бізнес-моделей. Це дозволяє компаніям не лише реагувати на зміни в попиті та ринку, а й активно впливати на їх розвиток, забезпечуючи вищу ефективність і задоволення потреб клієнтів [1].

Покращення ефективності процесів завдяки цифровій трансформації в логістиці є ключовим аспектом, що приносить значні переваги компаніям. Цифрові технології, такі як: автоматизація процесів; інтернет речей; аналітичні системи та великі дані; технології ШІ та машинного навчання; системи кібербезпеки; блокчейн; роботизація; мобільні рішення та системи обслуговування.

Автоматизація логістичних процесів за допомогою цифрових технологій дозволяє знизити помилки, прискорити обробку даних і підвищити ефективність. Інтеграція новітніх систем створює єдину базу даних, оптимізує планування та відстеження вантажів, покращуючи взаємодію з клієнтами та партнерами [2].

Великі дані та аналітика допомагають прогнозувати попит, оптимізувати маршрути та управління запасами, створюючи гнучкі логістичні ланцюги. Технології IoT дозволяють збирати дані в реальному часі, моніторити вантажі та ресурси, підвищуючи ефективність і безпеку.

Штучний інтелект і машинне навчання автоматизують прийняття рішень, знижують витрати і покращують ефективність логістичних операцій. Зі зростанням цифровізації стає важливим захист інформації через технології кібербезпеки.

Блокчейн забезпечує надійність зберігання даних і знижує ризики помилок. Роботизація, разом з автоматизованими системами, підвищує швидкість та точність виконання рутинних завдань, зменшуючи людські помилки та підвищуючи ефективність [3].

Цифрові технології відкривають нові перспективи для логістичного бізнесу, сприяючи його розвитку та формуванню конкурентного ринку. Фахівці виділяють як переваги, так і виклики, пов'язані з цифровізацією цієї галузі.

Основні переваги включають [4]:

1. Підвищення ефективності завдяки автоматизації процесів, зменшенню потреби в людських ресурсах і мінімізації помилок;
2. Зниження витрат через оптимізацію планування маршрутів, управління запасами та економію на паливі;
3. Покращення обслуговування клієнтів і партнерів завдяки відстеженню в реальному часі та поліпшенню комунікації;
4. Забезпечення безпеки та точності за допомогою блокчейн-технологій і сучасних систем контролю та відстеження.

Проте впровадження цифрових рішень також пов'язане з численними викликами та складнощами, які виникають під час трансформації логістичних процесів.

Одним з основних викликів є питання кібербезпеки. Цифровізація вимагає впровадження ефективних безпекових рішень, оскільки автоматизація процесів і нові технології підвищують ризики кібератак і витоків даних.

Інтеграція нових технологій у виробництво потребує навчання персоналу для ефективного використання інструментів, що часто вимагає значних ресурсів і часу.

Іншим викликом є складність інтеграції сучасних рішень в застарілі системи, що може бути технічно непростим завданням, особливо при поступовій цифровізації.

Цифрові технології мають високу вартість і потребують значних інвестицій, при цьому не дають швидкого прибутку, але в перспективі створюють умови для зростання доходів компанії.

Окрім технічних труднощів, цифрова трансформація вимагає зміни корпоративної культури та мислення співробітників. Опір змінам з боку персоналу, особливо у великих логістичних компаніях з усталеними процесами, може гальмувати ефективність впровадження інновацій. Саме тому важливо здійснювати поступове впровадження змін із залученням працівників на всіх рівнях та із роз’ясненням переваг нових підходів [5].

Крім того, варто враховувати необхідність адаптації законодавства та нормативної бази до нових умов функціонування цифрової логістики. Особливо це стосується захисту персональних даних, обміну інформацією між партнерами та контролю за якістю послуг.

В умовах глобалізації цифрові інструменти дають змогу ефективніше керувати міжнародними логістичними операціями, координувати дії у ланцюгах постачання та швидше реагувати на зміни попиту або порушення в постачанні.

Важливим аспектом стає і стійкість цифрових логістичних систем до зовнішніх факторів, таких як політична нестабільність, природні катастрофи чи пандемії. Саме тому сучасні логістичні компанії активно інвестують у

резервні рішення, хмарні технології та децентралізоване управління процесами.

Загалом цифрова трансформація не лише змінює інструменти, а й переосмислює логіку побудови логістичних процесів, надаючи бізнесу нові можливості для розвитку, гнучкості та адаптації до динамічного ринку.

Висновки

Цифрова трансформація в логістиці значно підвищує ефективність процесів, знижує витрати та поліпшує взаємодію з клієнтами і партнерами. Інтеграція новітніх технологій, таких як автоматизація, аналітика, IoT та блокчейн, дозволяє оптимізувати ланцюги постачання, підвищити безпеку та точність даних.

Однак, впровадження цифрових рішень пов'язане з численними викликами, такими як необхідність забезпечення кібербезпеки, інтеграція нових технологій в застарілі системи та потреба в навчанні персоналу.

Цифрові технології також потребують значних інвестицій, а їх вигоди проявляються в довгостроковій перспективі. Незважаючи на це, правильна цифровізація може стати ключем до зростання конкурентоспроможності і ефективності бізнесу в умовах швидко змінюваного ринку.

Список літератури

1. Марінов Є. А., Лісений Є. В. Цифрова трансформація в логістиці. *Економіка та суспільство.* 2024. №66. С.1-8.
2. Цифрові технології у логістиці. URL: https://surli.cc/hslwpd
3. Цифрова трансформація в логістиці: як сучасні технології змінюють галузь. URL: https://surl.li/vcekdt
4. Скіцько В. І. Синергія цифрових технологій в логістичних системах. *Інвестиції: практиката досвід.* 2018. No16. С.18-24.
5. Ачкасова Л. М. Особливості цифрової трансформації транспортно-логістичної системи підприємства. *Економіка транспортного комплексу.* 2024. №43. С. 211-224.

УДК 656.7.084

О.В. Кучмай
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Методи забезпечення авіаційної безпеки в аеропорту

У тезах розглянуто основні методи забезпечення авіаційної безпеки в аеропорту, зокрема контроль доступу, перевірку пасажирів і багажу, використання спеціалізованих технічних засобів та взаємодію служб безпеки. Акцент зроблено на сучасні технології та підвищення ефективності заходів.

Авіаційна безпека — ключовий аспект функціонування сучасних аеропортів, що спрямований на захист цивільної авіації від актів незаконного втручання. Забезпечення безпеки потребує комплексного підходу, що включає нормативно-правову базу, технічне обладнання, організаційні заходи та підготовку фахівців.

Нормативно-правове регулювання авіаційної безпеки в Україні базується на поєднанні міжнародних стандартів та вітчизняного законодавства, що забезпечує надійний захист цивільної авіації від актів незаконного втручання.

Україна є учасником ключових міжнародних конвенцій у сфері авіаційної безпеки, зокрема:

- Конвенція про міжнародну цивільну авіацію (Чикаго, 1944 р.) – визначає основні принципи забезпечення безпеки цивільної авіації.
- Конвенція про злочини та деякі інші акти, вчинені на борту повітряних суден (Токіо, 1963 р.) – регулює питання юрисдикції та заходів щодо правопорушень на борту.
- Конвенція про боротьбу з незаконним захопленням повітряних суден (Гаага, 1970 р.) та Конвенція про боротьбу з актами незаконного втручання проти безпеки цивільної авіації (Монреаль, 1971 р.) – спрямовані на запобігання та покарання за акти тероризму в авіації.

Також сучасні аеропорти впроваджують різноманітні технічні засоби, які сприяють ефективному виявленню потенційних загроз, а саме:

1.Системи контролю доступу (СКУД). Це забезпечує обмеження доступу до критичних зон аеропорту, використовуючи картки доступу, біометричні дані або інші ідентифікаційні методи.

2.Рентгенівські інтроскопи та комп'ютерні томографи застосовуються для огляду багажу та ручної поклажі щодо наявності заборонених речей. Ці системи дають змогу операторам виявляти потенційні загрози без необхідності відкривати багаж.[1]

3.Стаціонарні та портативні металодетектори допомагають знаходити металеві об'єкти на тілі пасажирів. Детектори вибухівки використовуються для виявлення слідів вибухових речовин на пасажирах чи їхніх речах.

4.Біометричні системи, як-от розпізнавання облич або відбитків пальців, гарантують точну ідентифікацію пасажирів і персоналу, збільшуючи рівень безпеки та знижуючи ризик несанкціонованого доступу.

Наступним розглянемо організаційні заходи та підготовку персоналу в системі авіаційної безпеки.

Основні організаційні заходи включають:

• Розробку внутрішніх правил та інструкцій, які регулюють процедури при виявленні підозрілих об'єктів, порушеннях правил безпеки або спробах нелегального втручання.

• Визначення зон з обмеженим доступом (контрольованих, охоронюваних, стерильних), а також організацію контрольних пунктів і маршрутів переміщення для персоналу.

• Розподіл відповідальності між службами безпеки, авіаційною адміністрацією, оператором аеропорту, спецслужбами та правоохоронними органами.

• Постійне оновлення процедур у відповідності до міжнародних стандартів ICAO (Doc 8973), директив Європейської комісії та норм Державної авіаційної служби України тощо.

До основних напрямів роботи з персоналом входить початкова підготовка нових працівників, яка включає теоретичне навчання, практичні заняття та тренінги на обладнанні. Регулярне підвищення кваліфікації відбувається з урахуванням останніх загроз і технологічних новацій. Сертифікація та атестація здійснюються згідно з вимогами авіаційної адміністрації. Не менш важливою є психологічна підготовка, що сприяє розвитку стресостійкості та навичок дій в екстрених ситуаціях. Працівники також беруть участь у навчаннях і симуляціях, що відтворюють сценарії терористичних атак, евакуації та масових заворушень.[2]

Також важливою умовою ефективної авіаційної безпеки є постійна координація між службами аеропорту, авіаперевізниками, поліцією, прикордонною та митною службами.

У сучасних умовах авіаційна безпека постійно зіштовхується з новими викликами, зумовленими як зростанням пасажиропотоку, так і еволюцією загроз: тероризм, кіберзлочинність, спроби незаконного втручання в роботу аеропортів та літаків. Як відповідь на ці проблеми, галузь активно впроваджує інноваційні технології, які не лише підвищують рівень безпеки, а й роблять перевірки менш нав'язливими для пасажирів.

Спочатку розглянемо системи скринінгу нового покоління (Next Generation Screening). Вони дозволяють застосовувати 3D-зображення з високою роздільною здатністю, як у випадку з комп'ютерною томографією (КТ) в медицині, виявляти рідкі вибухові речовини без відкривання пляшок чи контейнерів, автоматично ідентифікувати загрози, де оператор отримує лише сигнал про підозру.

Прикладом є системи компаній Smiths Detection, Rapiscan, Nuctech уже використовуються в аеропортах Лондона, Дубаю, Франкфурта.

Біометричні технології забезпечують автоматизацію процесу ідентифікації пасажирів, а саме:

• впровадження розпізнавання обличчя на пунктах безпеки та при посадці;

• застосування електронних паспортів з чіпами;

• інтеграція біометричних даних із базами прикордонного та митного контролю.

Це сприяє швидшому проходженню перевірок і знижує вплив людського чинника.[3]

З розвитком безпілотних літальних апаратів, зокрема дронів, постала нова загроза для авіаційної безпеки. Незаконне їх використання поблизу аеропортів або на висотах, де вони можуть перешкоджати посадці та злету літаків, стає серйозною проблемою для цивільної авіації.

Щоб протидіяти цій загрозі, авіаційні організації та аеропорти запроваджують системи для виявлення і нейтралізації дронів, які включають радіолокаційні засоби, глушіння GPS і методи перехоплення сигналів безпілотників. Ці системи здатні виявляти дрони на значних відстанях, відстежувати їх переміщення та зупиняти їх діяльність до того, як вони можуть завдати шкоди.

Сеульський аеропорт "Інчхон", наприклад, використовує спеціалізовані системи для перехоплення дронів, що дозволяє ефективно захищати повітряний простір навколо аеропорту. У європейських країнах також активно розвивається інфраструктура для вирішення цієї проблеми, а такі технології, як радіолокація та блокування GPS, стають невід'ємною частиною сучасних засобів авіаційної безпеки. Крім того, важливо зазначити, що дрони можуть не лише становити загрозу, але й бути корисними для підвищення безпеки. Наприклад, вони можуть використовуватися для моніторингу периметра аеропорту, забезпечуючи кращу видимість і захист території.[4]

Незважаючи на переваги, використання біометрії та інших цифрових технологій вимагає високого рівня кібербезпеки. Оскільки авіаційна інфраструктура містить значну кількість чутливих даних про пасажирів і рейси, важливо захистити ці дані від можливої кіберзагрози. Це передбачає використання багатофакторної аутентифікації, шифрування даних і систем моніторингу кіберзагроз, щоб запобігти несанкціонованому доступу до інформаційних систем аеропортів і авіакомпаній.

Висновок

Інноваційні технології в сфері авіаційної безпеки відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійності та ефективності роботи аеропортів і авіакомпаній. Від біометричних систем та автоматизованих рішень до захисту від дронів і забезпечення кібербезпеки — усі ці аспекти не лише підвищують рівень безпеки, але й оптимізують процеси, що є важливими для стабільної роботи авіаційної інфраструктури.

Інноваційні технології в авіаційній безпеці не тільки допомагають зменшити потенційні ризики, а й сприяють розвитку більш захищених та ефективних операцій, покращуючи досвід пасажирів і оптимізуючи

діяльність аеропортів. Проте, з впровадженням нових технологій важливо враховувати значення регулювання та міжнародного співробітництва для успішної інтеграції цих систем у глобальну авіаційну мережу.

Існує постійна необхідність удосконалювати та адаптувати ці технології, оскільки виклики в сфері авіаційної безпеки продовжуються, і лише завдяки інноваційним підходам можна забезпечити високий рівень захисту та безпеки для авіаційної індустрії та її користувачів у майбутньому.

Список літератури

1. Стаття 74. Забезпечення виконання вимог авіаційної безпеки щодо охорони повітряних суден, пожежної безпеки, підтримання пропускного і внутрішнього об'єктового режиму на аеродромах, в аеропортах та на інших авіаційних об'єктах. Протокол. 2025.
2. EUROPEAN CIVIL AVIATION CONFERENCE. ECAC Guidance Material on Security Culture. 2021. ICAO Regional Security Culture Seminar. С. 2–15.
3. IATA. Fact Sheet. IATA. URL: https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet-one-id/.
4. Supporting European Aviation. EUROCONTROL. 2025. URL: https://www.eurocontrol.int/.

УДК 658.7:656

А.С. Помаз
С.І. Гриценко, доктор економічних наук, професор,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оптимізація транспортної логістики на основі супутникового моніторингу

Акцент зроблено на використанні систем GPS-контролю в поєднанні з аналітичними платформами та програмами класу TMS, зокрема MapXPlus. Зазначено, що така інтеграція дозволяє зменшити витрати на перевезення, підвищити ефективність маршрутного планування, здійснювати контроль за технічним станом транспорту та поведінкою водіїв у реальному часі.

Транспортна логістика – найважливіша складова успішного бізнесу. Якщо маршрути побудовані правильно, водіям дано конкретне завдання та контроль за переміщенням транспортного засобу з вантажем ведеться безперервно, то витрати на перевезення можна скоротити на 25 – 35%.

Транспортна логістика вирішує комплекс завдань, пов'язаних з організацією переміщення вантажів та пасажирів транспортом загального користування. Головними з цих завдань є:

– вибір виду транспортного засобу;

– вибір типу транспортного засобу;

– оптимізація транспортного процесу під час змішаних перевезень;

– визначення раціональних маршрутів доставлення;

– забезпечення технологічної єдності транспортно-складського процесу;

– координація транспортного і виробничого процесу [1, с. 308].

В епоху розвитку технологій та комунікацій, найбільш оптимальним вирішенням проблем неефективних вантажоперевезень, пов’язаних з використанням наявних транспортних ресурсів та несумлінною роботою водіїв- експедиторів, буде встановлення програм GPS-моніторингу за транспортними засобами компаній.

Технологія GPS моніторингу є лише однією із складових процесу оптимізації логістики. Якщо GPS-контроль виробляється окремо і не інтегрований у складніші комп’ютерні програми, він втрачає в ефективності і вимагає додаткових витрат часу та фінансів на аналіз ситуації та вироблення управлінських рішень. Дійсна система контролю автотранспорту повинна складатися з GPS моніторингу, блоку автоматичного аналізу, вироблення завдань та контролю їх виконання. Тільки в цьому випадку, особливо за наявності десятків одиниць транспорту, можна побудувати схему, що по-справжньому працює [2].

Основний принцип роботи GPS-моніторингу полягає у використанні супутникових сигналів для точного визначення місцезнаходження транспорту. Системи збирають дані про швидкість руху, відстань, витрати пального та навіть поведінку водія, такі як різкі прискорення чи гальмування. Ці дані передаються у реальному часі на центральну платформу.

Сучасні системи GPS інтегруються з аналітичними платформами та IoT-рішеннями. Наприклад, датчики можуть збирати інформацію про стан техніки, попереджати про необхідність технічного обслуговування або прогнозувати можливі поломки. Це зменшує простої та знижує витрати на ремонт.

Функції реального часу включають прогнозування оптимальних маршрутів з урахуванням трафіку, погодних умов та інших чинників. Водії отримують оновлення у реальному часі, що дозволяє уникати заторів чи закритих доріг. Диспетчери, у свою чергу, мають можливість слідкувати за ефективністю виконання графіків та контролювати поведінку водіїв [3].

На сьогоднішній день почалось широке поширення комплексних систем класу TMS (Transport Management System). Логістичне програмне забезпечення TMS допомагає забезпечити своєчасну доставку товарів шляхом оптимізації вантажів і маршрутів доставки, відстеження вантажів на локальних і глобальних маршрутах, а також автоматизації раніше трудомістких завдань, таких як ведення документації щодо дотримання торговельних вимог і виставлення рахунків за фрахт. Система TMS знижує витрати як для бізнесу, так і для кінцевих споживачів [5].

Якщо підприємство має намір перейти на повноцінний супутниковий моніторинг транспорту, то неминуче доведеться впроваджувати програми типу MapXPlus (рис. 1).

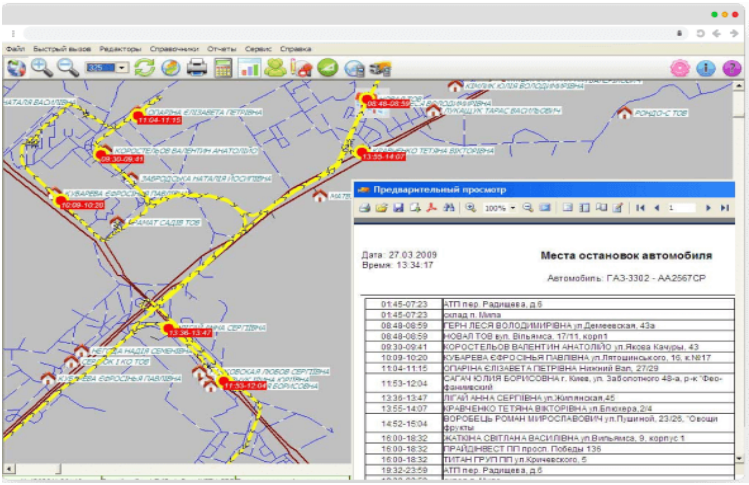


Рис. 1 – Карта GPS-моніторингу в TMS MapXPlus

Це один із продуктів серії transport management system (TMS), які дозволяють:

– швидко оформити замовлення на конкретну машину;

– оформити електронний шляховий лист;

– побудувати оптимальний маршрут з урахуванням даних про клієнта та його бази;

– розрахувати витрати на паливо та обслуговування машини в дорозі;

– простежити рух транспорту на конкретних ділянках транспорту;

– прискорити доставку товару;

– керувати перевезеннями в реальному часі [1].

GPS-моніторинг у TMS MapXPlus дозволяє здійснювати контроль за рухом транспортних засобів у двох режимах: Online та Offline. Для зручності сприйняття є можливість візуалізувати на карті та проводити порівняння фактичного та планового маршрутів, а також їх аналіз на відповідність параметрам руху, відстаням та тимчасовим витратам [3].

Висновки

Супутниковий моніторинг транспорту є ефективним інструментом оптимізації логістичних процесів. Його впровадження дозволяє суттєво знизити витрати на перевезення, підвищити дисципліну водіїв, покращити точність планування маршрутів та контролювати стан техніки в режимі реального часу. Найвищу ефективність система GPS-моніторингу демонструє у поєднанні з аналітичними платформами та комплексами TMS-рішеннями, такими як MapXPlus. Інтеграція таких систем сприяє автоматизації логістичних операцій, оперативному управлінню автопарком та підвищенню загальної ефективності логістики підприємства.

Список літератури

1. Гриценко С.І., Смерічевська С.В., Савченко Л.В. Проєктування логістичних систем. *Навчальний посібник*. К.: НАУ, 2024, 372 с. ISBN 978-966-932-208-1.

2. Оптимізація транспортної логістики. URL: https://microtronic.com.ua/novyny/optimizaciya-transportnoyi-logistiki-za-dopomogoyu-sistem-gps-monitoringu

3. Розумна логістика: Як GPS-моніторинг оптимізує управління автопарками. URL: https://interdalnoboy.com/2024/11/21/rozumna_logstika_jak_gpsmontoring_optimzu_upravlnnja_avtoparkami.html

4. TMS MapXPlus - автоматизація транспортної логістики. URL: https://trans-sys.com/ua/programmy/mapex

5. What is a transportation management system (TMS)? URL: https://www.sap.com/products/scm/transportation-logistics/what-is-a-tms.html

УДК 658.7:656

А.О. Борох
С.І. Гриценко, доктор економічних наук, професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інфраструктура супутникових технологій

Розглянуто значення супутникових технологій у забезпеченні телекомунікацій, навігації, моніторингу клімату, логістичних процесів і сільського господарства. Акцентовано увагу на застосуванні супутникових систем у віддалених регіонах, інтеграції з технологіями AI, IoT, 5G, аналізі космічного й наземного сегментів інфраструктури, діяльності світових операторів супутникового зв'язку.

У XXI столітті супутникові технології стали наріжним каменем глобальної інформаційної інфраструктури. Вони забезпечують не лише міжконтинентальний зв'язок, а й широке охоплення послугами телекомунікацій, навігації, дистанційного зондування Землі та наукових досліджень. Від надання інтернету в гірських селах до управління міжнародними логістичними мережами – супутники є невід'ємним інструментом стабільного функціонування глобалізованого світу.

Сьогодні наше життя вже важко уявити без існування усіх цих складних супутникових мереж. Життя багатьох людей залежить від супутників – адже вони забезпечують зручність перегляду програм цифрового телебачення, а також зв'язок у віддалених районах.

Однак, попри величезну важливість супутників для нашого життя, багато хто з людей вважає, що їхня кількість на орбіті обмежується лише кількома десятками. Насправді ж їх понад чотири тисячі.

Супутники гарантують можливість користуватися великою кількістю сучасних зручностей. Тому дуже важливо розуміти, які ж компанії володіють цими супутниками, підтримуючи їх в робочому стані та забезпечуючи їхнє належне функціонування [1].

Сучасне життя тісно пов'язане з даними, які генеруються, передаються та аналізуються в реальному часі. Саме супутникові системи дозволяють:

– відстежувати зміни клімату та прогнозувати катастрофи;

– координувати авіа- та морський транспорт;

– здійснювати точне сільське господарство через аналіз стану ґрунтів;

– гарантувати безперебійну роботу банківських систем через точну синхронізацію.

В умовах стрімкого розвитку цифрових технологій зростає потреба в:

– високошвидкісному інтернеті – для підтримки IoT, відеозв'язку, дистанційного навчання;

– точному позиціонуванні – особливо в логістиці, будівництві та військовій сфері;

– оперативному зборі та обробці даних – для прийняття стратегічних рішень у режимі реального часу.

Супутникові технології відіграють важливу роль у розвитку Інтернету речей (IoT), особливо в регіонах без наземної інфраструктури. Вони забезпечують надійний зв'язок між пристроями IoT та хмарними дата-центрами, використовуючи VSAT-термінали, супутники на низькій і геостаціонарній орбітах, а також наземні станції спряження. Однак традиційна хмарна модель супроводжується високими затримками та перевантаженням каналів зв'язку. Це спонукає до впровадження туманних і граничних обчислень, які дозволяють обробляти дані ближче до джерела – на терміналах, супутниках або станціях спряження. Це підвищує ефективність та зменшує трафік. Новітні рішення включають супутники-обчислювачі з вбудованими процесорами та орбітальні хмарні центри на геостаціонарній орбіті, які взаємодіють з LEO-супутниками через міжсупутникові канали. Системи StarLink і OneWeb вже підтримують IoT, а LoRaWAN забезпечує енергоефективний зв'язок через кубсати. У майбутньому очікується застосування терагерцового діапазону для швидкісних міжсупутникових з'єднань. Таким чином, супутникова інфраструктура трансформується у гнучку обчислювальну платформу для глобальної IoT-мережі [2].

Українська компанія EOS Data Analytics створює сузір'я супутників EOS SAT, спеціально орієнтоване на потреби агросектора. Ці супутники збирають зображення високої роздільної здатності щодня, що дозволяє отримувати максимально актуальні дані для моніторингу сільськогосподарських угідь.

Супутники дистанційного зондування Землі (Earth Observation, EO) регулярно сканують земну поверхню та передають високоточні знімки. За допомогою цих даних фермери можуть:

– Оцінювати стан рослинності – за індексами NDVI (нормалізований диференційний вегетаційний індекс) можна визначити, де рослини ростуть краще, а де – гірше.

– Виявляти проблеми до їх прояву на поверхні – посуху, дефіцит поживних речовин, шкідників, хвороби.

Завдяки щоденному оновленню даних фермери можуть оперативно приймати рішення, що дозволяє ефективно керувати ресурсами. Аналіз зображень допомагає виявити ділянки з поганим ростом культур, де необхідно скоригувати живлення або вжити заходів проти шкідників. Це забезпечує точне, локалізоване внесення добрив і засобів захисту рослин замість рівномірного, що, у свою чергу, дозволяє суттєво знизити витрати та мінімізувати вплив на екосистему.

Аналізуючи історичні та поточні супутникові дані, системи штучного інтелекту можуть спрогнозувати врожайність окремих ділянок або цілих регіонів. Це дає можливість аграріям:

– Переорієнтувати ресурси (насіння, добрива).

– Планувати логістику збору врожаю.

– Розраховувати економічні показники господарства [3].

В умовах воєнних конфліктів, надзвичайних ситуацій або природних катастроф, супутниковий зв'язок часто є єдиним способом збереження комунікації, координації рятувальних дій та передачі критичної інформації.

Космічна інфраструктура супутникових технологій поділяється на два основні сегменти – космічний і наземний. Перший охоплює різні типи супутників: геостаціонарні, середньо- та низькоорбітальні. Найбільшу популярність сьогодні мають низькоорбітальні супутники (LEO) – завдяки їхній здатності забезпечувати зв'язок із мінімальними затримками та створювати глобальні мережі покриття. Наприклад, компанія Spire Global вже вивела на орбіту понад 100 супутників, які збирають дані з поверхні Землі для клієнтів, серед яких NASA. А компанія Mynaric розробляє оптичні міжсупутникові канали зв'язку (OISL), що забезпечують швидку та безпечну передачу даних без потреби в додатковому державному регулюванні. Такі інновації активно сприяють розвитку сучасної глобальної супутникової інфраструктури. Наземний сегмент включає центри управління, приймальні станції та обчислювальні комплекси, які відповідають за керування супутниками, прийом і обробку даних, а також за їхню інтеграцію з іншими системами. Наприклад, українська компанія EOS Data Analytics використовує наземну інфраструктуру для обробки інформації зі своїх супутників EOS SAT, що допомагає аграріям ефективно контролювати стан сільськогосподарських угідь, зменшувати витрати та краще планувати ресурси.

Передача даних між супутниками та наземними станціями здійснюється через радіочастотні та оптичні канали. Компанія Mynaric розробляє технології оптичних міжсупутникових каналів зв'язку (OISL), які забезпечують високошвидкісну та захищену передачу даних без необхідності додаткового нормативного нагляду. Ці інновації сприяють розвитку глобальної супутникової інфраструктури.

Сучасні супутникові системи інтегрують передові технології, включаючи штучний інтелект, хмарні обчислення та Інтернет речей (IoT). Наприклад, платформа EOSDA Crop Monitoring дозволяє аграріям оптимізувати використання ресурсів та підвищити продуктивність за допомогою супутникового моніторингу. Крім того, супутники відіграють важливу роль у розвитку мереж 5G, забезпечуючи підключення в малонаселених та важкодоступних районах. Інтеграція супутникових систем з наземними мережами розширює можливості зв'язку та сприяє глобальному впровадженню технологій нового покоління.

Розвиток супутникових технологій вимагає міжнародної координації та дотримання правових норм. Це включає регулювання частотного спектру, орбітального простору та забезпечення безпеки інформації. Співпраця між країнами та приватними компаніями сприяє розвитку глобальної супутникової інфраструктури. Зокрема, Український державний центр радіочастот (УДЦР) бере участь у діяльності робочих груп Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), де розробляються нові рекомендації та регуляції, що дозволяє Україні бути на передовій лінії технологічних інновацій та стратегічного планування частотного спектру, включаючи супутниковий зв'язок [4].

До списку з 10 найуспішніших і найпотужніших супутникових операторів станом на 2021 рік відповідно до рейтингу доходів згідно з інформацією на web-сайтах цих компаній входять:

1. SES. Дохід (2021): $14.84 млрд Люксембурзька компанія, заснована в 1985 році. Має понад 70 супутників і надає послуги інтернет-провайдерам, урядам і компаніям у всьому світі.

2. Intelsat. Дохід (2021): $11.22 млрд Американська компанія, заснована у 1962 році. Передавала кадри висадки на Місяць у 1969. Після приватизації в 2001 залишилася одним з лідерів супутникового зв'язку.

3. Eutelsat. Дохід (2021): $3.05 млрд Французька компанія, що працює з 1977 року. Забезпечує зв'язок у Європі, Африці, Азії, Америці та Близькому Сході. Надає мобільні послуги, трансляції тощо.

4. Speedcast. Дохід (2021): $1.92 млрд Австралійська компанія, заснована в 1999 році. Працює в Азії, Європі, Близькому Сході, Африці та надає послуги морському сектору

5. Telesat. Дохід (2021): $1.228 млрд Канадська компанія, створена в 1969 році. Приватизована у 1998. Обслуговує теле- і радіокомпанії та корпоративні мережі.

6. Telespazio. Дохід (2021): $758 млн Італійська компанія (з 1961 року), яка керує супутниками, спостерігає за Землею та забезпечує зв’язок. Допомагала транслювати висадку на Місяць у 1969 році.

7. Globecast. Дохід (2021): $722.3 млн Французька компанія, створена в 1997 році. Надає послуги з передачі та розповсюдження медіа. Має телепорти по всьому світу.

8. Singapore Telecommunications (Singtel). Дохід (2021): $617 млн Найбільший мобільний оператор Сінгапуру. Заснований у 1879 році. Має частки в Optus (Австралія) та Bharti Airtel (Індія).

9. Hispasat. Дохід (2021): $584 млн Іспанська компанія, створена в 1989 році. Обслуговує Європу, Америку і Північну Африку. Має понад 30 млн домогосподарств.

10. Arqiva. Дохід (2021): $526.1 млн Британська компанія, заснована у 2005 році. Забезпечує інфраструктуру для телерадіомовлення у Великій Британії. Має понад 1 500 станцій [1].

Висновки

Супутникові технології стали ключовим елементом сучасної цифрової інфраструктури, забезпечуючи глобальну комунікацію, навігацію, моніторинг та управління ресурсами. Їх інтеграція з AI, IoT і 5G відкриває нові можливості для розвитку сільського господарства, логістики та надзвичайного реагування. Розширення космічного і наземного сегментів, а також участь України в міжнародних ініціативах, сприяють зміцненню позицій країни у глобальному супутниковому просторі.

Список літератури

1. Стаття «15 найбільших супутникових компаній світу». URL: https://mediasat.info/uk/2022/11/18/15-naibilshyx-suputnykovyx-kompaniy-svitu/

2. Космічна інфраструктура інтернету речей. Стан та перспективи розвитку. URL: https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/space/article/view/3148
3. Експедиція XXI. Як супутники допомагають фермерам у роботі. URL: https://expedicia.org/yak-suputniki-dopomagayut-fermeram-u-r/
4. Супутниковий зв'язок, що об’єднує Всесвіт. URL: https://www.ucrf.gov.ua/pres-centr/news/suputnykovyi-zviazok-shcho-obiednuie-vsesvit

УДК 629.73(477):005.336.4(438)

А.В. Мельник, к.геогр.н., доц.
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), Україна
Н.В. Мельник, , к.геогр.н., доц.
(Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника)

Мультимодальні транспортні технології в контексті авіаційної транспортної стратегії України: досвід Польщі

Проаналізовано розвиток мультимодальних транспортних технологій у контексті Авіаційної стратегії України до 2030 року. Розглядається європейський досвід, зокрема Польщі, з акцентом на інфраструктуру, логістику та сталу мобільність. Визначено ключові напрями модернізації авіаційного транспорту та перспективи впровадження інновацій.

Роль авіаційного транспорту у світовій економіці невпинно зростає, що зумовлено як поступом технологій та інноваціями в авіаційній сфері, так і процесами глобалізації та поглибленням економічних і культурних зв'язків між країнами. Розвинена інфраструктура авіаперевезень підвищує інвестиційну привабливість держави й стимулює активність міжнародного бізнесу на її території.

У сфері логістики ЄС визначив наступні конкретні цілі, які спрямовані на стійку мобільність і сталий рух: зменшення залежності від викопного палива – 80 000 вантажівок з нульовим рівнем викидів в експлуатації до 2030 року; введення на ринок вантажних літаків з нульовим рівнем викидів до 2035 року; подвоєння вантажних перевезень залізницею до 2050 року; збільшення внутрішніх водних перевезень на 25% до 2030 року; інвестування у транспортну інфраструктуру в усіх державах-членах ЄС; створення мультимодальної Транс'європейської транспортної мережі та збільшення швидкості перевезень у цій мережі [5].

Сучасна авіаційна галузь характеризується низкою глобальних тенденцій, що визначають її подальший розвиток, серед яких окремо слід відзначити розвиток **мультимодальних транспортних технологій** та інфраструктурних комплексів під різні види транспорту.

Мультимодальні (інтермодальні) перевезення здійснюються різними видами транспорту, такими як залізничний, автомобільний, повітряний і водний. Перевагами мультимодальних перевезень є їхня економічна ефективність, кращі можливості відстеження перевезень на всіх етапах ланцюга постачання, ширший перелік та вища якість логістичних послуг тощо. У 2023 році розмір глобального ринку мультимодальних перевезень досяг 44,78 млрд дол. США. За різними оцінками, у період між 2024 та 2032 роками середньорічний темп зростання даного ринку становитиме приблизно 8,3%; до 2032 року розмір ринку досягне 92,38 млрд дол. США [3].

Стратегія розвитку авіаційного транспорту України до 2030 року (Авіаційна стратегія) визначає основні орієнтири для модернізації галузі,

акцентуючи увагу на впровадженні ефективного державно-приватного партнерства у сфері управління об'єктами авіаційної інфраструктури.

У рамках Авіаційної стратегії окреслено вирішення основних завдань за визначеними напрямами, зокрема напрям 5 передбачає **розвиток мультимодальних перевезень,** забезпечення швидкісного наземного транспортного сполучення між аеропортами та населеними пунктами, створення логістичних центрів та спрощення формальностей. Водночас реалізація цього передбачає усунення наявних проблемних аспектів, які потребують належного вирішення, а саме [1]:

- низькій рівень розвитку інтермодальних, мультимодальних перевезень, транспортної логістики та відсутність відповідних інфраструктурних проєктів;

- невисокий рівень транзитних перевезень, спричинений відсутністю відповідної інфраструктури у регіональних аеропортах, низьким рівнем інтероперабельності, загальним технологічним відставанням (для перевезень вантажів це виражається, зокрема, у направленні вантажопотоків через іноземні аеропорти в обхід України, зменшенні обсягу транзитних перевезень вантажів через Україну);

- відсутність комплексного підходу до реконструкції аеропортів з урахуванням потреб у забезпеченні швидкісного наземного транспортного сполучення між аеропортами та населеними пунктами.

Поява таких технологій як Інтернет речей, автоматизація та штучний інтелект безпосередньо вплине на покращення зв'язності, гнучкості, прозорості, адаптивності та ефективності мультимодальних перевезень. Негативною була динаміка розвитку інтермодальних перевезень лише у 2022 році після повномасштабного вторгнення рф. У цей рік падіння сягнуло 46%. Мультимодальні перевезення в Україні наразі займають незначну частку у загальному обсязі вантажних перевезень [2].

За результатами реалізації Авіаційної стратегії України, серед іншого, передбачено перерозподілення вантажних авіаційних потоків від зарубіжних аеропортів на аеропорти України, в тому числі в рамках проекту Новий шовковий шлях, з відповідним додатковим завантаженням наземної транспортної інфраструктури й розбудови мультимодальних транзитних сполучень через Україну.

У цьому контексті важливим є вивчення практики сусідніх країн, особливо Польщі, в частині організації мультимодальних логістичних систем і використання сучасних технологій.

У Польщі розробляється один із найбільших інфраструктурних проєктів у Європі – Centralny Port Komunikacyjny (CPK). У рамках проєкту біля Варшави буде побудовано новий мультимодальний аеропортовий хаб, який з'єднає його майже з усіма найбільшими містами Польщі за допомогою новозбудованих ліній високошвидкісної залізниці (HSR). Ініціатива узгоджується з баченням Європейського Союзу щодо розвитку мультимодальних перевезень, які оптимізують ефективне використання поїздів, літаків та автомобілів [4].

Ключовим елементом проєкту СРК є запланований мультимодальний транспортний вузол, розташований за 37 км на захід від Варшави. До нього можна буде дістатися майже з усіх найбільших польських міст за 2,5 години в дорозі через мережу залізничних ліній, що постачаються в рамках Залізничної програми СРК. Аеропорт СРК має стати першим "net-zero" (нульовий рівень чистих викидів парникових газів) аеропортом у регіоні після його відкриття. У зв'язку з цим СРК намагається встановити нові стандарти для екологічних аеропортів у всьому світі та служити зразком для наслідування [2].

У 2019 році через польські аеропорти подорожувало майже 50 мільйонів пасажирів, що стало рекордним показником і означало приріст на 6% порівняно з 2018 роком. Однак у 2020 році, внаслідок пандемії COVID-19 та запроваджених обмежень на міжнародні та внутрішні авіаперевезення, пасажиропотік різко скоротився — майже на 34,4 мільйона осіб. У 2022 році кількість пасажирів відновилася до 41 мільйона, а у 2023 році продовжила зростати стабільними темпами.

Варшавський аеропорт імені Шопена є безперечним економічним лідером серед польських аеропортів. У 2019 році, ще до початку пандемії, його пасажиропотік зріс на 6,2% порівняно з 2018 роком, головним чином завдяки діяльності авіакомпанії LOT Polish Airlines, яка перевезла 18,9 мільйона пасажирів. Водночас регіональні аеропорти демонструють динамічний розвиток – спостерігається стабільне зростання пасажиропотоку, а також активне планування інфраструктурних проєктів. Згідно з офіційними даними, польські регіональні аеропорти ідентифікували 210 інвестиційних потреб на загальну суму близько 1 млрд. дол. США, які планується реалізувати у період з 2018 по 2037 рік [2].

Найбільшим проєктом, запланованим у Польщі, є абсолютно новий міжнародний аеропорт, відомий англійською як Solidarity Transport Hub (STH) і польською як Centralny Port Komunikacyjny (CPK). STH є відповіддю уряду на значне збільшення пасажиропотоку в Польщі. Найбільший польський аеропорт імені Шопена наразі не має можливості для розширення. STH зможе обслуговувати 100 мільйонів пасажирів. Згідно з урядовими планами, запуск Центрального транспортного хабу (STH) запланований на 2028 рік, а його орієнтовна вартість становить 9 млрд. дол. США. Це буде найдорожчий інфраструктурний проєкт у Польщі з 1989 року [2].

Метою проекту STH є розширення співпраці між аеропортами та залізницею, де вартість інвестицій буде навіть вищою, ніж вартість самого хабу. Вартість будівництва залізничної мережі, за різними оцінками, становитиме близько 10 млрд. дол. США. За інформацією уряду, транспортний хаб «Солідарність» вже отримав 3,5 млн. дол. США на початкові інвестиції в розвиток залізничної інфраструктури на півдні Польщі. Згідно з даними Міністерства інфраструктури, подорож від центру Варшави до аеропорту займатиме приблизно 15 хвилин, а з інших великих міст Польщі – 2–2,5 години за допомогою високошвидкісної залізниці. Уряд також планує створити систему, яка дозволить пасажирам проходити реєстрацію безпосередньо під час посадки на поїзд. У 2021 році STH підписала контракт на підготовчі роботи для будівництва першої ділянки високошвидкісної

залізниці Варшава–STH–Лодзь, яка рухатиметься зі швидкістю 250 км/год і триватиме приблизно 5 років.

Новий міжнародний хаб STH стане важливим не лише для пасажирів, а й для логістики. PocztaPolska (Польська пошта) оголосила, що компанія побудує Центральний логістичний хаб поблизу аеропорту. Згодом уряд хоче створити навколо аеропорту високотехнологічне розумне місто. У такому місті могло б працювати понад 50 тисяч людей [2].

Висновки. Авіаційна стратегія України до 2030 року визначає мультимодальні перевезення як пріоритетний напрям модернізації транспортної системи. Інтеграція новітніх технологій, розвиток інфраструктури та державно-приватного партнерства мають ключове значення для посилення логістичного потенціалу. Польський досвід, зокрема реалізація проєкту CPK, демонструє ефективний підхід до створення сучасного високотехнологічного мультимодального хабу, що поєднує авіаційні, залізничні та автомобільні перевезення. Він може стати орієнтиром для модернізації транспортної системи України. Перед нашою державою відкривається вікно можливостей – для розвитку інфраструктури, впровадження інновацій та посилення транзитного потенціалу.

"Quo vadis?" – у цьому запитанні закладено вибір стратегічного шляху: чи станемо ми частиною сучасної європейської логістики, чи залишимось на периферії глобального транспортного простору?

Список літератури

1. Авіаційна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: https://mtu.gov.ua/files/Dok_PROEKT/Авіаційна транспортна стратегія 2030.docx.
2. Розвиток мультимодальних перевезень в контексті досягнення цілей європейського зеленого курсу: досвід країн v4 та Румунії, можливості для України. Науково-аналітична записка. URL: https://cutt.ly/Grf1iqpP.
3. Expert Market Research (2024). Global Multimodal Transportation Market Outlook. URL: https://cutt.ly/arf1ulG7.
4. New multimodal infrastructure in CEE region to help EU meet its transport goals. URL: https://cutt.ly/orf1uRT2.
5. The transport and mobility sector. Publications Office of the European Union. URL: https://cutt.ly/nrf1foCu/.

УДК 658.005.5

Т.Г. Разінкіна, О.О. Самойлюк, А.В. Швець
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Адаптація принципів стратегічного менеджменту корпорації TOYOTA у практику українських компаній задля забезпечення сталого розвитку

Досліджується досвід стратегічного управління корпорації TOYOTA та можливості його адаптації в українських компаніях для забезпечення сталого розвитку, підвищення ефективності та конкурентоспроможності в умовах економічної нестабільності й технологічних викликів.

В умовах світових трансформацій в економіці та технологіях у 2025 році компанії змушені адаптувати свої стратегії до нових викликів. Пошук ефективних рішень для стабільного розвитку та підвищення продуктивності стає критичним завданням для підприємств у різних секторах. Однією з найбільш успішних моделей адаптації до швидкозмінюваного ринку є підхід компанії TOYOTA, який поєднує інноваційні методи управління, оптимізацію виробничих процесів та увагу до якості на всіх етапах діяльності. Завдяки впровадженню принципів Lean-менеджменту, системи Kaizen та інших унікальних методів управління, TOYOTA зберігає лідерські позиції в автомобільній галузі та виступає прикладом для наслідування для багатьох світових підприємств.

Аналіз досвіду компанії TOYOTA в контексті її корпоративних стратегій відкриває численні можливості для українських підприємств. Вони стикаються з проблемами низької ефективності, нестабільності та відсутності достатньої інноваційної складової. В Україні багато компаній досі мають виклики, пов'язані з інноваційним відставанням, недостатньою оптимізацією виробничих процесів та обмеженими можливостями для зростання. У таких умовах досвід TOYOTA може стати важливим орієнтиром для розвитку нових корпоративних стратегій, орієнтованих на сталий розвиток, збереження конкурентоспроможності та підвищення продуктивності [1].

TOYOTA впровадила кілька ключових принципів, які дозволяють компанії залишатися лідером на світовому ринку. Серед основних є [2]:

– Lean-менеджмент – методологія, яка передбачає зменшення витрат шляхом оптимізації виробничих процесів, усунення надлишкових етапів та збереження ресурсів;

– Kaizen – постійне вдосконалення всіх аспектів діяльності компанії, включаючи робочі процеси, управлінські стратегії та технології;

– Just In Time – це модель управління запасами, яка сприяє оптимізації виробничих процесів, знижує витрати на зберігання та забезпечує своєчасне постачання матеріалів;

– Toyota Production System – система, яка зосереджена на мінімізації витрат при максимізації якості через інтеграцію людей, технологій і процесів.

Упровадження управлінських підходів TOYOTA дало змогу компанії

досягти стратегічної переваги у глобальному масштабі. У результаті багатоетапної трансформації виробничої та управлінської моделей TOYOTA забезпечила виняткову ефективність внутрішніх процесів і сформувала стабільну конкурентну позицію на світовому ринку. Ключовим результатом впровадження lean-підходу стало зниження витрат на виробництво в середньому на 30% на критичних ділянках ланцюга створення вартості, що досяглося шляхом усунення всіх видів додаткових втрат, зменшення надлишкових запасів, скорочення часу виконання операцій та підвищення загальної гнучкості виробництва. Наприклад, використання системи Kanban забезпечило синхронізацію між виробничими та логістичними підрозділами, що дозволило мінімізувати затримки та дублювання процесів. Крім того, завдяки систематичному впровадженню Kaizen, концепції постійного вдосконалення, у TOYOTA було створено організаційну культуру, яка сприяє залученню працівників усіх рівнів до оптимізації процесів, що забезпечило зростання продуктивності та підвищення якості продукції без збільшення витрат. Згідно з внутрішніми звітами компанії, рівень браку на ключових виробничих лініях знизився на понад 50% за перші три роки після системної інтеграції lean-принципів. Варто також відзначити, що стратегія Just-in-Time дала змогу TOYOTA значно скоротити логістичні витрати та уникнути накопичення надлишкових ресурсів. За рахунок цього було досягнуто високого рівня оборотності складських запасів, а також швидкої реакції на зміну ринкових умов [3].

Становлення ефективної корпоративної стратегії в українських реаліях стикається з рядом структурних та системних бар'єрів, які суттєво знижують конкурентоспроможність національних підприємств і гальмують їх інтеграцію у глобальні ланцюги створення вартості. Більшість українських підприємств функціонують на застарілій технічній базі, яка не відповідає вимогам сучасного високопродуктивного виробництва. Згідно з аналітичними звітами Державного комітету статистики та дослідженнями ЄБРР, рівень впровадження технологій Індустрії 4.0 в Україні залишається критично низьким: лише близько 12–15% промислових підприємств активно використовують автоматизовані системи управління виробництвом, що створює високі втрати на етапах логістики, обліку, планування та операційного контролю, що знижує загальну ефективність бізнес-процесів. Також український ринок характеризується значною макроекономічною нестабільністю, яка проявляється в частих валютних коливаннях, непередбачуваності державної регуляторної політики та відсутності довгострокових гарантій інвестиційної безпеки. Такі умови унеможливлюють стабільне стратегічне планування і змушують підприємства працювати в режимі постійного реагування, а не проактивного розвитку. У таких умовах особливо актуальною є потреба у впровадженні систем гнучкого управління, здатних до швидкої адаптації – саме такий підхід був реалізований компанією TOYOTA у межах системи Just-in-Time та концепції «бережливого виробництва». На багатьох українських підприємствах досі переважає адміністративно-командна модель управління з жорсткою ієрархією, недостатнім делегуванням повноважень і слабким зворотним зв’язком з працівниками. Відсутність розвинених систем внутрішньої мотивації, прозорих

KPI та практик безперервного навчання персоналу призводить до зниження продуктивності, високої плинності кадрів і низького рівня залученості в процеси оптимізації. Контрастом до цього виступає філософія Kaizen, яка передбачає залучення кожного працівника до покращення процесів, створення «культури пропозицій» і підтримку ініціатив на всіх рівнях управління [4], [5].

Застосування управлінських принципів TOYOTA у діяльності українських компаній може стати основою для глибокої трансформації бізнес-моделей та досягнення стійкого розвитку в умовах високої економічної турбулентності. Центральною складовою цього досвіду є Lean-методологія, яка базується на системному усуненні всіх видів втрат і нераціональних витрат на усіх рівнях функціонування компанії. Завдяки чітко структурованим підходам до організації виробничих, логістичних і постачальницьких процесів, українські підприємства можуть суттєво скоротити непродуктивні витрати, мінімізувати простої, оптимізувати використання ресурсів та підвищити загальну ефективність операційного управління. Це особливо актуально для компаній, що функціонують у середовищі постійних змін, обмежених бюджетів і нестабільного попиту. Не менш вагомим є впровадження філософії Kaizen, що втілює ідею безперервного вдосконалення через залучення всіх працівників до процесу зміни і покращення. Даний підхід змінює саму управлінську парадигму – від ієрархічної до інтегративної, де кожен член команди не лише виконує інструкції, а активно бере участь у виявленні неефективностей і формуванні рішень. Для українських компаній це означає можливість налагодження внутрішнього діалогу між підрозділами, формування культури відповідальності на всіх рівнях та підвищення організаційної гнучкості у відповідь на зовнішні виклики. У практичному вимірі Kaizen забезпечує постійне підвищення якості продукції, скорочення термінів виконання завдань і зниження витрат без втрати функціональності або продуктивності. Окрім цього, цифровізація як інструмент автоматизації управлінських і виробничих процесів, що активно використовується в TOYOTA, також повинна стати стратегічним пріоритетом для нашого українського бізнесу. Інтеграція ERP-систем, платформ для управління логістикою, систем моніторингу виробництва в реальному часі та аналітичних модулів дозволяє створити єдину інформаційну екосистему, яка забезпечує контроль, прогнозування і прозорість діяльності на всіх рівнях. В умовах, коли оперативне ухвалення рішень має критичне значення, такі технології не лише знижують ризики, пов’язані з людським фактором, а й створюють умови для масштабування бізнесу та підвищення його стійкості до зовнішніх змін. Саме в такій інтеграції ідеології TOYOTA та сучасних цифрових інструментів полягає потенціал якісного прориву українських компаній у сфері ефективного менеджменту [6].

Втілення принципів TOYOTA в українському бізнесі збільшить його ефективність та сприятиме сталому розвитку через реалізацію таких аспектів:

– екологічна відповідальність: TOYOTA активно працює над зниженням свого екологічного сліду, застосовуючи екологічно чисті технології, а впровадження подібних ініціатив в Україні допоможе підприємствам зменшити вплив на навколишнє середовище та знизити витрати на енергоресурси;

– соціальна відповідальність: принципи управління людьми в TOYOTA

орієнтовані на розвиток персоналу і створення сприятливого робочого середовища – це допоможе підприємствам нашої держави залучити та утримати талановитих працівників.

Таким чином, застосування принципів TOYOTA в Україні дозволить компаніям підвищити свою ефективність та сприяти сталому розвитку, враховуючи екологічні та соціальні аспекти (табл.1).

Таблиця 1

Порівняння аспектів соціального впливу TOYOTA та вітчизняних компаній

Показник	TOYOTA	Українські компанії
Ефективність виробництва	Висока продуктивність, низькі витрати	Часто низька продуктивність
Інновації	Постійний розвиток технологій	Обмежене використання інновацій
Корпоративна культура	Система Kaizen та мотивації	Майже відсутні системи мотивації
Екологічність	Впровадження еко-технологій	Недостатня увага до екології

Джерело: побудовано авторами на основі [4]

Висновок

Адаптація досвіду компанії TOYOTA до реалій українського бізнесу є надзвичайно перспективним напрямком для досягнення сталого розвитку. Впровадження принципів Lean-менеджменту, Kaizen, JIT та інших аспектів корпоративної стратегії TOYOTA дозволить українським компаніям підвищити свою конкурентоспроможність, скоротити витрати та забезпечити стабільний розвиток. В умовах сучасної економічної ситуації в Україні такі практики можуть стати ключовими для досягнення успіху та зростання на ринку. Для подальших досягнень і розвитку важливо продовжувати вивчати досвід міжнародних лідерів, таких як TOYOTA, і адаптувати їхні стратегії до умов українського бізнесу.

Список літератури

1. Історія створення автомобільного бренду Toyota.URL: http://miuki.info/2012/08/istoriya-sozdaniya-avtomobilnogo-brenda-toyotatojota.
2. Філософія Toyota: 14 принципів роботи злагодженої команди. URL: https://censor.net/m3030359.
3. Офіційний сайт Toyota Motor Corporation. URL: https://global.toyota/en.
4. Аналітика українських компаній. URL: https://catalog.youcontrol.market.
5. Міністерство економіки України. (2024). *Огляд стану промисловості України*.URL: www.me.gov.ua.
6. Виробнича система Тойота. URL: https://toyota-bt.com/ua/materials/toyota-production-system.

UDC 656.025.4

H.H. Volkovska, senior lecturer, M. Varlamova, Y. Maiko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Challenges of organizing multimodal transportation under wartime conditions in Ukraine

The 2022 Russian invasion severely disrupted Ukraine's transport systems — maritime, rail, road, and air — damaging infrastructure and supply routes. Yet, Ukraine has shown resilience, adapting its logistics through increased multimodal transport use, ensuring mobility and trade continuity despite the national security and economic challenges.

Impact of War on Transport Modes:

Maritime Transport. Before the war, over 90% of Ukraine's exports—especially grain and metals—moved through Black Sea ports such as Odesa, Mykolaiv, and Chornomorsk. The invasion led to naval blockades, missile strikes, and the occupation of ports like Mariupol, halting sea-based logistics. The Black Sea Grain Initiative briefly reopened limited sea routes, enabling the export of over 32 million tons of agricultural goods, but was terminated by Russia in mid-2023. In response, Ukraine established an alternative corridor through Romanian and Bulgarian waters, moving about 7 million tons of cargo in late 2023. Simultaneously, Danube ports like Izmail and Reni increased throughput sixfold compared to pre-war levels [1].

Rail Transport. With maritime routes disrupted, Ukrainian Railways (UZ) became the primary channel for domestic and export cargo. Rail accounted for approximately 62% of all freight in 2023. UZ not only handled grain and metals but also evacuated over 3.7 million civilians, restored destroyed tracks, and established new EU-facing corridors. The reopening of the Berezyne–Basarabeasca line and the development of dry ports near borders helped reroute exports via Romania, Poland, and the Baltic. However, infrastructure damage, broad gauge incompatibility with EU rails, and rolling stock shortages remain major obstacles [2].

Road Transport. Trucking became a critical fallback, especially for cross-border deliveries. Between 2022–2023, road traffic at western borders increased by over 50%, with Poland serving as a primary exit corridor. However, over 26,000 km of roads and 300 bridges were damaged by hostilities. Long queues at border checkpoints, driver shortages, and fuel supply crises complicated road logistics. Protests and grain import bans in neighboring EU countries further delayed shipments [3].

Air Transport. Civil aviation in Ukraine ceased entirely in February 2022, with airspace closed and airports either damaged or repurposed for military use. At least 19 civilian airports have been affected, including Kyiv Boryspil and Hostomel. As a result, time-sensitive air cargo was rerouted via Poland or Romania. The air logistics sector will require significant post-war recovery investment [4].

Multimodal transport—the use of multiple modes for a single shipment — became essential for maintaining Ukraine's export capacity. Typical combinations include rail-to-sea via Constanţa or Gdańsk, or rail-to-barge-to-sea through the Danube. The EU's "Solidarity Lanes" initiative facilitated this adaptation by funding rail connections, simplifying customs procedures, and lifting restrictions on cross-border trucking. Thanks to these efforts, Ukraine maintained grain exports at 4–5 million tons per month by late 2023 [5].

Multimodal logistics also offered flexibility. When one route was blocked, cargo could be rerouted via another mode. Container traffic, previously dependent on Odesa ports, shifted to rail links with Baltic and Polish ports.

These networks, although more complex and expensive, enabled the survival of Ukraine's export economy during wartime.

Key Logistical Challenges and Possible Solutions. Despite successful adaptation, several critical issues remain:

1. Infrastructure Damage Total damage to Ukraine's transportation infrastructure exceeds $38.5 billion, including destroyed roads, railways, bridges, tunnels, airports, and logistics hubs. The eastern and southern regions are especially affected.

Solutions: Prioritize the reconstruction of critical infrastructure with support from international donors (EU, World Bank, JICA), apply modern "build back better" technologies to ensure infrastructure is more resilient to future attacks, engage private investors through public-private partnerships (PPP).

2. Railway Gauge Incompatibility. Ukraine uses a 1520 mm gauge, while most EU countries use 1435 mm. This requires either transloading at borders or time-consuming bogie exchanges, slowing down freight movement.

Solutions: Construct dual-gauge tracks on key routes such as Lviv–Poland and Chernivtsi–Romania, expand the use of automated bogie exchange systems (e.g., SUW 2000, Rafil Type), develop container terminals and dry ports with efficient transloading capabilities.

3. Border Bottlenecks. Limited capacity and outdated infrastructure at EU border checkpoints cause significant delays and queues, especially during peak export periods.

Solutions: Modernize and expand existing checkpoints (e.g., Yahodyn, Krakovets, Uzhhorod), establish new international logistics hubs at the borders, digitize customs clearance (single window, electronic declarations), integrate with the EU's New Computerised Transit System (NCTS).

4. Lack of Multimodal Regulation Ukrainian legislation lacks a unified legal framework for organizing multimodal transport chains, complicating coordination and operational efficiency.

Solutions: Adopt a multimodal transport law harmonized with EU standards (e.g., Regulation 2020/1056), define the legal status and responsibilities of multimodal operators, introduce digital logistics standards, including electronic transport documents.

5. Security Risks and Insurance. Ongoing attacks on transport infrastructure significantly raise insurance premiums. Many international insurers are reluctant to cover operations in Ukraine.

Solutions: Establish a state-backed logistics risk insurance fund, provide insurance subsidies to both Ukrainian carriers and foreign companies delivering to/from Ukraine, implement war risk coverage supported by international financial institutions (e.g., EBRD, MIGA).

The pie chart shows the distribution of the severity of logistical challenges in Ukraine.

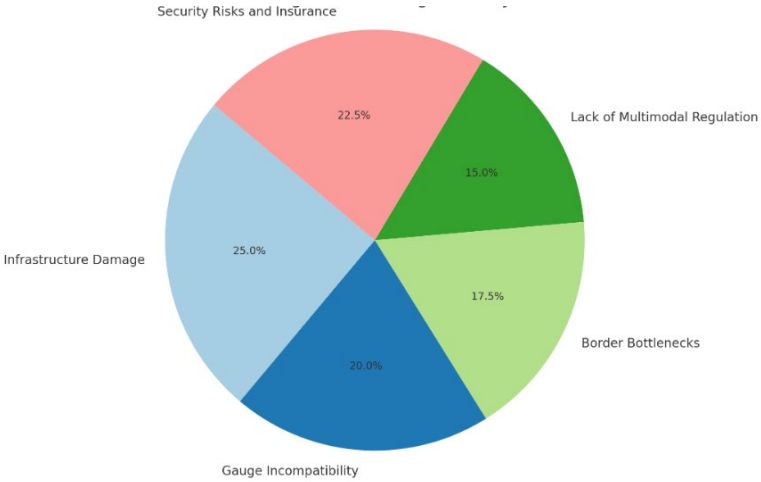


Fig. 1. Distribution of the criticality of logistical problems in Ukraine

Conclusions

The Ukrainian transport sector has shown extraordinary resilience under extreme conditions. Multimodal logistics, though initially a forced solution, proved to be a vital strategy. Moving forward, Ukraine should: Expand and institutionalize alternative export corridors, especially via the EU and Danube; prioritize infrastructure repair and modernization; align logistics regulations with EU standards; invest in digital systems and workforce training; develop permanent multimodal hubs near western borders.

If these steps are implemented, Ukraine can transform its wartime logistics innovations into a modern, EU-integrated system that will serve the country long after the war ends.

References

1. GMK Center. “Danube ports: how to save an important logistics route.” Feb 2025. https://gmk.center/en/posts/danube-ports-how-to-save-an-important-logistics-route/
2. Foreign Policy. “Amid War With Russia, Ukraine Is Expanding Its Railways in Europe.” July 2024. https://foreignpolicy.com/2024/07/04/ukraine-trains-railways-transit-war-russia-europe/
3. GMK Center. “How the Russia-Ukraine war has impacted on logistics routes.” July 2024. https://gmk.center/en/posts/how-the-russia-ukraine-war-has-impacted-on-logistics-routes-and-supply-chains/
4. CSIS. “Ships, Trains, and Trucks: Unlocking Ukraine’s Trade Potential.” April 2024. https://www.csis.org/analysis/ships-trains-and-trucks-unlocking-ukraines-vital-trade-potential
5. European Commission. “EU–Ukraine Solidarity Lanes.” 2023. https://transport.ec.europa.eu/ukraine/eu-ukraine-solidarity-lanes_en
6. Kyiv School of Economics. “Damage to Ukraine’s Infrastructure.” Feb 2025. https://kse.ua/about-the-school/news/damages-to-ukraine-s-infrastructure-due-to-the-war-have-risen-to-170-billion-kse-institute-estimate-as-of-november-2024/

UDC 656.7

V.H. Hrabchak
A.O. Antonova, PhD, Professor
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Statistical analysis of the recovery of passenger transportation by Wizz Air airline for 2022–2024

The paper presents a statistical analysis of Wizz Air's passenger traffic recovery for 2022–2024, focusing on changes in market share, CO_2 emissions, and flight dynamics, with consideration of technical and geopolitical factors.

Today, the aviation market is rapidly evolving and restructuring due to demand, increasing competition, and the need to optimize costs. Low-cost airlines have a significant impact on the dynamics and structure of air transportation, offering a wide range of routes and services at affordable prices.

This study presents an analysis of the operations of one of Europe's low-cost carriers – Wizz Air, which operates in Central and Eastern Europe as well as the Middle East, over the period 2022-2024. Wizz Air's share in the European market was determined after comparing operations with its main competitors, Ryanair and EasyJet. [1; 2]

The presented data clearly demonstrate how Wizz Air's market share has been steadily growing, although the airline still has the lowest figures among the three competitors.

Table 1

Airlines Passenger Traffic and Proportional Share

	Number of passengers carried, millions			Share by airline, %		
	EeasyJet	Wizz Air	Ryanair	EasyJet	Wizz Air	Ryanair
2024	89,7	62,7	197,1	20	13	46
2023	82,7	55,5	169,9	24	16	49
2022	69,7	45,7	160,4	26	18	56

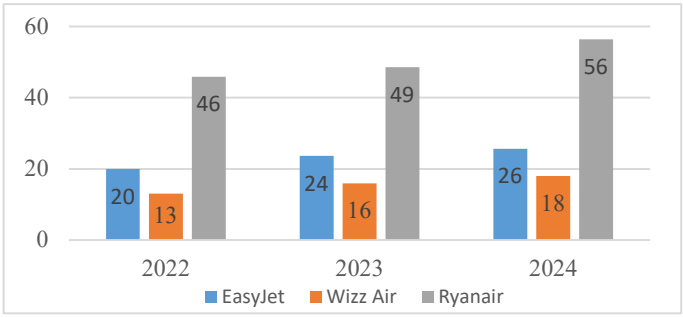


Fig. 1. Airline Passenger Transportation Share, %

The 2023 study [3] shows these three carriers ranked among the top European airlines with the highest CO_2 emissions. Wizz Air placed 8th overall and had the lowest position among the selected airlines.

Despite significantly lower total emissions (4.5 Mt), Wizz Air demonstrated the highest increase compared to the pre-COVID year 2019 — nearly 40%. This figure is almost double that of Ryanair's growth, even though Wizz Air operates at one-third of Ryanair's scale, which indicates a rather concerning trend.

Table 2

CO_2 Emissions Analysis of Leading European Low-Cost Airlines

Airline	CO_2 emissions 2023, Mt	CO_2 emissions growth since 2019, %
Ryanair	14.9	+23%
easyJet	6.9	-13.4%
WizzAir	4.5	+39.7%

Wizz Air experienced a noticeable decrease in the number of flights operated in 2023, with a 14% decline in Central and Eastern European (CEE) countries and a 13% drop in other European countries. Several factors contributed to this decline, with the primary reason being the airline's need to send part of its fleet for engine inspections due to potential microscopic cracks. This issue was reported by the manufacturer of the engines used in Airbus aircraft, which comprise Wizz Air's entire fleet. The decrease in transportation performance and the number of flights operated was anticipated. While a 10% reduction had been forecast, the actual decline was even greater. This was not only due to the engine issues but also influenced by the conflict in the Middle East. [4; 5]

Table 3

Flights operated by regions

	F24	F23	Change %
From Central and Eastern Europe (CEE) countries	644	749	-14%
From other European countries	241	277	-13%
From Gulf Cooperation Council (GCC) and Middle East countries	39	31	+26%

The graph represents the distribution of flights operated by region. Central and Eastern Europe accounts for the largest share of the airline's operations.

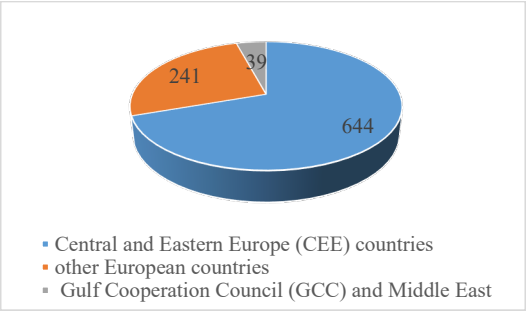


Fig. 2. Wizz Air flights by regions | March 2024

According to the airline's reports, as of the 24th fiscal year, the aircraft load factor is still below the pre-COVID-19 level. However, it is rapidly increasing each year, with the rate rising by 12.1% from F22 to F24. [6]

Table 4

Wizz Air Load Factor by Fiscal Year

	F24	F23	F22	Change, % 2024 vs 2019
Load Factor, %	90.1	87.8	78	-2.9%

According to the report, the company plans to increase its aircraft load factor to 95 percent by 2030: “Our mid- to long-term goal is to reach 95 percent load factor on our aircraft.” [6]

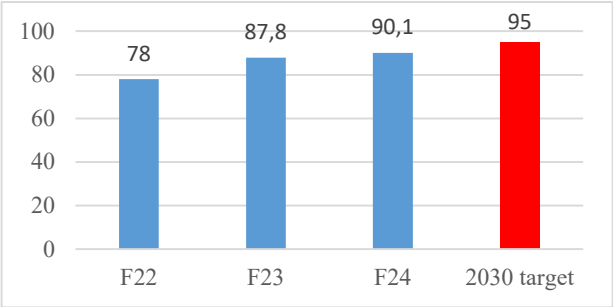


Fig. 3. Wizz Air Load Factor, %

Conclusion

Wizz Air continues to grow in the market, increasing its share, although it still has the lowest performance among competitors. Despite challenges, such as a decline in the number of flights due to technical issues and geopolitical factors, the

airline has achieved a steady improvement in load factor and plans to increase it to 95% by 2030.

References

1. Wizz Air. Information & Services. Traffic statistics. – URL: https://www.wizzair.com/en-gb/information-and-services/investor-relations/investors/traffic-statistics ;
2. Ryanair Official web-site Facts and figures, Key statistics. – URL: https://corporate.ryanair.com/facts-figures/key-stats/ ;
3. Transport&Environment. Briefing *Above the clouds: European aviation emissions in 2023.* – 2023. – P 11. URL: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/Europe_Aviation_2023_file-1.pdf ;
4. Wizz Air Holdings PLC, Annual reports and accounts F24. – 2024. – P 246. URL: https://www.wizzair.com/cms/api/docs/default-source/downloadable-documents/corporate-website-transfer-documents/annual-reports/wizz_air-annual-report-and-accounts-f24_web.pdf ;
5. Reuters. *Wizz Air says 40 planes to stay grounded through fiscal 2026 amid engine woes.* 2024 April 4. – URL: https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/wizz-air-says-40-planes-stay-grounded-through-fiscal-2026-amid-engine-woes-2024-12-31/?utm_source=chatgpt.com ;
6. Wizz Air. Information & Services. Annual reports. – URL: https://www.wizzair.com/en-gb/information-and-services/investor-relations/investors/annual-reports ;

UDC 656.13:656.08

M.O. Moroziuk
O.K. Katerna, Ph.D. in Economics, Associate Professor
(State university "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Prospects for the development of multimodal transportation in Ukraine

The paper explores the prospects for the development of multimodal transportation in Ukraine, considering European integration and the growth of foreign trade. It analyzes key advantages, challenges, and directions for improving logistics infrastructure to ensure the efficient operation of multimodal transport systems.

Multimodal transportation, which combines two or more modes of transport—such as road, rail, sea, or air—has become an essential component of modern logistics systems. Its efficiency depends on various factors, including infrastructure development, coordination between transport modes, regulatory frameworks, and technological integration.

One of the key advantages of multimodal routes is their ability to optimize time and cost. By selecting the most suitable mode for each segment of a journey, companies can reduce delivery times and fuel consumption. For example, long-distance freight is often more economical and environmentally friendly by rail or sea, while trucks are more suitable for last-mile delivery. This flexibility enhances the overall efficiency of supply chains.

Moreover, multimodal transportation can improve reliability by minimizing the risk of delays caused by congestion or adverse weather conditions affecting a single mode. Well-planned multimodal networks offer alternatives in case of disruption, increasing resilience.

In the context of Ukraine, the efficiency of multimodal routes is gradually improving due to investments in logistics hubs, seaports, and rail networks. The development of dry ports and intermodal terminals facilitates smoother transitions between transport modes. Integration with the European TEN-T network and digitalization initiatives also contribute to faster processing and tracking of goods.

However, challenges remain. Inefficient border crossing procedures, outdated infrastructure, and lack of coordination between operators can reduce the overall effectiveness of multimodal solutions. Addressing these issues through policy reforms, modernization efforts, and public-private partnerships is essential.

- Prospects for the development of multimodal transportation in Ukraine in the context of European integration and growth of foreign economic activity.

Multimodal transportation is becoming increasingly important in modern logistics, especially in the context of globalization and the growth of international trade. For Ukraine, which is actively integrating into the European transport space, the development of multimodal transportation is strategically important.

European integration processes stimulate the modernization of transport infrastructure, harmonization of the regulatory framework with EU requirements, and

the implementation of digital solutions in the field of logistics. Ukraine's connection to the TEN-T network (Trans-European Transport Network) opens up new opportunities for the effective combination of rail, road, sea, and air transport into a single logistics chain.

The growth of foreign economic activity, in particular the export of agricultural products, metallurgy, and mechanical engineering products, requires reliable and fast logistics solutions. Multimodal transportation allows you to optimize costs and delivery time, reducing dependence on one type of transport.

The development of multimodal hubs, intermodal terminals, dry ports, and the modernization of seaports (in particular, in Odessa, Chornomorsk, and Pivdenny) contributes to more efficient cargo movement. At the same time, challenges remain: bureaucratic barriers at the borders, lack of infrastructure in inland regions, and the need for better coordination between operators.

- Advantages of multimodal transport

Multimodal transport provides a number of competitive advantages. Firstly, it helps to optimize logistics costs by combining modes of transport, especially for long-distance routes. Secondly, it reduces cargo delivery times by reducing downtime and effectively planning logistics chains. The flexibility of routes allows you to adapt to changing conditions, such as seasonal restrictions or force majeure situations. In addition, reducing the load on roads has a positive effect on the environmental condition and reduces the cost of maintaining road infrastructure.

- Key Challenges

Despite its advantages, the development of multimodal transport faces a number of significant challenges. Ukraine’s logistics infrastructure remains underdeveloped, particularly in terms of intermodal terminals and modern logistics hubs. Coordination between modes of transport is limited, leading to delays and inefficiencies. Customs procedures and bureaucratic barriers remain complex, hindering the rapid movement of goods. The technical base, including rolling stock, also needs to be upgraded, and access to investment in this area is limited.

- Areas for improvement

To ensure the full functioning of multimodal transport in Ukraine, a number of measures must be taken. First of all, modernize the logistics infrastructure: upgrade seaports, develop intermodal terminals, create national logistics centers. It is also important to implement digital solutions for data exchange between participants in the logistics chain and simplify customs control. It is necessary to stimulate public-private partnerships, create favorable conditions for investors, and train qualified personnel for a new model of transport logistics.

Conclusion

The development of multimodal transport in Ukraine is a strategically important factor for the formation of a modern, competitive and integrated transport and logistics system capable of ensuring effective functioning at the national and international levels. In the context of European integration and growing volumes of foreign economic activity, it is multimodal transportation that is becoming the basis for sustainable logistics ties with the countries of the European Union and Asia.

The presence of an extensive network of seaports, railway and road corridors creates the potential for the transformation of Ukraine into a transit platform between the East and the West. However, without the appropriate level of logistics infrastructure, process automation, integration of digital technologies and coordination between all modes of transport, this potential remains unrealized.

An important task is not only the modernization of physical infrastructure, but also the creation of regulatory and legal conditions for attracting investment, reducing administrative barriers and harmonizing logistics standards with European ones. The successful implementation of such measures will allow Ukraine not only to increase transportation efficiency, but also to strengthen its position as a logistics hub of Eastern Europe, which opens up new opportunities for export, transit and international cooperation.

Therefore, further improvement of logistics infrastructure is not just a matter of time, but a necessary condition for sustainable economic development, integration into global logistics networks and increasing the competitiveness of Ukrainian business in the world market.

References

1. Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine. (2023). National Transport Strategy of Ukraine 2030. https://mtu.gov.ua
2. European Commission. (2022). EU–Ukraine Solidarity Lanes – Progress Report. https://transport.ec.europa.eu
3. World Bank. (2021). Transport and Logistics in Ukraine: Challenges and Opportunities. Washington, D.C.
4. Семенов, В. І., & Ковальов, С. О. (2020). Мультимодальні перевезення в системі міжнародної логістики. Вісник Транспортної Академії України, 38, 51–57.
5. Козак, А. А. (2021). Логістична інфраструктура України в умовах євроінтеграційних процесів. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Економіка, 2(66), 145–149.
6. Державна служба статистики України. (2023). Звіт про вантажні перевезення всіма видами транспорту. http://www.ukrstat.gov.ua

UDC 629.7.014-519:656.073.28(043.2)

S. Pron, Ph.d., associate professor,
I. Herasymenko, Ph.d., associate professor, K. Payanok,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv)

Recovery of Air Traffic in Europe and the Impact of Flight Delays on Air Transport Efficiency

The article analyzes the trends of recovery of aviation traffic in the EU after the COVID-19 pandemic and identifies the main factors that affect the efficiency of air transportation. It is determined that, despite the approach to the pre-crisis level of traffic, the problem of flight delays remains relevant due to staff shortages, airspace congestion and infrastructure constraints.

An analysis of the source [1] between 17 and 23 March 2025 shows that the average number of daily flights in Europe was 26,592, up 3% from 2024. The indicators confirm the gradual recovery of the aviation sector, as the traffic level reached 96% of the 2019 level. Figure 1 shows that most flights were recorded in the UK and Spain, which reflects the important role of these countries in the European aviation network. Poland shows steady growth, exceeding the level of 2019 by 14%.

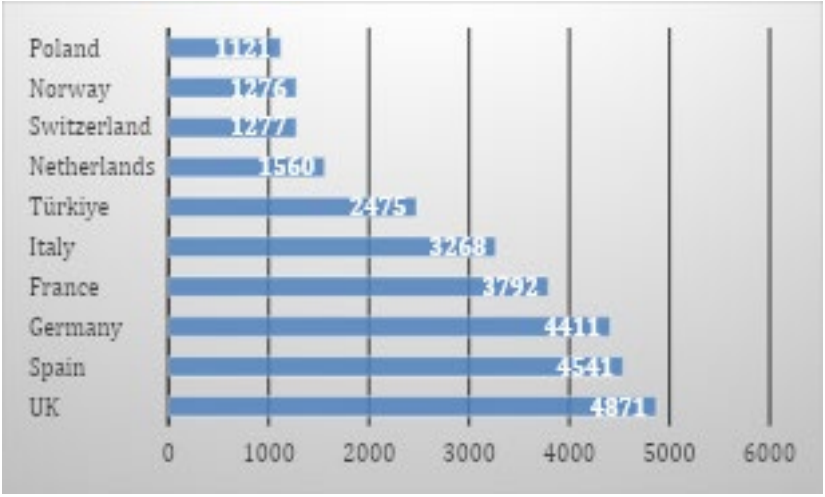


Figure 1. Number of daily flights across European countries between 17 and 23 March 2025

Analyzing the dynamics data, which are presented in Fig. 2. it is noticeable that in 2019, before the COVID-19 pandemic, the level of aviation activity remained consistently high - more than 30 thousand flights per day, with typical seasonal growth in spring and summer. In 2020, the trajectory changes dramatically: in March-April,

the operation of aviation flights decreased to a minimum due to quarantine restrictions. Restoration postuvo began in the middle of the year, but to the previous level never returned.

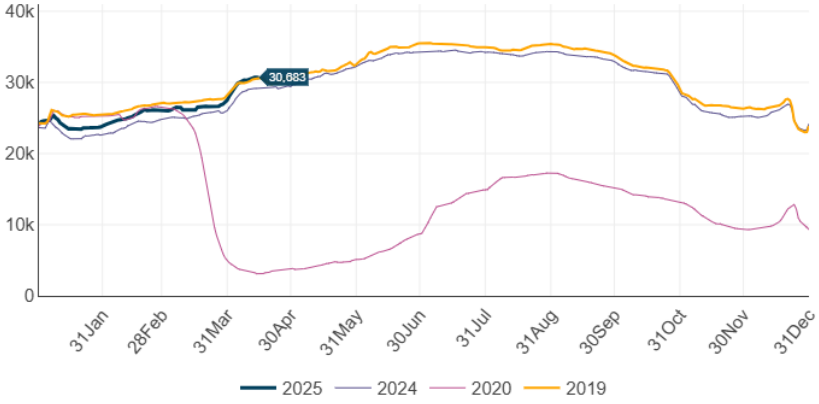


Figure 2. Dynamics of the average number of daily flights in Europe during 2019-2025 [1].

Analyzing the dynamics data, which are presented in Fig. 2. it is noticeable that in 2019, before the COVID-19 pandemic, the level of aviation activity remained consistently high - more than 30 thousand flights per day, with typical seasonal growth in spring and summer. In 2020, the trajectory changes dramatically: in March-April, the operation of aviation flights decreased to a minimum due to quarantine restrictions. Recovery gradually began in the middle of the year, but to the previous level never returned.

The gradual recovery of aviation traffic to pre-crisis indicators is traced in 2024-2025. Graph lines over the years are moving very close to the 2019 curve, showing seasonal fluctuations, but without significant subsidence. 2025 is especially indicative: at the end of April, the number of flights reached more than 30,000 per day, which almost corresponds to the level of 2019 and significantly exceeds the similar figures for 2024.

One of the key issues affecting the number of flights is flight delays. They remain one of the key challenges in the modern aviation industry, especially in the face of increasing flight intensity. The main factors that cause can be different - inappropriate weather conditions for the flight, delay in the implementation of mandatory procedures at the airport - checking luggage, paperwork, delayed landing of the crew or long preparation of the aircraft for the flight. However, even if all these procedures take place without problems and the weather conditions for takeoff are ideal, sometimes passengers are still forced to wait for the plane to take off. One of

the main reasons for this is the high occupancy of airspace [2]. Aurimas Stiklūnas, Head of the Aviation Services Department of Lithuanian Airports [2] explains - "If the airspace is overcrowded, the aircraft must obtain permission to take off, therefore, to ensure flight safety, it is necessary to wait a certain time. General airspace control is carried out by the European aviation safety organization Eurocontrol. He decides when the plane can take off and when not. "[2]

The main source of delays remains problems with dispatch services (75% of all delays), mainly in Germany, Spain and France. The average number of minutes of delay per flight increased by 59% compared to the previous week and amounted to 1 minute/flight.

Studies show that as of the summer of 2023, air transportation in Europe was difficult, namely because of the closed sky over Ukraine. The invasion of the Russian Federation led to the reduction of safe airspace in Europe as much as 20% [3].

A 2024 study shows that one of the main factors is Europe's coverage of the wave of strikes in the transport sector. Trade unions and employees of public transport, aviation and railway industries are demanding better working conditions, higher wages and renewal of national contracts [4].

The forecast for the summer of 2025 about the delay of aviation flights is not entirely positive. According to the leaders of EU airlines "in the summer will be chaos" [5]. This is due to the lack of capacity of airports and staffing shortages. These factors can be a problem for tourists planning a summer vacation this year. The European Organization for the Safety of Air Navigation Eurocontrol [1] warns that air traffic disruptions this summer could be even more significant than last year. Flight delays caused by these factors cost the aviation industry about 2.8 billion euros. Industry representatives call what is happening at airports "chaos," which will only intensify in the summer.

Eurocontrol's head of mission control Stephen Moore notes that the situation has worsened due to the rapid recovery of air traffic after the pandemic. This happened faster than expected, and many skilled workers retired during this period. According to Moore, on holidays this year without delays will not do [5].

The head of Ryanair, Michael O'Leary, criticizes the lack of air traffic controllers at the main airports in Europe, which creates "chaos for carriers." This year promises to be even more difficult than last year, and Europe needs an urgent solution to the problems with air traffic control [5].

Conclusions

The study found that aviation traffic in Europe in 2025 shows a stable recovery from the COVID-19 pandemic, approaching 2019 levels. Countries such as the UK, Spain and Poland are leaders in terms of flight volume, with Poland even exceeding pre-crisis figures. Traffic analysis indicates a gradual return of the aviation industry to sustainable functioning with characteristic seasonal fluctuations, which reflects the positive dynamics in the transport sector in Europe.

At the same time, the problem of flight delays remains one of the most urgent. The main reasons are airspace congestion, a shortage of air traffic controllers, the impact of strikes and insufficient airport capacity. Forecasts for the 2025 summer season are pessimistic: delays are expected to increase, which is fraught with serious

economic losses for the industry. This highlights the need for air traffic control reforms and infrastructure investment.

References

1. EUROCONTROL. European Aviation Overview: 17-23 March 2025. Brussels: EUROCONTROL, 2025. 16 p.
2. Aviation experts explained why the planes are delayed. Electronic resource. Access mode: https://madeinvilnius.lt/uk
3. Electronic resource. Режим доступу: https://zakordon.24tv.ua/zatrimki-reysiv-yevropi-yakih-aeroportah-mozhut-viniknuti-problemi_n2347521
4. Електронний ресурс. Режим доступу: https://visitukraine.today/uk/blog/5060/new-transport-strikes-in-europe-in-november-and-december-2024-in-which-countries-to-expect?srsltid=AfmBOooAIPGtyPW4936b6UZv3dc0xco7fvKdJNG1PFakjGGyDEV1Uk6B
5. "Summer will be chaos": EU airline executives warned travelers Electronic resource. Режим доступу: https://glavcom.ua/world/observe/vlitku-bude-khaos-kerivniki-aviakompanij-jes-poperedili-mandrivnikiv-1054201.html

UDC 656.073.7:004.4

O.K. Katerna, PhD, Y.O. Ped
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Integration of TMS and WMS information systems to improve the efficiency of multimodal transportation coordination

У The article discusses how information technologies affect the coordination of multimodal transportation. The significant digital technologies that enable successful interaction among logistics participants are highlighted.

The globalised economy and rising consumption levels are driving up demand for efficient and flexible transport services. Multimodal transportation, which involves the delivery of goods by several modes of transportation under a single transport document, is an important aspect of logistics development. This technique lowers logistical costs, shortens delivery times, increases supply reliability, and reduces environmental impact. Multimodal transportation efficiency is determined by the extent of digital integration between various logistics chain elements, such as carriers, warehouse operators, cargo owners, and customs agencies. Information systems, particularly TMS (Transport Management System) and WMS (Warehouse Management System), play an important role in this environment. TMS systems plan, coordinate, and regulate all aspects of cargo transportation, whereas WMS systems manage warehouse procedures.

However, using these systems separately prevents multimodal transportation from being as efficient as possible. Integrating TMS and WMS into a unified information environment is critical for guaranteeing coordinated, transparent, and adaptable logistics that can respond quickly to market changes. This connection enables the synchronisation of information flows and the optimisation of all operations, from order placement to final delivery.

The integration of transportation management systems (TMS) and warehouse management systems (WMS) ensures that data is exchanged continuously across the whole supply chain. This enables the real-time tracking of freight movement, inventory status, and order fulfilment. This allows managers to respond rapidly to changes, avoid delays, and optimise resource utilisation. The system can automatically relocate the shipment or alert the customer of a change in terms, for instance, if there is a delivery delay [1]. Moreover, the integration decreases the number of errors associated with manual data entry, improving information accuracy and lowering risks. In multimodal transportation, where coordination between many means of transportation is crucial, this is particularly significant [2].

Integrated TMS and WMS systems automate route planning, inventory management, and order fulfilment. This helps to save operational expenses, cut order processing times, and boost employee productivity. According to research, organisations that have implemented integrated systems have experienced up to 15% reductions in logistical costs [3]. Furthermore, integration enables more efficient use of vehicles and warehouse space by lowering the number of empty trips and

optimising loading. This is especially true in multimodal transportation, where optimal resource utilisation directly affects profitability [4].

Order processing accuracy and speed are greatly increased when transportation management systems (TMS) and warehouse management systems (WMS) are integrated. According to a GoRamp research, using a WMS can cut order fulfilment time by 25% and shipping faults by 10% [5].

By eliminating the need for manual data entry, procedures like picking, packing, and shipping can be automated, lowering the possibility of mistakes. The integration, for instance, makes it possible for order data to be automatically moved from the WMS to the TMS, guaranteeing prompt transportation planning and preventing delays [6]. The integration also contributes to better customer service. The company's competitiveness and reputation are positively impacted by increased customer satisfaction brought about by more precise order tracking and on-time delivery.

High flexibility and adaptability to changes in the market are offered by integrated TMS and WMS systems. The ability to respond swiftly to changes in demand in today's dynamic business environment is crucial. Due to the flexibility of its WMS, a cosmetics company, for instance, was able to process up to 20,000 orders per day during peak periods after implementing a direct-to-consumer business model [7].

Furthermore, interconnectivity enables businesses to easily scale their operations in response to seasonal changes in demand. Delivery schedules, routes, and shipment volumes can all be automatically adjusted by the systems, guaranteeing smooth operations even in the event of unexpected demand fluctuations.

Overall, the flexibility and adaptability afforded by TMS and WMS integration enable businesses to efficiently respond to market changes, maintaining long-term stability and competitiveness.

Conclusions

The effectiveness of multimodal transportation coordination can be improved in large part by integrating warehouse management systems (WMS) and transport management systems (TMS). By establishing a unified information environment, this integration improves communication between all parties involved in the logistics process. Transparency, controllability, cost savings, high order processing accuracy and speed, and flexibility—which enables efficient operation even in the face of demand, seasonal loads, or market conditions—are some advantages of this integration.

Process automation minimises the need for human interaction, guaranteeing prompt response to delays and effective route optimisation. Because of their adaptability, these systems can function well even when demand, seasonal loads, and market conditions change. TMS and WMS integration is a strategic tool for logistics organisations as well as a technical solution, guaranteeing high multimodal transportation efficiency and the development of digitally orientated, sustainable logistics networks.

References

1. Infocomm. Top 5 Reasons to Synchronise Your TMS and WMS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://infocomm.com.au/top-5-reasons-to-synchronise-your-transport-management-system-tms-and-warehouse-management-system-wms/
2. TechTarget. 3 benefits of integrating WMS and TMS software. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.techtarget.com/searchERP/tip/Benefits-of-integrating-WMS-and-TMS-software
3. Transportation and Logistics. Top benefits of implementing a transport management system. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.transportation-and-logistics.com/top-benefits-of-implementing-a-transport-management-system/
4. QodeNext. Interactions of Warehouse & Transportation Management System. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.qodenext.com/blog/interactions-of-warehouse-transportation-management-system/
5. GoRamp. The 5 Key Benefits of a Warehouse Management System. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.goramp.com/blog/benefits-of-warehouse-management-system
6. TechTarget. 3 benefits of integrating WMS and TMS software. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.techtarget.com/searchERP/tip/Benefits-of-integrating-WMS-and-TMS-software
7. MACS Software. Why flexibility is so important in modern WMS systems. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.macs-software.co.uk/news/why-flexibility-is-so-important-in-modern-wms-systems

UDC 629.735.018.4:620.178.16(043)

A.H. Dovhal, PhD,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Electrospark coating for power plants elements of aircraft ground support equipment

Lifetime improvement of contact brush units of automotive power machines is suggested. Particularities of mass transfer of aluminium electrode on copper substrate is researched. The structure of aluminium electrospark coating on copper substrate is investigated.

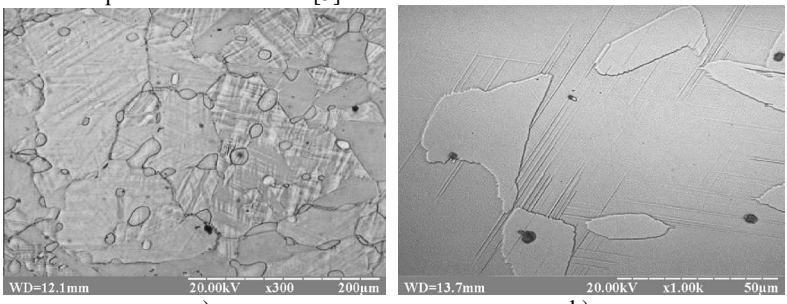
Introduction

The automotive electric equipment involves the electric machines (starter, alternator) incorporating the brush unit and hybrid drive vehicles as well. It has the friction joint of conducting copper and graphite brush. Work efficiency and lifetime of these machines strongly depend on the contact quality and general state of this friction joint. Wear products of graphite and copper results in short-circuiting of the starter plated commutator or alternator slip ring thus reducing its performance during the ICE start procedure and battery recharge process. So the wear resistnce of these elements is of great importance for proper brush adlining and power power transfer through it as well.

Great interest rose in develpment and improvement of electric equipment parts made of copper and aluminium [1-2]. These two metals are used in power equipment, and their chemical interaction is very interested for development of superficial strengthening technique.

Experimental procedure and main results.

For experimental purposes the samples of M1E electric conductive copper (content: 99,96% Cu, 0,002 Ni, 0,005 Fe, 0,004 S, 0,002 Sn, 0,005 Pb, 0,004 Zn, 0,002 Sb – initial structure of which is indicated on fig. 1.) were fabricated in dimensions of hole disks 16×6×2,5 mm in order to provide the least friction contact area for experiment acceleration[3].

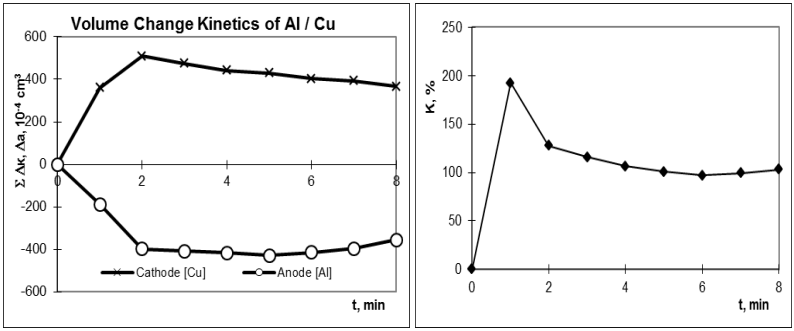


a) b)

Fig. 1. SEM images of initial structure of electric conductive copper M1E: a) under 300 electronic zoom; b) under 1000 electronic zoom.

As the friction counterbody the conventional alternator brush made of graphite ГЭ-1, (contains 0.05% Cu, ash content 10-14 %) was used. Copper samples were strengthened by electro-spark alloying on unit ALIER-52 on 6-7 modes by aluminum electrode made of rod aluminum (АД31Е (1310Е, 6101) containing 97.68% Al, 0,5 % Fe, 0,7% Si, 0,03% Mn, 0,03% Cr, 0,1% Cu, 0,06% B, 0,8% Mg, 0,1% Zn. The 6 mode of ALIER-52 installation provides the following electrospark alloying descriptions: impulse duration was 700 microseconds, amplitude value of current impulse was 200 A; the impulse energy was 2,52 Joiles; coating thickness was 0,3 mm. On the 7th mode the coating appears to be overburnt and dirty by soot and ash, and thus extremely porous. At that the electrode weight change Δa and cathode specimen of 1 cm^2 area weight change Δc were continuously monitored in a 1 minute period. According to aquired data the kinetic diagrams of electrode weight change was plotted. However the kinetic volume diagrams are more informative, so as the density of copper is twice bigger than aluminium one, so the kinetic volume diagrams were used for coating formation analysis (fig. 2. a). Mass transfer factor ($Kt = (\sum\Delta c / \sum\Delta a)\cdot 100\%$) was calculated as well (fig. 2. b).

The coating formation kinetics is on fig. 2. This diagram is about that the aluminium electrospark coating is deposited on the 6th mode of installation only in first two minutes (fig. 2., a) than tha mass transfer is changing into reverse direction - the copper is transferred on aluminium electrode, so the copper substrate errosion takes place. Mass transfer factor during this time is about 200% (fig. 2. b).



a) b)

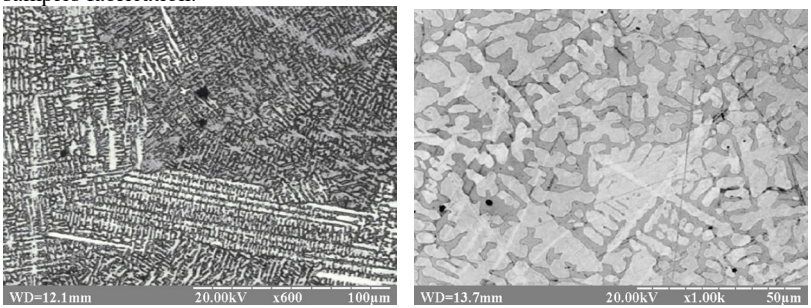
Fig. 2. The volume change kinetics (a) and mass trenasfer factor (b) of aluminium electrospark coating on copper surface.

On preliminary cleaned surface from oxides the electrospark coating has been deposited of thickness 150 micrometers per one cycle of electrospark alloying. Its total thickness is indicated on fig. 3. It is the modified superficial layer of 2-3 milimeters thick.

The coating structure is the matrix with black inclusions of copper oxide and aluminium oxide which will probably weaken the coating strength and worsen its electric conductivity.

The strengthening phase (matrix) in copper is the gamma-phase solid solution of aluminum in copper [4]. It is well conductive for current and heat from

the surface. Enriching the superficial content of aluminum the delta-phase solid solution of aluminum in copper, which hardness and melting temperature is less and bigger conductivity close to aluminum. Profound electronic microscopic research and X-ray phase research detected these two solid solutions (gamma – is dark grey and delta – is light grey) create the eutectic structure under electrospark fusion as indicated on fig. 3. The black dots on all structures (fig. 1.,3.) are the carbon containing contaminations not relating to research procedure. It was only the lack of samples fabrication.



a) b)

Fig. 4. SEM electronic images of matrix structure of electrospark coating on copper substrate by aluminium electrode: a) under 600 zoom; b) under 1000 zoom.

The coated and uncoated samples were tested on the friction test bench M-22ПВ under “pin-on-shaft” layout. Conventional vehicle alternator brush unit has been used in a friction test bench, so the load was equal to brush spring force. Friction speed was about 1,5-2 m/s that complies the test bench shaft rotation speed about 2000-2400 rpm. In order to simulate the brush unit work the 24 V DC voltage was applied to friction contact and linear wear rate was detected. Wear mechnism and friction surfaces will be investigated in following research.

Conclusion

So using electrospark alloying technique the wearproof coating has been acquired with good adhesion to substrate. The structure of this coating is eutectic of gamma-phase solid solution of aluminum in copper and delta-phase solid solution of aluminum in copper. This fine eutectic structure has satisfactory conductivity for power transfer purposes.

Thus the technique researched is suitable and can be recommended for improvement of brush units of vehicle alternators and starters, DC engines collectors for electric power vehicles, hybrid vehicles and quadracopters as well.

References

1. Щепетов В. В., Довгаль А. Г., Бурдюженко Л. В. Електроіскрове легування для підвищення триботехнічних характеристик деталей авіаційної техніки. // Вісник НАУ, - № 1, - 2004. – С. 83-87.

2. Довгаль А. Г., Бурдюженко Л. В., Ткаченко І. В. Зносостійкі електроіскрові покриття для підвищення довговічності кінематичних сполучень авіаційної техніки. // Сучасні процеси механічної обробки інструментами з НТМ та якість поверхні деталей машин. Серія Г. Збірка наукових праць. – К.: 2003. С. 313-320.

3. Dmitrichenko M. F., Varyuhno V. V., Kulinich A. V., Dovgal A. G., and Koba V. P., Extension of Resource of Power-Plants' Parts of Aviation Ground Equipment under Operating Conditions, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 39, No. 1: (2017) 69–81.

4. Dovhal A.H., Biliakovych O.M., Pryimak L.B. Lifetime improvement of contact brush units of automotive power machines. Part 1. Problems of Tribology, V. 30, No 1/115-2025, P. 6-11.

UDC 629.7.08

O.A. Tamargazin, Doctor of Engineering Sciences, Professor
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Modern problems of informatization of airport functioning

The materials examine the prospects for the implementation of integrated management systems based on artificial intelligence at modern airports. It is shown that such an approach makes it possible to identify threats, assess their consequences, and direct appropriate human and production resources to neutralize emerging threats without disrupting the airport's operations or creating inconveniences for airport customers.

One of the main tasks of modern airports is to improve the efficiency of technological processes and reduce operating costs. At the same time, there is a constant need to increase the airport's capacity and ensure a given level of passenger and cargo safety [1]. All this occurs against the backdrop of the need to find opportunities for airport revenue growth through their non-aviation activities. This is important because increasing revenue from non-aviation activities to maintain constant or, even better, to reduce aircraft servicing rates is necessary to attract and retain airlines. Improving the quality of passenger service is also an urgent need for modern airports. Most air passengers do not want to wait in long lines. Passengers must be provided with simple routes around the airport and fast delivery of baggage both to the aircraft and to the baggage claim area upon arrival. At the same time, the ever-increasing flow of air passengers leads to long lines at check-in counters, in the aviation security control area, at baggage claim points, which rightly causes passenger dissatisfaction. Both passengers and shippers pay special attention to competitive advantages in the air transportation industry. And since airports are the gateway for air travel, they should have a significant impact on improving the quality of service for passengers and shippers, helping companies and firms operating on the airport premises to increase revenues not directly related to air travel.

Modern airports strive to create a good impression on passengers, ensuring the expansion of business on the airport territory, increasing safety and efficiency of their work. All this leads to the expansion of the area of responsibility of the airport administration. Today, an airport is a complex enterprise that covers a huge number of functional areas of activity [2]. In addition to air transportation, the airport ensures the protection of infrastructure systems, energy supply, real estate, usable areas and human resources. All this affects the positive impression of the airport by passengers. Managing various technologies at the airport requires not only an understanding of what and how it happens, but also requires continuous monitoring of each operation of any technological process, and their constant improvement. Therefore, today it is relevant for airports to simplify technological operations with servicing passengers and cargo. As experience shows, modern airport management systems are very often unable to cope with emerging problems. Without strategic planning and constant changes, airports will not be able to ensure their development in the near future.

Airports are therefore constantly adapting, adopting new business models, each of which must meet a different combination of airport customer needs. As an

airport evolves, its impact and role in the wider community it serves changes.

Some passengers want the airport to have all the variety of modern entertainment, fitness, shopping and food. Other passengers require a minimum of services from the airport. It is important for them to be able to overcome the path through the airport as quickly as possible before the flight and after landing. There is also a group of passengers who need additional assistance in navigating the airport. And the task of a modern airport is to satisfy all this variety of passenger needs in a coordinated and cost-effective manner. It should be borne in mind that the scale of this task will increase over time, since forecasts show that the number of passengers and cargo transported by air transport will steadily increase.

Today, airports are developing within the framework of three models. The first model is the city-airport. This is a fully functional international destination capable of satisfying the needs of both air passengers and the local population, ordinary visitors. The other model is the regional transport and tourist center. In this case, the airport is an element of the local economy, which specializes in servicing passengers and cargo. The third model is the local self-service terminal. This model is characterized by the fact that the airport is an optimized enterprise, where most of the technological operations are performed by the passengers themselves, with the aim of quickly moving from the entrance to the airport to boarding the plane with minimal interaction with airport personnel.

Regardless of the type of airport model, its management faces a common set of problems related to the volume, heterogeneity and speed of information flows from the main management areas at the airport. Therefore, optimal information processing at the airport is extremely important for the airport management to clearly understand, predict and direct processes and assets to achieve the global goals of the airport. Various analytical tools that are used today at airports and in civil aviation in general are aimed mainly at studying specific problems in a separate area. For example, most airports can determine whether a particular aircraft will arrive at this airport without delay. At the same time, it is very often known why this arrival delay occurs. But at the same time, specialists are not able to analyze the main causes of such a delay in real time and take the necessary actions. In order to be able to solve emerging problems at the airport and meet the needs of its customers, the airport must remain sufficiently flexible. It must be able to adapt to global changes in civil aviation. It must go beyond the use of traditional management analytics, providing instant information on all areas of activity of all departments of the airport. To achieve this, the airport management and its IT service must understand the role of digitalization of the infrastructure of a modern aviation harbour.

As an airport develops, the volume of information circulating in its various subsystems increases. This is primarily due to the increasing number of subsystems, technology platforms, people, and the relationships between them. Typical IT management systems at modern airports are implemented around specialized systems that are separate from each other. Therefore, airport information systems are complex and often inflexible systems that are difficult to administer and expensive to maintain. But the worst thing about this is that these systems isolate the information they receive instead of sharing it across different functional areas of the airport, and they cannot adapt to the rapidly changing demands placed on them in today's competitive aviation

market. The increasing volume and complexity of information leads to overloaded production systems at most modern airports, which has a negative impact on the ability of airport management to manage the resources available to them.

To solve the problem under consideration, airports must deploy comprehensive systems that must integrate all airport functioning subsystems. This will allow coordinating air transportation, flight safety, aviation security, energy supply, coordinating the use of aviation ground equipment and airport equipment, for example, during snowfall, in order to make informed decisions in case of sudden changes in the movement of aircraft and special equipment. For the control systems that are used at airports today, such coordinated activity is either very complex and or very expensive, since it is often necessary to manually extract large volumes of information from many sources for its subsequent combination. The implementation of an integrated airport management system allows for the same benefits for businesses operating on the airport territory. This is achieved primarily by reducing administrative costs and increasing the efficiency of their technological processes. In addition, such a system will allow for a deeper understanding of the controlled functions. An integrated airport management system will expand the management capabilities of all functional processes, improve their controllability and balance, and provide an opportunity to continuously improve them.

The prospective digital infrastructure of integrated airport management is based on the collection, processing and sharing of data from the subsystems of all functional airport systems. In fact, the concept of intelligent airport management should be realized through transparency, control and continuous updating [3].

The basis of intelligent airport management is a unified management system that must be able to integrate individual systems. Most airports currently invest significant financial and material resources in systems inherited from previous stages of their activity informatization. A new generation of intelligent software systems should help to unite them without the need for replacement. The functioning of an integrated information system should be based on receiving operational data from all systems used at the airport, creating a unified database and analyzing it using artificial intelligence.

As practice shows, software implementing artificial intelligence is a valuable tool for airport management. It helps to transform fragmented, inefficient databases and the systems that use them, and whose activities are based on responding to specific failures in technological processes at the airport, into an integrated complex capable of predicting the development of situations [4].

The widespread implementation of the concept of integrated management will allow establishing new levels of control in such a complex environment as an airport. Using unified management and analytical software packages in the integrated structure of the airport, the airport management will be able to expand its capabilities to ensure the growth of income for the airport and all companies and firms operating on its territory. In particular, this will provide the opportunity to determine the patterns of change in the time of consumption of materials for the maintenance of special equipment and airport equipment.

Traditionally, the harmonic series can be used for this:

$$P = P_c + \sum_{j=1}^{n} P_j \cos\left(m\left(jT_i - T_j\right)\right) + P_p,$$

where P_c is the constant component of the flow rate; j is the harmonic number; n is the number of harmonics; P_j is the half-amplitude of the change in the j-th harmonic; T_i is the current time, for example months; m is the difference between T_i and T_{i+1}, angular degrees; T_j is the initial phase of the j-th harmonic; P_p is the random component.

Based on this, the significance of seasonal changes in the consumption of various material resources can be assessed using harmonic linearization:

$$P = \sum_{j=1}^{n} P_j z_j,$$

where

$$z_j = \cos\left(m\left(jT_i - T_j\right)\right).$$

The variation cycle is usually taken to be equal to one year, and the condition of significance of specific harmonics is checked by the correlation coefficient of the variable z.

When using the number of forms of technical maintenance of the first (N_1) and second (N_2) forms in one cycle (L) is calculated in accordance with the frequency of these forms – L_1 and L_2:

$$N_2 = \frac{L}{L_2} - N,$$

$$N_1 = \frac{L}{L_1} - (N + N_2).$$

In these calculations, it is necessary to take into account that in a real airport operation situation, the intensity of operation of special equipment and airport equipment is non-deterministic. This means that the time intervals between different forms of technical maintenance vary both for different types of equipment and during a given operating cycle. Therefore, the actual frequency of technical maintenance of equipment at the airport differs significantly from the standard. Therefore, based on the given formulas, it can be seen that the generalized dependence of the number of forms of technical maintenance of equipment operated at the airport can be presented in the form of the following dependence:

$$N = A_0 + A_1\lambda + \frac{A_2}{L},$$

where λ is the intensity of operation, L is the maintenance cycle.

Even for such a simplified formula, the definition of the coefficients A_0, A_1, A_2 traditional approaches do not allow building adequate models. This is due to the small number of similar equipment at the airport, and the extremely variable situations that arise in the airport's operations. Therefore, only the use of analytical software based on artificial intelligence allows us to intelligently solve this problem and hundreds of other similar problems that arise in airport management. This is primarily based on the ability of such analytical software to describe in detail the current situation at the airport as a whole or any part of it. In particular, the coefficients A_0, A_1, A_2 for our model are calculated in real time, which allows the relevant specialists to understand

the current situation in all its complexity. In addition, this software allows you to receive forecasts of patterns of changes in stocks of various consumables and promptly generate requests for their purchase. Together with the forecast of patterns of movement of passengers, cargo, aircraft, special equipment on a system-wide scale for various airport operating scenarios – typical and atypical, this makes it possible to create action plans in emergency situations that can be implemented or changed as events unfold.

Conclusions. Traditional airport management systems are not designed to scale and create a unified management at the airport. They do not allow analytical software to form a comprehensive picture at the airport scale. Therefore, airport management needs to develop proposals for its enterprise to implement a modern concept of integrated production management based on artificial intelligence. These integrated solutions will allow airport management to receive the necessary information in a timely manner and better understand the operational situation.

In particular, this will allow:

– manage technological processes at the airport with the aim of separating individual management systems into functional areas to ensure interaction between departments, minimize costs and increase efficiency;

– ensure decision-making for the management, planning and optimization of technological processes, which allows for planning the use of equipment, infrastructure and human resources;

– manage aircraft maintenance processes, primarily to reduce operating costs, helping to link aircraft maintenance with airport operations;

– track the movement of cargo and baggage in order to control them for aviation security, eliminate cases of their improper handling, speed up transportation, and reduce costs for relevant technological operations;

– ensure the operation of multi-channel systems based on self-service for airport customers, which reduces their waiting time at various service points, as well as supports non-aviation activities in order to increase revenues from these activities.

References

1. Dixit, A., & Jakhar, S. K. (2021). Airport capacity management: A review and bibliometric analysis. Journal of Air Transport Management, 91, 102010
2. Guo, X., Grushka -Cockayne, Y., & De Reyck, B. (2020). London Heathrow airport uses real-time analytics for improving operations. INFORMS Journal on Applied Analytics, 50(5), 325-339.
3. Arun Kumaar, R., Malavika, S., Monisha, S., Sowmiya Bharani, B., & Devanathan, M. (2022). A Review to Enhance Operations in an Airport with a Deep Learning and Computer Vision Approach. In Soft Computing for Security Applications: Proceedings of ICSCS 2022 (pp. 145-153). Singapore: Springer Nature Singapore.
4. Airport Technology Management: Operations, Software Solutions and Vendors. AltexSoft Editorial Team. https://www.altexsoft.com/blog/airport-technology-management-operations-software-solutions-and-vendors/ (date accessed 06.04.2025)

УДК 629.7.083

О.М. Білякович, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сучасні проблеми деайсингу та інноваційні шляхи їх вирішення

Проаналізовано основні проблеми, що виникають у процесі передпольотної антиобліднювальної обробки зовнішніх поверхонь повітряних суден при експлуатації в осінньо-зимовий період, представлено інноваційні напрямки їх вирішення з урахуванням технологічних, технічних та екологічних факторів, підтримання високого рівня безпеки польотів.

Як відомо, антиобліднювальна обробка (АОО) зовнішніх поверхонь повітряного судна (ПС) на аеродромі перед польотом проводиться з метою видалення замерзлих опадів та подальшого запобігання їх появи. При знаходженні ПС на землі в умовах осінньо-зимової навігації (низькі температурні значення, температура точки роси дорівнює температурі навколишнього середовища) поверхня обшивки фюзеляжу літака вкривається інеєм, снігом або крижаними наростами, що, безумовно, є перешкодою для здійснення нормального зльоту. Наслідки такого небезпечного явища, як обледеніння, різноманітні та непередбачувані [1].

Статистичні дані з експлуатації ПС свідчать про те, що обледеніння, як і явища турбулентності атмосфери, наявність електричних розрядів та ймовірність зіткнення із птахами є одним з найнебезпечніших впливів зовнішнього середовища на безпеку польоту повітряного судна.

Серед відомих методів боротьби з обледенінням ПС у наземних умовах є фізико-хімічний метод, що заснований на застосуванні струменя стисненого повітря, гарячої води та антиобліднювальної рідини (АОР).

Реалізується вищезгаданий метод, як правило, шляхом застосування спецмашин – деайсерів, що мають баки для утримання й підігріву АОР та обладнання для її нанесення з регулюванням ступеня розпилу і витрати.

З огляду на складність технологічного процесу де/антиайсингу, і в той же час, на його відносну короткочасність, що обумовлена незначною тривалістю активного антиобліднювального захисту, необхідно визначити найбільш проблемні місця даного процесу та основні шляхи їх подолання.

Одна з головних проблем полягає у абсолютно очевидному впливі людського фактора на оперативність та якість АОО повітряного судна, зокрема, йдеться про рівень професійності оператора деайсера, від якого залежить не тільки ефективність самого процесу обробки, а й контроль його якості – у більшості випадків технічно не передбачено сканування обробленої поверхні ПС в автоматичному режимі, що, в свою чергу, виключає можливість дистанційного відслідковування на моніторі якості обробки.

Окремої уваги потребує розгляд екологічного аспекту деайсингу: залишки рідини стікають на аеродромну поверхню, так як АОО, яка на першому етапі є процесом розбризкування рідини через спеціальні насадки, на другому етапі перетворюється у процес обливання з наступним утворенням великих

площ АОР на бетонній поверхні аеродрому, причому, далеко не кожен аеропорт забезпечений відповідними очищувальними і дренажними системами для збирання та утилізації даних рідин. Крім того, технічний персонал є малозахищеним від згубної дії на організм АОР у зв'язку з наявністю значної кількості деайсерів з відкритими платформами для оператора.

Значна кількість авіаперевізників висловлює невдоволення керівництву аеропортів та хендлінгових компаній щодо якості та надмірної тривалості процесів деайсингу, що інколи призводить до необхідності проведення повторної АОО та затримки рейсів, не говорячи про фінансову складову, яка є дуже суттєвою в таких ситуаціях. Автор неодноразово був задіяний за проханням авіакомпаній у з'ясуванні причин подібних проблем, отже, нижченаведений їх аналіз є результатом власних спостережень та досліджень.

1. Слабка скоординованість у взаємодії хендлінгових компаній та транспортних служб аеропорту (зокрема, служби спецтранспорту) при спільній реалізації процесів проведення антиобліднювальної обробки літаків за умов неможливості залучення виключно власного персоналу і деайсерів. Шляхи вирішення цієї проблеми лежать у площині створення єдиного оперативного каналу зв`язку між хендлінговими компаніями та структурними підрозділами аеропорту, залучення сучасних засобів комунікації, чіткого розподілу обов`язків та сфер відповідальності для кожного виконавця АОО повітряних суден.

2. Недостатня чисельність сучасних та високопродуктивних машин для АОО. Єдиний спосіб подолання даної проблеми – збільшення кількості деайсерів суб'єктами комерційного обслуговування, що здійснюють хендлінгову діяльність в аеропортах зі значною пропускною здатністю, крім того, активне впровадження інноваційних систем та методів антиобліднювальної обробки ПС.

3. Наявність ризиків щодо перевищення часу нанесення АОР і, як наслідок, зменшення часу ефективного захисту (holdover time) поверхонь ПС. Для вирішення проблеми потрібен жорсткий контроль тривалості проведення АОО та об'єктивної оцінки якості деайсингу.

4. Перевищення ліміту часу переговорів з екіпажем щодо початку/завершення деайсингу, зокрема, йдеться про запит підтвердження необхідної обробки та повідомлення кодів АОО. Дана проблема вирішується шляхом застосування якісних засобів зв`язку і підтвердженням відповідної кваліфікації персоналу.

5. Недостатня кількість або відсутність на аеродромі фіксованих місць проведення де/антиайсингу та високопродуктивних стаціонарних установок для АОО. Подолання проблеми – впровадження інноваційних систем та методів антиобліднювальної обробки ПС.

6. Віддаленість місць для проведення де/антиайсингу від злітно-посадкових смуг (ЗПС). Виходячи з технічних та фінансових можливостей аеропорту необхідно знайти оптимальне рішення.

7. Малоефективні процеси з очищення елементів аеродрому від снігових мас, у результаті чого може бути призупинений рух ПС або змінений маршрут його руління до ЗПС. У даній ситуації необхідно збільшити парк аеродромних машин та посилити рівень відповідальності персоналу аеродромних служб.

Значна кількість проаналізованих вище проблем безпосередньо пов’язана зі складними погодними умовами в районі аеродрому.

Оскільки процеси з АОО ПС відрізняються значною складністю, високим рівнем відповідальності персоналу та необхідністю залучення сучасного модельного ряду стаціонарних або мобільних деайсерів, доцільно вирішувати питання щодо їх оптимізації в трьох ключових напрямках – організаційному, технологічному та технічному.

Один з найпростіших шляхів покращення процедур з АОО – створення спеціальних майданчиків для проведення антиобліднювальної обробки ПС на нормативній відстані від ЗПС та ефективної системи їх використання. Так, у міжнародному аеропорту Денвера для зниження завантаженості було введено нову автоматизовану систему, яка спрямовує ПС на один з п'яти майданчиків АОО, що дозволило скоротити час обробки та витрати авіаційного палива [2].

Питання екологічної безпеки в аеропорту є завжди актуальними. Оптимальним рішенням таких питань при реалізації процесу АОО є впровадження у виробництво електроверсій деайсерів, які одночасно могли б збільшити продуктивність процедур з обробки поверхонь ПС.

Брендовий виробник машин з антиобліднювальної обробки повітряних суден – данська фірма Vestergaard вже зараз пропонує версію деайсера з електричним приводом Elephant® e-BETA. Дана модель з повністю зарядженим акумулятором здатна забезпечити АОО 10-15 літаків, що еквівалентно 4-5 годинам роботи без запуску дизельного двигуна автомобільного шасі. Отже, деайсер має можливість на електродвигуні маневрувати навколо ПС, розпилюючи при цьому АО-рідину з вимкненим базовим двигуном [3].

З урахуванням суттєвого обмеження рівня автоматизації робіт з де/антиайсингу, який фактично розповсюджується на декілька процесів – регулювання температури антиобліднювальної рідини та її концентрації, можна констатувати наявність значного впливу людського фактору на даний процес.

Сучасні тенденції у сфері поліпшення процесів АОО літаків пов’язані з розвитком стаціонарних систем де/антиайсингу зі значною часткою автоматизації більшості процесів або навіть з можливістю їх повної роботизації (автоматичні системи).

Стаціонарні автоматизовані системи АОО здатні забезпечувати скорочення циклу обробки ПС при дотриманні стандартів якості, що покращить ефективність роботи аеропорту, зменшення витрат антиобліднювальної рідини за рахунок її раціонального використання, що пояснюється оптимізацією процесу розпилення, усуненням вітрових витрат (якщо мова йде про критські системи), частковим відновленням рідини, а також повний аудит.

Світовим лідером у галузі створення стаціонарних систем АОО на сьогоднішній день можна вважати норвезьку фірму MSG Aviation AS.

Вже зараз у скандинавських аеропортах функціонує багатоцільова модель RS-500, яка призначена для очищення від льоду, мийки та перевірки зовнішніх поверхонь ПС. У повній відповідності до галузевих норм операція з видалення льоду завершується всього за кілька хвилин незалежно від погодних умов. Весь гліколь та інші рідини збираються та переробляються в підземній

установці переробки на місці. Коли система не використовується для видалення льоду, її можна легко перевести в режим миття [4].

Технологія АОО містить наступні етапи:

- ПС транспортується до стаціонарного комплексу де/антиайсингу електричним тягачем;
- процес деайсингу починається у момент проходження ПС під першою траверсою, система оснащена відповідним програмним забезпеченням з геометричними даними за основними типами та моделями літаків;
- автоматична перевірка якості деайсингу;
- проведення антиайсингу при проходженні ПС під третьою навісною траверсою.

Апогеєм інженерної думки норвезьких фахівців на сьогоднішній день є розробка повністю автоматичного комплексу антиобліднювальної обробки, миття та моніторингу стану обшивки фюзеляжу ПС, будівництво якого звершено на території аеропорту Осло (OSL) та розпочато випробувальний (тестовий) період [5].

Фактично йдеться про створення першого у світі робота на основі штучного інтелекту, який здатен забезпечити багатофункціональне наземне обслуговування (в ангарному та безангарному варіантах) повітряних суден, включаючи миття, де/антиайсинг, контроль якості проведених робіт та діагностування стану його зовнішніх поверхонь (рис. 1).



Рис. 1. Повітряне судно перед проведенням де/антиайсингу за допомогою роботизованої системи від MSG Aviation [5]

Після завершення випробувань та остаточного впровадження даної інноваційної системи у хендлінгових компаній і авіаперевізників з’явиться можливість хоча б частково відмовитись від проведення трудомістких та витратних процесів з АОО літаків, сприяти декарбонізації, екологічній безпеці, своїй економічній ефективності за допомогою новітніх технологій.

Висновок

Отже, концепція антиобліднювальної обробки повітряних суден на сьогоднішній день потребує суттєвих коректив, так як не в повній мірі відповідає сучасним вимогам щодо безпечної експлуатації літаків, формує незначний часовий інтервал активного захисту зовнішніх поверхонь, що може створювати психологічне напруження екіпажу перед зльотом та певні сумніви щодо якості обробки.

З огляду на очевидні обмеження рівня автоматизації робіт з де/антиайсингу значний їх відсоток реалізується за участі операторів (людського фактора) у загальній технології такого відповідального процесу, який безпосередньо впливає на безпеку польотів ПС.

Напрямки вирішення цілого спектру проблем, що виникають при проведенні процесів антиобліднювальної обробки літаків, потребують суттєвого фінансування, модернізації парку деайсерів, зростання рівня кваліфікації та відповідальності персоналу і серйозних інноваційних рішень технологічного, технічного й екологічного характеру, що є абсолютно виправданим з позицій безпеки польотів.

Список літератури

1. ICAO Doc 9640: Manual of Aircraft Ground De-icing/Anti-icing Operations, 3rd edition (unedited). URL: https://skybrary.aero/bookshelf/icao-doc-9640-manual-aircraft-ground-de-icinganti-icing-operations-3rd-edition-unedited

2. Stewart M. Planes undergo new deicing system at Denver International Airport. URL: http://www.thedenverchannel.com/news/local-news/dia-update-deicing-delaying-departures-15-20-minutes-monday-after-noon-evening

3. ELEPHANT® e-BETA. URL: https://vestergaardcompany.com/wp-content/uploads/2021/02/Elephant-e-BETA_eng-1.pdf

4. Environmental Friendly De-Icing, Aircraft Wash, and Inspection Solutions for the Airline Industry. URL: https://www.airport-suppliers.com/supplier/msg-production/

5. MSG Aviation to Build World's Largest Deicing Robot at Oslo Airport. URL: https://airportindustry-news.com/msg-aviation-to-build-worlds-largest-deicing-robot -at-oslo-airport/

UDC 629.735.018.4:620.178.16(043)

L.B. Pryimak, PhD,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Thermal protection coatings for heat-stressed components of aviation ground equipment and internal combustion engines

The development of thermal protection coatings for heat-resistant steels components of aviation ground equipment and internal combustion engines requires in-depth scientific research, including the selection of suitable sublayer materials and characteristics is investigated. Appropriate application methods and technological parameters are determined.

Introduction

The issue of protecting heat-loaded components of aviation ground equipment is not new and has been addressed through a wide variety of design and technological methods [1-3], including the use of thermal barrier coatings.

A recent research in the field of aviation ground power units involves the protection of exhaust manifolds of internal combustion engines (ICE) using various coatings. This is primarily due to the fact that scale (a mixture of iron oxides and hydroxides) often flakes off the exhaust manifolds during engine operation at nominal modes on the apron. This scale represents an ideal abrasive that contributes to the wear of the flow path of aircraft gas turbine engines (GTE). Moreover, being coated with unoxidized carbon (soot), it accumulates in large quantities within the systems and mechanisms of the aircraft.

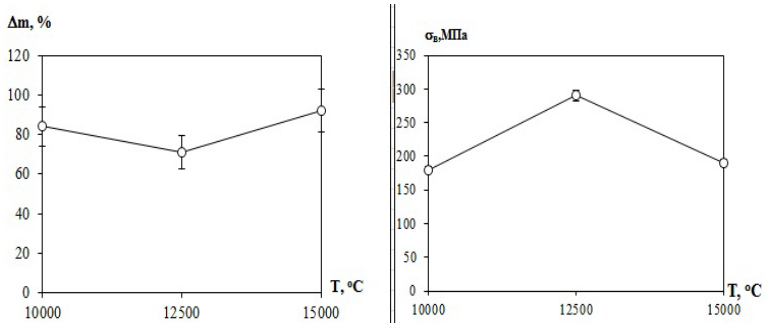
Thermal protection significantly increases the service life of components, especially those of thermotechnical machines equipped with powerful heaters. However, achieving this requires the search for the most cost-effective and efficient technologies.

Experimental procedure and main results

Since the composite thermal barrier coatings were intended to function as working surfaces of the exhaust systems in power units of aviation ground equipment, the thermal testing regimes were selected to simulate the operating conditions of ICE exhaust system components used in aviation ground equipment.

The coated samples were statically exposed to a temperature of 1000 °C for 1 hour. Subsequently, high-precision weighing was performed to determine the relative mass thermal erosion (expressed as a percentage), and the ultimate tensile strength was measured. The results of the thermal tests, depending on the plasma temperature, are presented in fig. 1.

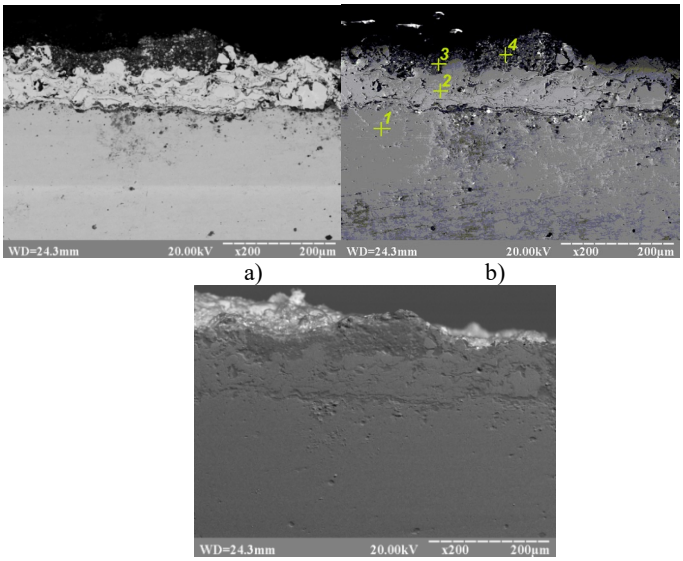
Depending on the flow rate of the carrier and plasma-forming gas (argon), which is analogous to the powder feed rate, an extreme value is also observed at 30 L/min. This value is likely optimal for thermal activation and the kinetics of the coating's structure formation on the sublayer surface.



a) b)

Fig. 1. Relative mass thermal erosion of thermal barrier coating (TBC) (a) and temporary tensile strength (b) as a function of the low-temperature plasma spraying temperature

To explain the obtained results, cross-sections of coated samples produced under different application regimes were examined using a REM-106I scanning electron microscope.



a) b)

c)

Fig.2. Structure of the thermal barrier plasma-sprayed multilayer composite coating tested at a temperature of 1000 °C, shown at 200× magnification: in backscattered electrons (a), in secondary electrons (b), and surface topography (c) with marked areas for micro X-ray spectral analysis

The structure of the composite coatings in cross-section exhibits a multilayered configuration with significant surface losses of the thermal barrier coating (fig. 2 a). Upon closer examination (at ×400 magnification, fig. 2), the coating structure was found to be preserved, although substantial surface degradation was observed.

The coating components Al_2O_3 and ZrO_2 are retained, as confirmed by the micro X-ray spectral analysis (MRSA) data presented in fig. 2b, spectra 3 and 4. Regions of the 20X23H18 substrate are also visible (fig.2b, spectrum 1), as well as the intermediate Ni_3Al layer (fig. 2b, spectrum 2).

Table.1

MRSA of friction surface coating, fig.2

Spectrum	Ni	O	Al	Zr	Fe
Spectrum 1	18,77	-	-	-	57,01
Spectrum 2	84,95	-	15,05	-	-
Spectrum 3	-	47,75	45,25	-	-
Spectrum 4	-	43,06	-	56,94	-

This indicates that no chemical interaction occurs between the layers; only surface erosion takes place due to thermal degradation of the outer layers. Therefore, the mass erosion can be considered a sufficiently informative characteristic that reflects the thermal resistance of the thermal barrier coating (TBC).

Conclusion

So, development of thermal protection coatings for heat-stressed components of aviation ground equipment and internal combustion engines is important scientific task. These components are generally manufactured from conventional stainless steel, in which chromium is the primary alloying element, and nickel is used less frequently. During operation, chromium and nickel burn out, turning stainless steel into ordinary steel, which then rapidly oxidizes and deteriorates with scale formation. This degradation process can be significantly slowed down by the application of thermal barrier coatings (TBCs). For the developed thermal protection coating, a eutectic composition of aluminum oxide (Al_2O_3) and zirconium oxide (ZrO_2) was selected, which offers low thermal conductivity and high resistance to thermal erosion. The development of thermal protection coatings for heat-resistant steels requires in-depth scientific research, including the selection of suitable sublayer materials and characteristics, as well as the determination of appropriate application methods and technological parameters.

References

1. L. B. Pryimak, A. H. Dovhal, and V. V. Varijukhno Studying the Wear Resistance of New Alumina Based Composite Materials of Special Tribotechnical Purpose// Journal of Superhard Materials, 2022, Vol. 44, No. 5, pp. 331–338.

2. Варюхно В.В., Тамаргазін О.А., Приймак Л.Б., Довгаль А.Г., Кабика С.М. Склад підшару теплозахисних покриттів теплонавантажених деталей авіаційної наземної техніки Інженерія поверхні та реновація виробів: Матеріали 22-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 15–16 червня 2022 р., м. Свалява. - Київ: АТМ України, 2022. – 20-25 с.

3. DovhalA.H., BiliakovychO.M., Pryimak L.B. Lifetime improvement of contact brush units of automotive power machines. Part 1. Problems of Tribology, V. 30, No 1/115-2025, P. 6-11.

УДК 525.768.5

В.І. Личик
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Реалізація «концепції чистого літака» при наземному обслуговуванні в аеропортах

Розглянуто «концепцію чистого літака» та її реалізацію при наземному обслуговуванні повітряних суден в аеропортах. Проаналізовано особливості виникнення обледеніння ПС як у польоті, так і на землі. Охарактеризовано методи та технології нанесення протиожеледних рідин та конструктивні особливості деайсерів популярних брендів.

Відповідно до вимог ІСАО забезпечення безпеки польотів у будь-яких погодних умовах є головним завданням авіаперевізників, аеропортових наземних служб та служб управління повітряним рухом. Тому питання протиожеледної обробки (aircraft de–icing/anti–icing) повітряних суден (ПС) є пріоритетним при їх наземному обслуговуванні в аеропортах, особливо у зимових умовах.

При польоті ПС відбувається його обмерзання, так як атмосфера містить краплі води в рідкій фазі. При зіткненні з поверхнями агрегатів ПС переохолоджені краплі води швидко кристалізуються, утворюючи крижані нашарування. В умовах обмерзання ожеледі підлягають лобові поверхні крил, керма висоти і напрямку, повітряні гвинти, повітрозабірники, скло ліхтарів кабіни пілотів, датчики пілотажно-навігаційних приладів тощо.

Найчастіше обледеніння виникає при польотах в діапазоні температур від 0˚С до -15˚С, але відомі випадки, коли обмерзання мало місце при температурі нижче -50˚С.

Характерно, що повітрозабірники двигунів ПС піддаються обмерзанню навіть при температурах до +10˚ С. Це обумовлено тим, що повітря, яке рухається в каналах повітрозабірників, охолоджується при адіабатичному розширенні і волога, яка знаходиться в ньому, конденсується і замерзає.

Обледеніння значно впливає на аеродинамічні характеристики ПС.

Сніг, іній та лід, який може знаходитись на верхній поверхні крила ПС, приводить до зниження критичного кута атаки, що впливає на швидкість звалювання ПС, перетворюючи оточуючий потік з ламінарного на турбулентний. Небезпечними також є пошкодження передньої частини хвостового оперення шматочками льоду, які злітають з крила, що приводить до необхідності періодичних оглядів цих елементів конструкції ПС, а, при наявності вм'ятин, і до непередбачених ремонтів.

Обледенінню також піддаються конструктивні елементи ПС при тривалому їх знаходженні на стоянках в аеропортах або при експлуатації у несприятливих погодних умовах.

При цьому ПС можуть бути вкриті інієм, снігом, краплями холодного дощу, шугою та льодом.

Іній являє собою водяну пару, яка конденсується і замерзає на переохолодженій поверхні ПС. Це єдиний вид обледеніння наявність якого

допускається на крилі. Наприклад, для ПС Airbus і Boeing, допускається шар інію до 3 мм завтовшки на нижній поверхні крила в районі паливних баків.

Наявність снігу, як правило, допускається на поверхні фюзеляжу ПС у невеликих кількостях.

Краплі дощу, які мають мінусову температуру, але ще не замерзають у повітрі, представляють собою холодний дощ. При попаданні таких крапель на поверхню ПС вони відразу замерзають і утворюють крижану кірку.

Шуга це суміш води з дрібним льодом або снігом.

Лід добре утримується на поверхні ПС за рахунок примерзання і порівняно стійкіший до механічних впливів, ніж інші види обледеніння. Особливо небезпечним є, та званий, конденсований лід, який утворюється при плюсовій температурі повітря на поверхні ПС у районі розташування паливних баків. Цю різновидність льоду важко виявити візуально, так як він прозорий і не відрізняється від вологи на крилі.

Діючі нормативні документи, які регламентують польоти ПС, забороняють екіпажу здійснювати зліт, якщо поверхня ПС вкрита будь-яким з існуючих видів обледеніння.

Такий підхід, стосовно заборони польотів в умовах обледеніння ПС, ще в середині минулого століття дістав назву «концепція чистого літака». Ця концепція передбачає, що перед польотом критичні поверхні ПС повинні бути очищеними від усіх видів обледеніння.

Забезпечення «концепції чистого літака» досягається при наземному обслуговуванні в аеропортах.

Для запобігання та видалення обледеніння ПС в аеропортах проводиться їх протиожеледна обробка перед польотом. При цьому протиожеледна наземна обробка поверхні ПС є однією з основних передполітних операцій згідно нормативів ІСАО та ІАТА [1, 2].

Існує ряд методів та технологій протиожеледної обробки ПС: механічний, фізико-хімічний і тепловий.

Механічне видалення, яке проводиться за допомогою щіток, гумових шкребків і віників, застосовується до пухкого та сухого снігу, який нещодавно випав. Цей метод найбільш трудомісткий і, як правило, все одно вимагає подальшого застосування протиожеледних рідин (ПОР).

При тепловому методі обледеніння ПС видаляється нагрівом поверхні інфрачервоними випромінювачами. Цей метод не набув широкого поширення, так як є досить енергоємним та недостатньою ефективним.

Найчастіше застосовується фізико-хімічний метод, який полягає у нанесенні на поверхні ПС ПОР. При цьому нанесення ПОР проводиться із застосуванням спеціальної техніки - деайсерів.

У цьому випадку методи та технології обробки ПС протиожеледними рідинами є засобом забезпечення безпеки польотів.

ПОР для протиожеледної обробки ПС являє собою розчин етиленгліколю у воді з різними добавками для поліпшення експлуатаційних властивостей.

Наявність етиленгліколю забезпечує температуру замерзання ПОР до -60 ° С.

Застосуваннння ПОР у нагрітих до температури +60 … +70° С дає можливість розтоплювати різні види ожеледі на поверхнях ПС та захищати ці поверхні від утворення та накопичення нових видів ожеледі.

Залежно від змісту етиленгліколю і добавок, рідини можуть бути I, II, III і IV типу, що відповідає стандартам ISO.

Рідини I (першого) типу призначені для застосування в нагрітому вигляді в основному для видалення сніжно-крижаних нашарувань з поверхонь ПС. ПОР цього типу забезпечують низький рівень захисту при тривалому наземному обледенінні і застосовуються лише коли утворюється іній без дощу або снігу.

При наявності опадів використовуються рідини II, III і IV типу.

Ці рідини мають більшу в'язкість і утворюють на поверхні захисну плівку, яка не допускає примерзання опадів до поверхні ПС.

Критерієм аеродинамічної придатності ПОР є здатність здуватися з поверхні ПС під час його розбігу по ЗПС і досягнення швидкості до 150 км/год.

При відсутності опадів проводиться тільки видалення обледеніння нагрітою ПОР. Підігріта ПОР розтоплює опади тим самим змиваючи їх струменем рідини.

В залежності від погодних умов регулюється вміст води в ПОР, що забезпечує її економію. Час захисної дії ПОР залежить від її типу і погодних умов і може становити від декількох хвилин для холодного дощу і до 45 хвилин для інію.

В аеропортах протиожеледна обробка проводиться при необхідності для видалення з поверхонь ПС замерзлих опадів або для запобігання їх появи. Зазвичай протиожеледна обробка проводиться на окремих майданчиках летовища.

Для проведення протиожеледних робіт застосовуються стаціонарні та мобільні засоби. Найбільш поширеними є мобільні спецмашини – деайсери.

Вибір деайсерів для експлуатації в аеропортах залежить від багатьох факторів, включаючи кліматичні умови, типи літаків, екологічні норми та фінансові можливості аеропорту.

Важливо зазначити, що кожен аеропорт може мати свої власні вимоги та переваги щодо вибору деайсерів.

Наприклад, у скандинавських країнах та Канаді, де зими особливо суворі, існують свої специфічні вимоги до деайсерів, і аеропорти використовують техніку, яка розроблена для таких специфічних кліматичних умов.

Аналіз використання деайсерів в аеропортах показує, що в аеропортах різних континентів переважно використовуються деайсери компанії Vestergaard Company (Данія) та JVC Tempest 2 (США).



Рис. 1. Сучасні деайсери: Elephant® BETA–15, Tempest-i™, Safeaero 220

Лінійка сучасних деайсерів Vestergaard (Elephant®, Elephant® BETA, Elephant® BETA – 15, Elephant® MY Hybrid, Elephant® e-BETA) відрізняється підвищеною ефективністю, за рахунок впровадження нових технологій нанесення ПОР, покращеною ергономікою, екологічністю та автоматизацією, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора на технологію обробки ПС.

Ця техніка відрізняється своєю високою якістю, надійністю та інноваційними рішеннями [3]. Нові моделі цих машин вписуються у лінійку машин зеленої енергетики.

Особливістю Деайсера JVC Tempest 2 є можливість обробки як верхньої, так і нижньої поверхні ПС.

JVC Tempest 2 це машина для одного оператора, який може керувати машиною з середини стрілової кабіни, що знаходиться навіть у піднятому стані. При під'їзді до ПС та розгортання у робоче положення машиною можна керувати як звичайним транспортним засобом.

Новою моделлю деайсера є Tempest-i™, тепер уже компанії Oshkosh AeroTech [4].

Новинкою серед протиожеледних машин є деайсер Safeaero 220.

Компанія Textron Ground Support Equipment на виставці GSE Expo 2024 оголосила про запуск Safeaero 220E, повністю електричного варіанту деайсера Safeaero 220 [5]. Особливістю цієї машини є те, що вона має одну кабіну, з якої один оператор може управляти як машиною у транспортному положенні, так і спеціальним обладнанням для нанесення ПОР.

Safeaero 220 може обслуговувати широкий спектр ПС, від невеликих бізнес джетів до широкофюзеляжних. Машина має функції бездротової передачі даних і інструменти дистанційної діагностики, що дозволяє операторам швидко відстежувати експлуатаційні функції та технічний стан обладнання та вести автоматизований облік використання ПОР.

Висновок

Встановлений в аеропортах підхід до забезпечення «концепції чистого літака» реалізується за рахунок впровадження сучасних методів, технологій, засобів та техніки, які стосуються запобіганню обледенінню ПС.

Тільки системне вирішення «концепції чистого літака», коли враховуються технічні і технологічні рішення, а також впроваджуються ефективні засоби для протиожеледного захисту ПС, є гарантією забезпечення належного рівня безпеки польотів ПС та екологічної безпеки аеропорту.

Список літератури

1. DOC 9640-AN/940 «Manual of Aircraft Ground De-icing/Anti-icing Operations», 3rd edition (unedited), - ICAO, 2018.
2. AEA «Recommendations for De-Icing / Anti-Icing of Aircraft on the Ground»
3. Офіційний сайт компанії Vestergaard Company [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://vestergaardcompany.com/
4. Офіційний сайт компанії Oshkosh Corporation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://oshkoshaerotech.com/
5. Офіційний сайт компанії Textron Ground Support Equipment. [Електронний ресурс]. - https://textrongse.txtsv.com/

УДК 629.3

Л.В. Курбет
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Перспективи модернізації авіаційної наземної техніки в Україні

Запропоновано новий підхід до підбору авіаційної наземної техніки для наземних служб та компаній, що займаються обслуговуванням повітряних суден в аеропортах.

Діяльність людини іде не на користь довколишньому середовищу. Світ нестабільний не тільки політично. Завдяки стрімкому розвитку усіх можливих благ цивілізації, спостерігаємо стрімку зміну клімату і, на жаль, не в кращий бік. Споживаючи бездумно багатства природи – все частіше отримуємо її агресивну відповідь. Вчені по всьому світу наполегливо намагаються звернути увагу людства на проблему зростання негативних наслідків парникового ефекту на довкілля і закликають почати робити все, щоб зменшити скупчення парникових газів [1-4].

Звичайно позитивні зміни є. Повільно але все більше галузей відкликаються на проведення модернізації свого виробництва та пропонують ті чи інші заходи, що привели б до скорочення шкідливого впливу на довкілля. У важкому машинобудуванні, наприклад, рекомендують використання електричної енергії, що дозволяє зменшити витрати енергії на 80% [5]. Із-за зростаючого попиту на альтернативні джерела енергії область електроенергетики почала швидко прогресувати. Все частіше анонсують про випробування та створення більш містких акумуляторів. Користуючись цими розробками, виробники тракторів все частіше віддають перевагу новим, більш екологічним джерелам електроенергії [6]. Це стосується зокрема і розвитку транспортних мереж.

Коли вчені говорять про забруднення навколишнього середовища, частіше звертають увагу на необхідність переходу на альтернативні види джерел енергії саме автомобільного транспорту. Але авіаційний транспорт теж потребує екологічної модернізації так як під час експлуатації повітряних суден відбувається забруднення ґрунтів, водних об’єктів та атмосферного повітря [7, 8].

Авіація це не лише повітряні судна. Для забезпечення нормальної роботи повітряного парку, в аеропортах працює велика кількість спеціальної авіаційної наземної техніки. Для того, щоб літак повноцінно виконав своє призначення, десятки спецавтомобілів мають попрацювати біля нього. Наземні служби аеропорту експлуатують автомобілі різні за розміром, потужністю і призначенням. Починаючи від маленьких тягачів для багажних візків і закінчуючи потужними навантажувачами контейнерів та снігоприбиральними машинами. І тому дуже важливо, щоб уся авіаційна наземна техніка живилася теж від альтернативних джерел енергії.

Звичайно наразі повітряний простір України закритий для польотів цивільної авіації внаслідок бойових дій. Збройна агресія Російської Федерації

проти України суттєво вплинула на стан інфраструктури транспорту вцілому і практично зупинила роботу цивільних авіапідприємств. Але Постановою Кабінету Міністрів від 27 грудня 2024 р. №1550 було схвалено Національну транспортну стратегію України на період до 2030 року, де визначено напрями відновлення та розвитку в тому числі і авіаційного транспорту [9]. І це дає надію та можливість на відновлення та модернізацію авіаційної техніки в цілому та авіаційної наземної техніки зокрема з урахуванням і екологічних потреб в тому числі, так як окремим пунктом стратегії є: «безпечний, людиноцентричний, екологічний та енергоефективний транспорт».

Тобто відбудовуючи авіаційну галузь практично з нуля, в України є шанс зробити це цілком і повністю орієнтуючись на технології та технічні розробки спрямовані максимально зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Службам та компаніям, які займаються обслуговуванням повітряних суден в аеропортах, підбираючи власний автопарк спеціальних машин, слід орієнтуватися на машинобудівні компанії, які вже виготовляють електроавтомобілі. І обирати вже є з чого.

На світовому ринку спеціальної авіаційної наземної техніки вже є можливість обрати екологічно привабливі засоби для обслуговування повітряних суден та авіапідприємств. Компанії «BISON» та «PHOENIX» випускають тягачі для буксирування всіх типів повітряних суден і пропонують своїм замовникам обирати між дизельними та електричним двигунами [10, 11]. Активно експлуатуються електричні тягачі для багажних візків ATA Modena ATA E200, ATA E250, ATA E400 [12].

Перший у світі автозаправник на базі електричної вантажівки eEconic виготовив й передав замовнику підрозділ Special Trucks провідного виробника техніки Mercedes-Benz. Паливозаправник призначений для роботи в міжнародному аеропорту Штутгарта, Німеччина. Усе електричне обладнання цистерни на 40 000 літрів працює від акумуляторів автомобіля. До напівпричепа адаптували повністю електричний Mercedes-Benz eEconic, який цікавий тим, що відноситься до рідкого сегменту низькопідлогових вантажівок, чия габаритна висота менша за 2,8 м. До речі, аеропорт Штутгарта запланував скоротити прямі викиди парникових газів до нуля до 2040 року. За тим же перспективним планом розвитку до 2030 року всі рейси в цьому аеропорту мають бути кліматично нейтральними [13, 14].

З'явилися підігрівачі двигуна літака E-Z HEAT MODEL 440 – 120V [15], правда поки що для маленьких літаків, але це уже дає надію і для великих повітряних суден. Також слід згадати про агрегати кондиціонування повітря компанії TLD серій ACU-302, ACU-302S, COOL-10, COOL-15, які включають лінійку дизель-електричних і побутових електричних установок кондиціонування повітря та обігріву, призначених для обслуговування вузькофюзеляжних, регіональних реактивних літаків по всьому світу [16].

Давно відомі і успішно працюють пасажирські електротрапи СПТ-154, Т-9900-30 та трап TLD ABS-580-E [17]. Є на ринку спецтехніки і самохідні конвеєрні навантажувачі, які живляться від акумуляторів [18]. Для транспортування пасажирів розроблені електричні автобуси. Зокрема це повністю електричний автобус-«гармошка» фірми Volvo, поки що тільки

міський [19]; автобус електричний JS6120GHBEV від машинобудівного концерну Weichai Group, який є одним із найбільших виробників автобусів під різні транспортні задачі [20]. І в Україні є власна розробка пасажирського електричного автобуса «Мальва Електро» [21, 22].

Аеропорт – це складний транспортний вузол, в якому експлуатаційно поєднана взаємодія повітряних суден, автомобільного транспорту та авіаційної наземної техніки. Ми звикли, що авіаційний транспорт – це швидкий та комфортний спосіб подорожувати та перевозити вантажі по всьому світу. Тож він теж має стати безпечним для довкілля. Усі аеропортові служби можуть і повинні змінюватися, використовуючи вже існуюче обладнання, що працює від альтернативних джерел енергії.

Висновок

Таким чином, запропоновано новий підхід до підбору авіаційної наземної техніки для аеропортів та служб, які здійснюють обслуговування повітряних суден. Акцентовано увагу на вже існуючій спецтехніці на світовому ринку, яка живиться від альтернативних джерел енергії.

Запропонована модернізація парку спецтехніки доцільна для авіапідприємств України у повоєнний час.

Список літератури

1. М. Світалінський. Парниковий ефект та його причини і наслідки. Екологічні проблеми України та Світу – глобальні проблеми сучасності / Клімат України та Світу [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://nrv.org.ua/parnykovyj-efekt-ta-jogo-prychyny-i-naslidky-problema-i-sut-parnykovogo-efekt-korotko/

2. Melissa Denchak. Greenhouse Effect 101. 2023. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.nrdc.org/stories/greenhouse-effect-101

3. Диявол у дрібницях: як потепління всього на пів градуса може змінити планету? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ecoaction.org.ua/dyiavol-u-dribnytsiakh.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwktO_BhBrEiwAV70jXu734fG3CcCO42g641E8MdUp0aE_yDvwK1TJFM6XNB7pLSIzyYjoRoCPQkQAvD_BwE

4. Christina Nunez. Carbon dioxide levels are at a record high. Here's what you need to know. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.nationalgeographic.com/environment/article/greenhouse-gases

5. В. Тулупов, С. Онищук. Використання енергозберігаючих технологій у важкому машинобудуванні. Технологічні науки та технології. - №4(30), 2022.

6. В. Б. Самородов, В. М. Краснокутський, В. Ю. Ткачов. Розвиток електротракторів в Україні. Вісник НТУ «ХПІ». Вісник №02. Автомобіле та тракторобудування. 2020.

7. І.Л. Трофімов. Аналіз впливу авіаційного транспорту на забруднення атмосфери. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2014. №1.

8. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв В.С. Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2020/1/32.pdf

9. Постанова КМУ від 27 грудня 2024 р. №1550. [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://mindev.gov.ua/storage/app/imported_content/67bdd934ccdb6.pdf
10. Ефективність нового рівня. Вигідна інвестиція. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ia-t.com/goldhofer_bison
11. СІМЕЙСТВО «PHOENIX» - БЕЗВОДИЛЬНІ ТЯГАЧІ МАЙБУТНЬОГО [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.mhm-ukraine.com/brendy/goldhofer/towbarless-tractors/phoenix-family
12. Наземна техніка для аеродромів. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://specauto.com/aerodromnaya-tekhnika/nazemnaya-tekhnika-dlya-aerodromov/
13. Електричний Mercedes-Benz eEconic увійшов в сегмент заправки літаків. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://news._infocar.ua/mercedes-benz_eeconic_uviyshov_v_sehment_zapravky_litakiv_16669 6.html
14. Заряджайте, заправляйте, літайте: Mercedes-Benz eEconic увійшов в сегмент заправки літаків. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://auto.24tv.ua/zariadzhaite_zapravliaite_litaite_mercedes_benz_eeconic_uviishov_v_sehment_zapravky_litakiv_n51602
15. Підігрівач двигуна літака E-Z HEAT MODEL 440 – 120V. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://crewshop.ua/aerodromnoe-oborudovanie/podogrev-vs/pidigrivach-dviguna-litaka-e-z-heat-model-440---120v
16. Кондиціонери. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.tld-group.com/products/air-conditioners/
17. Пассажирский трап TLD ABS-580-E. [Електронний ресурс] .- Режим доступу: https://www.gruzovik.com/aerodromnaya-tehnika/passazhirskie-trapy/tld-abs-580-e-a8593261.html
18. Самохідний конвеєрний навантажувач. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ua.ltmgforkliftruck.com/airport-gse-equipment/self-propelled-conveyor -belt-loader.html
19. Транспорт: на землі, у воді й повітрі. 2019. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://ecotech.news/transport/165-volvo-predstavila-povnistyu-elektrichnij-avtobus-garmoshku.html
20. Автобус електричний JS6120GHBEV (низькопідлоговий). [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://drobmash.com.ua/catalog-gallery/avtobus-elektrychnyj-js6120ghbev/
21. «Мальва Електро» ─ український електричний автобус із запасом ходу 200 км (відео). [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://itc._ua/ua/novini/malva-elektro-ukrayinskyj-elektrychnyj-avtobus-iz-zapasom-hodu-200_-km-video/
22. У Києві презентували перший електробус, розроблений в Україні. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://uamotors.com.ua/news/130775

УДК 656.7.07:004.89

О.В. Харчено, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
С.Д. Харченко, к.т.н.
(Інститут загальної енергетики НАН, Україна)

Інтегровані цифрові рішення для оптимізації функціонування аеропортів: смарт-менеджмент паливозабезпечення, вантажних терміналів та наземної інфраструктури

У статті розглядаються інтегровані цифрові рішення для оптимізації функціонування аеропортів, зокрема смарт-менеджмент паливно-мастильних матеріалів (ПММ), вантажних терміналів та наземної інфраструктури. Аналізуються сучасні технології, що сприяють підвищенню ефективності та безпеки аеропортових операцій.

Сучасні аеропорти стикаються з викликами, пов'язаними з необхідністю підвищення ефективності, безпеки та екологічності операцій [6]. Інтеграція цифрових технологій у логістику паливозабезпечення, вантажообіг та управління інфраструктурою є стратегічним кроком на шляху до ефективного, безпечного та екологічного функціонування аеропортів.

Метою дослідження є аналіз сучасних цифрових рішень, що застосовуються в аеропортах для оптимізації функціонування ПММ, вантажних терміналів та наземної інфраструктури.

Завдання включають:

– Огляд існуючих технологій та їх вплив на ефективність аеропортових операцій.

– Визначення переваг та викликів, пов'язаних з впровадженням цифрових рішень.

– Розробка рекомендацій щодо інтеграції цифрових технологій у аеропортову інфраструктуру [7].

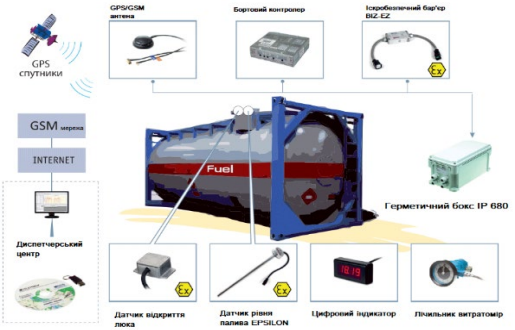


Рис. 1. Інтегрована система моніторингу та керування паливозабезпеченням з використанням GPS/GSM технологій у транспортних модулях аеропортової інфраструктури

Результати досліджень свідчать про те, що використання цифрових технологій у системах паливного забезпечення аеропортів (рис.1) сприяє зменшенню витрат та підвищенню безпеки. Зокрема, використання систем моніторингу та управління запасами ПММ (паливно-мастильних матеріалів) забезпечує оперативне реагування на зміни попиту та запобігати витокам.

У сфері вантажних терміналів застосування автоматизованих систем обробки вантажів та трекінгу забезпечує швидке та точне переміщення товарів, зменшуючи час обробки та підвищуючи задоволеність клієнтів.

У зв'язку з ростом обсягів повітряних перевезень та вимог до енергоефективності, цифровізація процесів у системі паливозабезпечення аеропортів набула стратегічного значення. Сучасні дослідження все частіше звертають увагу на використання технологій IoT, Big Data, штучного інтелекту та цифрових двійників для оптимізації моніторингу, обліку та логістики ПММ.

Інтернет речей (IoT) у сфері паливного менеджменту розглядається як основа для створення інтелектуальних сенсорних систем, які забезпечують безперервний контроль параметрів пального — рівня, температури, якості тощо. Наприклад, дослідження [1] демонструє, як сенсорні системи на базі LoRaWAN дозволяють у реальному часі контролювати стан паливних резервуарів, попереджаючи втрати та аварійні ситуації.

Big Data та аналітика використовуються для прогнозування споживання ПММ залежно від сезонності, типів повітряних суден та рейсів. Системи, які поєднують хмарне зберігання даних із аналітичними модулями, дозволяють оперативно реагувати на зміну попиту та оптимізувати постачання [2].

Штучний інтелект застосовується для передиктивної діагностики технічного стану ПММ, зокрема при виявленні мікрочасток, зміни кольору, домішок тощо. У дослідженні [Chowdhury & Aung, 2020] наведено приклади успішного застосування машинного навчання для оцінки якості авіаційного пального [3].

Важливою інновацією є цифрові двійники паливних систем (Digital Twin), які моделюють фізичні процеси та дозволяють проводити тестування сценаріїв експлуатації без втручання в реальні об'єкти. Такі підходи активно вивчаються у роботах [4], де розглядається симуляція систем дозаправки на основі цифрового двійника.

Стандартизація та сумісність програмних продуктів також залишаються на порядку денному. Дослідження [5] підкреслює важливість відкритих протоколів, єдиної термінології та інтерфейсів, що уможливлюють інтеграцію рішень різних постачальників у єдину цифрову екосистему.

У дослідженні використовуються методи аналізу літературних джерел, порівняльного аналізу технологій та експертного оцінювання. Інструменти включають програмне забезпечення для моделювання процесів та систем управління даними.

Впровадження цифрових рішень у логістику паливозабезпечення дозволяє зменшити витрати на паливо до 15% та підвищити точність обліку. У вантажних терміналах автоматизація процесів сприяє зменшенню часу обробки вантажів на 20-30%. Цифрові системи управління наземною інфраструктурою

забезпечують більш ефективне планування та координацію операцій, зменшуючи затримки та підвищуючи безпеку.

Висновок

Впровадження інноваційних рішень у функціонування аеропортів є ключовим фактором у підвищенні ефективності, безпеки та екологічності операцій. Рекомендується впровадження систем моніторингу та управління ПММ, автоматизація вантажних терміналів та цифровізація наземної інфраструктури для досягнення оптимальних результатів. Такий підхід відповідає сучасним стратегіям підвищення конкурентоспроможності аеропортів в умовах невизначеності [8].

Список літератури

1. Khedkar, S. P., Patil, S., & Ghonge, M. (2021). Smart fuel tank monitoring system using IoT. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), 8(6), 88–93.
2. Chen, J., Zhang, L., & Zhou, B. (2022). Big data-based optimization of aviation fuel supply chains. International Journal of Aviation Systems, 19(3), 241–257.
3. Chowdhury, S., & Aung, Z. (2020). Predictive analytics in aviation fuel monitoring using machine learning. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 113, 34–47. https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.01.010
4. Zhao, Y., Li, X., & Feng, C. (2023). Digital twin-based simulation for refueling systems in smart airports. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 107, 151–164. https://doi.org/10.1007/s10846-022-01543-6
5. International Air Transport Association (IATA). (2021). Smart fueling guidelines. Retrieved from https://www.iata.org
6. Vasylenko, I. V., Yaremenko, V. Y., & Lytvynenko, S. L. (2023). Organizational and technological support features of international airport operations: A review. Transport, Transport Technologies. [In Ukrainian]
7. Marintseva, K. V. (2013). Theoretical foundations of airport network analysis. High Technologies, 2. [In Ukrainian]
8. Piletska, S. T. (2022). Formation of a competitive airport strategy under uncertainty. Business Inform, 11. [In Ukrainian]

УДК 621.793:620.178.3:620.1

O.V. Kharchenko, Ph.D.
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukrain)
S.D. Kharchenko, Ph.D, Senior Researcher
(General Energy Institute of National Academy of Sciences, Ukraine)

Heat- and wear-resistant coatings for protection and restoration of aviation components

This study investigates the friction and wear behavior of Cr–Al–Si–B heat- and wear-resistant coatings under high-temperature conditions. The optimal coating composition was justified. The influence of alloying elements and spraying parameters on the structure, properties, and quality of the coatings was demonstrated. A correlation between microstructure and operational wear resistance was established.

A distinctive feature of most moving joints in aviation equipment operating under friction is the need to maintain both functional and technological performance at elevated temperatures. Temperature, as an operational factor, is a critical parameter in friction conditions. Thermal processes arising under these conditions directly affect the formation of the physical, chemical, and mechanical properties of surface layers.

Despite the structural variety and functional differences among tribosystems, wear resistance is a universal requirement—it determines reliability and service life. However, creating a universal coating to protect aviation components from wear remains a complex challenge, comparable to developing a monolithic wear-resistant material capable of meeting all operational demands in mechanical engineering.

There is significant scientific interest in developing new materials in this field. When designing such materials, it is essential to consider technical and economic constraints, including manufacturing feasibility and the cost of rare or expensive components.

The friction and wear behavior of Cr–Al–Si–B heat- and wear-resistant coatings was investigated. Coatings with a thickness of 0,15–0,20 mm and surface roughness Ra = 0,4–0,6 were applied to 45-grade steel samples and tested using a UMT-2 tribometer under high-temperature conditions (V = 1,5 m/s, P = 5,0 MPa).

X-ray phase analysis was performed using a DRON-UM1 diffractometer (Co radiation, 25 kV, 15 mA). Microstructural examination was conducted using a REM-106 scanning electron microscope. Metallographic analysis was performed with a Carl Zeiss Axio Imager 2, and microhardness was measured using a PMT-3 tester under a load of 0,5 N. Temperature was measured 1–2 mm from the friction zone using chromel–copel thermocouples.

The Cr–Al–Si–B system [2] was selected for its structural adaptability and low friction coefficient. The optimal coating composition was determined based on the influence of alloying components on structural and mechanical properties [3]. Chromium powder was chosen as the base material [4] due to its certification and suitability for stepwise alloying with low-solubility elements [5].

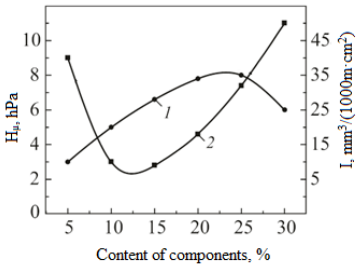


Fig. 1. Changes in microhardness (1) and wear intensity (2) of Cr–Al–Si–B coatings depending on boron content

Figure 1 shows the effect of boron content on the microhardness (Hμ) and wear intensity (I) of Cr–Al–Si–B coatings. The maximum microhardness (~22%) is achieved at 20–25% boron content. The addition of silicon, aluminum, and boron to the chromium solid solution promotes the formation of complex high-temperature phases, enabling dispersion hardening and enhanced wear resistance. The beneficial effects of alloying elements occur only at precisely defined concentrations determined experimentally.

High-quality multicomponent coatings depend on spraying parameters. A series of experiments confirmed that the optimal acetylene/oxygen flow ratio (~22/25 L/min) and proper gas mixture filling of the barrel ensure stable coating properties with a relative density of ~99%.

Micro-X-ray spectral analysis of Cr–Al–Si–B coatings revealed a fine-grained conglomerate (>75% vol.) containing ultrafine boron-rich inclusions (1–3 μm) of types MeB_2, MeB_4, MeB_6, and MeB_{41}. Their structure is defined by rigid B–B sublattices. A solid solution based on β-B was also identified, along with $(Cr,Si)_4B_5$ boride phases, intermetallic silicides (MeSi, $MeSi_2$, $MeSi_3$), and silicon borides (SiB_4, SiB_6) in a ductile Cr–B–Si matrix.

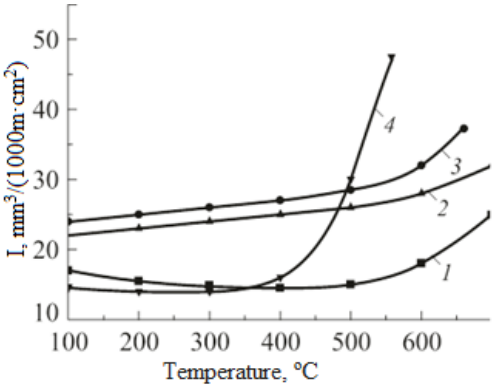


Fig. 2. Dependence of wear intensity of Cr–Al–Si–B (1), Al_2O_3–Cr_2O_3 (2), Ni–Cr–Al–B (3), and WC–Co (4) coatings on temperature (V = 1.5 m/s; P = 5.0 MPa)

The formation of secondary structures with a microhardness of 19–21 GPa (initially 16 ± 0.5 GPa) is determined by the phase and chemical composition of the surface layer. This is driven by thermo-mechanical impulses, diffusion of alloying elements, and atmospheric oxygen, which lead to phase transformations and the formation of a finely dispersed, quasi-equilibrium wear-resistant structure. Such thin films resemble dispersion-strengthened composite materials, known for their combination of high plasticity, strength, and long-term stability [3].

With increasing temperature, surface phenomena intensify due to lattice distortion caused by fluctuating stresses during friction. Point and multidimensional defects activate tribochemical reactions. When the critical temperature of ~700 °C is reached, destructive processes are initiated in Cr–Al–Si–B coatings, leading to unacceptable damage.

Conclusion

The composition, structure, and tribological properties of Cr–Al–Si–B coatings produced by detonation spraying were investigated. The coatings demonstrated high adhesion, mechanical strength, and wear resistance at elevated temperatures, comparable to those of heat-resistant alloys.

Oxide structures formed during friction change state depending on chemical composition and become more stable at high temperatures, improving mechanical performance.

Composite coatings provide operational reliability and meet the requirements for modern wear-resistant materials manufactured by detonation spraying.

References

1. Zemlianyi, A. O., Bys, S. S., Shchepetov, V. V., Kharchenko, S. D., Hladkyi, Y. M. (2004). Energy aspects of tribosystems. Materials Science, 59(6), 741–745. https://doi.org/10.1007/s11003-005-0045-6

2. Shchepetov, V., Kharchenko, S., Kharchenko, O., Dolzhenko, G. (2004). Nanocomposite coatings for wear protection at high temperatures. In System Research in Energy (pp. 65–72).

3. Shchepetov, V., Kharchenko, O., Kharchenko, S., Kalinichenko, V. (2003). Formation of antifriction surface structures under friction. Problems of Friction and Wear, (3), 117–125.

4. Babak, V. P., Shchepetov, V. V., Kharchenko, S. D., Kruchinin, S. P., Bellucci S. (2022). Detonation self-lubricating antifriction glass composition. Journal of Nanomaterials, 2022(1), 1493066. https://doi.org/10.1155/2022/1493066

UDC 656.7

A.O. Shyshka
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Modern digital technologies of airports

The paper presents the main technological directions of application of modern digital technologies in airports. Biometric technologies, use of artificial intelligence and big data open up new opportunities for customers and staff, improve operational processes of airports.

Introduction. The role of air transport in the world economy is constantly growing. This is due to both technological achievements and the latest developments in the aviation sector, as well as globalization and strengthening of business and cultural ties between different countries of the world [1].

Five main driving forces contribute to the modernization of the aviation industry: society, environment, politics, economy and technology. It is technology that plays the greatest role in influencing the development of the aviation sector. New digital technologies open up new opportunities to support the operation of the internal environment of the airport, improving the experience of both customers and staff. [2].

The International Air Transport Association (IATA) in its report "The Future of Aviation 2035" highlighted the technologies and factors that will influence the development of the aviation industry. Cybersecurity, robotics and automation, 3D printing, new manufacturing technologies, virtual and augmented reality, alternative fuels and energy sources, innovative aircraft designs, alternative rapid transit methods and geospatial technologies will play a key role in the future of aviation and airports [3].

Main text. Today, we can note the digital technologies that have already been implemented or will soon be integrated into the airport environment:

Biometric technologies such as facial recognition, fingerprint authentication and retinal scanning will become a common method of verification. By implementing biometric systems in border control, airport check-in, boarding and migration procedures, the verification process will take less time and will not lead to congestion and queues in certain areas of the terminal. This will also affect the baggage claim process, allowing passengers to track their belongings in real time.

From February 19, 2015 to February 24, 2022, a biometric passport document control system operated at Boryspil Airport. The new document were issued no longer than old-style passports. The new passport differs from its predecessor in having a built-in microchip, as "warned" by a stylized image of the microcircuit on the cover of the document. It, like a regular passport, can be checked using technical means that are now available at all major checkpoints [4].

Starting in 2024, Singapore's Changi Airport is set to introduce automated immigration checks, allowing travelers to leave the city-state without a passport using only biometrics. Biometric technology, along with facial recognition software, is already in use at Changi. However, future developments will reduce the need to repeatedly present their travel documents at checkpoints and make the process smoother and more convenient [5]. The use of AI provides passengers with a

personalized travel experience by optimizing and enhancing digital interactions between airlines and their customers. AI also helps airlines customize their services to meet the individual needs of passengers. To improve passenger satisfaction and airport efficiency, Huawei's Smart Airport Solution uses the Horizon digital platform to integrate several new technologies, including AI, the Internet of Things, cloud video, big data, and an integrated communications platform (ICP). The solution focuses on three areas of the airport business: operations management, security and services. By creating two solutions for specific scenarios – One ID for airport travel and One Map for airport operations – the Smart Airport solution optimizes passenger and flight flows, significantly improving the passenger travel experience and overall airport efficiency[6]. Intelligent security systems for airports are always a must-have. Millions of passengers, tons of cargo and a continuous information cycle require the highest level of security, lightning-fast incident response and proactive action.

Deploying intelligent security solutions at airports from our partner Cognyte, whose software complies with the SAFETY Act developed by the US Department of Homeland Security (DHS), helps optimize all aspects of security management, allowing data analysis to ensure smooth daily airport operations.

An intelligent airport control center, which should include various levels of intelligent technologies, such as:

– Video Management Software (VMS), which uses advanced artificial intelligence and security analytics. The VMS system is crucial for monitoring airport operations and investigating potential threats. And by integrating VMS with various technologies and components, such as dynamic GIS maps and response management, airport security can gain full situational awareness and control to respond appropriately;

– Dispatch manager. In the event of an incident, airports need to share information in real time between dispatchers, first responders, and other stakeholders. The next-generation mobile technologies used in the Intelligent Control Center allow operators to see the full picture of the situation, as well as its development by the appropriate response forces, helping to facilitate informed decisions and without delay. Ultimately, these facilities become more prepared to proactively respond to incidents, while ensuring a positive experience for travelers. As airports strive to attract more passengers and expand in scale, choosing security solutions based on sophisticated intelligence and analytics helps protect what matters most: people, assets and business continuity [7]. Big Data, along with artificial intelligence and machine learning, helps to predict and predict the behavior of air passengers. Big data is a set of information characterized by its enormous volume, rapidly increasing rate of accumulation, and a variety of formats, both structured and unstructured. The right data, collected in the right way, can provide actionable insights that can be used to make the best decisions, for the efficiency and smooth delivery of passenger-centric services at airports. Business intelligence tools such as Day of Operations BI are becoming central to this work. They provide a broad source of data and understanding of the relationships between data sets, as well as analyze and establish context before identifying areas for change and improvement. At the same time, this technology provides a basis for decision-making. customer satisfaction.

Shared decision-making is a priority at many airports today. Its goal is to improve the overall efficiency of operations by working with various stakeholders to integrate

processes and systems to reduce delays and better manage airport resources. The priority of SDM programs is usually to adhere to flight schedules with on-time departures, which is closely related to ensuring aircraft turnaround times. A more advanced version of CDM – Airport-CDM (A-CDM) – connects the airport with regional air traffic management, as well as with the systems of airlines and other relevant partners. A-CDM is a joint program of ACI EUROPE, EUROCONTROL, IATA and CANSO. The goal is to improve the overall efficiency of airport operations by optimizing resource utilization and increasing predictability of events. SITA provides mandatory modules, integration capabilities and advice on implementing the organizational changes required to achieve A-CDM compliance as defined by EUROCONTROL.

Both CDM and A-CDM require accurate, real-time information so that they can provide a "single truth" to all airport stakeholders. The best way to achieve this is through an integrated control center. Airports want to use business intelligence tools to monitor passenger flow and deploy staff and assets more effectively, including the ability to leverage aircraft movement data. CDM and A-CDM are important parts of this process.

The growing list of improvements provides ample evidence of the power of data to drive improvements. These include the introduction of real-time air traffic flow forecasting, for example, through the Flow Predictor solution. This helped a leading European airport reduce waiting times at processing points by 20% and increase passenger satisfaction by 10%. There is also the ability to use queue analytics to monitor, measure and predict queue waiting times. Orlando International Airport is a great example of how combining business intelligence with a tool like Queue Analyzer can help reduce traveler stress and enable more accurate resource planning.

One way to achieve this is by using a workforce mobility solution like SITA's AirsideApp, which enables ground processes to move from paper to digital and from desktop to mobile. It runs on tablets and connects to airline, airport and ground handling systems. This means information can be collected and shared in real time. AirsideApp is widely used by airports in Asia and the Middle East. It reduces the administrative time required to process forms and handouts by 30%. It increases the accuracy of time-stamped activity recording by up to 25%.

Just like in airports, airlines and aircraft are harnessing the power of data. On the runway and in the sky, aircraft have never generated more complex data. Aviation data parameters from 5 to 200,000 today. It is clear that it has never been more important for airlines to master the ways of managing their fleet data and maximizing its value than it is today.

This is data on engine performance and its characteristics, which are compared at every stage of the flight. It is also data on passenger connections to the on-board Internet and mobile network services, correspondence between the cockpit and ground air traffic control, information exchange between flight attendants and airline customer relationship management centers. Almost every action or decision made on board an aircraft generates data.

The SITAONAIR tool aims to enable the air transport industry to use and analyze this data. And one of the key benefits is the possibility of a more personalized passenger service. One way to do this is to integrate an airline's CRM system with an in-flight communications portal, which will allow the airline to offer personalized

offers to individual passengers.

The future of airport disruption management will change thanks to smarter use of data. Airports will no longer simply react to disruptions, they will be able to predict disruptions before they happen. SITA Lab is working on new tools that use artificial intelligence (AI) and big data to implement them. These tools will be able to provide an extended forecast for 72 hours. This will allow an airport or airline to prepare for any expected disruptions and, where possible, provide proactive prevention and mitigation.

Baggage management is another area where AI and big data can come together. From an operational perspective, AI will allow airports and airlines to analyze data to learn which baggage routes are causing the most strain on their systems and what factors are likely to cause them. These systems could also provide insight into the structure of baggage movements, which would allow airlines to deliver suitcases more efficiently.

SITA is the world's leading intermediary in the field of air transport data exchange. The company works closely with airports around the world, airlines and ground services. They can make the most of the data. This can improve the quality of passenger service during air transportation and operational processes at all airports for all airlines [8].

Conclusions. The use of innovative digital technologies contributes to the effective support of internal airport operations, opening up new opportunities for customers and staff, and improving operational processes at airports.

References

1. Aviation transport strategy of Ukraine for the period up to 2030 [Electronic resource]. – Access mode: https://mtu.gov.ua/files/Dok_PROEKT.docx–
2. Yanovs′kyy, P. O., Val′ko, A. M. (2015).Use of advanced information technologies to serve airport passengers. Komp'yuterni tekhnolohiyi v mis′komu i rehional′nomu hospodarstvi: pratsi 5mizhnar. nauk.-prakt. internet- konf., m. Kyyiv, 23–28 lystopada 2015 r. Kyyiv, 38–39.
3. Price, R., De Lille, C., Bergema, K. (2019).Advancing industry through design: A longitudinal casestudy of the aviation industry. The Journal of Design,Economics, and Innovation, 5, (4), 304–326.
4. A biometric passport control system is in place at Boryspil Airport. https://kbp.aero/news/v-aeroportu-borispil-diye-sistema-biometrichnogo-kontrolyu-pasportnix-dokumentiv/
5. Podolsky E. Passport control for tourists to be canceled at Singapore Airport 09/23/2023, https://dip.org.ua/singapur/v-aeroporti-sinhapuru-vidminyayut-perevirku-pasportiv-dlya-turystiv/.
6. Smart Airport https://e.huawei.com/ua/industries/aviation
7. Artificial Intelligence from cognyte is a must-have for every airport in the world.https://www.smartdefense.company/shtuchnij-intelekt-vid-cognyte-mast-hev-kozhnogo-aeroportu-u-sviti/
8. Big data: the value of data for air transportation https://dsl-ua.com/ru/2020/01/10/big-data-tsinnist-danih-dlya-povitryanih-perevezen/#

УДК 327.5+656.7+338.48(100)

О.В. Колотуха, д.геогр.н., професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Геополітичні реалії в логістиці міжнародного туризму

В статті розглядаються вплив геополітичних подій (пандемія короновірусу, військові конфлікти (україно-російський та арабо-ізраїльський), тероризм) на географію та логістику міжнародних авіаційних пасажирських перевезень та міжнародного туризму з огляду на симбіотичність розвитку авіації та туризму, які разом складають один з найпотужніших секторів світової економіки.

В сучасних умовах турист прагне в найкоротший термін прибути до місця або в країну подорожі, при цьому власне етап переміщення повинен бути мінімізований за часом його здійснення. Етап перевезення на міжнародних туристських маршрутах – досить нервовий для туриста, він, зазвичай, багаторазово супроводжується митними, прикордонними, фіскальними та санітарними формальностями, оглядами багажу, іноді особистим оглядом, які дещо напружують туриста, заважають йому налаштуватися на бажаний відпочинок і процес отримання задоволення. Але, за будь-яких умов, етап перевезення – неминуча реальність і необхідність, питання лише в тому – якими способами і методами його вирішувати.

Авіацію небезпідставно вважають каталізатором туризму. Завдяки зростанню швидкості, безпеки і комфорту подорожування, авіаційний транспорт, як ніякий інший, стимулює сучасні глобальні тенденції розвитку туризму – переважання темпів зростання кількості подорожей між різними регіонами світу над внутрішньорегіональними поїздками. Розвиток міжнародних авіаційних пасажирських перевезень став визначальним фактором становлення масового міжнародного туризму на рівні із зростанням доходів населення розвинених країн, поширенням інформаційно-комунікаційних технологій та глобалізацією. Нині важко переоцінити взаємозалежність, взаємну інтегрованість, симбіотичність розвитку авіації та туризму, які разом складають один з найпотужніших секторів світової економіки. Актуальні тенденції, проблеми та перспективні напрямки трансформації сфери міжнародних пасажирських авіаційних перевезень знаходять відображення у географії та логістиці міжнародних туристських потоків, стають ключовими елементами системи менеджменту туристських дестинацій, формують новий тип поведінки туриста.

На сьогоднішній день, надзвичайно важливий вплив на географію та логістику міжнародних авіаційних туристських потоків відіграють сучасні геополітичні реалії. Станом на сьогодні, такими геополітичними подіями є пандемія короновірусу та її наслідки, але найбільше – військові конфлікти (україно-російський, арабо-ізраїльський) та прояви міжнародного тероризму.

Щодо пандемії короновірусу, пік якої припав на 2020 рік, то за розрахунками Всесвітньої туристської організації (UNWTO) світова туристська галузь за показниками 2024 року змогла практично вийти на допандемійний

рівень 2019 року. 2024 рік знаменує собою відновлення міжнародного туризму після найгіршої кризи в історії через чотири роки після спалаху пандемії COVID-19. У 2024 році міжнародний туризм практично відновився (99%) від допандемічного рівня, причому більшість напрямків перевищили показники 2019 року. За оцінками UNWTO, у 2024 році в світі було зареєстровано 1,4 млрд. міжнародних туристів, що на 140 млн. (11%) більше ніж у 2023 році.

Результати були зумовлені сильним попитом після пандемії, сталими показниками великих вихідних ринків і постійним відновленням напрямків в Азійсько-Тихоокеанському регіоні. При цьому, найефективнішим регіоном порівняно з 2019 роком став Близький Схід: у 2024 році кількість міжнародних прибуттів зросла на 32% порівняно з допандемічним рівнем та на 1% порівняно з 2023 роком. Європа прийняла на 1% більше прибуттів, ніж у 2019 році, і на 5% більше, ніж у 2023 році, тоді як в Африці кількість прибуттів зросла на 7% порівняно з 2019 роком і на 12% більше, ніж у 2023 році. Американський регіон відновив 97% (-3% порівняно з 2019 роком) прибуттів до пандемії, а Азійсько-Тихоокеанський регіон – 87% (-13% порівняно з 2019 роком). За субрегіонами найвищі показники в 2024 році, порівняно з 2019 роком, показали Північна Африка (+22%) та Центральна Америка (+17%) [1].

За попередніми оцінками UNWTO, у 2024 році надходження від міжнародного туризму досягли 1,6 трлн. дол. США, що приблизно на 3% більше, ніж у 2023 році, і на 4% більше, ніж у 2019 році (в реальному вираженні). У 2023 році надходження вже відновили рівень до пандемії. Загальний експортний дохід від туризму (надходження та пасажирські перевезення) оцінюється в рекордні 1,9 трлн. дол. США в 2024 році, приблизно на 3% вище, ніж у 2019 році. Очікується, що в 2025 році кількість міжнародних туристів зросте на 3-5% порівняно з 2024 роком. Позитивний прогноз для туристського сектору відображено в останньому Індексі довіри до туризму ООН, який отримав 130 балів за 2025 рік (за шкалою від 0 до 200, де 100 означає аналогічні очікувані результати). Однак геополітичні та економічні виклики продовжують створювати значні ризики для сектору у 2025 році [1].

Щодо військової загрози логістиці міжнародних авіаційних пасажирських перевезень та міжнародного туризму, то більшість дослідників констатують підвищення рівня соціально-політичної, економічної та воєнно-політичної нестабільності в наступних регіонах: Близький Схід, Мала Азія, Африка на південь від Сахари, Центральна Азія, Центральна Америка, Балкани, Кавказ, Далекий Схід, Україна. Ці регіони є потенціальними вогнищами війни про що свідчать: арабо-ізраїльський конфлікт, анексія Криму російською федерацією та події на сході України. При цьому, ряд дослідників вказують, що роль зовнішніх збройних сил все більше зводиться до “глобальної миротворчості”, яка ризикує набути з часом відтінку третьої світової війни. Вказані вогнища конфліктів вилучають зі світової логістики міжнародних авіаційних пасажирських перевезень цілі країни та регіони світу.

Так, відбулося закриття повітряного простору держави через війну в Україні (друга за площею країна Європи) – 24 лютого 2022 року "Украероруx" оголосив про закриття повітряного простору України для цивільних літаків через вторгнення Росії на українську територію. 25 лютого Польща, Чехія та

Болгарія оголосили про закриття повітряного простору для російських авіакомпаній. Це означало заборону польотів для російських літаків – включно з транзитом.

25 лютого 2022 року Рада Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) на своєму засіданні обговорила ситуацію, яка склалася після російського нападу. Рада засудила порушення територіальної цілісності та суверенітету України.

27 лютого 2022 року низка країн світу (а це 38 країн) оголосила, що закриває свій повітряний простір для російської цивільної авіації. Зокрема, про це повідомили всі країни Євросоюзу, а також США, Великобританія, Канада, Албанія, Ісландія, Норвегія, Молдова, Північна Македонія, Швейцарія, Чорногорія. Ці країни закрили повітряний простір для: літаків, які перебувають у російській власності; літаків, які мають російську реєстрацію; літаків, які перебувають під контролем росії; приватних літаків російських олігархів (рис. 1) [2]. Відповідно всі ці країни «закрили» для себе повітряний простір росії та білорусі.



Рис. 1. Країни, які закрили свій повітряний простір для російських літаків після повномасштабного вторгнення [2]

Європейська організація безпеки повітряної навігації (Євроконтроль) – міжнародна організація, що працює у сфері організації повітряного руху у європейському регіоні, постійно моніторить безпеку повітряного руху в Європі та випускає відповідні звіти. Так, згідно звіту від березня 2023 року порівняно повітряну навігацію станом на літо 2019 року (16.08.2019) та станом на літо 2022 року (19.08.2022) вже після повномасштабного вторгнення (рис. 2) [3].

Другий рисунок чітко засвідчує повну відсутність польотів над Україною та значне скорочення польотів над територією росії, де залишилися лише внутрішні перельоти та польоти ряду азійських авіакомпаній. Натомість європейський трафік залишився насиченим.

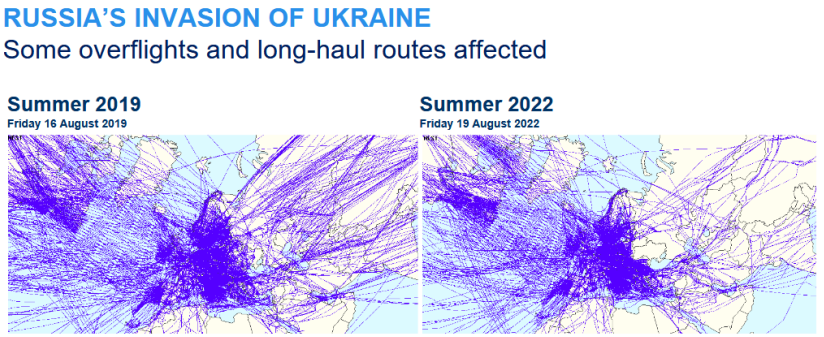


Рис. 2. Порівняння мережі польотів влітку 2019 року та влітку 2022 року [3]

Красномовною є картосхема зміни трафіку авіаційних пасажирських перевезень 2022 року порівняно з 2019 роком між макрорегіонами світу (рис. 3).

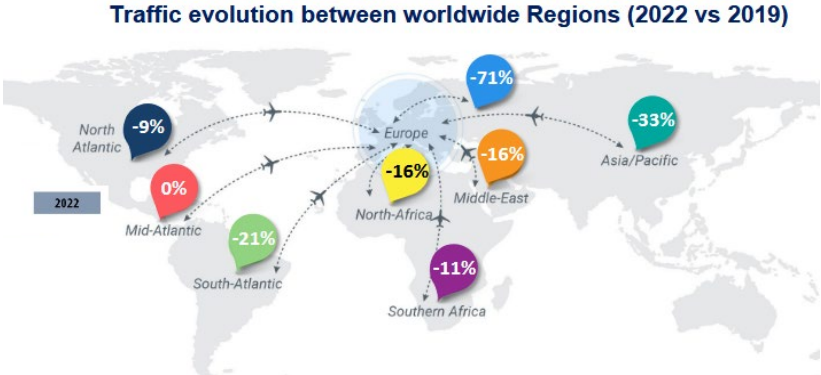


Рис. 3. Зміна трафіку авіаційних пасажирських перевезень з Європи 2022 року у порівнянні з 2019 роком [3]

Чітко видно значне скорочення трафіку між Європою та росією на 71% (до 24 лютого 2022 року авіатрафік ще був). Значно зменшився трафік між Європою та Азійсько-Тихоокеанським регіоном (на 33%). Це зменшення – в першу чергу, за рахунок європейських авіакомпаній, які вимушені були на шляху до Східної та Південно-Східної Азії облітати територію росії. Що стало наслідком скорочення авіарейсів через суттєве удорожчання вартості авіаперевезень. Російсько-українська війна, що точиться майже в центрі Європи, також зменшує пасажиро- та туристопотоки з інших регіонів світу.

Також, у звіті Євроконтролю наголошується, що жодного повернення до "нормальних" маршрутів в Україні та сусідній Молдові до кінця семирічного горизонту, тобто до 2029 року не очікується.

Ізраїльсько-палестинська війна призвела до сильного зниження прильотів/відльотів в Ізраїль з жовтня 2023 року. Прольоти над Ізраїлем не дозволено, крім рейсів до/з аеропортів Йорданії. На рис 4 показано скільки втратили авіаринки сусідніх держав через такі обльоти [4].

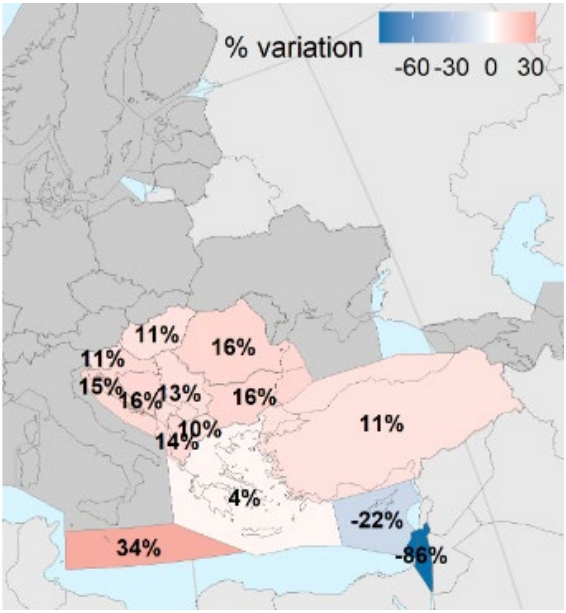


Рис. 4. Втрати сусідніх країн через ізраїльсько-палестинську війну [4]

Висновки. Геополітичні події, в першу чергу, військові конфлікти, як то російсько-українська та ізраїльсько-палестинська війни, кардинально впливають на географію та логістику міжнародних авіаційних пасажирських перевезень та логістику міжнародного туризму з огляду на симбіотичність розвитку авіації та туризму, які разом складають один з найпотужніших секторів світової економіки. Закритими для польотів стають не тільки території окремих країн, а й цілих регіонів. До того ж, туризм відсутній на територіях держав, що воюють.

Список літератури

1. https://www.unwto.org/news/international-tourism-recovers-pre-pandemic-levels-in-2024
2. Сайт ICAO - https://www.icao.int
3. https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2023-03/eurocontrol-seven-year-forecast-2023-2029-spring-2023.pdf
4. https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2024-02/eurocontrol-seven-year-forecast-2024-2030-february-2024.pdf

УДК 327.8

І.П. Дерев'янко, к.і.н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інструменти асиметрії міжнародних відносин

Асиметрія в міжнародних відносинах проявляється, коли взаємодіють держави або інші суб'єкти зі значно різними рівнями влади, ресурсів або впливу. Досліджуються економічні, військові, політичні та інформаційні інструменти, які використовуються для встановлення та підтримки нерівності між акторами. Ці важелі впливу часто застосовуються в комплексі для досягнення максимального контролю над слабшими суб'єктами та створення залежності або асиметрії в можливостях.

Сьогодні економічні, дипломатичні, військові та технологічні виміри підкреслюють динамічний та еволюційний характер асиметричних взаємодій у формуванні міжнародного порядку. Асиметрія є об'єктивною реальністю міжнародних відносин, яка проявляється у нерівності сил, ресурсів та можливостей держав, що зумовлює використання специфічних інструментів для досягнення політичних та стратегічних цілей. Різниця в силі між акторами впливає на те, як взаємодіють держави та інші суб'єкти. Асиметрія в міжнародних відносинах є структурною умовою, за якої існує диспропорція владних повноважень між акторами, що призводить до диференційованої стратегічної поведінки.

У контексті асиметричних відносин використовуються різні інструменти, щоб максимізувати стратегічні переваги, незважаючи на нерівність. Асиметрія між країнами проявляється через військові, економічні, політичні та інформаційні інструменти. Важливо зазначити, що інструменти асиметричних відносин – це механізми, за допомогою яких сильніша сторона нав'язує свою волю слабшій або створює залежність [9].

Одним із основних інструментів асиметрії є економічний. Це один із найефективніших способів асиметричної проекції влади, оскільки економічна залежність може обмежувати політичні та військові можливості слабшого актора. До економічних інструментів, спрямованих на створення або посилення економічної залежності, належать: санкції та торговельні обмеження; фінансове кредитування та боргові пастки; нерівноправні торговельні угоди; контроль над стратегічними ресурсами [3].

Вагомим економічним інструментом, який може суттєво впливати на ситуацію в країні або регіоні, є міжнародні санкції та торговельні обмеження. Вони застосовуються потужними державами або міжнародними організаціями як інструмент політичного тиску з метою досягнення певних політичних, економічних або безпекових цілей. Економічні санкції як форма примусу проти менших або слабших держав створюють додаткову асиметрію у відносинах між державами. Вони можуть використовуватися як спосіб примусу або стримування агресора, проте одночасно виявляють слабкість тих, проти кого їх спрямовано [2].

Санкційні режими стають можливими завдяки високому рівню політичної влади, яким володіють держави, що домінують у світовій економіці та міжнародних інституціях (численні санкції проти Росії, Ірану та Північної Кореї введені США, Європейським Союзом та іншими країнами).

Великі держави також надають фінансове кредитування із жорсткими умовами слабшим країнам, які потрапляють у боргову залежність. Це змушує їх поступатися політичними або економічними інтересами. Класичним прикладом є китайська стратегія «боргової пастки» в Африці та Азії .

Економічна перевага дозволяє великим державам використовувати нерівноправні торговельні угоди (нав'язування угод із жорсткими умовами доступу на ринки) для формування зовнішньоекономічної поведінки слабших держав. І навпаки, менші країни можуть використовувати стратегічні ресурси, доступ до ринку або економічні альянси, щоб врівноважити диспропорції [3].

Ключову роль в асиметричних міжнародних відносинах відіграють політичні інструменти – дипломатичний тиск, міжнародна ізоляція, політичне втручання. Необхідно підкреслити, що політичні інструменти асиметрії є засобами, за допомогою яких держави намагаються компенсувати або використовувати цю нерівність на свою користь [9].

Великі держави можуть застосовувати дипломатичний тиск через міжнародні організації (ООН, ЄС, НАТО), обмежуючи вплив слабших країн або примушуючи їх до поступок. Міжнародна ізоляція може включати розрив дипломатичних відносин, виключення з міжнародних інституцій або обмеження участі в переговорах [5].

Слабші держави часто беруть участь у багатосторонніх установах, щоб посилити свій голос, створити стратегічні альянси або застосувати тактику м'якої сили, наприклад культурну дипломатію [4]. Сильніші держави, з іншого боку, використовують дипломатію примусу, двосторонні переговори та інституційне домінування для просування своїх інтересів [8].

Акцентуючи увагу на політичному втручанні, варто зазначити, що цей політичний інструмент передбачає фінансування опозиційних рухів, організацію державних переворотів або дестабілізацію внутрішньої ситуації, підтримку лояльних політичних лідерів. Свідченням такої практики є втручання РФ у внутрішню політику європейських країн через підтримку радикальних партій.

Традиційним фактором домінування у міжнародній політиці є військова сила. Військові інструменти асиметрії дозволяють сильнішим державам домінувати, не розв'язуючи повномасштабних війн. Військові союзи, гарантії безпеки, військові бази та військова присутність є ключовими інструментами асиметрії в міжнародних відносинах, які дозволяють домінуючим державам змінювати стратегічний баланс без прямого застосування сили. Вони забезпечують довгострокову перевагу, змінюють поведінку супротивників і зменшують можливості маневру слабших держав у міжнародних відносинах [7].

Вступ до військового союзу як механізму колективної сили (наприклад, НАТО) надає країнам перевагу над державами, які залишаються поза подібними об'єднаннями. Колективна оборона дозволяє навіть відносно

слабкій країні значно підвищити свій рівень безпеки, що змінює стратегічну рівновагу.

Важливим механізмом створення стримуючого ефекту для противників у міжнародних відносинах є гарантії безпеки. Вони можуть діяти як політичний, дипломатичний або військовий засіб, що змушує потенційного агресора утриматися від нападу або інших ворожих дій. Найефективнішими є комплексні гарантії, що поєднують військову силу, дипломатичну підтримку, економічні заходи та сучасні технології безпеки.

Вагомим інструментом є військова присутність як фактор контролю та проєкції сили. Розміщення військових баз за межами власної території дозволяє державам оперативно реагувати на конфлікти, посилюючи свій геополітичний вплив. Загалом наявність іноземних військових баз змінює баланс сил у регіоні, послаблюючи автономію місцевих держав та створюючи геополітичний тиск на противників [9].

До військових інструментів асиметрії також відносяться гібридні операції, приватні військові компанії (ПВК), кібератаки та ядерне стримування. Одним із найпоширеніших військових інструментів асиметрії є гібридна війна, яка поєднує традиційні бойові дії з економічним тиском, інформаційною війною, диверсіями та підтримкою повстанських рухів.

Важливим військовим інструментом є ПВК, які дозволяють державам проводити військові операції, знижуючи ризики ескалації конфлікту, та виступають засобом проєкції сили без офіційного воєнного втручання.

Ще одним важливим інструментом військової асиметрії є ядерне стримування. Країни, які володіють ядерною зброєю, використовують її не як інструмент прямого нападу, а як засіб стримування. Наприклад, Північна Корея розробляє ядерну зброю, щоб мати важіль впливу на США та їхніх союзників. Росія, зі свого боку, погрожує застосуванням ядерної зброї, намагаючись стримати Захід та обмежити його військову підтримку України.

На потужну зброєю в сучасній геополітиці перетворились інформаційні інструменти. Вони відіграють вирішальну роль у формуванні та підтримці асиметрії, контролюючи наративи та впливаючи на прийняття рішень [1].

До ключових інформаційних інструментів, які використовуються в асиметричних міжнародних відносинах належать:

– пропаганда та дезінформація (поширення вигідних наративів через державні та контрольовані медіа (наприклад, Russia Today, CGTN, Al Jazeera), неправдивих або маніпулятивних фактів для зміни суспільної думки або дестабілізації ситуації;

– кібератаки та інформаційні війни (дестабілізація супротивника шляхом зламу державних ресурсів, розголошення секретних документів для дискредитації урядів, створення фальшивих відео та аудіозаписів для маніпуляції громадською думкою);

– маніпуляція ЗМІ та контроль над інформаційним простором (встановлення контролю над інформаційним полем інших країн через купівлю медіа-холдингів або підтримку журналістів, монополізація інформації, обмеження доступу до альтернативних джерел (як у РФ чи Китаї);

– культурна та мовна експансія (просування культури, освіти, традицій для встановлення впливу (наприклад, Інститути Конфуція, та Програма імені Фулбрайта, «російські центри» у Європі), нав'язування домінування певної мови як засобу контролю (наприклад, русифікація в окупованих територіях);

– використання соціальних мереж (дозволяють державам, терористичним організаціям та політичним групам ефективно маніпулювати масами, проводити дезінформаційні кампанії, організовувати протести та втручатися у вибори) [6].

Отже, інформаційні інструменти дозволяють слабшим акторам впливати на сильніших без використання військової сили або економічного тиску. Ці інструменти спрямовані на формування громадської думки, маніпулювання політичними процесами, дискредитацію супротивника та підрив довіри до його дій.

Висновок

Отже, інструменти асиметрії в міжнародних відносинах – це механізми або засоби, за допомогою яких держави чи інші актори свідомо створюють або посилюють асиметрію для досягнення власних цілей. Інструменти можуть бути використані для посилення існуючих факторів асиметрії або для створення нових нерівностей. Вони підкреслюють складність дисбалансу сил. Тоді як сильніші актори використовують економічне, військове та технологічне домінування, слабші гравці використовують нетрадиційні методи для врівноваження диспропорцій. Розуміння цих механізмів має важливе значення для аналізу сучасних геополітичних конфліктів і прогнозування майбутніх трансформацій влади.

Список літератури

1. Arquilla, J., & Ronfeldt, D. The Advent of Netwar. Ronfeldt Rand Publishing; 1st edition, 1996. 128 p.
2. Drezner D. (Summer, 2003). The Hidden Hand of Economic Coercion. International Organization, Vol. 57, No. 3, pp. 643–659.
3. Keohane R. and Nye J. Power and Interdependence: World politics in Transition. Little, Brown, 1977. 273 p.
4. Nye J. Soft Power. The Means to Success in World Politics. New York : Public Affairs, 2004. 328 p.
5. Nye J. The Future of Power . New York: PublicAffairs, 2011. 320 p.
6. Patrikarakos D. War in 140 Characters: How Social Media Is Reshaping Conflict in the Twenty-First Century. Basic Books, 2017. 320 p.
7. Waltz, K. Theory of International Politics. McGraw-Hill, 1979. 251 p.
8. Womack B. China and Vietnam: The Politics of Asymmetry. New York: Cambridge University Press, 2006. 281 p.
9. Womack B. Asymmetry and International Relationships. New York: Cambridge University Press, 2016. 220 p.

УДК 339.9

І.І. Набок, к.е.н., доцент
А.А. Мислік, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Механізми міжнародного фінансування екологічних проектів в Україні

У дослідженні розглядаються основні механізми міжнародного фінансування екологічних проектів в Україні. Зокрема, аналізуються інструменти залучення капіталу, такі як зелені облігації, зелені кредити, зелені сертифікати та діяльність зелених банків. Окреслюються основні виклики та перспективи застосування цих фінансових механізмів у контексті післявоєнного відновлення України та переходу до сталого розвитку.

В умовах глобальних екологічних викликів та війни, Україна потребує значного фінансування для реалізації програм із захисту довкілля та відновлення екологічної інфраструктури. Міжнародна спільнота відіграє важливу роль у цьому процесі, надаючи різні фінансові механізми, включаючи гранти, кредити, інвестиції та технічну допомогу.

Потреба у фінансуванні процесу декарбонізації енергетичного сектору України залишається актуальною та часто недооціненою. З 2014 року країна залучила понад 8 мільярдів євро інвестицій у сферу зеленої енергетики, що сприяло десятикратному збільшенню потужностей відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Україна демонструє відданість сталому розвитку, співпрацюючи з Європейським Союзом, ратифікувавши Паризьку угоду та долучившись до ініціативи **EU4Climate**, яка допомагає урядам розробляти ефективні кліматичні політики.

Одним із ключових завдань стало скорочення викидів CO_2 на 42% від рівня 1990 року до 2030 року, а також розподіл енергобалансу: 50% електроенергії має забезпечувати атомна енергетика, 25% – відновлювані джерела, а 13% – гідроенергетика. Такі заходи визначають курс України на "зелений" енергетичний перехід.

Попри значний прогрес у розширенні ВДЕ (за 2014–2020 рр. введено в експлуатацію додаткові 9223 МВт), темпи декарбонізації потребують прискорення. Хоча у 2020 році частка ВДЕ досягла 12,4% замість запланованих 11%, Україна все ще відстає у досягненні цілей скорочення викидів парникових газів. Аналітики **Climate Action Tracker** відзначають, що поточна кліматична політика України є недостатньо амбітною та не відповідає вимогам Паризької угоди. Крім того, навіть офіційно задекларовані плани досягнення кліматичної нейтральності до 2060 року складно реалізувати через відсутність дієвих фінансових та організаційних механізмів.

Додатковими викликами стали пандемія COVID-19 та військові дії, які завдали серйозної шкоди енергетичній інфраструктурі. Це лише посилило необхідність активного переходу на відновлювані джерела енергії.

Для досягнення сталого розвитку важливо створити ефективну фінансову інфраструктуру в межах країни, відновити роботу фондової та

товарної біржі, адаптувати фінансове та банківське законодавство до сучасних стандартів сталого розвитку (ЦСР), а також покращити систему управління ризиками й контролю за фінансуванням відбудови. У цьому контексті доцільно оцінити доступні механізми зеленого фінансування та розробити стратегічні кроки для закріплення позицій України як центру екологічної енергетики та зелених фінансів у Європі.

Успішне відновлення України після війни значною мірою залежатиме від розвитку її енергетичного сектору. Перехід до «зеленої» енергетики має стати основою нової економічної моделі країни. Для фінансування процесу декарбонізації, визначеного в оновленій Енергетичній стратегії до 2035 року, уряду необхідно створити абсолютно новий сегмент фінансового ринку — ринок стійкого (зеленого) фінансування.

Світовий тренд на сталий розвиток та екологічно відповідальне інвестування передбачає залучення коштів з різних джерел для скорочення викидів парникових газів, мінімізації відходів та підвищення енергоефективності. З 2014 року "зелені" прямі іноземні інвестиції (ПІІ) в Україну становили 30% від загального обсягу вкладень у розмірі 8 млрд євро. Підтримку проєктів у сфері відновлюваної енергетики забезпечували такі міжнародні компанії, як Acciona (Іспанія), Emergy (Норвегія), Scatec (Норвегія), Total Eren (Франція), GS Engineering & Construction Corp (Південна Корея), CNBM (Китай), Guris (Туреччина), Nebras (Катар) та інші. До фінансування також долучилися міжнародні фінансові установи: Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР), Європейський інвестиційний банк (ЄІБ), Міжнародна фінансова корпорація (IFC), Proparco, FMO, IFU, BSTDB та DFC.

Однак, відповідно до оновленого національного внеску України у боротьбу зі зміною клімату (NDC), реалізація екологічних ініціатив до 2030 року потребує близько 102 млрд євро капітальних інвестицій. У зв’язку з руйнуванням критичної інфраструктури під час повномасштабної війни ця сума, ймовірно, зросте. Для залучення необхідних коштів Україна має активізувати впровадження ефективних фінансових механізмів, які забезпечать стабільний приплив інвестицій.

На сьогодні ключовим дієвим інструментом підтримки ВДЕ в Україні є "зелений тариф", який у 2019 році сприяв залученню 4,5 млрд доларів у розвиток сонячної та вітрової енергетики. Проте цей механізм має суттєві обмеження, оскільки його фінансування залежить від державних ресурсів, а накопичені борги вже перевищують 2 млрд доларів.

Альтернативним інструментом можуть стати "зелені облігації", які дозволять акумулювати кошти на фінансування екологічних проєктів через фінансові ринки. Влада України активно працює над формуванням прозорої законодавчої бази для випуску таких цінних паперів.

Зрештою, ефективне впровадження механізмів стійкого фінансування сприятиме не лише залученню інвестицій у відновлення країни, а й зміцненню позицій України на міжнародній арені. Участь у глобальному процесі декарбонізації дозволить використовувати екологічну відповідальність як інструмент геополітичного впливу, що відкриє нові можливості у сфері міжнародного партнерства та безпеки.

Зелені банки є одним із найбільш перспективних інструментів фінансування екологічних ініціатив, що активно розвиваються в усьому світі. Ці фінансові установи, зазвичай створені за підтримки держави, спрямовують наявні ресурси на підтримку екологічно орієнтованих інвестицій. Наразі зелені банки функціонують у 36 країнах, які разом формують понад половину світового ВВП і продукують майже 50% глобальних викидів CO_2.

Особливо динамічний розвиток цього механізму спостерігається у США. Починаючи з 2011 року, американські зелені банки вклали понад 7 мільярдів доларів у проєкти, пов'язані з чистою енергетикою. За оцінками експертів, кожен долар, інвестований зеленими банками США, сприяє залученню додаткових 3,7 долара приватних інвестицій. Важливим кроком стало ухвалення в серпні 2022 року Закону про зниження інфляції, що передбачає створення національного зеленого банку в США.

Протягом останніх десяти років такі установи інвестували понад 25 мільярдів доларів у проєкти сталого розвитку, а також залучили приблизно вдвічі більше коштів від приватного сектору.

Джерела фінансування зелених банків залежать від політики конкретної країни й можуть включати:

- державні субсидії та бюджетні асигнування,
- випуск зелених облігацій,
- приватний капітал,
- доходи від податків на викиди вуглецю,
- фонди торгівлі квотами на викиди,
- кредити на розвиток ВДЕ,
- краудфандингові ініціативи та благодійні внески.

Фахівці вважають, що створення зеленого банку може стати одним із ключових інструментів відновлення економіки України після війни. Водночас у багатьох країнах обирають альтернативний підхід — адаптують наявні фінансові установи або додають екологічні програми в традиційні банки, що дозволяє швидше запровадити механізми стійкого фінансування та мінімізувати витрати.

Зелені позики є доступнішою та менш масштабною альтернативою зеленим облігаціям, що дозволяє залучати фінансування виключно для екологічних і сталих ініціатив. Цей фінансовий інструмент швидко набирає популярності у світі: за останні чотири роки загальний обсяг виданих зелених кредитів зріс із 342 мільйонів доларів до понад 78 мільярдів доларів, що демонструє майже 200-кратне зростання.

Близько половини таких кредитів припадає на європейських позичальників, серед яких лідирують італійська компанія Enel SpA та бельгійська Interbrew-Simba. В Україні зелені кредити почали активно видаватися з 2015 року, і їхнім головним оператором виступає Укргазбанк.

Основними напрямками використання цих позик є:

- підвищення енергоефективності житлових будинків,
- модернізація сільськогосподарської техніки,

– встановлення домашніх сонячних і вітрових електростанцій.

Такий вид фінансування відіграє важливу роль у зеленому переході України, сприяючи розвитку відновлюваної енергетики та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Зелені сертифікати є відносно новим фінансовим інструментом, призначеним для залучення інвестицій у екологічні проекти. Вони, також відомі як сертифікати зобов'язань щодо відновлюваних джерел енергії (ROC) або гарантії походження, використовуються для підтвердження того, що електроенергія була вироблена з екологічно чистих джерел.

Сертифікати з енергетичними мітками часу дозволяють споживачам отримати детальну інформацію про джерело електроенергії та рівень викидів CO_2 у будь-який момент. Крім того, вони є ефективним інструментом для країн з нестабільною економікою або політичною ситуацією, оскільки допомагають зменшити ризики, пов'язані з регуляторними змінами.

Ці сертифікати часто використовуються фінансовими установами, які приймають їх як гарантії при кредитуванні екологічних ініціатив, що сприяє розвитку сталого енергетичного сектору.

Податок на вуглець — це урядова ініціатива, що зобов'язує компанії платити за кожну тонну викидів CO2. Цей податок стимулює підприємства до переходу на чисті джерела енергії, мінімізуючи витрати, а також змушує їх розвивати технології, щоб зменшити викиди та зберігати конкурентоспроможність. Однак, через відсутність гармонізованих стандартів, кожна країна самостійно визначає рівень цього податку.

В Україні податок на вуглець один з найнижчих в Європі, що обмежує його ефективність у стимулюванні змін. Зокрема, щоб підвищити ефективність цього інструменту, пропонується збільшити податок до рівня Європейського Союзу — 4,3 євро за тонну CO2, а до 2030 року довести його до 39 євро за тонну. Важливо, щоб податок поступово зростав, даючи інвесторам час для адаптації та фінансування нових екологічних проектів.

Екоіндустріальні парки (ЕІП) спрямовані на інтеграцію промислових підприємств у суспільство шляхом створення екологічно чистих умов, покращення екосистем та впровадження відповідальних бізнес-практик. Вони також стимулюють розвиток промисловості та створення нових робочих місць.

Наприклад, у В'єтнамі екоіндустріальні парки допомогли залучити 50% іноземних інвестицій, створили 3 мільйони нових робочих місць і сприяли генеруванню 40% ВВП країни. Пілотний проект 2012-2018 років, реалізований у семи країнах, призвів до значного скорочення викидів твердих відходів на 20 939 тонн на рік, зменшення викидів парникових газів на 59 800 тонн CO2 на рік, економії води на рівні 1 262 218 м³ на рік, а також до заощадження 6 746 642 євро на рік.

Висновки

В Україні активно розвиваються механізми для фінансування екологічно сталих проектів, такі як зелені облігації, кредити та сертифікати. Хоча ці інструменти поки що мають обмежену ефективність, їх подальше впровадження

може сприяти розвитку «зеленого» енергетичного переходу та зниженню викидів CO2.

Необхідно підвищити податок на викиди вуглецю та створити нові механізми для фінансування сталого розвитку. Підвищення податку на CO2 може стимулювати компанії до впровадження екологічно чистих технологій і сприяти залученню додаткових інвестицій у відновлювані джерела енергії.

Створення екоіндустріальних парків може стати важливою складовою модернізації промислового сектору України. Як показує досвід В'єтнаму, екоіндустріальні парки сприяють економічному зростанню та покращенню екологічних показників, створюючи нові робочі місця та впливаючи на зниження викидів.

Застосування цих інструментів може значно сприяти відновленню економіки України після війни, сприяючи стійкому розвитку та екологічно чистим технологіям.

Список літератури

1. Квасневський, І.В. «Зелені фінанси: основи та механізми розвитку» / І.В. Квасневський. – К.: Видавництво «Економіка», 2020. – 256 с.
2. Сидоренко, В.М. «Зелені облігації як інструмент фінансування сталого розвитку» / В. М. Сидоренко. – Харків: Видавництво «Нова школа», 2018. – 198 с.
3. Шевченко, О.А. «Екоіндустріальні парки та їх роль у сталому розвитку» / О.А. Шевченко, І В. Гонтарчук. – Львів: Інститут екології, 2021. – 112 с.
4. Нікітенко, А.Ю. «Механізми податкової політики для зниження викидів CO2» / А.Ю. Нікітенко, П.С. Іванов. – К.: Видавництво «Наука», 2022. – 156 с.
5. Євтух, С.Г. «Роль зелених кредитів у фінансуванні сталих проектів» / С.Г. Євтух. – Одеса: Видавництво «Альтернативна енергетика», 2019. – 176 с.
6. "Відновлювана енергетика: тенденції та перспективи розвитку" / За ред. В.П. Мельника. – К.: Видавництво «Енергетика», 2020. – 312 с.
7. Руденко, І. І. «Вплив зелених фінансів на економічну стабільність» / І. І. Руденко, Н.Л. Савченко. – Київ: «Фінанси та інвестиції», 2021. – 134 с.

УДК 338:48

С.М. Мархонос, к.геогр.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
Н.П. Турло, к.е.н.
(Академія праці, соціальних відносин і туризму, Україна)

Правові механізми взаємодії в туризмі

Визначено основні механізми взаємодії між суб'єктами туристичної діяльності, що базуються на нормативно-правовому забезпеченні досліджуваної сфери діяльності. Досліджено специфіку роботи туроператора, турагента та туриста, виокремлені проблеми їхньої взаємодії та шляхи вирішення через правові механізми..

Туризм – це сфера діяльності в якій договірні відносини мають важливе значення, оскільки охоплюють відносини між різними суб'єктами туризму, а це в свою чергу потребує чіткого нормативно-правового регулювання та координації між сторонами. Аналіз правових механізмів дозволяє оцінити ефективність чинних норм, виявити проблемні аспекти, що потребують удосконалення відповідно до сучасних тенденцій розвитку туристичної сфери.

У сфері туризму ринок туристичних послуг регулюється трьома ключовими нормативними актами:

1) Закон України "Про туризм" - саме цей закон регулює туристичну галузь, пояснює, хто такі туристи, турагенти, туроператори, їхні права та обов'язки; описує вимоги до порядку укладення туристичного договору та його змісту, тощо.

2) Закон України "Про захист прав споживачів" - цей закон, на відміну від Закону "Про туризм", стосується всіх галузей товарів і послуг. Він описує загальні принципи обслуговування клієнтів в Україні, надання повної інформації, вимоги до якості товарів/послуг, гарантійні зобов'язання бізнесу щодо усунення дефектів продукції, передбачає штрафи за ті чи інші порушення прав споживачів.

3) Ліцензійні умови провадження туроператорської діяльності - цей документ описує вимоги до туроператорів, тому що ліцензію для турагентів офіційно було скасовано. У ньому містяться вимоги до приміщення, персоналу, фінансового забезпечення туроператора, переліку документів, які необхідно оформляти і зберігати, забезпечення страхування туристів та інших питань

Саме на підставі цих законів турагенти будують свої відносини з туристами, укладають договори, і надають необхідний обсяг інформації.

Основними документами, які регулюють діяльність туристичного оператора та турагента – є агентський договір та договір на туристичне обслуговування.

Туристичні оператори – це юридичні особи, створені відповідно до законодавства України, для яких виключною діяльністю є організація та

забезпечення створення туристичного продукту, реалізація та надання туристичних послуг, а також посередницька діяльність із надання характерних та супутніх послуг, і які в установленому порядку отримали ліцензію на туроператорську діяльність.

Туристичні агенти – особи/фірми, які є посередниками та реалізують готовий туристичний продукт, сформований ТО або окремі туристичні послуги, за певну винагороду на підставі укладеного між ними договору.

Агентський договір – це договір, за яким одна сторона (Турагент) діє від імені, в інтересах, за дорученням і за рахунок іншої сторони - Туроператора.

Предметом агентського договору є надання послуг турагентом туроператору з моменту укладання договорів на туристичне обслуговування від його імені та за його рахунок. Даний договір є двостороннім і оплатним. Розмір винагороди має бути вказаний безпосередньо в договорі. Винагорода виплачується турагенту за посередницькі послуги, здійснені ним в інтересах туроператора. Агентська винагорода може обчислюватися як очікуваний прибуток турагента в процентному відношенні до ціни туру, встановленої туроператором, або закладається туроператором в ціну туру як комісійна винагорода для посередника.

Договір туроператора з туристом – це договір купівлі-продажу турпродукту (туристичного ваучера). Слід зазначити, що останній договір сторони укладають не шляхом складання та підписання з двох сторін угоди про купівлю-продаж, а шляхом обміну через посередника-турагента документами, повідомленнями, в тому числі за допомогою електронних засобів зв'язку, що свідчать про його укладання. Оплата турпродукту туристом за цим договором також проводиться не безпосередньо туроператору, а з використанням банківського рахунку турагента або шляхом фактичних дій турагента із внесення на рахунок туроператора плати за турпродукт.

Незважаючи на те, що менеджер укладає договір із туристом у своєму офісі та ставить на ньому свою печатку/підпис, - він не є стороною в цьому договорі. Тобто менеджер/керівник не зобов'язані надавати тур туристу, і не несе відповідальності за якість наданих туристичних послуг. Ставлячи свою печатку і підпис, агент як посередник укладає договір між Туроператором і Туристом. І якщо навіть хтось із туристів вирішить подати до суду через погану якість послуг (наприклад, поганий готель, скасування рейсу тощо), то єдиним юридичним відповідачем у суді виступатиме саме туроператор.

До моменту укладання договору з туристом туроператор і турагент повинні надати йому необхідну і достовірну інформацію про туристичні послуги, права, обов'язки та правила поведінки туристів, умови страхування, порядок відшкодування завданих збитків, умови відмови від послуг, правила візового та митного режиму, перетину державного кордону, а також іншу інформацію, передбачену чинним законодавством України.

За умовами Договору про туристичне обслуговування, який обов'язково підписується при бронюванні тур : Турагент є посередником між Туристичним оператором, який формує та надає тур послуги, та Туристом. Усі

скарги за неякісно надану послугу, Турист має надіслати на ім'я Туристичного оператора, через Турагента, як посередника.

Також, бувають випадки, що відповідь Туроператора на скаргу не задовольнила туристів. Причинами можуть бути: 1.Туроператор взагалі не надав офіційної відповіді на рекламацію; 2. Туроператор повністю відмовив туристу компенсації у своїй відповіді; 3. Обсяг компенсації був дуже малим. Туроператор є цілком відповідальним перед туристом за повноту та якість турпродукту. А турагент, у свою чергу, був і залишається відповідальним: по-перше, за послуги інформування про турпродукт, по-друге, за консультування туриста з приводу вчинення дій, необхідних для споживання турпродукту, по-третє, за передачу грошей туриста в оплату турпродукту.

Висновки.

Отже, правові механізми взаємодії в туризмі – дуже важливе та актуальне питання. Ці відносини відіграють ключову роль у забезпеченні прозорості, відповідальності та захисту прав всіх учасників туристичного процесу. Дослідження правових механізмів регулювання відносин між туристичним оператором, турагентом та туристом сприятиме зменшенню кількості помилок та удосконаленню надання туристичних послуг. Ефективна правова взаємодія між всіма учасниками туристичного ринку є основою якості, розвитку та надійності надання туристичних послуг та розвитку туризму.

Список літератури

1. Закон України «Про туризм». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324/95-%D0%B2%D1%80#Text
2. Закон України «Про захист прав споживачів». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1023-12#Text
3. Ліцензійні умови провадження туроператорської діяльності. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/991-2015-%D0%BF#Text

УДК 341.231.14:364.63-027.553(477)(043.2)

К.С. Степанчук, к.ю.н., Р.О. Максимович
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Захист жертв домашнього насильства в контексті євроінтеграційних зобов'язань України

Захист жертв домашнього насильства є визначальним пріоритетом у контексті виконання Україною євроінтеграційних зобов'язань, зокрема після ратифікації Стамбульської конвенції. Актуальність теми зумовлена потребою гармонізації національного законодавства з правом ЄС, посиленням інституційних гарантій і утвердженням гендерної рівності як невід'ємного принципу сучасної європейської правової системи та запоруки сталого демократичного розвитку.

Україна, будучи на шляху євроінтеграції та активно адаптуючи свою внутрішню правову систему до стандартів acquis Європейського Союзу, невпинно демонструє відданість принципам прав людини, верховенства права та гендерної рівності. У сфері захисту прав жертв домашнього насильства цей курс вимагає не лише формального прийняття міжнародних стандартів, а й фундаментального переосмислення національної політики у сфері запобігання та протидії гендерно обумовленому насильству.

Актуальність цього питання значно зросла в умовах повномасштабного вторгнення, що призвело до створення нових системних ризиків для вразливих категорій населення, зокрема для жінок та дітей. Домашнє насильство в таких умовах не лише не зникає, а часто посилюється, що вимагає своєчасного та ефективного реагування як з боку держави, так і у співпраці з міжнародними партнерами.

У контексті виконання міжнародно-правових зобов'язань, взятих на себе Україною за останні десятиліття, забезпечення захисту жертв домашнього насильства є невід'ємною складовою реалізації загальновизнаних стандартів у сфері прав людини [3, с.203]. Так, Україна є учасницею ключових міжнародних договорів, що встановлюють стандарти у сфері протидії дискримінації за ознакою статі, зокрема, Загальної декларації прав людини 1948 року, Міжнародного пакту про громадянські і політичні права 1966 року, Міжнародного пакту про економічні, соціальні і культурні права 1966 року, Конвенції ООН про ліквідацію всіх форм дискримінації щодо жінок 1979 року та Факультативного протоколу до неї 1999 року тощо.

Як свідчить досвід держав Європейського Союзу, забезпечення гендерної рівності є не лише питанням соціальної справедливості, а й чинником стабільного функціонування демократичного суспільства. Правова, політична та соціальна інтеграція принципу рівності жінок і чоловіків в усі сфери державного управління сприяє консолідації інституційної спроможності, формуванню відкритого громадянського простору та зниженню структурної дискримінації [1, с.260]. З огляду на це, державна політика України щодо гендерної рівності поступово адаптується до європейських стандартів, що проявляється у розробці нормативно-

правових механізмів для забезпечення рівних прав та можливостей, а також у реалізації позитивних дій, спрямованих на подолання структурних бар'єрів для соціально вразливих груп.

Протягом останніх десятиліть Україна сформувала основні принципи державної гендерної політики, що значною мірою відповідають підходам Європейського Союзу. Основними її пріоритетами є: попередження дискримінації за ознакою статі, розширення участі жінок у прийнятті рішень, розвиток гендерної культури в суспільстві, гармонізація трудової та сімейної сфер, а також усунення дискримінаційних стереотипів у публічному дискурсі [4, с.28].

Утім, реалізація принципу гендерного паритету вимагає від держави тимчасового застосування компенсаторних заходів, зокрема через протекціоністські механізми для представників соціальної статі, яка історично зазнавала системного обмеження в правах. У зв'язку з цим, на законодавчому рівні актуальним залишається питання посилення відповідальності за порушення гендерного законодавства, а також розширення інституційних повноважень органів, відповідальних за реалізацію гендерної політики.

У роки, що передували повномасштабному вторгненню, Європейська комісія та Європейський парламент неодноразово наголошували на необхідності глибшої інтеграції гендерного підходу у правову систему України. Зокрема, особливу увагу було приділено необхідності ратифікації Конвенції Ради Європи про запобігання насильству стосовно жінок і домашньому насильству та боротьбу із цими явищами (Стамбульської конвенції), яка є юридично зобов'язуючим міжнародним механізмом у боротьбі з домашнім насильством і насильством за ознакою статі. На той момент ситуація з захистом жертв домашнього насильства в Україні залишалася недостатньо врегульованою, що викликало критику з боку міжнародних партнерів та українського громадянського суспільства. Ця критика стала рушійною силою для поступових реформ у національній політиці, спрямованих на посилення гендерної рівності та запобігання насильству в приватній сфері.

У відповідь на ці заклики Україна здійснила низку суттєвих кроків у напрямку розвитку гендерно орієнтованої політики, зокрема шляхом реформування національного законодавства. Так, у 2018 році був ухвалений Національний план дій щодо виконання рекомендацій Комітету ООН з питань ліквідації дискримінації щодо жінок (CEDAW), що підтвердило поступову інтеграцію міжнародних зобов'язань у національну політику. Важливим кроком стало також внесення змін до статті 152 Кримінального кодексу України у 2019 році, що запровадило гендерно нейтральне визначення згвалтування, таким чином розширивши можливості правозастосування щодо сексуального насильства незалежно від статі, гендерної ідентичності чи віку потерпілих [5, с.156].

Інституційна спроможність у реалізації гендерної політики також була значно посилена створенням офісу Урядового уповноваженого з питань гендерної політики, який почав функціонувати у 2018 році. Символічним і стратегічно виваженим стало призначення на цю посаду представниці громадянського сектору, яка мала багаторічний досвід роботи у сфері захисту прав жінок, зокрема в організації «Ла Страда – Україна». Цей крок не лише символізував зростання

ролі громадянського сектору у процесах державного реформування, але й сприяв глибшій адвокації інтересів жертв насильства в межах державної політики. У межах своєї діяльності Уповноважена ініціювала і супроводжувала створення Національного плану дій з виконання Резолюції Ради Безпеки ООН №1325 «Жінки, мир, безпека» (на періоди 2016–2020 та 2021–2025 років), що є одним із визначальних стратегічних документів у сфері захисту прав жінок у збройних конфліктах і в період постконфліктного відновлення.

Особливої значущості в контексті євроінтеграційних зобов'язань України набуває імплементація положень Стамбульської конвенції, яка встановлює комплексне, багатовимірне розуміння феномену домашнього насильства. Відповідно до статті 3(a) Конвенції, домашнє насильство охоплює не лише фізичне або сексуальне насильство, а також психологічне, економічне насильство, погрози, примус та незаконне позбавлення волі, незалежно від того, у приватному чи публічному просторі відбуваються ці дії.

У цьому контексті пріоритетними стають не лише ефективні механізми притягнення до відповідальності, а й реалізація заходів системної превенції: інформування населення, впровадження освітніх програм і розвиток спеціалізованих сервісів підтримки. В українських реаліях, особливо в умовах збройного конфлікту, домашнє насильство потребує всебічного визнання як складного і багатофакторного порушення прав людини, що вимагає міжвідомчої та міжсекторальної координації [2, с.56].

Попри політичні та суспільні суперечності, що супроводжували процес ратифікації Стамбульської конвенції, її офіційне затвердження Україною у 2022 році стало важливою віхою на шляху поглиблення європейської інтеграції. З огляду на побоювання з боку релігійних і консервативних кіл, держава вдалася до ратифікації із застереженнями, зберігаючи водночас загальну правову обов'язковість документа. Подібні політико-культурні виклики супроводжували процес імплементації і в інших країнах Центрально-Східної Європи, що свідчить про спільну спадщину пострадянського правового консерватизму. Водночас, в умовах воєнного стану, Україна вимушена швидко адаптуватися до нових викликів, і саме міжнародно-правові зобов'язання, зокрема щодо захисту жертв насильства, стали каталізатором глибинних трансформацій у сфері законодавчої та виконавчої політики.

Упродовж 2023 року Україна продовжила активну роботу з імплементації положень Стамбульської конвенції. Зокрема, український експерт був обраний до складу Групи експертів Ради Європи з боротьби з насильством стосовно жінок і домашнім насильством (GREVIO) – незалежного експертного органу Ради Європи, відповідального за моніторинг виконання Конвенції, що стало важливим кроком у процесі інституційної інтеграції до європейського правозахисного простору та свідченням зростання спроможності країни виконувати міжнародні зобов'язання щодо захисту прав жінок і постраждалих від домашнього насильства.

У серпні того ж року Верховна Рада України підтримала в першому читанні законодавчі зміни до Сімейного кодексу України, які передбачають можливість розірвання шлюбу під час вагітності та першого року життя дитини. Хоча ці зміни потребують подальшої роз'яснювальної роботи серед населення, вони стали важливою частиною боротьби за гендерну рівність у сфері сімейних

правовідносин та підтвердили серйозність намірів України щодо виконання європейських зобов'язань у галузі прав людини.

Висновки

Таким чином, захист жертв домашнього насильства в Україні виступає не лише як морально-етичний обов'язок держави, а й як невід'ємна складова її міжнародно-правових зобов'язань у контексті європейської інтеграції. Ратифікація Стамбульської конвенції та її поступова імплементація засвідчили, що боротьба з гендерно зумовленим насильством вийшла за межі внутрішньої соціальної політики, набувши статусу правової вимоги, пов'язаної з дотриманням acquis ЄС та загальновизнаних стандартів Ради Європи. Системні зусилля з адаптації національного законодавства, розширення інституційних повноважень та інклюзивність підходів до захисту вразливих категорій постраждалих демонструють здатність України формувати нову якість правового регулювання у сфері захисту прав людини.

Водночас, незважаючи на значний прогрес, рівень реалізації міжнародних стандартів потребує подальшої оцінки з точки зору ефективності правозастосування, міжвідомчої координації та забезпечення реального доступу до правового захисту. Особливо важливою залишається задача системної інтеграції ґендерно чутливої політики на всіх рівнях публічного управління, що передбачає не лише нормативні зміни, а й трансформацію інституційної культури, підвищення правової обізнаності та зміцнення ролі громадянського суспільства. Забезпечення сталого і комплексного механізму протидії домашньому насильству є не лише умовою реалізації прав людини, а й важливою передумовою демократичного розвитку України в межах єдиного європейського правового простору.

Список літератури

1. Бердач А. І., Мацелюх І.А. Формування та закріплення принципів гендерної рівності в міжнародних нормативно-правових актах. *Кримінально-процесуальне право та криміналістика*. 2023. С. 259-264.
2. Кузьменко В., Кузьменко Г. Проблеми захисту прав жертв насильницьких злочинів: аспекти процесу гармонізації законодавства України з правом ЄС. European Political and Law Discourse. 2024. С.51-58.
3. Лубко І.М. Сучасні інституційні механізми забезпечення ґендерної рівності в Україні в контексті євроінтеграційних процесів. Актуальні проблеми формування громадянського суспільства та становлення правової держави. 2019. С. 203-212.
4. Шаповалова І. Б. Інституціональне забезпечення прав людини в Україні в контексті сучасних європейських стандартів. Ефективність державного управління. № 61. 2019. С. 25-34.
5. Shyrokykh K., Busol K., Koval D. European Integration, and Democracy and Human Rights Reforms in Ukraine in the Wartime. Ukraine's Thorny Path to the EU: From "Integration without Membership" to "Integration through War. 2024. P. 153-176.

УДК: 338.47

Л.М. Побоченко, к.е.н., доцент
А.С. Дігтяр
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Проблеми декарбонізації авіаційної галузі Європи

Досліджено проблеми процесу переходу до декарбонізації авіаційної галузі Європи. Проаналізовано звіт про екологічну ситуацію в європейській авіації за 2025 рік, в якому впорядковано перехід до екологічно чистої авіації, зберігаючи при цьому високий рівномірний рівень безпеки та зв'язку. Розглянуто План дій ЄС: «На шляху до нульового забруднення повітря, води та ґрунту» як ключовий результат Європейської зеленої угоди.

В останні роки європейський авіаційний сектор продовжував рухатися складним, але вирішальним шляхом до сталого розвитку. Світ стоїть на порозі серйозних змін, які торкнуться всього сектора – з технологічної, енергетичної та операційної точок зору. Нещодавні значні події як у Європі, так і в усьому світі дають авіації чіткий шлях до значного зниження впливу на клімат [1].

Разом з усіма іншими економічними секторами авіація опинилася на роздоріжжі в процесі переходу до декарбонізації, де зростає тиск на досягнення узгоджених екологічних цілей і викликів через проблеми з ланцюгом поставок, які затримують оновлення флоту, а також високу ціну на екологічно чисте авіаційне паливо та обмежені виробничі потужності. За останні роки багато чого було досягнуто [2].

Агентства з авіаційної безпеки Європейського Союзу (EASA) опублікувало звіт про екологічну ситуацію в європейській авіації за 2025 рік (European Aviation Environmental Report 2025). В цьому звіті впорядковано перехід до екологічно чистої авіації, зберігаючи при цьому високий рівномірний рівень безпеки та зв'язку [3].

За даними звіту в 2022 році авіарейси, що відправляються з ЄС-27 плюс країни ЄАВТ (Ісландія, Ліхтенштейн, Швейцарія та Норвегія), склали 12% загальних викидів парникових газів у транспорті та 4% загальних викидів парникових газів у ЄС-27+ЄАВТ.

Вплив авіації на клімат є поєднанням викидів CO_2 і не CO_2. Викиди, відмінні від CO_2 , включають оксиди азоту (NO_X), тверді частинки (сажу), оксиди сірки (SO_X) і водяну пару, а також наступні ефекти від утворення перистих хмар і взаємодії аерозолів і хмар [3].

У 2023 році на авіацію припадало приблизно 2,5% світових викидів CO_2 . Абсолютні викиди значно зростають. 47% загальних авіаційних викидів CO_2 між 1940 і 2019 роками припало на період з 2000 року [3].

Те, як експлуатується літак і як використовується повітряний простір, впливає на викиди. Досягнення амбітних екологічних цілей вимагає більш ефективних операцій, що призводять до меншого спалювання палива та викидів. За останні 3 роки відбулися певні зміни в цій галузі, а саме оновлений «Європейський генеральний план організації повітряного руху до 2024 року»,

який має на меті зробити Європу найефективнішим і екологічно чистим небом для польотів у світі. Його впровадження може призвести до 9,3% менше викидів C_2 за рейс до 2025 року [4].

Як і викиди парникових газів, шум від повітряних операцій є впливом на навколишнє середовище, який особливо актуальний в аеропортах та прилеглих районах. У EAER 2025 ви також знайдете дані щодо шумових характеристик літаків [3].

Аеропорти відіграють певну роль у зниженні викидів за допомогою різних способів, таких як оптимальні траєкторії траєкторії польоту; електрифікація наземних транспортних засобів та інфраструктури; більш стійкі наземні операції, наприклад, з руліннням одним двигуном; сприяючи постачанню стійкого авіаційного палива (SAF) і досліджуючи альтернативні джерела енергії з низьким вмістом вуглецю, наприклад водень і електроенергію.

Кількість нових сертифікованих великих транспортних літаків, як-от комерційних літаків, на яких ми літаємо, і типів двигунів за останні кілька років була обмеженою та з незначними екологічними покращеннями. Нові літаки з покращеною паливною ефективністю та меншим рівнем шуму є важливими заходами пом'якшення, але потрібен час, щоб розробити та проникнути у світовий флот. Використання альтернативних джерел енергії, як-от електрика та водень, також ще далеко не підходить для більших літаків.

Однак авіація загального призначення (менші легкі літаки для розваг або приватного транспорту) розглядається як колиска для розробки, тестування та індустріалізації інновацій і може стимулювати вдосконалення в усьому авіаційному секторі.

Екологічне авіаційне паливо це одна зі сфер, де нещодавно було зроблено великий крок після затвердження авіаційного регламенту RefuelEU у 2023 році. Цей законодавчий акт встановлює обов'язкові цілі щодо постачання SAF у європейських аеропортах, які поступово збільшуватимуться з 2% у 2025 році до 70% у 2050 році [5].

ReFuelEU Aviation сприяє більш широкому використанню стійкого авіаційного палива (SAF) як єдиного найпотужнішого інструменту для зменшення авіаційних викидів CO_2 . Цей захід є частиною пакету Fit for 55, спрямованого на досягнення мети скорочення викидів на 55% до 2030 року. Він встановлює вимоги до постачальників авіаційного палива поступово збільшувати частку SAF, змішаного зі звичайним авіаційним паливом, що постачається в аеропорти ЄС [5].

Екологічне авіаційне паливо має потенціал для значного скорочення викидів CO_2 і не CO_2 на основі життєвого циклу порівняно зі звичайним реактивним паливом, головним чином досягаючим під час виробничого процесу. Станом на 2024 рік виробництво SAF становило лише 0,53% світового споживання реактивного палива. Значне розширення виробничих потужностей потрібне для виконання майбутніх завдань і цілей. Великою проблемою SAF є ціна: воно може коштувати в 3-10 разів дорожче, ніж звичайне паливо. Однак очікується, що ціни будуть знижуватися в міру розширення виробництва.

Ринкові заходи - це механізми компенсації викидів. Для авіації найвідомішими схемами є Система торгівлі викидами ЄС (EU ETS) та ICAO CORSIA. Нещодавній перегляд СТВ ЄС у 2023 році включає поступову відмову від безкоштовних квот для авіакомпаній і зниження ліміту авіаційних викидів з 2024 року. Це призводить до подорожчання дозволів і стимулює скорочення викидів в авіаційному секторі [8].

12 травня 2021 року Європейська комісія прийняла План дій ЄС: «На шляху до нульового забруднення повітря, води та ґрунту» - ключовий результат Європейської зеленої угоди [10].

Бачення нульового забруднення на 2050 рік передбачає зменшення забруднення повітря, води та ґрунту до рівнів, які більше не вважаються шкідливими для здоров'я та природних екосистем, що поважає межі, з якими може впоратися наша планета, таким чином створюючи вільне від токсичних речовин середовище.

Це втілено в ключових цілях до 2030 року для прискорення зменшення забруднення в джерелі. Ці цілі включають [10]:

- покращення якості повітря для зменшення кількості передчасних смертей, спричинених забрудненням повітря, на 55%;
- покращення якості води шляхом зменшення відходів, пластикового сміття в морі (на 50%) та мікропластику, що викидається в навколишнє середовище (на 30%);
- покращення якості ґрунту за рахунок зменшення втрат поживних речовин і використання хімічних пестицидів на 50%;
- скорочення на 25% екосистем ЄС, де забруднення повітря загрожує біорізноманіттю;
- зменшення на 30% частки людей, які хронічно страждають від транспортного шуму;
- значно зменшити утворення відходів і на 50% залишкових побутових відходів.

План дій спрямований на зміцнення екологічного, цифрового та економічного лідерства ЄС, одночасно створюючи більш здорову, соціально справедливішу Європу та планету. Він забезпечує компас для включення запобігання забрудненню в усі відповідні політики ЄС, для прискорення впровадження відповідного законодавства ЄС та виявлення можливих прогалин [10].

Європейська зелена угода оголосила про основні дії щодо нульового забруднення.

1.Хімічна стратегія сталого розвитку – кращий захист громадян і навколишнього середовища від небезпечних хімічних речовин.

2.План дій щодо нульового забруднення води, повітря та ґрунту – для кращого запобігання, усунення, моніторингу та звітування про забруднення.

3.Перегляд заходів щодо усунення забруднення від великих промислових установок , щоб забезпечити їх узгодженість із політикою клімату, енергетики та циклічної економіки.

Висновок

Таким чином, авіація є міжнародною за своєю природою, і, отже, стійкість сектору може бути досягнута лише за участю кожного. ЄС та ІКАО запровадили декілька програм, присвячених захисту навколишнього середовища, для роботи з державами-партнерами щодо спільних цілей. Лише європейські організації співпрацювали зі 112 державами-партнерами та виділили приблизно 20 мільйонів євро на проекти захисту навколишнього середовища цивільної авіації з 2022 року.

Список літератури

1. Energy sector as an object of economic warfare and economic sanctions. /Побоченко Л.М., Татаренко Н.О., Набок І.І., Прокоп'єва А.А.//Вчені записки. 2023. № 30 (1). Pp.171-186. URL: https://drive.google.com/file/d/1pVON1Bz2PCDQmrZLHvk_5BPupF-KIS7x/view. DOI: 10.33111/vz_kneu.31.23.01.16.115.121.
2. Prokopieva A., Pobochenko L., Smirnova T., Nabok I., Tatarenko N., Sydorenko K. Ecological disasters as a result of cyber attacks in the energy sector Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks 2024. Proceedings of the Third International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2024). Kyiv, Ukraine, January 24–27, 2024. PP. 64-81 CEUR-WS.org/Vol-3925 (Scopus).
3. European Aviation Environmental Report 2025. URL: https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/european-aviation-environmental-report-2025.
4. European air traffic management (ATM) Master Plan **2024.** URL: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-welcomes-updated-european-atm-master-plan-2024-12-12_en
5. ReFuelEU Aviation**.** URL: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleuaviation_en.
6. Соколова, З., Набок, І., Прокоп'єва, А., Сидоренко, К., Бойчук, Д., & Радіонов, П. (2022). Аналів ефектів втілення угоди про спільний авіаційний простір з ЄС для галузі пасажирських авіаперевезень України. - Financial and Credit Activity Prob-lems of Theory and Practice, 6(46), 334–348. https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.46.2022.3854.
7. Румянцев, А., Побоченко, Л., Пічкурова, З., Толпежнікова, Т., Ковбич, Т., & Ляшов, Д. (2022). Уплив глобальної диджиталізації на розвиток ринку праці України. Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice, 5(46), 334–348. https://doi.org/10.55643/fcaptp.5.46.2022.3854.
8. Офіційний сайт Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA). URL: http://www.iata.org/index.htm.
9. Офіційний сайт Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO). URL: https://www.icao.int/Pages/default.aspx.
10. Zero Pollution Action Plan. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en

УДК: 004.89:656.7

Л.М. Побоченко, к.е.н., доцент
В.В. Грігор'єва,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості застосування штучного інтелекту в авіації

Досліджено роль та особливості застосування штучного інтелекту в авіації. Проаналізовано Дорожню карту EASA (Агентство з авіаційної безпеки Європейського Союзу) Artificial Intelligence 2.0, яка окреслює бачення Агентства щодо безпеки та етичних міркувань штучного інтелекту в авіації.

В сучасних умовах штучний інтелект (ШІ) відіграє важливу роль у всіх сферах авіації. Впровадження такої технології забезпечить розширену допомогу авіаційним фахівцям і оптимізацію процесів у спосіб, який інакше неможливий, забезпечуючи ще більш безпечний і стабільний авіаційний сектор [1].

Звичайно, нові технології пов'язані з ризиками та проблемами, наприклад, складністю систем машинного навчання, етичними наслідками та кібербезпекою систем ШІ. Через свою Дорожню карту штучного інтелекту EASA (Агентство з авіаційної безпеки Європейського Союзу) прагне забезпечити, щоб авіаційна промисловість отримувала переваги від потенціалу інтеграції штучного інтелекту в свою діяльність, зберігаючи при цьому найвищі стандарти безпеки та захисту навколишнього середовища [4].

У 2020 році EASA опублікувала першу «Дорожню карту штучного інтелекту», яка встановила початкове бачення Агентства щодо безпеки та етичних аспектів розробки інструментів штучного інтелекту в галузі авіації. Дорожня карта EASA AI є живим документом, призначеним для оновлення та вдосконалення шляхом обміну думками та практичної роботи з розробки AI.

Останнє видання, EASA Artificial Intelligence Roadmap 2.0 , було опубліковано в травні 2023 року. Дорожня карта EASA Artificial Intelligence 2.0 окреслює бачення Агентства щодо безпеки та етичних міркувань штучного інтелекту в авіації. У ньому міститься комплексний план дій для програми EASA AI та встановлюється темп концептуальних інструкцій і очікуваних нормотворчих заходів. Крім того, він служить основою для обговорень з усіма зацікавленими сторонами Агентства [2].

EASA також опублікувала концептуальні документи штучного інтелекту , які підтримують адаптацію існуючих авіаційних правил до особливостей ШІ та визначення нових вимог і засобів відповідності. Крім того, тривають дослідження в рамках проекту Machine Learning Application Approval (MLEAP), який займається схваленням технології машинного навчання для систем, призначених для використання в додатках, пов'язаних з безпекою, у всіх сферах компетенції EASA [4].

Однією з найбільших можливостей штучного інтелекту є здатність обробляти величезні обсяги даних і вчитися на них. Такі здібності можна

використовувати для виявлення закономірностей, розробки прогнозів і передбачення ризиків і можуть мати позитивний вплив на різні галузі в авіації:

1. Льотна експлуатація. Штучний інтелект може допомогти екіпажу, консультуючи щодо рутинних завдань, щоб підвищити оперативну ефективність польоту. Він може передбачати такі проблеми, як турбулентність і обледеніння, і допомагати пілотам приймати рішення, коли вони стикаються з конфліктом.

2. Технічне обслуговування. З оцифруванням кількість даних, які обробляються організаціями виробництва та технічного обслуговування, зростає, а разом з цим зростає потреба покладатися на ШІ для обробки цих даних. Прогнозне технічне обслуговування на основі штучного інтелекту може допомогти оптимізувати графіки техобслуговування, передбачити залишковий термін корисного використання деталей і, таким чином, запобігти поломкам.

3. Навколишнє середовище. Серед іншого, оптимізація траєкторій польоту є одним із прикладів того, як ШІ може допомогти зменшити викиди вуглецю під час польотів. Іншим прикладом, коли підтримка ШІ буде цінною, є оцінка впливу. Оцінка впливу авіації на навколишнє середовище, як-от шум навколо аеропортів або викиди бортових двигунів, — це діяльність, яка потребує великих даних і обчислень. ШІ може дозволити EASA покращити свою здатність працювати з такими даними [4].

4. Організація повітряного руху. Аналізуючи дані про погодні умови, конфігурації секторів, затори повітряного руху та інші фактори, штучний інтелект може підтримувати оптимізацію маршрутів польотів, скорочувати час польоту, споживання палива та витрати. Така оптимізація призведе до більш ефективної системи управління повітряним рухом, зменшуючи затримки та збільшуючи пропускну здатність повітряних подорожей.

Програми штучного інтелекту та машинного навчання (ML) також можуть допомогти диспетчерам повітряного руху приймати більш обґрунтовані рішення та швидше, коли вони стикаються з конфліктом.

5. Аеропорти. Що стосується повітряних операцій, штучний інтелект може допомогти у виявленні уламків сторонніх об’єктів на злітно-посадковій смузі та незаконних безпілотних літальних апаратів (наприклад, дронів) поблизу аеропортів, а також допомогти у запобіганні зіткненням з птахами.

Всередині терміналу аеропорту штучний інтелект може допомогти в перевірці безпеки, виявленні небезпечних вантажів і нагляді [4].

6. Дрони та інноваційна повітряна мобільність. По мірі того, як ми рухаємося до реальності, де повітряні таксі не є предметом наукової фантастики, а безпілотні літальні апарати, як-от дрони, є більш надійними та використовуються для багатьох цілей, повітряний простір стане більш переповненим.

Тоді штучний інтелект матиме вирішальне значення для інтеграції пілотованих і безпілотних літальних апаратів, одночасно забезпечуючи безпечне спільне використання повітряного простору між користувачами та, зрештою, впровадження передових послуг U-space (U-Space - це набір рішень для керування рухом безпілотних літальних апаратів). Це може включати такі

речі, як: виявлення перешкод, можливість зміни траєкторії та оцінка ризиків на землі під час приземлення.

7. Кібербезпека. Штучний інтелект може допомогти у створенні більш ефективних і надійних систем для запобігання кібератакам. Його можна використовувати для автоматичного виявлення та виправлення вразливостей систем (профілактика), а також для ідентифікації загроз на основі поведінки (виявлення).

8. Управління ризиками безпеки. Знову ж таки, це домен, який має справу з величезними обсягами даних. У EASA технологія штучного інтелекту розширить можливості розвідки безпеки, наприклад, покращивши здатність визначати вразливі місця. ШІ може допомогти у виявленні нових ризиків, класифікації ризиків подій, розробці портфоліо ризиків безпеки та пріоритезації питань безпеки [4].

Висновок

Таким чином, застосування штучного інтелекту в авіаційній галузі відкриває нові можливості для підвищення ефективності, безпеки та якості надання авіаційних послуг. Системи на базі штучного інтелекту активно впроваджуються у процеси управління польотами, технічного обслуговування літаків, прогнозування несправностей та оптимізації логістики. Водночас застосування ІІ вимагає вирішення низки викликів, пов'язаних з кібербезпекою, етичними аспектами та необхідністю адаптації міжнародних стандартів і норм до нових технологічних реалій. Перспективи подальшого розвитку штучного інтелекту в авіації безпосередньо пов'язані з глобальними трендами цифровізації, а також із потребою забезпечення сталого та безпечного розвитку авіаційної галузі.

Список літератури

1. Artificial Intelligence and Aviation. URL: https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/easa-and-you.
2. Artificial Intelligence Roadmap, EASA. URL: https://www.easa.europa.eu/en/light/topics/artificial-intelligence-and-aviation-0.
3. European Aviation Environmental Report 2025. URL: https://www.easa.europa.eu/en.
4. Офіційний сайт EASA (Агентство з авіаційної безпеки Європейського Союзу). URL: https://www.easa.europa.eu/en.
5. Побоченко Л.М., Горобець О.Г. Вплив штучного інтелекту на авіаційну галузь // XI Авіаційний конгрес "Авіація в XXI ст. - безпека в авіації та космічні технології". Kyiv, Ukraine. Вересень 25-27. P. 5.1.8 - 5.1.12. 2024. URL: http://congress.nau.edu.ua/2024/.
6. Prokopieva A., Pobochenko L., Smirnova T., Nabok I., Tatarenko N., Sydorenko K. Ecological disasters as a result of cyber attacks in the energy sector Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks 2024. Proceedings of the Third International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2024). Kyiv, Ukraine, January 24–27, 2024. PP. 64-81 CEUR-WS.org/Vol-3925.

УДК 339.9

А.А. Прокоп'єва, к.е.н., доцент
А.В. Єршов, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Енергетична дипломатія в умовах геополітичних та екологічних змін

Тези досліджують роль енергетичної дипломатії як ключового інструмента в сучасному міжнародному контексті, зокрема в умовах геополітичних та екологічних змін. Вони висвітлюють вплив глобальних енергетичних трансформацій на політичні відносини між країнами, зокрема на енергетичну безпеку та стабільність постачання енергоносіїв. Окрему увагу приділено ролі відновлюваних джерел енергії в енергетичній дипломатії, а також стратегіям зменшення викидів CO2, що стають важливими складовими міжнародних переговорів та угод.

У сучасному глобалізованому світі питання, що стосуються енергетичної сфери, набувають все більшого значення. Вони виступають не лише як можливість реалізації економічних інтересів держав та інтеграційних об'єднань, але й як інструменти для досягнення політичних цілей у міжнародних відносинах. Сучасний світовий енергетичний ринок став значною мірою політизованим, і країни, що володіють енергоресурсами та відповідною інфраструктурою, здобувають додаткові можливості для реалізації своїх інтересів як у рамках окремих регіонів, так і на глобальній політичній арені. Співпраця між державами в енергетичному секторі потребує належних організаційно-правових засад, зокрема й політичних. Важливу роль у цьому процесі відіграє енергетична дипломатія, яка, з одного боку, захищає національні інтереси держави, використовуючи широкий спектр дипломатичних інструментів, і, з іншого, створює додаткові можливості для протидії глобальним енергетичним викликам. Серед таких проблем можна виділити забезпечення енергетичної безпеки, доступність енергоресурсів за ціною, екологічність виробництва енергії, сталий розвиток та управління енергетичними процесами. Оскільки ці питання мають міжнародний характер, енергетична дипломатія стає ефективним механізмом для запобігання та вирішення енергетичних проблем.

У практичній реалізації енергетична дипломатія застосовує різноманітні політичні технології, оскільки досягнення інтересів як державних, так і приватних енергетичних компаній вимагає підтримки впливових політичних акторів. Це включає використання органів влади як на державному, так і на наднаціональному рівнях. Однією з ключових технологій є застосування інформаційних технологій, які допомагають формувати міжнародний образ країни чи енергетичних корпорацій, впливати на настрої споживачів, створювати систему цінностей та визначати політичні пріоритети. Однак, попри розвиток інформаційних технологій, переговори залишаються однією з найбільш ефективних політичних технологій у енергетичній дипломатії. Переговори виконують кілька функцій: вирішення питань енергетичної

безпеки, забезпечення регуляції та контролю, виконання внутрішньополітичних і зовнішньополітичних завдань, а також формування суспільної думки та залучення нових партнерів для досягнення зовнішньополітичних цілей [1].

Особливий інтерес для України становить європейський досвід у подоланні енергетичних проблем за допомогою дипломатичних інструментів. Це пов'язано з активізацією євроінтеграційного процесу України, прагненням до створення спільного енергетичного простору, а також з усвідомленням Європою агресивної зовнішньої політики Росії, де енергетична політика є інструментом тиску та шантажу. Європейський Союз активно підтримує реформи в Україні, багато з яких стосуються енергетичної сфери. Європейська енергетична політика, яка була започаткована Лісабонським договором 2007 року, і зокрема регламенти та стратегії, такі як Біла книга ЄС, Регламент про безпеку постачання газу, а також Європейська стратегія енергетичної безпеки 2014 року, визначають нормативні основи енергетичної дипломатії в ЄС.

Європейський Союз займає третє місце в світі за споживанням енергоресурсів, однак при поточних темпах розвитку промисловості наявних внутрішніх ресурсів вистачить лише на кілька років. Обмеженість власних енергетичних ресурсів спричиняє значну залежність країн ЄС від імпортних постачань. Тому питання енергетичної безпеки стало пріоритетним для Європи. За останні роки ЄС зіткнувся з низкою енергетичних проблем, серед яких кризові ситуації з постачанням газу з Росії до країн Центрально-Східної Європи, низька інтеграція енергетичних ринків та виклики, пов'язані із змінами клімату й розвитком відновлюваних джерел енергії.

Проблемою для ЄС стала інтеграція нових країн, які раніше входили в енергетичну систему під контролем СРСР. Це додатково ускладнило забезпечення енергоресурсами на території Союзу. Також слід врахувати посилення впливу Росії, яка активно використовує нафту та газ як інструменти політичного тиску.

ЄС у своїй енергетичній дипломатії використовує як традиційні методи двосторонньої та багатосторонньої дипломатії, так і спеціальні засоби, такі як ембарго та економічні санкції. Окрім державних інститутів, до реалізації енергетичних цілей активно залучаються транснаціональні корпорації, які співпрацюють із дипломатичними структурами, зокрема, в контексті використання економічних важелів для досягнення політичних цілей [2].

У сучасних геополітичних умовах енергетична дипломатія набула особливого значення для більшості країн світу, зокрема й для України. Ця тема є особливо актуальною на тлі триваючої російсько-української війни та нерозв’язаних енергетичних викликів, що створюють реальну загрозу національній безпеці. У політичному вимірі Російська Федерація активно просуває в Європі так зване "газове лобі", що має на меті вплинути на стриману позицію ключових країн ЄС щодо інтеграції України до європейського простору. У російському експертному середовищі існує концепція створення енергетичного "сухопутного мосту" від Атлантики до Тихого океану через територію РФ. Така ініціатива передбачає формування єдиного економічного та гуманітарного простору, що суперечить інтересам України та її співпраці з Євросоюзом. Основна мета цієї стратегії — посилити позиції Росії як головного

постачальника газу до ЄС через Східноєвропейський маршрут. Водночас, незважаючи на великі запаси енергоресурсів, російський енергетичний сектор стикається з численними труднощами. Вони спричинені як воєнними діями проти України, так і санкціями з боку провідних західних країн, що негативно впливають на економіку РФ та стримують її зростання [3;4].

Українські фахівці справедливо підкреслюють, що у 2025 році енергетична дипломатія залишається надзвичайно важливою складовою зовнішньої політики держави. Її значення зростає в умовах повномасштабної війни, яка триває вже понад два роки, негативно впливаючи на безпекове середовище, інвестиційний клімат та енергетичну стабільність країни. Збройний конфлікт, спричинений агресією РФ, стримує прихід іноземних інвесторів, що ускладнює розвиток видобутку власних енергоресурсів — передусім природного газу — необхідного для зниження залежності від імпорту та зміцнення енергетичної незалежності [5].

Додатковим викликом залишаються наслідки припинення транзиту російського газу територією України, що сталося ще у 2020 році після завершення відповідного контракту. Це призвело до втрати значної частини прибутків від транзитних операцій, а також ослаблення геоекономічних позицій України в переговорах з енергетичними гравцями.

Серйозною втратою залишається і анексія Криму, яка, окрім політичних і безпекових наслідків, означала й втрату стратегічного підприємства «Чорноморнафтогаз» та доступу до перспективних покладів у Чорному морі. На тлі продовження реалізації Росією проєкту «Північний потік – 2» (незважаючи на гучні політичні дискусії у Європі), а також зростання ролі альтернативних маршрутів постачання енергоносіїв в обхід України, позиції держави в енергетичному вимірі залишаються вразливими.

У 2025 році газопроводи OPAL та Nord Stream 1/2 фактично втратили свою роль через санкції, диверсії та скорочення європейського імпорту російського газу. Проте у період 2016–2021 років ці проєкти відігравали важливу роль у виключенні України з європейської транзитної архітектури, і їхній вплив на формування сучасної політики ЄС в енергосфері ще відчутний.

Незважаючи на наявність потужної газотранспортної системи, великих підземних сховищ газу та стратегічного розташування, Україна досі не вичерпала повністю свій потенціал у сфері енергетики. Впродовж десятиліть зберігалася монопольна енергозалежність від РФ, однак повномасштабне вторгнення у 2022 році стало точкою неповернення й підштовхнуло до перегляду підходів до енергетичної безпеки та дипломатії [6].

Сьогодні Україна активно розвиває партнерства з ЄС, США, країнами Балтії, а також з Туреччиною та Каспійським регіоном. Нарощуються зусилля щодо збільшення видобутку власного газу, розвитку зеленої енергетики та інтеграції до європейського енергетичного ринку. Така переорієнтація не лише сприяє зменшенню впливу Росії на енергетичну сферу України, а й створює передумови для побудови нової, стратегічно орієнтованої енергетичної дипломатії, яка відповідає викликам сучасності та зміцнює національну безпеку.

У 2025 році питання енергетичної безпеки України вимагає нових підходів до регіонального співробітництва, зокрема через ідею створення та активної участі України в ініціативі Балто-Чорноморського союзу. Такий формат взаємодії відкриває перспективи для поглиблення трансрегіональних зв'язків між країнами Східної Європи, Кавказу, Центральної Азії та Близького Сходу. Реалізація цього стратегічного проєкту здатна посилити енергетичну безпеку регіону та сприяти розвитку нових інфраструктурних маршрутів постачання енергоресурсів, зокрема шляхом створення енергетичного коридору «Північ–Південь», який дозволив би транспортувати ресурси з Каспійського регіону до країн Європи, оминаючи територію Росії [7].

Нині особливої актуальності набуває й оновлення державної енергетичної політики. Це передбачає проведення глибоких структурних реформ у секторі енергетики, створення нової Енергетичної стратегії України, яка відповідала б сучасним геополітичним реаліям, національним інтересам та вимогам міжнародних партнерів. У такій стратегії мають бути враховані внутрішні та зовнішні виклики, потреби бізнесу та суспільства, а також передбачено комплекс заходів з диверсифікації джерел енергопостачання. Доцільним також є ухвалення системного законодавчого акту, зокрема Закону України «Про енергетичну безпеку», який би закріпив ключові принципи функціонування цієї сфери.

Окреме значення для української енергетичної дипломатії має інформаційний напрям. Йдеться про забезпечення регулярної, прозорої та професійної комунікації з європейськими партнерами щодо технічних можливостей української газотранспортної системи, ходу реформ, гармонізації національного законодавства з нормами ЄС та виконання Україною міжнародних зобов'язань. Серед пріоритетів також — інтеграція українського ринку в Європейське енергетичне співтовариство та залучення міжнародних партнерів до спільного управління критично важливою енергетичною інфраструктурою [8].

Не менш важливою умовою успішної реалізації енергетичної стратегії є підготовка нової генерації фахівців з енергетичної дипломатії. Це вимагає впровадження міждисциплінарних освітніх програм, які поєднуватимуть знання з міжнародних відносин, енергетичної політики, права, економіки та безпеки. Формування таких компетенцій забезпечить появу висококваліфікованих кадрів, здатних ефективно представляти інтереси України на міжнародному рівні.

Усі ці напрямки — від формування регіональних союзів до модернізації освіти — мають стати ключовими об'єктами подальших досліджень і практичної реалізації у рамках державної політики в сфері енергетичної безпеки.

У світлі сучасних викликів дедалі важливішу роль у вирішенні енергетичних питань відіграє енергетична дипломатія. Вона має діяти у двох ключових напрямах — традиційному та інноваційному, що зумовлено стрімким розвитком технологій у XXI столітті.

До першого напряму належать класичні завдання: забезпечення стабільного та безперебійного імпорту енергоресурсів, розширення кола

постачальників і джерел енергії, диверсифікація енергетичних маршрутів. Другий напрям, за оцінками сучасних експертів, зокрема Н. Слободян, охоплює більш складні завдання: участь України у глобальному енергетичному діалозі (включно з ядерною та газовою сферами), гармонізацію внутрішньої енергетичної політики з нормами Європейського Союзу, моніторинг новітніх технологічних трендів — таких як сланцевий газ, воднева енергетика та цифровізація енергетичних процесів.

Крім того, до новітніх завдань входить комерціалізація національного наукового потенціалу в енергетичній сфері, забезпечення виходу українських енерготехнологій на світові ринки, залучення іноземних інвестицій у розвиток «чистої» енергетики та позиціонування України як активного учасника європейського енергетичного простору.

У 2025 році стратегічна мета України полягає не лише в енергетичній незалежності, а й у підвищенні геополітичної суб'єктності через енергетичну інтеграцію. Для цього необхідна скоординована робота урядових структур, приватного сектору, енергетичних компаній, аналітичних центрів та міжнародних партнерів. Таке об'єднання зусиль дозволить не лише ефективно протистояти гібридним загрозам з боку Російської Федерації, а й сприятиме сталому розвитку внутрішнього енергетичного ринку, просуванню національних інтересів на міжнародному рівні та повноцінному входженню України до єдиної європейської енергетичної системи.

Список літератури

1. Турчин Я. Енергетична дипломатія як важлива складова зовнішньої політики держави: європейський досвід для України // Соціально-гуманітарні вісті. 2016. Т. 2, № 2. С. 55–61. URL: https://science.lpnu.ua/uk/shv/vsi-vypusky/tom-2-chyslo-2-2016/energetychna-dyplomatiya-yak-vazhlyva-skladova-zovnishnoyi (дата звернення: 10.04.2025). science.lpnu.ua+3science.lpnu.ua+3ena.lpnu.ua+3
2. Лимар В.В. Концептуальні моделі тристоронньої енергетичної дипломатії // Політичне життя. 2024. № 4. DOI: https://doi.org/10.31558/2519-2949.2024.4.10. URL: https://jpl.donnu.edu.ua/article/view/16608 (дата звернення: 10.04.2025).jpl.donnu.edu.ua
3. Горбачук О.І. Дипломатія України в електроенергетичній сфері // Вчені записки Університету «КРОК». 2022. № 2 (66). С. 17–24. DOI: https://doi.org/10.31732/2663-2209-2022-66-17-24. URL: https://dspace.krok.edu.ua/items/602c9df6-b8ce-4312-951e-855faa80296f (дата звернення: 10.04.2025).dspace.krok.edu.ua
4. Горбачук О.І. Економічна дипломатія як технологія реалізації експортного потенціалу електроенергетичної галузі України // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка». 2022. № 2 (60). С. 34–38. DOI: https://doi.org/10.24144/2409-6857.2022.2(60).34-38. URL: https://visnyk-ekon.uzhnu.edu.ua/article/view/266511 (дата звернення: 10.04.2025).visnyk-ekon.uzhnu.edu.ua
5. Енергетична стратегія як інструмент політики енергетичної безпеки: зб. матеріалів наук.-практ. конф. (Київ, 23 груд. 2014 р.). Київ: НІСД, 2015. URL:

https://niss.gov.ua/publikacii/materiali-kruglikh-stoliv-konferenciy/energetichna-strategiya-yak-instrument-politiki (дата звернення: 10.04.2025).Національний інститут стратегдосліджень

6. Клименко С.С. Енергетична безпека України в контексті російсько-української війни: дипломна робота. Київ: НАУ, 2023. URL: https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/60341 (дата звернення: 10.04.2025). Национальный университет авиации

7. Енергетична дипломатія України: аналіз статус-кво та практичні рекомендації / DiXi Group. 2021. URL: https://dixigroup.org/analytic/energetichna-diplomatiya-ukraïni-analiz-status-kvo-ta-praktichni-rekomendaczii/ (дата звернення: 10.04.2025).

8. Лук'янова І. Роль Норвегії в розвитку відновлюваної енергетики в країнах, що розвиваються в контексті «нішевої дипломатії» // Історико-політичні проблеми сучасного світу. 2020. Вип. 41. С. 126–134. DOI: https://doi.org/10.31861/mhpi2020.41.126-134. URL: https://mhpi.chnu.edu.ua/mhpi/article/view/271 (дата звернення: 10.04.2025).

UDC: 347.73

R.Yu. Ivanova, Ph.D. in Law, Associate Professor
(Leonid Yuzkov Khmelnytskyi University of Management and Law, Ukraine)

The Impact of International Financial Organizations on the Reform of Civil Aviation Infrastructure in Ukraine

This study examines how international financial institutions have changed Ukraine's civil aviation infrastructure. It emphasizes the impact of the EIB, EBRD, IMF, and World Bank's investment and support actions, as well as institutional policies, during the recovery period and integration into the European Common Aviation Area.

The civil aviation infrastructure reform for Ukraine is becoming more important for further development due to the combination of post-war recovery and European integration. After Russian military aggression, Ukraine needs to restore critical transport infrastructure, including airports, air navigation systems, and regulatory bodies. In this respect, policy and financial institutions like the International Monetary Fund, the World Bank, the European Investment Bank, and the European Bank for Reconstruction and Development emerged as fundamental IFOs. These IFOs provided crucial financing and developed supportive policies.

This analysis explores the role and impact of international financial organizations (IFOs) in the reforming and recovering of the civil aviation infrastructure of Ukraine with specific focus on the post-war period. It emphasizes the primary cooperation mechanisms with key actors, such as the International Monetary Fund, World Bank Group, European Investment Bank, and European Bank for Reconstruction and Development, both on financial aid and on legal-institutional framework aspects. It illustrates the dual role played by IFOs as donors and legal benchmark erasers, regulatory advisors, and strategic policy level actors regarding Ukraine's relations towards European Common Aviation Area.

Ukrainian transport infrastructure, including commercial airports, air navigation facilities, and aviation governing bodies, suffered substantial damage due to the russian invasion. The modernization of civil aviation infrastructure is currently regarded as an important factor for region development, international integration, and economic recovery alongside other components of a nation's systems. In this regard, the role of IFOs is of vital significance as they offer thorough aid in the form of investment capital, legal services, and institutional support.

Before the war began, both the EIB and EBRD started several aviation infrastructure projects in Ukraine. Financial aid facilitated the modernization of the airport terminals in Odesa, Dnipro, Kharkiv, and Lviv. The reconstruction of the runways, improvement of terminals, modernization of navigational and safety systems, and international standard compliance were the main objectives of the projects. While many of these initiatives were disrupted due to the full-scale invasion, some remain in what can be described as a "standby mode." This includes the completion of feasibility studies, signing memorandums of understanding, and conducting environmental impact assessments.

In the post-conflict period, renewing the funding and physical resources required from international investors to revive these initiatives is not the only post-war requirement. Furthermore, they must undergo technical adjustment to align with international legal frameworks. For example, EIB requires sustainability reporting, climate risk assessment, and energy efficiency disclosure as prerequisites for funding. On the other hand, EBRD supports "green aviation," directing funds toward the construction of renewable energy systems for airport operations and the development of technologies designed to reduce carbon emissions from aviation. Such conditions are included in the legal and financial documents, such as grant

agreements and loan covenants, sectoral reform strategy documents with the Government of Ukraine, and Memorandum of Understanding co-drafted with the government.

The World Bank contributes to the development of legal and governance systems, or frameworks, in a country in distinct ways. As part of its technical assistance, the World Bank has consulted the Ukrainian government on PPP (Public-Private Partnership) models, concession law, and infrastructure procurement. Legal reforms comprise the creation of an aviation infrastructure competitive tendering process aimed at minimizing corruption and improving the company image. These reforms are mandatory before the Ukraine can implement the liberalization commitments contained in the EU–Ukraine Common Aviation Area Agreement including legal harmonization, market opening, and enhanced safety, aviation, and other standards.

Building institutional capacities is also one of the important areas of IFO concern. The State Aviation Administration of Ukraine (SAAU,) the Civil Aviation Training Center, and some regional airport operators have been clients for training safety auditing, air traffic control, and other international regulatory compliance. Cooperation with the International Civil Aviation Organization (ICAO) enables Ukraine to incorporate basic components of the Global Air Navigation Plan (GANP) such as computerized air traffic management, modernized airspace, and emergency health response, advanced contingency procedures and architecture, and flexibile response to health crisis designed systems.

The IMF has had an impact on reforms in the area of civil aviation, and this impact has not been direct. Under various EFF programs, the IMF has insistently highlighted the need to strengthen the multi-disciplinary fiscal and financial approach towards infrastructure development systems, not softening the discipline with development sustainability focus. Achievable macroeconomic parameters, fiscal benchmarks, and well-calibrated monetary policies increase the country's risk profile and encourage investment in infrastructure from both public and private entities over the long haul. Throughout the 2023 - 2024 EFF program, the IMF focused on the rehabilitation of the transport industry, including aviation, as one of the primary objectives of Ukraine's national resilience framework.

In addition, IFOs fondos also back the strategic aim of Ukraine supporting the initiative of the EU Single European Sky within the framework of aviation announcement EU integration. Legal integration with the EU acquis requires the adoption of implementing rules on safety oversight, airworthiness certification, air carriage licensing, and environmental protection aviation. These come with Ukraine's Air Code, laws on the protection of aviation, and administrative contracts pertaining to international aviation pordosaelia agreements.

In addition, the current governance with IFOs is automating and digitizing customs and air freight procedures, developing cybersecurity measures for airport systems, and implementing anti-corruption compliance policies specific to aviation. All of these actions are associated with more comprehensive public governance reforms – which the IMF and World Bank have been advocating for across the transport, fiscal, and procurement domains.

Analyzing the situation from a legal standpoint, the actions of the IFOs within Ukraine's territory go beyond the typical relations of a donor and a recipient. The For IFOs, their undelivered argumentation through the predicated Conditionalities and supported the national policy frameworks legally established provides them with a legislative power. Thus, the collaborative efforts between Ukraine and IFOs form a unique type of cooperation which can be deemed transnational legal cooperation spanning across international financial law, regulations of soft law, and the public law of the state along legal public law with fusion of the state with the private domain leading to legal consequences upon the public bodies and institutional investors.

To summarize, international financial institutions (IFOs) have become an integral part of Ukraine's recovery efforts in civil aviation. Their roles include a multitude of efforts such as: providing capital infusions, guidance on regulations, legal harmonization, and institutional framework assistance. In rebuilding the aviation infrastructure, IFOs assist with targeted investment, technical advice, and legal frameworks designed to ensure Ukrainian aviation is not

only rebuilt but fortified to meet European and global standards. The further participation of IFOs remains vital in guaranteeing that civil aviation reform supports enduring national strength, soft power competitiveness, and accession law integration into the European transport network.

Ukraine has an opportunity to improve its civil aviation industry in the post-war period by "rebuilding it better" to meet European and global standards. Unlike traditional donors, international financing organizations offer specialized guidance and contribute their experience, institutional reliability, and broad frameworks as strategic partners. With their aid, civil aviation infrastructure is constructed not only more rapidly, but also stronger, greener, and better integrated into the European transport system.

Bottom line: The cooperation of Ukraine with foreign financial bodies significantly assists in the development of a modern, robust, and sustainable civil aviation industry. In this aspect, these institutions do not only offer funding but also provide relevant guidance, strategic foresight, and regulatory support. As IFOs sponsoring modernization initiatives and promoting regulatory alignment while supporting institutional restructures, they greatly aid in Ukraine's post-war recovery and the long-term integration with the European aviation and transport network. Their ongoing support is critical to modernizing civil aviation infrastructure to sustain internationally recognized standards.

References

1. Lagarde C. *Ukraine: Request for Extended Fund Facility Arrangement*. Washington: International Monetary Fund, 2023. 125 p.
2. Schulz M., Petrova I. *EIB Investment Report: Ukraine Recovery Platform*. Luxembourg: European Investment Bank, 2024. 92 p.
3. Kovalenko A., Smith R. *Ukraine Country Strategy 2023–2028*. London: European Bank for Reconstruction and Development, 2023. 87 p.
4. Bondarenko O.V., Green T. *Strengthening Infrastructure Governance: A Framework for Ukraine*. Washington: World Bank, 2022. 104 p.
5. ICAO. *Global Air Navigation Plan (GANP), 7th Edition*. Montréal: International Civil Aviation Organization, 2023. 136 p.
6. European Commission. *Ukraine and the EU: Common Aviation Area Agreement*. Brussels: EU Publications, 2021. 54 p.
7. Shevchenko M.S., Taylor B. *Public-Private Partnerships in Infrastructure: Ukraine Case Studies*. Washington: World Bank Group, 2022. 110 p.

UDC 341:342.7:004.9:502.5(100)"2025"

Nataliia Vasylyshyna, Dr.Sc., Professor,
Olexandr Nikishchenko,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Crucial issues of international law in modern global world

This article discusses the conceptual challenges facing the evolution of international law at this stage. In light of the significant reforms of international legislation across various sectors, there are also ongoing materiality issues and challenges within international law. A democratic state aims to foster collaboration, primarily by streamlining the processes for its citizens to exercise their rights and freedoms, while also upholding universal values. The current challenges of 2025 require a rethinking of the norms of international law. The thesis aims to conduct the examination of the issues of UN reform, cybersecurity, human rights protection, environmental law, and the impact of armed conflicts on the international legal order. Special emphasis is made on the need to update international mechanisms.

International law, which comprises the set of regulations governing interactions among states and other global entities, has been instrumental in shaping the international landscape since its establishment. In the 21st century, the relevance of international law has grown even more pronounced as the world becomes increasingly interconnected and reliant on one another. Fundamentally, international law provides a structure for upholding peace and security, fostering collaboration, and addressing disputes among nations. It covers a broad spectrum of topics, including human rights, trade, environmental conservation, and military engagement. In today's interconnected world, where the actions of one nation can significantly impact others, the critical role of international law is undeniable [1; 7].

Nonetheless, despite its significance, international law encounters a multitude of challenges in the 21st century. A key issue is the conflict between the principle of state sovereignty and the necessity for robust global governance. Although states continue to be the principal entities in the international arena, the increasing presence of non-state actors, such as multinational corporations, non-governmental organizations, and terrorist organizations – has complicated the conventional interpretation of sovereignty.

Moreover, the emergence of advanced technologies, including cyber warfare, has introduced new security risks that are challenging to manage within the current international legal framework. Additionally, the efficacy of international law is frequently compromised by insufficient compliance and enforcement mechanisms. In contrast to domestic law, which is supported by state authority, international law predominantly depends on the voluntary adherence of states. Consequently, states may disregard their international legal responsibilities without facing consequences, thereby eroding the credibility and effectiveness of the international legal system [3; 8; 9].

This article aims to investigate the obstacles confronting international law in the 21st century, alongside its future possibilities. We will analyze the dynamic characteristics of international law, the influence of international organizations in developing the global legal framework, and the effects of innovative technologies and

new threats on the efficacy of international law. Through this examination, we aspire to present a thorough assessment of the present condition of international law and to suggest ways in which it can be reinforced and modified to address the challenges of a more intricate and interconnected global landscape.

UN Security Council Reform: Necessity And Prospects

The outdated structure of the UN Security Council does not reflect the current balance of power in the world, which undermines its legitimacy and effectiveness. russia – an aggressor state, which openly violates the basic principles of international law and the UN – has such a high influence and power in the Security Council. Thus, the issue of powers of the permanent Security Council members remains unresolved, and the states are discussing the possibilities fix it.

At the same time, discussions on expanding membership and changing decision-making mechanisms are gaining relevance, and after the Summit of the Future, which was held on September 22, 2024, the world leaders expressed their will and desire to make the Security Council more efficient and effective, more transparent and accountable, more democratic and fair [5, pp. 26-27]. In particular, the issue of including representatives of the Global South to increase the inclusiveness and democracy of the Council is being discussed – such countries like India or Brazil represent a large part of the world's population, but still these countries are underrepresented in the Security Council [2]. The Secretary-General of the United Nations at the African Union Summit expressed the need for Africa to be permanently represented in the Security Council [9].

Cybersecurity and International Law: Challenges of the Digital Age

The rapid development of information technologies has led to the growth of cyber threats that do not have clear territorial boundaries. Existing international legal mechanisms are not in line with these changes, as a result of which some sort of legal vacuum in the field of cybersecurity emerged. It is necessary to develop universal norms and standards to regulate the behaviour of states and non-state actors in cyberspace.

For Ukraine, the issue of cybersecurity is extremely important due to ongoing hybrid war with russia – Ukrainian critical infrastructure objects are subject to a high number of cyberattacks, and also, with the use of IT-technologies, the aggressor-state can spread dis-information and to carry out acts of espionage that undermine national security and socio-political stability of the country. The Ukrainian government is taking measures to protect the digital field and to enhance cybersecurity with new legislative initiatives, common programmes with the EU, NATO and other partners, in particular, with the use of the framework of the Tallinn Mechanism – a tool for strengthening of cybersecurity and critical infrastructure [3, p. 124]. At the same time, not only external threats in the field of cybersecurity exist, but internal ones as well – for instance, criminals conducting DDoS-attacks on digital platforms, digital attacks on industrial objects, attacks on personal accounts of citizens in order to steal money etc. – only in Ukraine, in 2024 more than 3 000 000 cyber-attacks on digital and IT-technologies took place [4, p. 153].

International Environmental Law: Response to Climate Change

Another urgent issue of 2025 is climate change. Climate change poses an existential threat to humanity, requiring collective efforts at the international level. International law must adapt to new realities, including developing mechanisms for accountability for environmental crimes and promoting sustainable development. By

some scholars, the issue of climate change is the greatest and potentially existential for all nations, as global temperatures continue to rise and new environmental problems emerge because of this, especially in African and Latin American countries, in which unpredictable negative climate events have higher chances to occur and to cause damages [8, pp. 16-17].

Proper attention must be paid to the active development of international environmental law through multilateral agreements, decisions of international courts, and initiatives of intergovernmental organisations, as climate change is a global challenge that directly affects the stability, security and well-being of all the world population.

The Impact of Geopolitical Conflicts on International Law

In 2025, international law continues to be significantly impacted by geopolitical conflicts that challenge the effectiveness of existing international legal norms, principles and accountability mechanisms. The most striking example remains the war of russia against Ukraine, which has been ongoing since 2014 and escalated into full-scale aggression in 2022. Most specialists in international law agree that the actions of russia violate the basic norms of the UN Charter, in particular prohibition of the use of force, principle of sovereign equality of states, principle of peaceful resolution of international disputes and other norms [1, p. 206]. However, the effectiveness of the relevant response mechanisms (in particular, the UN Security Council) has been limited by the veto power of permanent members, which is abused by russia – the issue previously described in the first paragraph of the paper.

Not only Ukraine, but many other countries are suffering from the war now. The wars in Israel, Taiwan, Nagorno-Karabakh and Sudan demonstrate that the collective security system built after World War II is losing its ability to respond effectively to armed conflicts. Such ineffectiveness encourages countries to create alternative coalitions, strengthen regional security structures (such as NATO, the EU), rethink collective security and develop defense autonomy.

Modern armed conflicts are accompanied by massive violations of international humanitarian law, in particular in Ukraine [10, p. 840], Sudan and the Gaza Strip. This raises the issue of strengthening control over compliance with the Geneva Conventions, as well as preventing impunity for war crimes. The international community should intensify sanctions mechanisms and take more efforts to prevent such crimes.

Geopolitical conflicts in 2025 shape a part of the crisis of modern international law. At the same time, such challenges create the prerequisites for updating legal norms, strengthening the role of international judicial bodies and reforming the global security system.

Human Rights in the Face of Global Challenges

In 2025, the protection of human rights becomes one of the most vulnerable areas of international law. Global challenges, such as wars, migration crises, climate change, authoritarian trends and digital surveillance, require a rethinking of mechanisms for guaranteeing rights and freedoms.

First of all, modern wars are accompanied by massive human rights violations, including torture, unlawful killings, enforced disappearances and deportations. International institutions, including the European Court of Human Rights, the International Criminal Court, and the UN Commission of Inquiry into Violations in

Ukraine, play a key role in documenting violations and holding people accountable. However, the documentation of violations may be extremely difficult sometimes due to new models of armed conflicts, such as the hybrid war, like in the example of russian-Ukrainian war [ibid., p. 840]. This issue requires more regulation in order to cover these gaps.

The rapid development of artificial intelligence, the widespread use of surveillance systems and threats to privacy require more regulations of digital human rights – a relatively new category of rights, which emerged together with the development of IT. In 2025 states and international organisations will seek to provide legal norms in order to fix vulnerable issues of digital human rights. The process has already started – for instance, the Council of Europe and the UN are working to develop an ethical and legal framework for the use of AI, and for now these are even some results of their activity, like the adoption of a European Regulation 2024/1689, which creates some rules on the safe use of AI [7].

The international community is also focusing special attention on protecting the rights of vulnerable categories of population which are most likely to suffer from inequality, such as women, sex-minorities, children, people with disabilities. In some countries, especially in Arabic world, serious restrictions on the rights of women still exist or even are increasing (for example, in Afghanistan, there is a ban on education [6]), which is causing a sharp reaction from the UN and human rights activists. Thus, human rights in 2025 face serious threats. The challenges of our time require not only strengthening international mechanisms, but also adapting legal standards to new forms of oppression, particularly in the digital and environmental contexts. Modern international law must combine universality with flexibility and rapid response.

Conclusion

International law in 2025 is in a state of profound transformation under the influence of new global challenges, the most serious of which are armed conflicts, climate change, digital technologies and threats to human rights. The war in Ukraine, the development of artificial intelligence, environmental disasters and the crisis of collective security institutions demonstrate the need to update approaches to regulating international relations. Current events demonstrate both the vulnerability of existing international legal mechanisms and the need to adapt them through new initiatives: climate justice, digital regulation, UN reform, special tribunals. The focus should remain on the human rights, democracy, security and dignity.

The future of international law will depend on the effectiveness of the collective efforts of states, organisations and civil society in shaping new norms that will be able to meet the realities of the modern time.

References

1. Djelloul Z. International responsibility for human rights violations in the context of the russian war on Ukraine (2025) Algerian Review of Security and Development, Vol. 14, No. 1, pp. 202 – 212. URL: https://asjp.cerist.dz/en/article/261726%20PRINCIPLE8 (access date: 09.04.2025)

2. Hasegawa S., Leitner K., Kostakos G. Security Council Reform: When and How It Can Be Done. (2025) URL: https://www.passblue.com/2025/01/14/security-council-reform-when-and-how-it-can-be-done/ (access date: 09.04.2025)

3. Hutsaliuk M. Cyber threats during hybrid war and combating organised cybercrime. (2025) Informatsia I pravo (Information and law), No. 1(52)/2025, pp. 123 – 131. URL: http://il.ippi.org.ua/article/view/324708 (access date: 09.04.2025)

4. Ilienko A., Teliushchenko V., Dubchak O. Modern cyber threats to critical infrastructure in Ukraine and the world (2025) Kiberbezpeka: osvita, nauka, tehnika (Cybersecurity: education, science, technology), Vol. 3, No. 27 (2025), pp. 150 – 164. URL: https://www.csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/719 (access date: 09.04.2025)

5. Pact for the Future, Global Digital Compact and Declaration on Future Generations. (2024) United Nations. September 2024, 56 p. URL: https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/sotf-pact_for_the_future_adopted.pdf (access date: 09.04.2025)

6. Qazizada M. The continuing ban on girls' education in Afghanistan. Devpolicy (2025) Blog from the Development Policy Centre. 4 p. URL: https://devpolicy.org/the-continuing-ban-on-girls-education-in-afghanistan-20250327/?output=pdf (access date: 09.04.2025)

7. Regulation (EU) (2024) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act) (Text with EEA relevance). URL: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng (access date: 09.04.2025)

8. Report on New Security Challenges. International Security Advisory Board. March (2024) 48 p. URL: https://www.state.gov/wp-content/uploads/2024/03/ISAB-Report-on-New-Security-Challenges_Final.pdf (access date: 09.04.2025)

9. Time for Reparatory Justice, Permanent Security Council Seats for Africa, Secretary-General Tells Continental Summit. Press release. United Nations. (2025). URL: https://press.un.org/en/2025/sgsm22557.doc.htm (access date: 09.04.2025)

10. Vasyliev O. Adaptation of international humanitarian law to the challenges of hybrid war in conditions of martial arts: on the example of the russian-Ukrainian war. (2025) Analitychno-porivnialne pravoznavstvo (Analytical-comparative law), No. 1, 2025, pp. 837 – 842. URL: http://journal-app.uzhnu.edu.ua/article/view/324045/314121%20UKR%203 (access date: 09.04.2025).

УДК 341:323.28(043.2)

І.С. Керекеша
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Тероризм і міжнародна безпека в контексті глобалізації сьогодення

У статті розглянуто історичні витоки, етапи розвитку та сучасні трансформації тероризму як глобального явища. В даній статті акцентується увага на зміні характеру терористичних актів – від індивідуальних політичних вбивств до масштабних атак із численними жертвами серед цивільного населення. Особливо підкреслено зростання ролі релігійно мотивованого тероризму та участь окремих держав у підтримці терористичних угруповань. Проаналізовано використання новітніх технологій, зброї масового ураження, а також зв'язки терористичних організацій із транснаціональною злочинністю. Зазначено, що сучасний тероризм є не лише кримінальним, але й політичним та геополітичним інструментом, який становить серйозну загрозу для міжнародної безпеки.

Останні три роки відзначені зростанням кількості терористичних актів, що найстрашніше – спрямовані на заподіяння шкоди широкому загалу. Правові норми, покликані захищати наші права, свободи, законні інтереси, життя від злочинних посягань, на даному етапі переживають кризу, про що свідчить масове розширення терору. Особливого дефіциту правового авторитету зазнає міжнародне право, підтвердженням чого є окупації та безкарні дії агресорів щодо світової спільноти. Зважаючи на збільшення кількості терактів, суспільна увага прикута до проблем протидії тероризму та пошуку шляхів мінімізації зазначених негативних проявів у суспільстві.

Термін "тероризм" походить від латинського "terroro", що означає "страх, жах". Саме ж явище тероризму відоме людству з давніх-давен: першими, хто вдавався до злочинних дій у такому ключі, була терористична група – секта сикаріїв, що діяла в Палестині у 66-73 рр. н.е. Важливою особливістю тактики сикаріїв було здійснення злочинів у самому епіцентрі "товкучки", яку вони називали "темрявою натовпу", де встановити виконавця було неможливо. Отже, злочинці ухилялися від покарання. Хоча минули тисячоліття, і в сучасному світі терористичні акти відбуваються майже за тим же принципом дії. Першим теоретиком тероризму вважається Хасан ас-Саббах. Геній зла (як називають аль-Саббаха сучасні історики) не лише започаткував та розвинув явище тероризму, але й окреслив теорію нової форми держави – терористичної держави, що не мала б чітко визначеної території. На початку XI століття змінилися цілі та тактика терористичних дій. Асасини втілювали свої злочинні ідеї за допомогою добре навчених воїнів та, використовуючи лише кинджали, перевдягалися в чужинців чи християн, що забезпечувало їм цілковиту таємність. З розширенням їхньої діяльності почали фіксувати замахи та вбивства не лише мирних громадян, а й губернаторів, префектів, халіфів (високі посади). Таким чином, тероризм набуває нових рис: він стає не тільки правовим явищем, але й політичним.

На жаль, "метастази" тероризму розповсюдилися і на Далекий Схід. У Китаї, ще наприкінці XVIII століття, почали засновуватися таємні спільноти, коли маньчжурські правителі захопили дві третини китайських земель. Ці організації спочатку виникли з метою скинути маньчжурську династію і встановити правління династії Мінь, проте з часом вони перетворилися на своєрідне місцеве самоврядування, беручи на себе адміністративні та судові функції. Тероризм дав про себе знати й у Європі, прийнявши форму державного терору після Першої світової війни. Правляча еліта вдавалась до політики залякування та фізичного знищення політичних опонентів. У такий спосіб було ліквідовано всіх незгідних, тих, хто певними способами (через свободу слова, зібрання чи мітинги) заважав реалізації політики, вигідної вищим колам держави. Вже після Другої світової, особливо у другій половині XX століття, став розвиватися міжнародний тероризм. Терористичні акти ставали дедалі жорстокішими, скоординованішими та більш досконалими.

Починаючи з другої половини XIX століття, терористичні дії в Європі стали систематичними, хоча й не мали такого глобального розмаху, як у другій половині XX та на початку XXI століть. Такі теракти, як напади на Всесвітній торговий центр 11 вересня 2001 року у США або на туристичні об'єкти, готелі й дискотеки в Дербі, Момбасі та на острові Балі, були немислимі для первісних форм тероризму – соціального чи національно-революційного, оскільки жертвами ставали "не ті" люди. "Тими людьми" тоді були представники та функціонери репресивного державного апарату, тобто монархи та політики, адвокати та поліцейські, а також ті, хто належав до правлячого класу: банкіри, фабриканти, поміщики. Сучасні форми глобального тероризму значно відрізняються від первинної моделі як за організаційним, так і за оперативним планом, а також за логістикою, тому загальне визначення "тероризм" радше вводить в оману, ніж прояснює ситуацію. Воно враховує лише безпосередню функцію нападів – поширення страху.

У первинному варіанті тероризму цей страх був спрямований переважно на державний апарат та правлячі класи, яких необхідно було залякати чи підштовхнути до ірраціональних дій, тоді як зацікавлена третя сторона спочатку залишалася в безпечній позиції неупередженого спостерігача. Страх, який поширюють нові форми тероризму, – це атака на колективний психічний стан усього глобального суспільства. Європа має довгу і трагічну історію проявів тероризму. IPA, ETA, Фракція Червоної Армії та Червоні Бригади – найвідоміші приклади організацій, чия діяльність забрала життя тисяч людей. Водночас глобальний, релігійно вмотивований міжнародний тероризм є відносно новим явищем. За останні роки європейські країни значно посилили заходи протидії тероризму як на національному рівні, так і в рамках Європейського Союзу. Утім, не існує повного захисту від нього, адже терористи мають перевагу через раптовість своїх дій. Однак терористам не вдалося досягти того, що вважається головною метою Аль-Каїди, а саме: спровокувати революції та повстання проти мусульманських режимів у таких країнах, як Пакистан, Саудівська Аравія, Індонезія та інших. Також їм не вдалося розпалити масштабний конфлікт між мусульманами і християнами в

Європі. Доктринальні підходи тероризму змінюються разом з його організаційними структурами.

Дедалі частіше терористи використовують новітні технології, купують нове озброєння, зберігається загроза застосування зброї масового ураження. Сучасний тероризм характеризується кількісним збільшенням терористичних актів, цинічністю та жорстокістю їхнього виконання; масштабністю наслідків акцій, великою кількістю жертв; спробами заволодіння зброєю масового ураження з метою подальшого використання. Тероризм розширює свій арсенал, залучаючи нові засоби впливу: інформаційні, екологічні та психологічні. Значно зріс рівень підготовки терористів, які здобувають досвід, беручи участь у різних конфліктах. Є підстави говорити про сучасну технічну оснащеність багатьох терористичних угруповань; високий рівень їхнього фінансового забезпечення; використання деякими державами окремих терористичних угруповань для розширення чи збереження свого впливу; поширення діяльності міжнародних терористичних організацій на нові регіони, активні спроби встановити контроль над територіями з багатими запасами енергоносіїв, корисних копалин та шляхами їх транспортування. Встановилися міцні зв'язки між терористичними організаціями та транснаціональною організованою злочинністю, насамперед наркобізнесом.

Останнім часом спостерігається трансформація цілей терористів. Часто, здійснюючи терористичні акти, вони не висувають жодних вимог і не беруть на себе відповідальність за скоєні злочини. Значно ускладнює боротьбу з міжнародним тероризмом те, що керівництво низки держав світу вважає підтримку терористичних організацій важливим інструментом своєї політики. В міжнародному лексиконі існує термін "держави – спонсори тероризму", до яких відносять не тільки держави, які безпосередньо підтримують терор як засіб політики, а й ті, що ухиляються від участі у вирішенні міжнародним співтовариством проблем боротьби з тероризмом. Феномен державної підтримки тероризму дійсно існує. Це підтверджується випадками, коли сплановані та здійснювані державними органами або терористичними організаціями акції терору мають за мету ретельно відібрані об'єкти і пропорційні за своїми масштабами та змістом тим практичним політичним цілям, які мають на меті держави-спонсори.

Масштабне насильство, що використовується тероризмом, який спонсорується державою, аналогічне тому, яке застосовується у конфліктах між етнічними, націоналістичними організаціями або національними формуваннями, що виступають за соціальну революцію. Водночас використовується тактика цілеспрямованих акцій, які мають дискредитувати інститути політичної влади, продемонструвати їхню безсилля, а також жорстокість правоохоронних органів і збройних сил, що має привернути увагу світової спільноти. Держави-спонсори розраховують на ефект від терористичних дій, хоча було б перебільшенням вважати, що вони добре вивірені за цілями, об'єктами і масштабами. Необхідно додати, що до феномену насилля, яке заохочується державою, приєднався новий, небезпечніший тип тероризму – релігійно вмотивований. Про те, що він з'явився, свідчить вихід релігії на перше місце серед ідей та цільових настанов

терористичних дій, а також зростання кількості актів терористів-самогубців релігійної мотивації. Особливу загрозу становить тероризм на основі ісламського радикалізму. За останні два десятиліття ісламізм розвинувся від рівня невеликих організацій, які діяли на регіональних рівнях і мали ієрархічні структури, до глобальної мережі джихаду (наприклад, Аль-Каїда).

У новому вигляді (релігійні фанатики були і раніше) його характеризує підвищення технологічної та оперативної компетентності цієї групи терористів та прагнення заволодіти зброєю масового знищення, необхідною, на їхнє переконання, для досягнення масштабних цілей "священної боротьби". Кількість терористичних формувань, які дотримуються переважно релігійної мотивації, значно зросла. При цьому пропорційно збільшилася й кількість жертв: якщо в середині 90-х рр. XX століття ці організації здійснювали близько чверті усіх відомих у світі терористичних актів, то сьогодні – вже понад 90%. Мусульманські терористичні організації мають значні можливості для здійснення насильницьких акцій: джерела фінансування, ефективні організаційні структури, багатий досвід бойових дій, сучасну технічну базу, систему підготовки бойовиків та їх швидкого переміщення. До членів організацій залучають добровольців із числа фахівців у сфері зв'язку, інформатики та кібернетики, вчених та інженерів, створюючи для їхнього прикриття відповідні підприємства. Це дає змогу терористам використовувати міжнародні лінії телефонного, факсимільного та комп'ютерного зв'язку, забезпечує отримання документів та переміщення бойовиків, створює основу для придбання та використання ними зброї та техніки. У регіональному розрізі найбільше терористичних актів було здійснено у країнах Азії та Африки, а Афганістан – країна номер один за кількістю здійснених терактів, де за 2019 рік було зафіксовано 1 750 актів. Для розвинених країн ця проблема також є досить актуальною. Так, у Європі за досліджуваний період було зафіксовано 4 531 теракт, а в Північній Америці – 514.

Найбільша кількість жертв від терористичних актів була зафіксована у 2014 році, а найменше – у 2012. Найбільша кількість смертей у 2019 році була зафіксована в Афганістані – 41% осіб, які стали жертвами терактів, померли. Найбільшою популярністю серед терористів користуються напади з використанням пострілів та мінувань, саме на них припало 57% усіх видів терористичних актів у 2019 році. Невідомі типи терористичних актів та ті, які користувалися незначним попитом, становили 14%. Глобальний індекс тероризму, розроблений Інститутом економіки та миру, допомагає проаналізувати країни світу за рівнем тероризму та визначити масштаб терористичної загрози. Чим вищий загальний рейтинг країни, тим більша кількість терористичних актів була зареєстрована.

До рейтингу входять 135 країн світу, за якими ведеться офіційна статистика. Так, найгірша ситуація за рівнем терористичних атак спостерігається у країнах Африки та Азії. Саме ці країни займають лідируючі позиції за цим індексом. Найбезпечнішою країною світу у 2020 році стали Об’єднані Арабські Емірати, які зайняли 135 місце у рейтингу. Для високорозвинених країн світу проблема тероризму не є винятком. Так, за період з 2002 по 2019 рр. у ЄС було зафіксовано 4 531 акт, які підпадали під

категорію тероризму. У результаті цих дій загинуло 2 558 осіб. Загалом за 2002–2019 роки країни ЄС погіршили свій результат у Глобальному індексі тероризму на 0,483 бали, тобто рівень терористичних актів за цей період зріс. Варто відмітити, що за 2018–2019 роки відбулося незначне покращення індексу.

Найбезпечнішою країною світу у 2020 році були Об'єднані Арабські Емірати, які посіли 135 місце у світовому рейтингу. Для високорозвинених країн світу тероризм є не виключенням. Так, в період з 2002 по 2019 роки у ЄС було зафіксовано 4 531 акт тероризму. Внаслідок цих дій загинуло 2 558 осіб. Загалом за 2002–2019 роки країни ЄС погіршили свій показник у Глобальному індексі тероризму на 0,483 бали, тобто рівень терористичних актів за цей період збільшився. Варто відзначити, що за 2018–2019 роки індекс незначно покращився. Найбільш небезпечною країною ЄС з точки зору терористичних актів була Великобританія, а саме Північна Ірландія, де тероризм пов'язаний із протистоянням республіканців та профспілок.

Найбільш безпечними державами є Португалія, Румунія, Словенія, Люксембург та Мальта. Країни Північної Америки також періодично зазнають терористичних актів. Так, у 2019 році було зареєстровано 58 терористичних актів, що на 18% менше, ніж у 2018 році. США у Глобальному індексі тероризму у 2020 році посіли 29 місце з результатом 5,260 бали. Загалом рейтинг країни за 2002–2019 роки покращився на 2,911, тобто рівень тероризму зменшується. Канада посіла 56 місце у рейтингу з показником 3,171 бали, але за період з 2002 по 2019 роки країна погіршила свій результат на 2,031 бали. Для України тероризм також становить велику загрозу. Так, в Глобальному індексі тероризму країна на 36 місці з загальним результатом 4,692 бали. У своєму регіоні, до якого входять 12 країн, Україна посідає перше місце, випереджаючи росію, Таджикистан, Киргизстан, Казахстан, Грузію тощо. Загалом же за період з 2002 по 2019 роки наша країна погіршила свій рейтинг на 3,106 бали, що ставить її поруч з Демократичною Республікою Конго, яка за аналогічний час втратила таку ж кількість балів. Проте, також варто відмітити, що Україні вдалося покращити загальний рейтинг за 2018–2019 роки на 0,768 бали.

Висновки:

Отже, у сучасному світі тероризм в будь-якій формі прояву став однією з найбільш небезпечних проблем для людства через масштаби, непередбачуваність та наслідки. Він все більше загрожує безпеці країн та їхніх громадян, спричиняє значні політичні, економічні та моральні втрати, чинить психологічний тиск на людей, забирає життя. Глобалізація та розширення інтернаціоналізації тероризму – незаперечний факт сучасності. Державна та міждержавна антитерористична політика, зіткнувшись з інтересами національних еліт та тенденціями багатополярного світу, гальмує створення ефективної глобальної системи протидії транснаціональному терору. Практика показує, що методи боротьби з тероризмом, які застосовувалися на Близькому Сході, недостатні для суттєвого зменшення небезпеки. Успішна глобальна антитерористична діяльність вимагає розробки спільної стратегії та тактики

боротьби, координації зусиль та планів світової спільноти для протидії загрозі на регіональному і глобальному рівнях, а також належного фінансування.

Основним завданням залишається знищення терористичних баз, виявлення та ліквідація місць дислокації керівництва терористів, перекриття їх шляхів відступу та джерел фінансування. Необхідний єдиний банк даних, де зберігатиметься інформація про осіб, організації, сили, засоби, методи, канали зв'язку, фінансові операції, що стосуються тероризму. Це дозволить уникнути дублювання та прогалин у роботі спецслужб, вирішити проблему інформаційного забезпечення оперативної діяльності. Важлива швидкість обміну інформацією, що дає змогу запобігати злочинам, затримувати, арештовувати та притягувати до відповідальності конкретних осіб, причетних до терактів. Необхідно вдосконалювати національне та міжнародне законодавство, спрямоване на послаблення та нейтралізацію міжнародних терористичних організацій, використовуючи комплекс заходів, зокрема кримінальну відповідальність за участь у діяльності міжнародних терористичних структур.

Список літератури

1. Громівчук І. М. Міжнародно-правове визначення тероризму як основа ефективної боротьби з ним. Науковий вісник Інституту міжнародних відносин НАУ. 2011. Т.
2. С. 108-112. 2. Дерев'янко І. П. Асиметрія влади в міжнародних відносинах. Політичне життя. Вип. 47. Київ, 2022. С. 87-94.
3. Дір І.Ю. Тероризм як загроза для країн Європейського Союзу. Стратегічні напрями зовнішньої політики Європейського Союзу: матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 23 квітня 2021 року) / за ред. Доценко О.М., Новікової Л.В., Червяцової А.О. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2021. 382 с.
4. Загурська-Антонюк В. Ф. Тероризм та міжнародна безпека у контексті глобалізації сучасного світу. Інвестиції: практика та досвід. 2020. № 17-18. С. 116–123.
5. Камінська Н.В. Вплив глобалізації та регіона лізації на сучасні міжнародно правові відносини. Актуальні проблеми міжнародних відносин. 2014. Вип. 120. Ч. 1. С. 5.
6. Канцір В. С. Міжнародний тероризм як прояв деструктивної правосвідомості. Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ. Вип. 1. Львів, 2011. С. 28-33. 24
7. Мокляк В. В. Сучасний тероризм як соціальне явище: сутність та форми прояву. Проблеми законності. 2016. № 135. С. 147-156.
8. Тимків Я. Особливості та класифікація сучасних загроз національній та міжнародній безпеці. Науковий вісник. Одеський державний економічний університет. 2006. № 11 (31). 221 с.

УДК: 339.72:338

Л.М. Побоченко, к.е.н., доцент
Д.О. Мішина
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Роль авіаційних перевезень в глобальному розвитку туризму

Досліджено роль авіаційних перевезень в глобальному розвитку туризму в сучасних умовах. Проаналізовано внесок туризму у світову економіку та внесок авіації у зайнятість у сфері туризму та ВВП. Перспективи зростання авіаперевезень у світі.

В сучасних умовах авіаперевезення забезпечують життєво важливі зв'язки для глобальної індустрії туризму, що розвивається. Взаємопов'язаність сучасного світу значною мірою пояснюється досягненнями авіації. Ця галузь відіграє ключову роль у загальному економічному розвитку, особливо глобальному туризмі.

Авіація - важливий вид транспорту для туризму, тому небо є ключовим компонентом подорожі. Літаки забезпечують життєво важливий зв'язок між районами, що мають туристичне значення, пам'ятки та чудові напрямки.

За оцінками, більше половини (58%) усіх міжнародних туристів подорожують повітрям, тому стале зростання авіаційної та туристичної індустрії залежить одна від одної [1].

Туризм робить великий внесок у світову економіку. Він забезпечує 330 мільйонів робочих місць і забезпечує 9,9 трильйона доларів США до світового ВВП (9,1% світової економіки). Всесвітня рада з подорожей і туризму прогнозує, що до 2034 року туризм забезпечить 449 мільйонів робочих місць у всьому світі та внесок у світовий ВВП на 16 трильйонів доларів (11,4%), [4].

Туризм має важливе значення для стратегій економічного розвитку багатьох країн, що розвиваються, особливо у віддалених регіонах, розташованих далеко від вихідних туристичних ринків, які покладаються на постійний приплив туристів. Без напливу туристів їхня економіка значно занепала б.

Внесок авіації у зайнятість у сфері туризму та ВВП є значним:

Прямий внесок: за оцінками, у всьому світі 16,4 мільйона робочих місць у сфері туризму підтримуються витратами іноземних відвідувачів, які прибувають літаком. Це роботи в таких галузях, як готелі, ресторани, атракціони, місцевий транспорт і прокат автомобілів, але виключаються роботи в авіатранспортній галузі.

Непрямі та спонукальні внески: 21 мільйон робочих місць, який підтримується завдяки витратам туристичної індустрії на ланцюг поставок тощо [2].

Враховуючи прямі, непрямі та індуковані наслідки, повітряний транспорт підтримує понад 37,3 мільйона робочих місць у сфері туризму, вносячи близько 967,8 млрд. дол. США на рік у світовий ВВП [4].

Країни, що розвиваються, стають більш конкурентоспроможними на ринку туризму, особливо в Азійсько-Тихоокеанському регіоні, і в результаті економіка країн, що розвиваються, стабільно зростає. Однак, оскільки доходи в країнах, що розвиваються, зростають, а ціни на авіаквитки падають, обмежувальні візові режими залишаються перешкодою для міжнародних подорожей, навіть з туристичною метою. Доброю новиною є те, що ці країни усвідомлюють непотрібний бар'єр, який ці процедури в'їзду створюють для їх власного туристичного сектору, обмежуючи економічні можливості та створення робочих місць.

Згідно з даними ООН з туризму за 2023 рік, 47% населення світу повинні отримати традиційну візу перед поїздкою, що є значним покращенням порівняно з 2008 роком, коли вона була потрібна 77%. Приблизно 21% населення світу звільнено від візових вимог, 18% можуть скористатися електронними візами, а 14% – візою після прибуття [5].

Після зростання авіаперевезень на 6,5% у 2024 році авіакомпанії мають побачити подібне зростання у 2025 році, хоча багато змінних впливає.

1. Постійні затримки доставки літаків і запчастин можуть обмежити пропускну здатність.
2. Трудові переговори в галузі призведуть до довгострокового поступового підвищення заробітної плати.
3. Попит на авіаперельоти з Індії зростає, і існує обережний оптимізм щодо повернення китайських міжнародних подорожей до рівня 2019 року [7].

Світова авіаційна галузь налаштована на позитивний 2025 рік, коли очікується, що попит на пропускну спроможність і пасажирів перевищить рівень до пандемії. Однак ключові виклики, такі як збої в ланцюжках поставок, геополітична невизначеність і зростання операційних витрат, продовжують формувати траєкторію розвитку галузі.

Прогнозується, що глобальна кількість місць перевищить рівень 2019 року, але певним регіонам буде важко встигати. Затримки з доставкою літаків, вузькі місця в ланцюзі поставок і приземлення літаків через механічні проблеми продовжують обмежувати розширення. Авіакомпанії адаптуються шляхом злиття та поглинання, зберігаючи при цьому високі коефіцієнти завантаження, щоб компенсувати витрати. Очікується, що збої в ланцюжках поставок триватимуть до 2025 року та далі, що вплине на доступність автопарку та загальне зростання мережі.

Зрештою, перспективи авіаційної галузі на 2025 рік - це поєднання високого пасажирського попиту, обмеження пропускної здатності, зростання операційних витрат і геополітичних перешкод. Авіакомпанії повинні продовжувати впроваджувати інновації та адаптуватися до цих змінних умов, щоб підтримувати прибутковість і довгострокове зростання [3].

У складній мережі глобальних зв'язків зв'язок між авіацією та туризмом є ключовим. Відносини між цими двома галузями промисловості стосуються не лише транспорту; це каталізатор економічного зростання, культурного обміну та суспільного розвитку. Наприклад, ланцюжок доданої вартості туристичної економіки Нігерії величезний, починаючи від сектору гостинності до авіації та транспорту, управління дестинаціями, виробництва сувенірів, упаковки для

заходів, карнавалів, фестивалів та культурних промоцій тощо. Можливості використання цього ключового сектора зростання для створення робочих місць, збільшення прибутку та збільшення ВВП країни безмежні.

Збереження туризму для майбутніх поколінь вимагатиме від авіаційного сектору лідерства в зусиллях з декарбонізації. Немає майбутнього для міжнародного туризму без польотів, а острівні, віддалені та прибережні напрямки, які найбільше залежать від повітряного транспорту, часто можуть найбільше втратити, якщо туристичні потоки будуть перервані. Шлях вперед вимагає співпраці, інновацій і спільної відданості створенню стійкого та сталого майбутнього як для авіаційної, так і для туристичної індустрії.

Висновок

Таким чином, загалом, роль авіації у світовому туризмі змінювалася протягом багатьох років і продовжує розвиватися. Без авіації ландшафт світового туризму, безсумнівно, виглядав би зовсім інакше. Оскільки світ прагне оговтатися після невдачі, спричиненої пандемією, авіація стане важливою у відродженні світового туризму. Очікується, що ці симбіотичні відносини, коли кожна галузь підштовхує іншу до зростання та прогресу, продовжаться, прокладаючи шлях до більш зв'язаного та глобалізованого світу.

Список літератури

1. Prokopieva A., Pobochenko L., Smirnova T., Nabok I., Tatarenko N., Sydorenko K. Ecological disasters as a result of cyber attacks in the energy sector Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks 2024. Proceedings of the Third International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2024). Kyiv, Ukraine, January 24–27, 2024. PP. 64-81 CEUR-WS.org/Vol-3925.
2. Побоченко Л.М., Добудько М.В. Світові тренди розвитку ринку туристичних послуг // IV міжнародна науково-практична конференція «Сучасні міжнародні відносини: актуальні проблеми теорії та практики – 2024», 20 квітня 2024 р., НАУ, м.Київ. С. 307–311.
3. Pobochenko L., Nabok I., Myslik A., Regional structure of the global tourism market amid a crisis event. Contemparary International Relations: Topical Highlightss of Theory And Practice – 2024: the collective monograph / Edited by N. Vasylyshyna. Warsaw: RS Global Sp. z O.O., 2024. P.427 -439.
4. Euromonitor Voice of the Consumer. URL: https://business.yougov.com (дата звернення: 10.04.2025).
5. Світовий банк. URL: http://www.worldbank.org (дата звернення: 10.04.2025).
6. Euromonitor International. URL: https://www.euromonitor.com(дата звернення: 10.04.2025).
7. Top Trends for Travel in 2024. URL: https://www.euromonitor.com/article/top-trends-for-travel-in-2024 (дата звернення: 10.04.2025).

УДК: 347.8

О.С. Довгаль, аспірант,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Імплементація стандартів IATA у процесі сертифікації для відновлення аеропортової інфраструктури України: сучасний підхід

Висвітлюються актуальні питання відновлення авіаційної інфраструктури за сучасними міжнародними стандартами, для підвищення економічного зростання України та становлення українських аеропортів повноцінними учасниками глобальної авіаційної спільноти. Проаналізовано рекомендації Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA) щодо сертифікації аеропортів, що реально допоможе наблизити українські аеропорти до європейського та світового рівня.

Після початку повномасштабної війни перед Україною постало багато складних завдань, серед яких, не просто фізично відбудувати зруйноване, а й зробити це правильно, з орієнтацією на майбутнє. Однією з важливих сфер, яка потребує не просто оновлення, а якісної трансформації, є авіаційна інфраструктура. Аеропорти, як ворота країни у світ, не можуть просто «відновитися» – вони мають працювати за сучасними міжнародними стандартами, щоб знову бути повноцінними учасниками глобальної авіаційної спільноти. Саме тому важливо говорити про впровадження стандартів IATA у процес сертифікації українських аеропортів.

Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA) – це не просто ще одна організація в авіаційній галузі. Її рекомендації та стандарти визнаються у більшості країн світу. Вони допомагають зробити перевезення безпечнішими, обслуговування ефективнішим, а всі учасники ринку – від перевізників до аеропортів – діють за єдиними, зрозумілими правилами. Тож для України зараз дуже важливо не вигадувати власні підходи з нуля, а вписатися у вже перевірену й успішну систему [1].

Згідно з українським законодавством, сертифікація аеропортів – це доволі формалізований процес. Він стосується технічного стану, безпеки, умов прийому літаків і пасажирів, а також відповідності обладнання сучасним вимогам. Але, на жаль, багато національних нормативів залишаються або застарілими, або не надто адаптованими до сучасних міжнародних реалій [2]. Отже, впровадження стандартів IATA у процес сертифікації надає змогу не лише формально оновити підходи, а й реально наблизити українські аеропорти до європейського та світового рівня.

З початком бойових дій, авіаційний простір над Україною було закрито й авіаційне сполучення припинено. Російські війська почали активні ракетні обстріли всіх ключових аеродромів України, намагаючись позбавити можливості забезпечувати протиповітряну оборону. Як наслідок, з 35 було пошкоджено 19 аеродромів, зокрема 12 цивільних і 7 аеродромів подвійного призначення (без урахування військових аеродромів) [3].

При проєктуванні та будівництві нових та реконструкції існуючих споруд на аеродромі враховуються вимоги, що пред'являються до інфраструктури, необхідні для оптимального застосування заходів безпеки міжнародної цивільної авіації. Проблема модернізації аеропортової інфраструктури є актуальною для України у зв'язку з адаптацією до міжнародних та європейських стандартів і рекомендаційної практики міжнародних та європейських організацій з урахуванням пріоритетних напрямів інтеграції та лібералізації авіаційного простору.

Вимоги до планування будівництва аеропортів містяться у Додатку 14 Конвенції про міжнародну цивільну авіацію [4], який застосовується до всіх аеропортів, відкритих для загального використання в державах-членах ІСАО, і охоплює сферу від планування аеропортів до таких подробиць, як тривалість часу перемикання для подачі електроживлення від резервного джерела, від цивільного будівництва до освітлювальної техніки, від забезпечення досконалого рятувального та протипожежного обладнання до простих вимог щодо очищення аеропортів від птахів.

Науковці звертають увагу на те, що тривала практика застосування стандартів стала звичною, держави надають стандартам обов'язкового характеру [5]. Стандарти встановлюють певні вимоги, виконувати й дотримуватися яких мають усі держави, що надали згоду на обов'язковість міжнародного договору.

Державні органи мають здійснювати постійний моніторинг та контроль підтримання суб'єктами державної авіації відповідності аеродромів або постійних злітно-посадкових майданчиків вимогам нормативно-правових актів, що регламентують діяльність державної авіації України, та виконання заходів, що забезпечують рівень безпеки польотів. Кожен аеродром або постійний злітно-посадковий майданчик, який допускається до експлуатації, обов'язково перевіряється на відповідність чинним нормам і правилам [6].

Практичне впровадження має виглядати як оновлення чинних вимог до сертифікації з урахуванням міжнародних документів (наприклад, стандартів IOSA чи ISAGO), участь іноземних експертів у перевірках, а також запровадження нових показників оцінки, таких як цифровізація процесів, екологічна сталість чи зручність для пасажирів. Водночас важливо, щоб сертифікація не сприймалася як бюрократична процедура «для галочки», а як дієвий інструмент для поліпшення умов праці, безпеки та репутації.

У післявоєнний період доступ до аеропортової галузі отримають міжнародні організації, які здійснюють контроль і нагляд у сфері цивільної авіації, необхідним є проведення аудиту інфраструктури, що забезпечує виконання польотів. Потрібен буде час, щоб пошкоджену інфраструктуру відновити, протестувати, отримати відповідні висновки, що вона працює. Це тривалий процес. Частина аеропортів відразу відновлять свою роботу, а інші потребуватимуть часу на заміну втраченого обладнання. Відновлення аеропортів залежить від активної позиції держави, стабільного фінансування, зацікавленості міжнародних інвесторів, платоспроможності громадян.

Для того, щоб аеропорт працював по-справжньому ефективно, він має бути зручним і безпечним не лише з технічного погляду, а й для тих, хто там

працює і кого обслуговують. Отже, людяність і орієнтація на користувача мають бути не менш важливими за будь-які нормативи. Україна користується міжнародною підтримкою для економічної та соціальної стабілізації держави та подальшого процесу відновлення від наслідків війни, зокрема, шляхом екстреної допомоги для негайних потреб та фінансування участі приватного сектору в процесі відновлення.

Висновки. Відповідно до сучасних викликів, імплементація стандартів IATA має стати частиною ширшого підходу – реформування галузі в цілому. Це означає зміну підходів до навчання кадрів, залучення інвестицій, співпрацю з іноземними партнерами. Україна має приділяти більше уваги питанням підвищення ефективності та рентабельності при відновленні аеропортового обслуговування. Національна транспортна стратегія України потребує суттєвих доповнень, що сприятиме зростанню економічного і соціального розвитку України. Україна має продовжувати контакти з міжнародними та європейськими організаціями цивільної авіації щодо технічного співробітництва та технічної допомоги, реконструкції та модернізації інфраструктури аеропортів.

Отже, можна зробити висновок, що сертифікація за міжнародними стандартами – це не просто юридична вимога, а шанс для української авіації почати з нової сторінки, з правильними орієнтирами. Відновлення інфраструктури аеропортів України з урахуванням міжнародних та європейських стандартів цивільної авіації, напрацьованих IATA, є актуальним для подальших наукових досліджень.

Список літератури

1. Аудит операційної безпеки IATA (IOSA) URL: https://www.iata.org/en/programs/safety/audit/iosa/
2. Aviation Laws and Regulations Ukraine 2025 URL: https://iclg.com/practice-areas/aviation-laws-and-regulations/ukraine
3. A report on the direct damage to the infrastructure from the destruction caused by Russia's military aggression against Ukraine a year after the start of the full-scale invasion. Aviation industry. March, 2023. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf).
4. Description of the annexes to the Convention on International Civil Aviation of 1944. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_655#Text.
5. Chulinda L., Ustynova I. MODERNIZATION OF THE AIRPORT INFRASTRUCTURE OF UKRAINE IN THE PROCESS OF ADAPTATION OF CIVIL AVIATION LEGISLATION TO INTERNATIONAL AND EUROPEAN STANDARDS. International periodic scientific journal. 2024. №3. С.86-92. URL: https://www.sworldjournal.com/index.php/swj/article/view/swj25-00-001
6. Maksym'yuk Y.V., Chulinda L.I., Korchova G.L., Pochka K.I. PRIORITY DIRECTIONS OF INTERNATIONAL AIRPORT INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT. Resistance of materials and theory of structures: science and technology. collection. K.: KNUBA 2022. № 109. P. 301-316.

UDC 341:81’25:81’373.45

O.M. Verkhovtsova, O.V. Kutsenko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Words of the Law: The Challenge of Translating International Legal Terms

In the contemporary world, where international law constitutes the foundation for cooperation among states, the precise and adequate translation of international legal documents is of paramount importance. Inaccurate interpretation of legal terminology may result in legal conflicts, breaches of agreements, or diplomatic misunderstandings.

The proliferation of international organizations, corporations, and institutions has led to a significant increase in the demand for the translation of various types of materials. This development has, in turn, contributed to the formal recognition of translation studies as an independent academic discipline. Consequently, a variety of theoretical frameworks have emerged, including the theory of regular correspondences, the communicative approach, semantic and transformational models, psycholinguistic theory, and the theory of different levels of equivalence. This diversity of theoretical perspectives reflects varying approaches to the norms and standards of translation practice. Legal terminology represents one of the most complex and highly demanded areas, necessitating scholarly examination of both the theoretical and practical aspects of interlingual equivalence.

This research is determined by the dynamic evolution of Ukrainian legal discourse, which encompasses terminology derived from multiple layers and of diverse origins — both native Ukrainian and borrowed. This complexity necessitates a differentiated approach to the translation of Ukrainian legal terminology, a task that often presents considerable challenges for translators. The translation approaches and strategies proposed in this study, grounded in linguistic, legal, cultural, and regional analysis, offer a scientifically substantiated and practically tested toolkit for addressing the challenges of legal translation from English into Ukrainian.

The selection of international legal terminology as the focus of this research is justified by the fact that, alongside economic, political, and other terms traditionally associated with the social sciences — in contrast to the natural sciences and the humanities — legal terminology is particularly intertwined with general-use vocabulary. In many instances, distinguishing strictly terminological units from general vocabulary proves to be especially difficult, if not entirely unfeasible.

The emergence of a large number of international organizations, companies, and institutions has led to a significant increase in the demand for the translation of various materials. This, in turn, contributed to the final establishment of translation studies as an independent academic discipline. Consequently, various translation theories began to emerge, including the theory of regular correspondences, the communicative and semantic approaches, the transformational model, the psycholinguistic theory, and the theory of different levels of equivalence. The wide range of these theories reflects different views on what constitutes the standard of translation. The relevance of analyzing various translation strategies is driven by the dynamic development of Ukrainian legal discourse, which includes terminology from

different layers and of various origins — both native Ukrainian and borrowed terms. This creates a need for a differentiated approach to translating legal terminology, which is not always an easy task for translators. The translation approaches and strategies proposed in this work, based on linguistic, legal, country-specific, and cultural analysis, provide translators with a scientifically grounded and tested toolkit for addressing the challenges of legal translation from English into Ukrainian.

The choice of international legal terminology as the object of study is due to the fact that this type of terminology, along with economic, political, and other terms from fields traditionally classified as social sciences — as opposed to natural or humanities disciplines — is most closely intertwined with general vocabulary. In this context, it is particularly difficult, and sometimes even impossible, to clearly distinguish terminology as a separate category. Every translation is a unique and individual phenomenon. Translations of the same original text may differ because they reflect not only the linguistic features of the text but also the personality of the translator. When it comes to a social regulator such as law, the effectiveness of translation becomes especially significant, as it is verified legally — by how effectively the provisions are applied in practice and the legal consequences for citizens.

Among the existing types of translation, legal translation is considered one of the most complex for several reasons. One of the main characteristics of such translation is the presence of specific terminology that defines and names legal concepts. Legal translation is more an act of intercultural communication than interlingual communication, as it involves different legal systems and legal cultures, discrepancies between which cause many challenges in legal translation. The terminological peculiarities of the Ukrainian legal field — which combines terms and legal concepts of various origins and historical periods — along with the general terminological inconsistency of legal discourse, pose significant obstacles that must be overcome.

Firstly, legal translation is literally filled with complex, convoluted formulations typical of legal documents. Even in one's native language, it is quite difficult for a layperson to understand legal documents. The specific nature of this type of translation requires the translator to have a clear and deep understanding of legal processes such as the registration of joint-stock companies, issuance of company shares, and dividend payments. A translator must know how contracts and agreements are concluded, how taxation mechanisms work, etc., in order to translate the text legally correctly and accurately.

Secondly, the translator must thoroughly understand the text of the document, which often requires not only a legal education but also extensive practical experience. After all, legal systems in different countries can vary greatly, and sometimes the source or target language may lack even approximate equivalents for certain concepts. Here, intuition, logic, and of course, rich practice come into play.

Thirdly, legal translation does not tolerate mistakes, as their cost can be too high. Translators often have to work with financial and accounting documents that contain a large number of figures. During translation, it is important to consider national conventions for writing numbers and mathematical symbols in different countries.

When we talk about the quality of translation, we mean a high degree of adequacy in conveying specialized vocabulary and terminology. Terms are needed to correctly and precisely designate phenomena. They carry key information. Thus, the term is a basic unit of the text, and its translation presents certain difficulties. For example, a term in the original language may have a similar, but not identical, meaning in the target language, or the same extralinguistic phenomenon may be perceived differently in different languages.

The main difficulty of legal translations is the thoroughness and accuracy of the transmission of the content of the text. There can be no question of any approximation here, because the reputation of certain businessmen, the implementation of certain investment programs, the adoption of certain decisions may depend on the quality of the translation of a legal document related, for example, to debt collection or company liquidation. And if we are talking about protecting a business, then legal terms, concepts, names of institutions, bills and various regulations in the translated text must be absolutely clear to both the defendant and the plaintiff in order to completely eliminate any misunderstandings. In legal translation, the accuracy of translation is of great importance, since the translated material can serve as the basis for making important decisions. In addition, the adequacy of the translation of legal materials involves not only the transmission of the content of the material, but also a more thorough transmission of its structural form, the order of the parts and the location of the material, the sequence of presentation (for example, the order of the paragraphs and sub-paragraphs, their designation, etc.). The specificity of legal translation as an act of intercultural communication lies, first of all, in its interdisciplinary nature, since it is at the intersection of jurisprudence, linguistics and translation studies. (5)

All documents endowed with legal force have a clichéd form, and the cognitive information contained in them must be drawn up once and for all in an established manner, according to strict conventions. Both the source and the recipient of these texts are actually administrative bodies that need documents to confirm the rights and powers of the relevant persons. Document texts are usually translated according to ready-made models, since unambiguous equivalents and unambiguous transformations prevail in translation.

Let’s consider the main difficulties that may arise while performing translation of international legal documents.

- Absence of absolute equivalents in the target language. For example, the term “Common law” does not haveidentical system in the Ukrainian law and "Звичаєве право" is not an exact rendering of its meaning. Often the term is transliterated or simply explained. Another example is “Fiduciary duties”which is also rendered by transliteration as “фідуціарні обов'язки”.

The House of Lords held that fiduciaries must avoid conflicts of interest and account for any profits made from their position, even if the trust benefited from their actions. (6) (Палата лордів постановила, що особи, які виконують фідуціарні обов’язки, повинні уникати конфлікту інтересів та звітувати про будь-який прибуток, отриманий завдяки їхньому становищу — навіть якщо їхні дії принесли користь довірчій власності).

- The policemy of termes may cause a wrong choice of the narrow meaning in the legal context. The term “Equity” can have fifferent interpretations depending

on the context- "справедливість", "власний капітал", "право справедливості, as well as possible ways of translating “treaty” are "договір", "угода", "конвенція".

- The use of Latin. archaic or other languages terms that have no equivqlents in Ukrainian. “Force majeure” is often used as a loanword , but in international agreements the meaning of the term must be clearly specified as it may include various events: natural disasters, wars, strikes, pandemics, etc.

As a result, they were required to account for the profit gained — even in the absence of bona fides. (3) (У результаті вони були зобов’язані звітувати про отриманий прибуток — навіть за відсутності bona fides (сумлінності).

The court held that the directors acted ultra vires (beyond their powers) and breached their fiduciary duty, particularly the duty of loyalty, by taking advantage of a corporate opportunity that rightfully belonged to the company. (3) (Суд постановив, що директори діяли ultra vires (поза межами своїх повноважень) і порушили свої фідуціарні обов’язки, зокрема обов’язок лояльності, скориставшись корпоративною можливістю, яка по праву належала компанії).

A word with a vague in common language may have a clear meaning in law**.** In everyday language “shall” is used for the future tense, in international law it has a categorical meaning:

The Parties shall comply with the agreement. (Сторони зобов'язуються виконувати умови договору).

Another feature of the legal style is the use of abbreviations. Abbreviations are formed in various ways: by using only the first letters or capital letters. For example: CA – (Court of Appeal), CC – (Court of Cassation), HC- (High Court), IO – Organisations (International Organizations).

Offers by listed securuties are governed by FSA 1986 Part V. (3)(Пропозиції щодо зареєстрованих цінних паперів регулюються Законом про фінансові послуги 1986 року, Частина V).

FSA stands for Financial Services Act

Developing strategies for overcoming difficulties in translating international legal documents, we offer to

- use specialized sources such as industry-specific dictionaries and glossaries. These contain terms that are widely used in international law and provide a clear understanding of legal concepts and norms that are applied in different jurisdictions. This helps to avoid ambiguity and ensures the precise conveyance of the text's meaning.

- make analyses of original texts and their official versions, compare translation versions to identify terms and constructions that are used in official practice.

- consult with specialists who have experience in legal translation or work in the field of international law. This will ensure that the translation is as accurate and legally correct as possible.

- use of transcription or calquing methods in cases where a direct equivalent of a term or concept is absent in the target language. This helps preserve the authenticity of the term while adapting it to the linguistic features of the target language. A drawback of these translation methods is that the mechanical rendering

of a lexical unit does not always convey its meaning to the recipient and may require additional explanation.

Conclusions

The conducted research demonstrates that the translation of international legal documents is a complex and multifaceted process requiring not only a high level of language proficiency but also profound legal competence. In particular, the effective resolution of terminological difficulties in translating legal terms from English into Ukrainian and vice versa remains one of the key challenges in modern translation studies and demands further in-depth investigation.

The analyzed examples of translation illustrate the complexity of rendering legal concepts, which is caused by the specific nature of legal systems, discrepancies in terminology, and the absence of full equivalents in the target language. When established terminological equivalents are available, translation is reduced to the selection of the most appropriate option, taking into account lexical and grammatical compatibility. In the absence of such equivalents, the translator must carefully analyze the context, legal situation, and functional purpose of the term in order to adequately convey its meaning.

Thus, legal translation requires an interdisciplinary approach that combines linguistic, legal, and translational competences, as well as consideration of the characteristics of legal discourse in both languages.

References

1. Baylis John, Smith Steve, Owens Patricia. The globalization of world politics. Oxford University Press. UK , –2017. –610 p.
2. Oxford English Dictionary Concise Oxford companion to the English Language. Ed. Tom McArthur. – Oxford University Press. 1998– 1184 p.
3. Pierce Andrew. Company Law. Straightforward Co Ltd. –London, 2019. – 148 p.
4. Šarčević Susan. Introduction to Legal Translation. Kluwer Law International; 1st edition. – Netherlands, 1997. –308 p.
5. Schane Sanford. Law and Language. Continuum. – UK, 2008. – 236 p.
6. Williamson David. War and peace: International relations. Holder Education. –London. 2023. – 215 p.

УДК: 343.9

М.Б. Офіцинська,
О.Г. Бондаренко, кандидат юридичних наук
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Проблематика фіксації та документування DDos-атак в Україні

У тезах розглядаються основні питання щодо фіксації та документування DDos-атак як одних із найбільш поширених та небезпечних хакерських атак, які впливають на інфраструктуру з метою дестабілізації та унеможливлення користування об'єктом посягання. Розглядається порядок усунення та відновлення від наслідків кібератак.

Вступ

В умовах розвитку сучасних технологій особливої уваги слід приділити зростанню кіберзагроз у просторі, які своєю дією впливають не лише на цивільне населення, але й на державні та оборонні структури. Починаючи із 2014 року РФ розпочала агресію проти України і використовує не лише «традиційні» методи ведення війни, але й проводить гібридну кампанію. І саме в цей період активізувалась діяльність тіньових хакерських організацій, коли «традиційні» методи залишаються позаду, а на зміну їм приходять віруси, DDos-атаки, які паралізують діяльність цілих структур. І паралельно з цих формується новий «кіберфронт», де кіберзброя та кіберзлочинність є потужними методами впливу.

Надзвичайно важливо фіксувати та документувати DDos-атаки, оскільки, це не лише зміцнює оборону на «кіберфронті», але й забезпечує збір доказів для проведення подальших слідчих дій аби притягнути до відповідальності причетних осіб, а без належного проведення таких дій DDos-атаки залишаються лише інцидентами. Тим паче фіксація та документування допомагає вибудувати стратегію для адаптації методів кіберзахисту держави.

Виклад основного матеріалу

DDoS-атака – це тип кібератаки, під час якої цільовий вебсайт або мережа переповнюється трафіком із кількох джерел, щоб перевантажити ціль і запобігти доступу законних користувачів до сайту [1]. Ці дії вчиняються із метою унеможливлення користування певним сервісом, які можуть мати критичні наслідки термін усунення яких може займати 2 години, або цілих 2 дні.

Варто зазначити, що здійснення DDos-атак потребує наявності великої кількості комп'ютерів та користувачів, то такі дії можуть вчинятися двома ключовими способами ботнет та флешбом. У першому – це мережа ботів, це комп'ютери, що заражені спеціальними програмами, які дозволяють зловмиснику, власнику ботнета, дистанційно надавати інструкції зараженим, керуючи ними наче справжньою армією [2]. У другому – хакери провокують навмисне перенаправлення запитів у великій кількості.

Крім цього, до видів DDos-атак відносяться кібератаки на рівні мережі, протоколу, додатків і кожен із цих видів має певні особливості, наприклад:

- Мережеві атаки – перезавантажують своєю великою кількістю трафіку на канал зв'язку (UDP-, ICMP-, Ping-флуди);
- Протокольні – виснажують сервіс чи обладнання (SYN-флуд, Ping of Death);
- Атаки на рівні додатків – виводять з ладу сервери з імітуванням легального трафіку (HTTP-флуд, DNS-атаки);

Варто підкреслити, що від початку повномасштабного вторгнення армії РФ на українські структури було зафіксовано численні DDos-атаки, в період із 2022-25 роки атакам піддавалися: національні банки, портали та офіційні сторінки державних структур. Зокрема, нещодавня кібератака на сервіси Укрзалізниці, що своїм величезним трафіком запитів на сервіс унеможливило користування ним, що створило загрозу для евакуації громадян, продажу онлайн-квитків та логістики.

Саме тому Україні потрібно розробити чітку стратегію розвитку кібербезпеки в сучасному просторі, яка буде уніфікована та єдина для використання.

Зокрема, Кримінальний кодекс України (далі – КК України) містить Розділ XVI, який регулює кримінальні правопорушення у сфері використання електронно-обчислювальних машин (комп'ютерів), систем та комп'ютерних мереж і мереж електрозв'язку [3] (ст. ст. 361-363-1 КК України), який передбачає відповідальність за кіберзлочини, але не містить врахування сучасних форм кібератак в тому числі DDos-атак, що ускладнює кваліфікацію кримінального правопорушення та його розслідування правоохоронними органами.

Правильна фіксація DDos-атак, це надзвичайно важливий процес, який полягає не лише в розслідувані кримінальних правопорушень, а й встановлення прецеденту для захисту від кібератак. І варто зазначити, що це відбувається декількома етапами. Відповідно до п.4 Порядку реагування суб'єктів забезпечення кібербезпеки на різні види події у кіберпросторі (далі-Порядок) реагування на кіберінциденти/кібератаки здійснюється суб'єктами забезпечення кібербезпеки послідовно такими етапами, як підготовка, виявлення та аналіз, стримування, усунення, відновлення, аналіз ефективності заходів з реагування на кіберінциденти/кібератаки [5].

Проаналізувавши цей Порядок варто зазначити, що першим етапом – визначається критичність проведеної кібератаки й встановлюється її рівень – від рівня 0 до рівня 5, які визначають рівень її загрози на дієздатність об'єкта посягання. Другий етап – вирізняється стримуванням під час якого фахівцями з кібербезпеки застосовуються заходи для унеможливлення настання критичних наслідків. Третій етап – усунення, під час якого фахівці відновлюють роботу об'єкта посягання (серверу, системи чи порталу) для захисту інформацію, яка у ньому зберігається. Четвертий етап – відновлення, під час якого повертається нормальна робота системи та встановлюються заходи безпеки від повторних кібератак. Завершальним етапом є аналіз ефективності під час цього етапу забезпечується вивчення задокументованих даних щодо кіберінциденту/кібератаки, інформування керівництва суб'єкта забезпечення кібербезпеки, узагальнення та проведення аналізу досвіду реагування для

подальшого підвищення ефективності вжиття заходів до кіберзахисту у разі можливих кіберінцидентів/кібератак у подальшому [5].

Висновки

Варто зазначити, що в умовах сьогодення одним із найбільш поширених та небезпечних методів впливу на інфраструктуру є хакерські атаки у вигляді DDos-атак, які проводяться з метою дестабілізації ситуації в країні, роботи державних структур, послуг та установ комерційного значення, які є важливими для економіки. Проблематика даного питання постає у створенні єдиної методики фіксування та документування кібератак, яка б регламентувала дії інфраструктурних об'єктів у разі вчинення стосовно них кібератак. Крім цього, варто провести оновлення КК України, аби їхні статті більш широко розглядати види кібератак, що в свою чергу спрощує кваліфікацію кримінальних правопорушень. На цей момент в Україні фіксація та документування кібератак проводиться відповідно до Порядку, який встановлює розподіл DDos-атак на рівні та містить в собі етапи усунення наслідків кібератаки.

Отже, державні та комерційні структури зобов'язані співпрацювати з уповноваженими органами у сфері розслідування кіберзлочинів такими як: кіберполіція або Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України для розвитку цифрової криміналістики, розробки чітких інструкції та встановлення кібербезпеки тощо.

Список літератури

1. Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks Режим доступу: https://www-.imperva.com/learn/ddos/denial-ofservice/ (дата звернення: 09.04.2025)
2. Лактіонов І.О., Кміть А.Ю., Опірський І.Р., Герасимчук О.І. Дослідження інструментів захисту інтернет-ресурсів від DDos-атак під час кібервійни. Кібербезпека: освіта, наука, техніка №1 (17), 2022. С.91-109 Режим доступу: https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/387/320 (дата звернення: 09.04.2025)
3. Кримінальний кодекс України: Закон України від 5 квітня 2001 року № 2341-III Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14/conv#n2491 (дата звернення: 09.04.2025)
4. Adrian, D.; Durumeric, Z.; Singh, G.; Halderman, J.A. Zippier ZMap: Internet-Wide Scanning at 10 Gbps. In Proceedings of the WOOT 8th USENIX Workshop on Offensive Technologies, San Diego, CA, USA, 19 August 2014.
5. Порядок реагування субєктами забезпечення кібербезпеки на різні види подій у кіберпросторі від 4 квітня 2023 року № 299 URL: https://zakon.rad-a.gov.ua/laws/show/299-2023-%D0%BF#Text

УДК 343.16

І.В. Осадчий, здобувач ступеню доктора філософії
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оплата праці присяжних. Міжнародний досвід

У зв'язку з прийняттям за основу проекту закону про суд присяжних постає питання яким чином та в якому розмірі будуть компенсовані з боку держави час та робота осіб що були обрані в якості присяжних в суді. Таким чином на думку автора існує необхідність розгляду міжнародного досвіду організації оплати присяжним.

Відповідно ст 43 Конституції України кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом. [1] Відповідно чинного законодавства, присяжним за час виконання ними обов'язків у суді виплачується винагорода, розрахована виходячи з посадового окладу судді місцевого суду з урахуванням фактично відпрацьованого часу в порядку, визначеному Державною судовою адміністрацією України. Присяжним відшкодовуються витрати на проїзд і наймання житла, а також виплачуються добові. [2]. Законопроект про суд присяжних не пропонує нічого нового. Фактично ст. 30 проекту закону про суд присяжних повторює слово в слово вищезгадане положення закону України про судоустрій і статус суддів.[3] Таким чином постає питання розгляду міжнародного досвіду, особливо досвіду країн де суд присяжних є традиційним методом ведення судочинства.

В США суд присяжних є невід'ємною частиною правосуддя та гарантується державою шо зокрема передбачено конституцією та згадується в статті 3, поправках V, VI та VII [4]. Таким чином оплата присяжним за їх працю є частиною щоденного функціонування правосуддя. Відповідно параграфу 1871 глави 28 Кодексу Сполучених Штатів: «присяжному сплачується плата за присутність у розмірі 50 доларів США на день за фактичну присутність на місці судового розгляду чи слухання. Присяжному також виплачується плата за присутність за час, необхідний на дорогу до такого місця та повернення з нього на початку та в кінці такої служби або в будь-який час протягом такої служби». [5] Варто зазначити що з огляду на особливість політичного устрою США кожен штат може мати своє законодавство що регулює питання оплати присяжним що може досить суттєво відрізнятись від федерального закону. Зокрема в Нью-Йорку розмір оплати складає 40 доларів за день служби присяжного а закони в штаті закон штату Каліфорнія передбачає оплату 15,00 доларів США за день служби і 34 центи за милю в кожну сторону від дому присяжного до суду. Закон штату Колорадо передбачає оплату в 50 доларів але обов'язок оплати покладено на роботодавця особи що було викликано для служби присяжним.

У Сполученому Королівстві оплата присяжним за виконання їх обов'язків не передбачена, але розділ 19 закону про присяжних від 1974 року передбачає компенсацію. [6] Варто зазначити що конкретний розмір компенсації не вказано безпосередньо в законі, але існує урядове положення на офіційному сайті уряду Сполученого Королівства де вказано що особа може вимагати компенсацію в

розмірі до 64,95 фунтів за кожен день роботи присяжного та додатково 5,71 фунт за їжу та напої а також компенсацію проїзду. Окремо, передбачено що якщо перебування присяжного в суді зайняло менше ніж 4 години в день розмір максимальної компенсації зменшується до 32,47 фунтів. Первинно, фінансову компенсацію має оплатити роботодавець особи що була викликана в суд в якості присяжного, але урядове положення передбачає можливість відмови роботодавця від оплати. В такому разі обов'язок оплати компенсації присяжному бере на себе суд. [7]

В азійських країнах суд присяжних не набув широкого розповсюдження після деколонізації. Зокрема в Індії суд присяжних як форма здійснення правосуддя діяв до прийняття кримінально-процесуального кодексу Індії в 1973 році після чого був скасований. Виключенням є народ парсів що зберігають право збирати присяжних від представників їх громади у випадку розгляду цивільних справ про розлучення та вирішення подружніх спорів. Присяжні при цьому не отримують жодної фінансової винагороди або компенсації. [8] Малайзія також відкинула суд присяжних в 1995 році у зв'язку з прийняттям акту A908. Даний крок був обумовлений розглядом резонансної справи Мони Фенді що фактично використала своє право на суд присяжних задля отримання медійності та подальшої маніпуляції суспільною думкою. Варто зазначити що це не є єдиною причиною але на думку автора мотивацією малайзійського уряду в питанні скасування суду присяжних стало саме запобігання надмірної публічності розгляду справ. В Сінгапурі суд присяжних було повністю скасовано в 1969 році у зв'язку з реформами Лі Куан Ю.

У випадку азійських країн де суд присяжних все ж використовується оплата присяжним за їх роботу розуміється як компенсація за витрачений час. Таким чином присяжні можуть розраховувати на відшкодування витрат Зокрема, відповідно до статті 29 Закону Японії про «кримінальні процеси за участю народних засідателів» Кандидатам у присяжні, які з'явилися на день процедури відбору присяжних за викликом суду, оплачуються транспортні витрати, добові та плата за проживання відповідно до Регламенту Верховного Суду. [9]

В Австралії питання оплати присяжним за їх працю регулюється положенням про присяжних на рівні кожного окремого штату. Зокрема в штаті Новий Південний Уельс рівень оплати присяжного залежить від того чи працевлаштована особа. В разі якщо період зайнятості присяжного зайняв від 11 днів і більше – працевлаштована особа може отримати фінансову винагороду в розмірі 247.40 австралійських доларів за весь період. Непрацевлаштована особа може розраховувати на винагороду в розмірі 106,30 австралійських доларів.[10] Варто зазначити що винагорода виплачується не з розрахунку за фактично затрачений час роботи, тобто не за кількість годин що присяжний провів у суді. Згідно даного положення особа отримує грошову винагороду в такому розмірі навіть якщо розгляд справи зайняв значно більше часу ніж 11 днів. При цьому варто також додати що на федеральному рівні законодавство зобов'язує роботодавця оплачувати працівнику якого було викликано для участі в судовому процесі в якості присяжного перші десять днів його відсутності. [11]

Бразильське законодавство не встановлює чітких розмірів оплати присяжному за участь в судовому розгляді справи. Натомість положення акту

L11689 кримінально-процесуального кодексу Бразилії встановлює що на час коли особа виконує обов'язки присяжного – з його заробітної плати не проводиться жодних відрахувань. В законі немає згадки про фінансову компенсацію для непрацевлаштованих осіб що були викликані як присяжні. Варто зазначити що існує положення що стаття 442 вищезгаданого закону встановлює що «будь-який присяжний, який без законної причини не з'явився у день, призначений для сесії, або покинув суд до того, як його звільнив президент, буде підданий штрафу від 1 (однієї) до 10 (десяти) мінімальних заробітних плат, на розсуд судді, відповідно до його/її економічного стану» [12] Таким чином автор доходить висновку що бразильський законодавець діє відповідно до методу державно-правового примусу.

Висновки: З огляду на аналіз чинного законодавства України та міжнародного досвіду, автор доходить висновку, що участь у суді присяжних, у випадку якщо він визнається державами як суспільно важлива функція - яка повинна належним чином компенсуватися. В Україні наразі передбачена компенсація, що розраховується за аналогією з посадовим окладом судді, а також покриття супутніх витрат, таких як проїзд, проживання та добові. Водночас, положення про оплату залишаються доволі загальними та не містять чіткого механізму забезпечення прав присяжних на належну оплату праці, що може викликати сумніви щодо реального рівня зацікавленості присяжного, як особи що бере берспосередню участь у вирішенні долі людини, у встановлені істини.

Досвід таких країн як США та Сполучене Королівство демонструє, що участь присяжних у судочинстві супроводжується прозорими й визначеними механізмами компенсації. Це не лише сприяє довірі до судової системи, а й стимулює участь громадян у реалізації правосуддя. Враховуючи це, проект закону про суд присяжних на думку автора потребує додаткового опрацювання практичного механізму виплат, а також забезпечення гарантій, які б не обмежували соціально-економічні права присяжних, зокрема право на справедливу оплату праці та компенсацію витрат.

Список літератури

1. Конституція України
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text
2. Закон України «про судоустрій і статус суддів»
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2453-17#n4156
3. Проект Закону №3843 «Про суд присяжних»
URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=69465
4. Конституція Сполучених Штатів Америки
URL: https://www.archives.gov/founding-docs/constitution-transcript
5. Кодекс Сполучених Штатів Америки
URL:https://uscode.house.gov/browse/prelim@title28/part5/chapter121&edition=prelim
6. Закон Сполученого Королівства «про присяжних»
URL: https://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/23/contents

7. Положення уряду Сполученого Королівства про присяжних URL: https://www.gov.uk/jury-service
8. Lay Justice in India Jean-Louis Halpérin Popular Justice Beyond Judges v. Jurie Стаття від 25 березня 2011. URL: https://www.droit.ens.fr/IMG/pdf/Lay_Justice_in_India_1.pdf
9. Закон Японії про «кримінальні процеси за участю народних засідателів» URL: https://laws.e-gov.go.jp/law/416AC0000000063/#Mp-Ch_2-Se_2-At_34-Pr_7
10. Положення про присяжних 2022. Новий Південний Уельс. URL: https://legislation.nsw.gov.au/view/whole/pdf/inforce/2025-04-06/sl-2022-0496
11. Акт про працю. URL: https://classic.austlii.edu.au/au/legis/cth/consol_act/fwa2009114/s111.html
12. Акт L11689 Кримінально-процесуального кодексу Бразилії URL: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/l11689.htm

УДК 327.7(4)

А.П. Сапсай, к.політ.н., доц.,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Коаліція «Об'єднані експедиційні сили» як автономна структура колективної оборони в Європі

Доповідь присвячена поточним проблемам функціонування міждержавної коаліції «Об'єднані експедиційні сили» як структури колективної оборони в Європі під проводом Великобританії. Безпосередньо окреслюються три блоки проблем оборонного об'єднання: 1) проблеми оперативної ефективності; 2) проблеми ресурсної достатності 3) проблеми просторового охоплення.

Однією з нових та альтернативних щодо НАТО військово-політичних структур в Європі сьогодні можна розглядати Об'єднані експедиційні сили (ОЕС). Фактично до 2025 року ця структура відігравала роль своєрідного «мосту» між чинними державами-членами НАТО і тими країнами Європи, які не входили до Північноатлантичного Альянсу. У Північно-Балтійському регіоні таку військово-політичну коаліцію держав склали Великобританія, вісім скандинавських та балтійських держав, а також Нідерланди. Коаліція мала слугувати гнучким механізмом реагування на різного роду міжнародні та транскордонні гібридні загрози, які становлять нижчий пороговий рівень, аніж той, що вимагає від НАТО безпосереднього втручання. Утім, з моменту приєднання Фінляндії (у 2023 р.) та Швеції (у 2024 р.) до НАТО, а також формування нової балтійської штаб-квартири НАТО в Німеччині (м. Вісбаден) майбутня місія ОЕС опинилася під питанням.

Ідея зародження ОЕС бере свій початок у Великобританії на початку 2010-х років та безпосередньо пов'язана з проблемами розгортання британських сил в Афганістані та Іраку. Майбутнє об'єднання мало створити адекватну силу, яка б дозволила Великобританії виконувати свої зобов'язання перед НАТО, одночасно забезпечуючи гарантії та стримування на Близькому Сході та в Перській затоці. В якості перспективних союзників і учасників початково згадувалися Данія та Естонія, які воювали разом з британськими силами в Афганістані [1].

Після анексії Росією Криму на саміті НАТО в Уельсі у вересні 2014 року сім держав (Данія, Естонія, Латвія, Литва, Нідерланди, Норвегія та Велика Британія) підписали Декларацію про наміри створити ОЕС із повною її боєздатністю до 2018 року. ОЕС презентувалися як «сила швидкого розгортання, що здатна проводити повний спектр операцій, включаючи гуманітарну допомогу, конвенційне стримування, безпосереднє ведення війни» [2].

Попри численні посилання в заявах держав-учасниць ОЕС на процедури та стандарти НАТО, об'єднання все ж не стало підрозділом Північноатлантичного Альянсу чи навіть окремою організацією, а виступає скоріше коаліцією охочих держав. Наразі ОЕС являє собою військово-

політичний конструкт чи каталог різних національних можливостей. Згідно з проєктом, залучені до нього підрозділи мають бути розгорнуті в різних комбінаціях і бути здатними реагувати на різні непередбачені ситуації. Після погодження на конкретні спільні дії принаймні двох держав-учасниць цього об'єднання, відкривається шлях для аналогічних дій решти учасників за умови їх відповідної згоди чи незгоди на участь у таких заходах. В цілому, ОЕС покликані слугувати засобом підвищення оперативної сумісності європейських держав через інтенсивну програму їх спільних навчань. Одночасно об'єднання має забезпечити основу для регулярних обговорень питань оборони та безпеки між міністрами оборони, начальниками штабів оборони та главами урядів держав-учасниць [3, с. 16].

У 2015 році між сімома державами-учасницями ОЕС було підписано Меморандум про взаєморозуміння, в якому визначалося, що відповідна коаліція має забезпечувати «колективну оборону, врегулювання криз і спільну безпеку» сторін. Було погоджено, що вона має володіти збалансованим набором наземних, морських, повітряних і кібернетичних (пізніше додано і космічних) можливостей, які можна пристосувати до конкретного розгортання чи місії. Також було зазначено, що ОЕС «готується до повного спектра операцій, включаючи операції високої інтенсивності» [4].

У 2017 році до коаліції приєдналися Фінляндія та Швеція, залишаючись на той час поза НАТО. У тих умовах ОЕС відіграли важливу роль у допомозі їхнім силам стати повністю сумісними з НАТО та створили консультативний форум на рівні вищих політичних і військових діячів цих держав для участі в обговоренні питань оборони з державами-членами НАТО, які також беруть участь в ОЕС.

У 2021 році, після того, як Ісландія стала десятим учасником ОЕС, сторони коаліції оприлюднили спільне Політичне керівництво, у якому проголошувалося завдання для об'єднаних сил бути здатними брати участь у повному спектрі військової діяльності, а також здатності «ефективно реагувати на конкурентів, які діють у просторі нижче порогу звичайних конфліктів» [5].

Попри заявлені амбітні плани, завдання і пріоритети, новосформована військово-політична коаліція держав у своїй діяльності наразі стикається з рядом перепон, що можуть бути розкладені на три умовні блоки проблем, а саме: 1) проблеми оперативної ефективності; 2) проблеми ресурсної достатності 3) проблеми просторового охоплення з урахуванням одночасних змін геополітичних пріоритетів.

У цьому плані *проблеми оперативної ефективності* наразі позначені недостатньою швидкістю реагування ОЕС на поточні виклики та загрози європейській безпеці. ОЕС не є постійною силою. Коаліція загалом спирається на підрозділи високої готовності, які надаються державами-учасницями на тимчасовій основі. Міждержавна домовленість загалом забезпечує гнучкість об'єднання, але також створює і затримки в мобілізації та розгортанні спільних сил, оскільки визначення та розподіл внесків мають обговорюватися для кожної операції окремо. Це вже негативно позначилося на якості реагуванні ОЕС на критичні інциденти, такі як пошкодження трубопроводів та кабелю в Балтійському морі у 2023 році (газопровід Balticconnector і телекомунікаційні

кабелі між Естонією та Фінляндією), коли коаліцію критикували як надто повільну у своєму реагуванні структурою порівняно з НАТО. [6].

Окреме питання викликають і так звані допорогові операції. Зосередження ОЕС на гібридних загрозах і сценаріях у «сірій зоні» потребує неабиякого досвіду з ведення невійськових операцій чи реагувань (наприклад, ведення кібернетичних та інформаційних війн), який напрацьований ще недостатньою мірою або ж значно різниться поміж учасниками коаліції. Такі навчання, як «Joint Protector 21», підкреслили потребу в невійськових експертах для ефективної протидії нетрадиційним викликам безпеці. Однак інтеграція представників цивільної влади у військові структури коаліції залишається проблематичною через законодавчі та культурні відмінності між її учасниками [7].

Проблеми *ресурсної достатності* ОЕС наразі пов'язані одночасно як з військовим, так і невійськовим потенціалом держав-учасниць даної коаліції, а також їх здатністю оперативно його інтегрувати в умовах конкретних цілей і завдань. Найпершою проблемою в цьому плані є асиметричність потенціалів учасників коаліції, за якої Великобританія фактично змушена забезпечувати більшу частину матеріально-технічної бази, командної структури та оперативного планування в об'єднанні. Іншою суттєвою прогалиною є відсутність в об'єднанні власного постійного бюджету. Натомість ОЕС покладаються на національні внески держав-учасниць. Це означає, що фінансування є непостійним чи несистемним, що обмежує рівні планування, навчання та оперативної готовності учасників коаліції. Замалі національні бюджети значної частини держав-учасниць окреслюють їх обмеженість у проведенні спільних навчань, а також неможливість досягнення безперебійної міжнаціональної координації дій. У свою чергу відсутність в ОЕС постійної військової структури (на відміну від НАТО) також пояснює причини можливих затримок і обмеження можливостей учасників, особливо, якщо країни не бажають або не можуть надіслати власні сили у короткі терміни часу.

Посиленої уваги вимагає і рівень цифрової інфраструктури ОЕС, що є необхідною для нейтралізації різного роду кіберзагроз. Попри ініціативу «JEF Digital», яка об'єднує дослідження, інновації та промисловість країн-учасниць з метою побудови та захисту більш стійких військово-цивільних систем співпраці, сприяння стандартизації та сприяння оперативної сумісності на північному фланзі НАТО, практичне впровадження даного проєкту відстає. Захищені мережі для обміну даними (зокрема, «JEF Net») і засоби планування, що використовують штучний інтелект, в рамках об'єднання наразі ще недостатньо розвинуті [8].

Не меншого значення набувають і *проблеми просторового охоплення* в діяльності коаліції , що прямо перетинається із зоною відповідальності НАТО. Хоча ОЕС ставить за мету доповнювати потенціал НАТО, їх роль стала менш визначеною після приєднання Фінляндії та Швеції до Північноатлантичного Альянсу. Водночас робота над інтеграцією механізмів реагування ОЕС у регіональні плани і завдання НАТО залишається далеко незавершеною [7].

Невизначеність становлять завищені функціональні амбіції нової військово-політичної коаліції європейських держав. Прагнення ОЕС мати

можливість проводити «втручання повного спектра» як у своєму основному (Балтійському) регіоні, так і поза його межами, наразі вважаються нереалістичними і навіть потенційно суперечать функціональним завданням НАТО з розгортання своїх сил відповідно до Статті 5 Договору Альянсу. Окремі держави, що не беруть участі в ОЕС, як то Німеччина, взагалі скептично ставляться до нового формату військово-політичних коаліцій в Європі. Згідно з Конституцією ФРН німецькі сили можуть проводити операції виключно під егідою міжнародних організацій колективної безпеки та оборони (насамперед ЄС, НАТО, ОБСЄ та ООН). Натомість діяльність військових коаліцій охочих держав унеможливлює співпрацю Німеччини з ними. З цього приводу представник ВМС Німеччини, віце-адмірал Ян Крістіан Каак, на конференції Леннарта Мері в Таллінні у травні 2024 року відзначив, що Німеччина взагалі розглядає ОЕС як механізм відволікання від діяльності НАТО в Балтійському регіоні [9].

Висновки

Таким чином, майбутня здатність ОЕС ефективно реагувати та нейтралізовувати актуальні виклики і загрози європейській безпеці багато у чому залежатиме від успіхів учасників коаліції визначати пріоритетність розподілу власних ресурсів, покращувати координацію з НАТО та прискорювати впровадження цифрових інновацій для підвищення своєї гнучкості та стійкості.

Водночас відкрита агресія Росії проти України виступає ключовим чинником для подальшого гуртування як самих держав-учасниць ОЕС, так і даної військово-політичної коаліції держав Північної Європи з Україною. Україна вже має стратегічне партнерство з Великою Британією, Литвою, Швецією і Данією, що є основними учасниками ОЕС. Впродовж 2022–2024 років Україна брала участь у засіданнях ОЕС у статусі держави-партнера. У перспективі Україна може також стати повноправним учасником коаліції як виразу шляху до реалізації нею власної гранд-стратегії – повної інтеграції в євроатлантичні структури. З іншого боку, ОЕС не можна розглядати як заміну чи альтернативу НАТО. Разом з тим, вона може посилювати оперативні та ресурсні можливості України, виступаючи гнучкою та швидшою платформою для спільної відповіді на кризові ситуації та безпосередні загрози національній безпеці держави.

Список літератури

1. Håkon Lunde Saxi. The UK Joint Expeditionary Force (JEF). IFS Insights 5/2018. Norwegian Institute for Defence Studies, Oslo. 2018. 6 p.
2. UK Parliament, ‘Letter of Intent Between the Defence Ministers of Denmark, Estonia, Latvia, Lithuania, the Netherlands, Norway and the UK Concerning the Development of the Joint Expeditionary Force’, 4 September 2014. URL: https://open.overheid.nl/documenten/ronl-archief-3f3ce50e-0763-4624-9221-db40e30e333d/pdf. (дата звернення: 12.04.2025).

3. Ed Arnold. The Joint Expeditionary Force and its Contribution to European Security. RUSI Occasional Paper, December 2024. 50 p.

4. JEF. Foundation Memorandum of Understanding. 30 November, 2015. URL: https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-671355.pdf. (дата звернення: 12.04.2025).

5. Joint Expeditionary Force (JEF) – Policy direction. Published 12 July 2021. UK Ministry of Defence. URL: https://www.gov.uk/government/publications/joint-expeditionary-force-policy-direction-july-2021/joint-expeditionary-force-jef-policy-direction. (дата звернення: 13.04.2025).

6. JEF Response Option activated to address regional critical infrastructure security. Ministry of National Defence Republic of Lithuania. November 28, 2023. URL: https://kam.lt/en/jef-response-option-activated-to-address-regional-critical-infrastructure-security/. (дата звернення: 13.04.2025).

7. Pihlajamaa A. The Joint Expeditionary Force in Northern Europe: Towards a more integrated security architecture? Finnish Institute of International Affairs. FIIA Briefing Paper 389. May 2024. 7 p.

8. 'Joint Expeditionary Force Digital': A Better Way to Deliver Defence Tech. The Royal United Services Institute for Defence and Security. February 12, 2024. URL: https://rusi.org/explore-our-research/publications/commentary/joint-expeditionary-force-digital-better-way-deliver-defence-tech. (дата звернення: 13.04.2025).

9. Can We Turn the Baltic Sea into a NATO Lake? Lennart Meri Conference 2024. URL: https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=lennart+meri+conference+2024+nato+lake&mid=4C57E69C66E08256E8874C57E69C66E08256E887&FORM=VIRE. (дата звернення: 13.04.2025).

УДК 343.13

В.В. Рябченко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)
адвокат, керуючий партнер АО «Василь Рябченко і Партнери»

Допуск захисника до державної таємниці як умова ефективного захисту в кримінальному процесі

Розглянуті питання реалізації права на захист у кримінальному провадженні в аспекті доступу захисника до матеріалів, що становлять державну таємницю. Проаналізовано нормативно-правове регулювання процедури отримання допуску до секретної інформації, визначено проблемні аспекти правозастосовної практики.

У системі кримінального судочинства захист прав, свобод та законних інтересів особи займає провідне місце, а ключову роль у цьому процесі відіграє сторона захисту. В юридичній літературі сторона захисту цілком обґрунтовано характеризується як носій функції захисту, адже її участь у кримінальному провадженні має на меті не лише забезпечення правової допомоги, а й контроль за дотриманням законності на всіх етапах кримінального процесу.

Чинний КПК України відносить до сторони захисту підозрюваного, обвинуваченого (підсудного), засудженого, виправданого, особу, стосовно якої вирішується питання, щодо застосування примусових заходів медичного чи виховного характеру, їхніх захисників та законних представників [1].

У зв'язку з цим, ефективне здійснення захисту в кримінальному провадженні нерозривно пов'язане з реалізацією права захисника на доступ до інформації, у тому числі до матеріалів, що становлять державну таємницю. Кримінальне процесуальне законодавство (ст. 22, 26, 290 КПК України) гарантує стороні захисту рівність процесуальних можливостей, а також право на ознайомлення з усіма доказами, що мають значення для провадження, незалежно від форми їхньої конфіденційності.

Разом із тим, практична реалізація цього права безпосередньо залежить від дотримання встановленої законодавством процедури допуску до державної таємниці. Відповідно до ст. 22 Закону України «Про державну таємницю» надання допуску громадян до державної таємниці передбачає: визначення необхідності роботи громадянина із секретною інформацією; перевірку громадянина у зв'язку з допуском до державної таємниці; взяття громадянином на себе письмового зобов'язання щодо збереження державної таємниці, яка буде йому довірена; одержання у письмовій формі згоди громадянина на передбачені законом обмеження прав у зв'язку з його допуском до державної таємниці; ознайомлення громадянина з мірою відповідальності за порушення законодавства про державну таємницю [2].

У ст. 23 зазначеного закону законодавець передбачив, що підставами для відмови у наданні допуску до державної таємниці, зокрема є: відсутність обґрунтованої необхідності в роботі із секретною інформацією; наявність судимості за певні злочини; відмова взяти на себе зобов'язання щодо

збереження державної таємниці. У цьому ж законі, а саме у ст. 27 передбачено, що доступ до державної таємниці надається дієздатним громадянам України, які мають допуск та потребують його за умовами своєї діяльності. Рішення про надання доступу приймають керівники відповідних органів або установ.

Кримінальне процесуальне законодавство не залишило поза увагою зазначену проблему, передбачивши у ст. 517 КПК України, що до участі у кримінальному провадженні, яке містить відомості, що становлять державну таємницю, допускаються особи, які мають допуск відповідної форми та яким надано доступ до конкретної секретної інформації та її матеріальних носіїв. Рішення про надання доступу приймається керівником органу досудового розслідування, прокурором або судом [1].

Проте, на практиці реалізація цих положень ускладнюється через недосконале законодавче регулювання та недостатні гарантії для захисника, а також через випадки неналежного використання ним своїх процесуальних прав.

Наприклад, у сторони захисту (захисника) часто виникають проблеми із реалізацією права, передбаченого у ст. 221 КПК України [1], на ознайомлення з матеріалами негласних слідчих (розшукових) дій (далі – НС(Р)Д) до завершення досудового розслідування. Відповідно до чинного законодавства, інформація, яка була отримана при проведенні НС(Р)Д становить державну таємницю та підлягає засекреченню. Так, А. Войнарович зазначає, що результати НС(Р)Д, зокрема нерозсекречені, часто становлять інтерес для сторони захисту. У такому випадку захисник має право звертатись на підставі ст. 221 КПК України до слідчого, прокурора про надання йому для ознайомлення матеріалів, які стосуються НС(Р)Д і належать до нерозсекреченої державної таємниці [3, с. 79]. Тобто, захисник має можливість отримати зазначену інформацію за умови отримання допуску до державної таємниці.

Процедура надання адвокату допуску до державної таємниці на будь-якій із процесуальних стадій кримінального провадження — під час досудового розслідування, розгляду справи судом першої інстанції чи її перегляду апеляційною або касаційною інстанціями — здійснюється відповідно до вимог Порядку організації та забезпечення режиму секретності в державних органах, органах місцевого самоврядування, на підприємствах, в установах і організаціях (затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 18.12.2013 № 939).

Зокрема, якщо у адвоката виникає необхідність доступу до інформації з обмеженим доступом у межах досудового розслідування, він подає письмову заяву, з обґрунтуванням такої потреби до органу досудового розслідування. Після розгляду заяви та підготовки відповідного подання режимно-секретним підрозділом (далі - РСО), в якому зазначається форма допуску і підтверджується необхідність роботи адвоката з державною таємницею, матеріали передаються до Служби безпеки України (далі – СБУ) для погодження питання в межах конкретного кримінального провадження.

У разі задоволення клопотання, адвокат подає до режимно-секретного органу (РСО) необхідний пакет документів, а саме: фотокартки, медична довідка про проходження психіатричного огляду, зобов’язання щодо збереження державної таємниці тощо. Після цього РСО формує вмотивований запит до СБУ щодо оформлення допуску адвоката. Цей допуск дає право

адвокату ознайомлюватися з державною таємницею, але лише в межах конкретного кримінального провадження.

Висновки. Враховуючи викладене, можна стверджувати, що у сучасному кримінальному процесі реалізація права на захист, зокрема доступ захисника до матеріалів, що становлять державну таємницю, є невід'ємною складовою справедливого судочинства. Хоча чинне законодавство передбачає процедуру отримання такого доступу, її складність і надмірна зарегламентованість часто ускладнюють адвокатам ефективне виконання професійних обов'язків.

Список літератури

1. Кримінальний процесуальний кодекс України від 13.04.2012 № 4651-VI. База даних Законодавство України / ВР України. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4651-17 (дата звернення: 10.04.2025).
2. Про державну таємницю: Закон України від 21.01.1994 № 3855-XII Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3855-12 (дата звернення: 10.04.2025).
3. Войнарович А. Реалізація підозрюваним права на захист під час проведення негласних слідчих (розшукових) дій. Вісник Національної академії прокуратури України. 2015. № 3(41). С. 76–81.

УДК: 341.3(477):355.48

М.В. Луцький
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування міжнародного гуманітарного права в умовах збройного конфлікту: український вимір

У роботі розглянуто застосування міжнародного гуманітарного права (МГП) в контексті збройної агресії Російської Федерації проти України. Проаналізовано сутність та мету МГП, зосереджено увагу на його основних принципах, зокрема захисті цивільного населення та осіб, які не беруть участі у бойових діях.

Основна частина. Міжнародне гуманітарне право є однією з найважливіших галузей міжнародного публічного права, яка покликана захищати гідність людини навіть у найжорстокіших умовах — під час збройних конфліктів. Воно виникло як відповідь людства на наслідки війн і прагнення мінімізувати страждання цивільного населення, поранених, військовополонених і тих, хто більше не бере участі в бойових діях. Основні принципи, закладені в основу цього права — гуманність, пропорційність, військова необхідність і розрізнення — є основою сучасної цивілізованої воєнної етики. Ці норми не лише накладають обмеження на методи й засоби ведення війни, але й формують правовий простір, у якому навіть сторони збройного конфлікту зобов'язані зберігати елементарні правила моралі. Фундаментом сучасного міжнародного гуманітарного права стали Женевські конвенції 1949 року та їхні Додаткові протоколи, які закріплюють міжнародні зобов'язання держав щодо захисту людей у воєнний час. Вони визначають, хто підлягає захисту, якими є обмеження на використання певних видів озброєнь, яким чином повинні поводитись із полоненими, пораненими та цивільними [1, с. 5].

У центрі МГП стоять фундаментальні принципи:

- гуманності, що зобов'язує уникати зайвих страждань;
- пропорційності, яка вимагає співвідносити очікувану військову перевагу з потенційною шкодою для цивільних;
- військової необхідності, що обмежує дії тільки тими, які необхідні для досягнення конкретних військових цілей;
- розрізнення, згідно з яким учасники конфлікту зобов'язані чітко відрізняти комбатантів від цивільних осіб та військові об'єкти від цивільної інфраструктури.

Однак на практиці, особливо в умовах нових форм війни, ефективність МГП часто ставиться під сумнів. Яскравим прикладом цього є російсько-українська війна, що триває з 2014 року та перейшла у фазу повномасштабного вторгнення в лютому 2022 року. Цей конфлікт наочно демонструє, наскільки складним є застосування традиційних норм міжнародного гуманітарного права до сучасних гібридних воєн, у яких переплітаються класичні бойові дії з інформаційними кампаніями, кібератаками, економічним тиском, участю нерегулярних формувань, приватних військових компаній та використанням

пропаганди. Війна в Україні виявила також серйозні проблеми із кваліфікацією самого конфлікту: Російська Федерація не оголошувала війну офіційно, що ускладнило міжнародно-правову оцінку ситуації, створюючи лазівки для уникнення відповідальності. Окрім того, війська РФ широко використовують нерегулярні формування без розпізнавальних знаків, що порушує один із ключових принципів МГП — розрізнення між комбатантами та цивільними. Це створює юридичну плутанину, а також серйозну загрозу для цивільного населення, яке опиняється в епіцентрі насильства без можливості захисту [2, с. 184].

Додатковим порушенням гуманітарного права є застосування терористичних методів проти мирного населення. Йдеться про навмисні обстріли густонаселених районів, лікарень, шкіл, гуманітарних коридорів. Знищення колонії в Оленівці, де утримувалися українські військовополонені, обстріли вокзалів, торговельних центрів, драматичного театру в Маріуполі, підвалів із дітьми — все це не просто трагедії, а свідомі злочини, які мають всі ознаки воєнних злочинів. Особливе занепокоєння викликає застосування заборонених озброєнь, зокрема касетних боєприпасів, фосфорних бомб, вибухових пристроїв з затримкою дії. Бомбардування об'єктів критичної інфраструктури — ТЕЦ, електростанцій, водогонів — також суперечить нормам МГП, оскільки ці дії мають на меті зламати опір цивільного населення шляхом створення гуманітарної катастрофи. Це є прямим порушенням принципу пропорційності, адже шкода, завдана цивільним, не виправдовується жодною воєнною необхідністю [6].

Окремо слід відзначити порушення права на гуманітарний доступ. Російська Федерація свідомо блокує або обстрілює гуманітарні конвої, перешкоджає евакуації цивільних, особливо з територій, які перебувають під окупацією. Такі дії суперечать обов'язку сторін конфлікту сприяти діяльності нейтральних гуманітарних організацій, як-от Міжнародний Комітет Червоного Хреста. У багатьох населених пунктах мешканці залишаються без доступу до води, їжі, ліків і медичної допомоги, що створює умови гуманітарної катастрофи і є грубим порушенням норм міжнародного права [3].

Попри численні порушення, міжнародні інституції, зокрема Міжнародний кримінальний суд, ООН, ОБСЄ, діють із суттєвими обмеженнями. Відсутність єдиного механізму покарання, наявність права вето в Раді Безпеки ООН ускладнює прийняття рішень, особливо коли агресором виступає постійний член цієї Ради. Випадки, коли Росія блокує резолюції щодо своїх дій, демонструють кризу механізмів колективної безпеки. Міжнародний кримінальний суд, попри певний прогрес, зокрема видачу ордерів на арешт вищого політичного керівництва РФ, не має повноважень виконати ці рішення без участі самих держав. Це породжує розрив між задекларованими нормами гуманітарного права і фактичною безкарністю порушників [5].

Особливо складною є ситуація із залученням до конфлікту приватних військових компаній, які не входять до складу офіційних збройних сил, але виконують фактичні бойові завдання. Такі формування, як ПВК «Вагнер», діють на території України з 2014 року, і зафіксовані численні злочини, вчинені їхніми членами. Проте визначення їхнього правового статусу залишається

проблематичним. Женевські конвенції не передбачають окремого регулювання таких суб'єктів, а отже виникає невизначеність у тому, чи можна застосовувати до них правила про військовополонених, чи вони мають бути розглянуті як незаконні комбатанти, відповідальні в межах кримінального права.

Україна активно займається документуванням злочинів, створюючи єдину доказову базу для подальших розслідувань. Проте ефективність переслідування винних наразі обмежена. Міжнародні суди потребують часу, а постраждалі очікують справедливості негайно. Цей розрив між правосуддям і справжнім болем жертв посилює недовіру до системи міжнародного права та потребує нових механізмів, які б дозволили оперативніше реагувати на масові порушення [4].

У контексті сучасної війни важливо також акцентувати на значенні правової обізнаності. В умовах гібридної агресії, коли інформаційний фронт стає не менш важливим за фізичний, знання населення про свої права, норми міжнародного права, принципи захисту цивільних мають вирішальне значення. Військовослужбовці, журналісти, волонтери, освітяни повинні мати доступ до якісної гуманітарної освіти. Формування культури дотримання МГП є не лише правовою, але й моральною відповідальністю кожного суспільства, яке прагне залишатися гуманним навіть у найтемніші часи.

З огляду на все вищезазначене, війна в Україні є не лише політичним і військовим конфліктом, але й критичним випробуванням для всієї системи міжнародного гуманітарного права. Вона виявила структурні слабкості чинного механізму, продемонструвала необхідність адаптації до нових форм воєнних дій і підкреслила важливість створення універсального механізму відповідальності за воєнні злочини. Світова спільнота має зробити висновки з українського кейсу, щоб не лише засудити агресора, але й запобігти повторенню подібних трагедій у майбутньому. Майбутнє гуманітарного права залежить від здатності міжнародних інституцій реагувати не лише юридично, але й морально, швидко та безкомпромісно.

Висновки. Міжнародне гуманітарне право потребує оновлення та адаптації до нових умов сучасної війни. Систематичні порушення норм МГП, залучення недержавних збройних формувань, обстріли цивільної інфраструктури, перешкоджання гуманітарному доступу та акти терору свідчать про необхідність перегляду наявних механізмів відповідальності та посилення впливу міжнародних інституцій. Ефективне застосування гуманітарного права потребує не лише чітких юридичних норм, але й політичної волі, інституційної спроможності та широкої правової обізнаності як серед військових, так і серед цивільного населення. Український кейс підкреслює, що гуманітарне право має не лише реагувати на наслідки війни, а й запобігати їм шляхом модернізації норм, активної гуманітарної дипломатії та забезпечення справедливості для жертв.

Список літератури

1. Гнатовський М.М., Короткий Т. Р., Хендель Н. В.. Міжнародне гуманітарне право. Довідник для журналістів. 2-ге вид., доповн. Одеса: Фенікс, 2015. 92 с.

2. Денисенко С. І. Актуальні проблеми міжнародного гуманітарного права в умовах сучасних збройних конфліктів. *Юридичний науковий електронний журнал*. 2016. №3. С. 182-184. URL: http://lsej.org.ua/3_2016/55.pdf

3. Застосування міжнародного кримінального права в національних і міжнародних судах: науковці та практики обговорили на конференції у ВС актуальні питання. *ВЕРХОВНИЙ СУД*. URL: https://supreme.court.gov.ua/supreme/pres-centr/news/1608750/

4. Назарчук Ірина. У війні проти України росія використовує заборонену зброю. Про що конкретно йдеться? *Юридична газета online*. 22 червня 2022. http://surl.li/ejbuo

5. РФ активно перешкоджає гуманітарним евакуаціям, ускладнюючи повернення українців з ТОТ. *Уповноважений Верховної Ради з прав людини Дмитро Лубінець*. URL: https://censor.net/ua/news/3532896/lubinets-pro-uskladnennya-povernennya-ukrayintsiv-z-tot

6. Теракт в Оленівці був спецопераційою рф проти постачання Україні зброї – ГУР. 07.08.2022. Укрінформ: Вебсайт. URL: http://surl.li/ejbtz

UDC 623.746-519:656.71(043.2)

K.Yu. Vodolaskova PhD,
(Boryspil International Airport, Ukraine)
S.G. Holovko, PhD, Associate Professor,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Regulatory Challenges and Practices of UAS Operations in the Vicinity of Major Airports: A Comparative Case Study of Boryspil and Barcelona-El Prat

The article examines legal and operational approaches to unmanned aircraft systems (UAS) near airports, using Boryspil (Ukraine) and Barcelona (Spain) as case studies. It compares international, EU, and national regulations, highlighting the need for harmonized legal frameworks and effective airport-level responses to ensure safe UAS integration into civil aviation.

Introduction

The integration of Unmanned Aircraft Systems (UAS) into civil aviation environments presents unique challenges, particularly in the vicinity of airports. Incidents such as the 2018 drone disruption at Gatwick Airport in the UK have heightened awareness of the regulatory and operational vulnerabilities at critical infrastructure sites. This paper compares the regulatory frameworks and operational practices at two major European airports – Boryspil International Airport (KBP) in Ukraine and Barcelona-El Prat Airport (BCN) in Spain – with a focus on UAS regulation and safety management.

2. Legal and Regulatory Framework

2.1 International and Regional Context

At the international level, the Chicago Convention (1944) and associated ICAO guidelines, including Doc 10019 on UAS, provide a foundational approach. However, regulation at the regional (EU) level has advanced further through the European Union Aviation Safety Agency (EASA) regulations: 2019/947 (operational rules), 2019/945 (technical requirements), and 2021/664 (U-space airspace management).

2.2 National Implementation

In Ukraine, UAS regulation is governed by the State Aviation Administration (SAAU), which aligns loosely with ICAO guidance. Authorization is required for any drone flight in controlled airport airspace, and procedures are security-focused, with military involvement in sensitive zones.

Spain, through AESA, implements the full EASA framework, requiring registration, licensing, remote identification, and pre-authorization for UAS operations. The airport vicinity is considered a restricted zone, and pilot projects are underway for U-space airspace integration.

3. Case Study: Boryspil International Airport (KBP)

Boryspil Airport is Ukraine's primary aviation hub, and its proximity to critical infrastructure and sensitive airspace makes UAS regulation a national security

matter. Drone operations are prohibited without specific approval, and enforcement is handled in coordination with military and police forces. The regulatory model is reactive, with limited technological capacity for real-time drone detection or geo-fencing.

Challenges include a lack of harmonized UAS procedures, minimal public awareness, and limited integration with civilian air traffic control systems. The current conflict environment further complicates the deployment of regulatory innovations.

4. Case Study: Barcelona-El Prat Airport (BCN)

As Spain's second-busiest airport, Barcelona-El Prat represents a model for modern UAS management. AESA's regulation mandates operator registration and flight authorization within airport zones. Collaboration with ENAIRE and the Guardia Civil has led to the deployment of geo-fencing systems and remote ID enforcement.

Barcelona is also a test site for U-space airspace integration, with digital air traffic control systems designed to safely integrate UAS into the lower-altitude airspace. This proactive, technology-driven model contrasts significantly with Boryspil's reactive, security-heavy framework.

5. Comparative Analysis

Aspect	Boryspil (KBP)	Barcelona (BCN)
Legal Framework	ICAO-based + national rules	Fully EASA-aligned
Airport Restrictions	Strict, military-enforced	Strict, tech-enforced
Enforcement Technology	Minimal, mostly manual	Geo-fencing, remote ID, U-space
Integration Strategy	Limited, reactive	Proactive, integrated via ENAIRE
Coordination	Military + ATC	ENAIRE + Guardia Civil + AESA

Conclusion

The comparison between Boryspil and Barcelona reveals a significant divergence in UAS regulatory maturity and operational preparedness. While Ukraine prioritizes national security in its UAS approach, Spain exemplifies a harmonized, innovation-friendly model embedded within the broader EU aviation strategy. For future regulatory developments – particularly within EU-aspiring or neighboring states – the Barcelona model may serve as a reference point for building resilient, scalable, and integrated UAS governance frameworks near airports.

References

1. International Civil Aviation Organization. *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), Doc 10019*. Montréal: ICAO, 2015. 132 p.
2. International Civil Aviation Organization. *Convention on International Civil Aviation (Chicago Convention)*. Chicago: ICAO, 1944. 96 p.

3. European Commission. *Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft*. Brussels: EU Publications Office, 2019. 45 p.

4. European Commission. *Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of UAS*. Brussels: EU Publications Office, 2019. 38 p.

5. European Commission. *Commission Implementing Regulation (EU) 2021/664 on a regulatory framework for the U-space*. Brussels: EU Publications Office, 2021. 51 p.

6. Agencia Estatal de Seguridad Aérea (AESA). *Guía sobre la normativa aplicable a UAS en espacio aéreo controlado*. Madrid: AESA, 2024. 64 p.

7. State Aviation Administration of Ukraine. *Rules for the Operation of Unmanned Aerial Vehicles in Controlled Airspace*. Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2023. 72 p.

8. ENAIRE. *U-space implementation in Spanish airspace: Pilot Programs and Future Scenarios*. Madrid: ENAIRE, 2023. 88 p.

9. Eurocontrol. *Drone Incursions at European Airports: Data Analysis and Risk Assessment*. Brussels: Eurocontrol, 2021. 58 p.

10. Department for Transport, UK. *Gatwick Airport Drone Incident Review and Recommendations*. London: UK Government Publishing, 2019. 42 p.

УДК 343.9

О.І. Леуськ,
С.Я. Лихова, доктор юридичних наук, професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Штучний інтелект і кримінальне право: нові виклики сьогодення

У тезах розглядаються питання кримінальної відповідальності за використання штучного інтелекту у кримінальних правопорушеннях. Визначено ролі користувача, розробника та посередника, проаналізовано міжнародні підходи й запропоновано напрямки розвитку законодавства.

Стрімкий розвиток цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту (далі по тексту - ШІ), формує нову реальність не лише в економічному та соціальному житті, а й у сфері права. ШІ дедалі частіше використовується не лише в легальних цілях (медицина, логістика, державне управління), а й у протиправній діяльності, зокрема у вчиненні кримінальних правопорушень. Особливої актуальності це питання набуває в умовах гібридних загроз, інформаційної війни та загальної цифровізації.

Сучасне кримінальне законодавство не завжди здатне ефективно реагувати на нові виклики, пов'язані з використанням ШІ. Зокрема, виникають питання: чи може система, що працює автономно, бути суб'єктом злочину? Хто несе відповідальність за наслідки її дій — користувач чи розробник? Ці та інші аспекти потребують доктринального аналізу й законодавчого врегулювання.

Штучний інтелект може бути задіяний у різних сферах злочинної діяльності: кіберзлочини (автоматизовані атаки на сервери, боти для фішингу), використання deepfake для шантажу, незаконна торгівля із залученням криптовалют, застосування автономної зброї. Таке використання ШІ суттєво ускладнює доведення умислу, ідентифікацію особи та сам процес кваліфікації правопорушення.

У кримінальному праві ключову роль відіграє суб'єкт злочину — фізична осудна особа. ШІ не має правового статусу особи, не може діяти зі злочинним умислом, а тому не може бути самостійним суб'єктом відповідальності. Водночас користувач, розробник або посередник можуть нести відповідальність залежно від їхніх дій. Особливої уваги заслуговують ситуації, коли система діє автономно або генерує контент, який пізніше використовується у злочинних цілях.

ЄС розробив проєкт AI Act, який класифікує ризики ШІ та визначає обов'язки розробників. У США вже існує практика притягнення до відповідальності за недбалість у створенні або використанні ШІ. В Україні таких норм поки немає, однак можна застосовувати загальні положення про співучасть, пособництво, а також статті про кіберзлочини (361–363 ККУ).

Штучний інтелект стає потужним інструментом, який може як допомагати суспільству, так і створювати загрози. Для протидії злочинності необхідно запровадити спеціальні правові механізми, уточнити роль

розробника, користувача й посередника, сформувати підходи до регулювання автономних систем, у тому числі шляхом правового закріплення понять цифрового пособництва та цифрової необережності.

Застосування ШІ у кримінальному контексті вимагає переосмислення базових понять кримінального права, зокрема понять умислу, вини, причинного зв'язку. Адже дії системи ШІ можуть не залежати безпосередньо від оператора чи розробника, що ставить під сумнів традиційні підходи до встановлення вини.

Крім того, зростає кількість випадків, коли злочин вчиняється з використанням ШІ як допоміжного або навіть основного засобу. Це може бути як допомога у плануванні злочину, так і повністю автоматизоване виконання протиправної дії.

Зокрема, значної загрози набуває використання генеративного ШІ для створення фальшивих документів, підроблених відео або аудіозаписів із метою дискредитації, шантажу чи обману правоохоронних органів.

У контексті фінансових злочинів ШІ може бути використаний для виявлення вразливостей у банківських системах, організації складних схем відмивання коштів або автоматичного виведення активів за кордон через офшорні рахунки.

Розробник може нести відповідальність у випадках, коли програмне забезпечення умисно створене з функціями, що полегшують або сприяють вчиненню злочину. Така ситуація може кваліфікуватися як пособництво.

Користувач, який запускає або дає команди системі ШІ, несе відповідальність у разі, якщо він знав або повинен був знати про можливі протиправні наслідки. Наприклад, використання чат-бота для незаконного збору персональних даних.

У країнах Європейського Союзу вже сьогодні ведуться дискусії про запровадження так званої «штучної юридичної особи» для автономних систем. Такий підхід дозволив би частково перекласти відповідальність із людини на технологію або компанію-власника.

Окремі штати США запроваджують обов'язкову сертифікацію ШІ-рішень, які можуть мати вплив на права людини. Це стосується, зокрема, програм розпізнавання облич, які застосовуються в правоохоронних органах.

Висновки

Варто створити єдиний кодекс етичних стандартів для розробників ШІ, який матиме правову силу в разі порушення. Такий документ має регулювати базові принципи безпечного використання та проектування алгоритмів.

На рівні кримінального законодавства доцільно внести зміни щодо кваліфікації дій за участю автономних систем — наприклад, встановити поняття цифрового посередництва або технологічного посібника у злочині.

Список літератури

1. Шелест В. М. Штучний інтелект як об’єкт правового регулювання: проблеми та перспективи // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право. – 2022. – Вип. 70. – С. 146–150.

2. Bohoslavsky J. P., Fernández M. E. Artificial Intelligence and Human Rights: Challenges and Possible Regulatory Responses // Southwestern Journal of International Law. – 2021. – Vol. 27. – P. 245–266.

3. Селіванов А. І. Штучний інтелект: правовий статус і виклики цивілізаційного розвитку // Право України. – 2020. – № 3. – С. 17–30.

4. Таран І. І. Проблеми визначення правосуб’єктності штучного інтелекту в умовах цифровізації // Форум права. – 2021. – № 1. – С. 256–261.

5. Гураль С. С. Нові підходи до кваліфікації злочинів, вчинених з використанням інформаційних технологій // Кібербезпека в Україні: правові та організаційні аспекти. – Київ: Право України, 2022. – С. 102–111.

6. Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Harmonised Rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and Amending Certain Union Legislative Acts (Proposal). – Brussels: European Commission, 2021. – COM(2021) 206 final. – 108 p.

7. Pasquale F. The Black Box Society: The Secret Algorithms That Control Money and Information. – Cambridge: Harvard University Press, 2015. – 320 p.

УДК 339.9:330.3:334 (043.2)

З.В. Пічкурова, к.е.н., доц., А.А. Сасин
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Трансформація зовнішньоекономічних відносин в умовах війни в Україні

У дослідженні проаналізовано вплив війни в Україні на міжнародні економічні відносини. Розглянуто ключові виклики, зміни у світовій торгівлі, інвестиційних потоках та співпраці з міжнародними партнерами. Визначено перспективи післявоєнного відновлення України та її інтеграції у глобальну економіку.

Російське повномасштабне вторгнення в Україну в 2022 році стало одним із найбільших викликів для сучасної системи міжнародних економічних відносин. Воєнний конфлікт призвів до суттєвої дестабілізації світової економіки, порушення логістичних ланцюгів, різкого зростання цін на енергоносії та продукти харчування, а також змін в глобальному русі капіталів [1].

Для України війна стала фактором глибокого економічного спаду, втрати інфраструктури, відтоку людського капіталу та іноземних інвестицій. У той же час, країна отримала безпрецедентну міжнародну підтримку, яка стала основою для формування нової моделі економічної інтеграції з Європейським Союзом (ЄС) та міжнародними фінансовими структурами [2].

На сьогодні ключовими викликами для міжнародних економічних відносин у контексті війни в Україні є наступні:

1. Дестабілізація світової економіки. Війна в Україні спричинила порушення глобальних ланцюгів постачання, зростання цін на енергоресурси та продовольчі товари. Багато країн відчули дефіцит зернових культур, оскільки Україна є одним із провідних світових експортерів пшениці, кукурудзи та соняшникової олії [3].

2. Санкції та економічна ізоляція росії. Західні країни запровадили масштабні санкції проти росії, що вплинуло на світові фінансові ринки та змусило більшість компаній залишити російський ринок. Водночас, це відкрило нові можливості для розвитку економічної співпраці між Україною та країнами ЄС [1].

3. Зниження інвестиційної привабливості регіону. Через воєнні дії Україна та сусідні країни зазнали відтоку іноземних інвестицій, що стало одним із ключових економічних викликів. Закордонні інвестори не ризикують вкладати кошти в країну, на території якої тривають бойові дії, що ускладнює процес економічного відновлення [4].

Водночас, Україна намагається долати негативні наслідки, спричинені війною, внаслідок чого відбувається трансформація зовнішньоекономічних відносин та формуються нові тенденції економічної взаємодії з країнами світу. Зокрема, Україна почала активно перебудовувати свою зовнішньоекономічну політику у бік західних партнерів. Цей процес має декілька ключових проявів:

1. Переорієнтація зовнішньої торгівлі України. Частка ЄС у структурі зовнішньої торгівлі України зросла з 40% (до початку війни у 2022 р.) до понад 60% у 2024 р. Торгівля з росією скоротилася до 5,8% [5] (див. Табл. 1).

2. Поглиблення інтеграції у європейський ринок. За період повномасштабної війни українським товарам надано преференційний доступ до ринку ЄС. Також триває гармонізація законодавства та технічних регламентів [5].

3. Посилення військово-промислової кооперації. Під впливом воєнних загроз створюються спільні підприємства з європейськими компаніями у сфері виробництва дронів, боєприпасів та бронетехніки [4].

4. Збільшення обсягів фінансової допомоги. Україна отримала у значних обсягах макрофінансову допомогу, серед якої:

– гранти та кредити від ЄС на суму 17 млрд дол. США;

– допомога від США (включаючи військову) на суму 23 млрд дол. США;

– гарантії та позики від Міжнародного валютного фонду, Світового банку тощо на суму 15 млрд дол. США [2]; [3].

Таблиця 1.

Динаміка зміни зовнішньої торгівлі України (% до загального обсягу)

Регіон / країна	**Роки**			
	2021	**2022**	**2023**	**2024**
ЄС	39,8%	52,1%	59,3%	62,7%
Азія	26,4%	22,3%	21,8%	20,5%
СНД(без РФ)	9,1%	7,6%	6,2%	5,8%
Росія	18,2%	5,4%	1,3%	<1%
США	3,5%	6,1%	7,9%	8,2%

Незважаючи на війну, яка триває в України, існує необхідність розробки програм та заходів, які дозволять не лише відновити вітчизняну економіку, але й створити передумови для її подальшого розвитку. Серед пріоритетів післявоєнного розвитку України з урахуванням перспектив розвитку зовнішньоекономічних відносин варто виділити наступні.

Першочерговим завданням для України є питання післявоєнної відбудови. На сьогодні понад 160 тис. об’єктів інфраструктури зруйновано або пошкоджено і їх відновлення потребуватиме понад 400 млрд дол. США протягом наступного десятиліття [2]. У центрі уваги процесу відновлення знаходяться дороги, залізничні об’єкти, порти, мости та енергетичні об’єкти.

Цифровізація економіки є інщим важливим вектором післявоєнного відновлення. В умовах війни Україна здійснила значний прорив у цифрових послугах, зокрема, особливого розвитку набули застосунок «Дія», електронні державні послуги, кібербезпека, онлайн-банкінг, які стали зразком навіть для країн ЄС [5].

Європейський зелений курс є ще одним орієнтиром для післявоєнного відновлення вітчизняної економіки. У цьому контексті слід враховувати, що Україна має потенціал у відновлюваній енергетиці – понад 70 ГВт технічно досяжної потужності сонця і вітру [3].

Особливо важливе значення для України має інтеграція до ЄС. Початок перемовин про членство відкриває нові можливості для доступу до фондів, підтримки фермерства, малого бізнесу та інновацій [4].

Висновок

Під впливом війни в Україні світова економіка змушена адаптуватися до нової геоекономічної реальності. На сьогодні Україна перебуває в процесі суттєвої трансформації зовнішньоекономічних зв'язків, проте, незважаючи на складні умови, демонструє стійкість та прагнення до модернізації й інтеграції у світову економіку. Подальший розвиток зовнішньоекономічних відносин України залежить від глибини економічних реформ, політичної стабільності та обсягів інвестицій.

Список літератури

1. IMF. Ukraine Economic Outlook 2023–2025 [Electronic resource]. – Access: https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2023/10/10/world-economic-outlook-october-2023.
2. World Bank. Post-War Recovery and Investment in Ukraine [Electronic resource]. – Access: https://www.worldbank.org/en/news/feature/2023/03/23/ukraine-recovery-and-reconstruction.
3. OECD. Economic Impact of the War in Ukraine [Electronic resource]. – Access: https://www.oecd.org/economy/ukraine-economic-impact.htm
4. Міністерство економіки України. Оцінка втрат та сценарії відновлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=53b0b5f1-e0e5-4bd9-a9d5-c2d774268418.
5. Центр економічної стратегії. Відбудова України: виклики та пріоритети [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ces.org.ua/research/ukraine-rebuild/

УДК 336.744:[336.71:004.738.5(043.2)

З.В. Пічкурова, к.е.н., доц., А.О. Левченко
(Державний університет "Київський авіаційний інститут", Україна)

Роль криптовалют у розвитку міжнародних економічних відносин

Здійснено аналіз впливу криптовалют на міжнародні економічні відносини, досліджено тенденції економічної децентралізації, міжнародної торгівлі, геополітичної конкуренції, фінансової інклюзії та правові виклики. Підкреслено роль криптовалют у формуванні нових економічних і соціальних міжнародних зв'язків, розвиток яких потребує глобальної співпраці.

Криптовалюти за півтора десятиліття еволюціонували від технологічних експериментів до потужного чинника розвитку міжнародних економічних відносин. Їх децентралізований характер, незалежність від традиційних фінансових інституцій та здатність забезпечувати швидкі транскордонні транзакції впливають на розвиток економічної дипломатії, міжнародної торгівлі, геополітичну конкуренцію та соціальні процеси.

Глобальне поширення криптовалют охоплює країни з різними економічними системами, що підкреслює їхню роль у формуванні нових зовнішньоекономічних зв'язків. Наприклад, за даними аналітичної компанії Chainalysis, у 2024 році країни, що розвиваються, такі як Індія, Нігерія та Індонезія, лідирують за рівнем прийняття криптовалют [2], тоді як розвинені економіки, як США, зберігають значний вплив через інституційні інвестиції (табл. 1.).

Таблиця 1.

Топ-10 країн за світовим індексом впровадження криптовалют у 2024 році

Країна	Загальний рейтинг	Рейтинг вартості централізованого обслуговування	Рейтинг значення DeFi
Індія	1	1	3
Нігерія	2	5	2
Індонезія	3	6	1
США	4	2	4
В'єтнам	5	3	6
Україна	6	7	5
росія	7	11	7
Філіппіни	8	9	14
Пакистан	9	4	18
Бразилія	10	8	10

Наведені в таблиці дані демонструють, як криптовалюти перетворюються на інструмент економічної активності в різних регіонах, формують нові фінансові потоки та впливають на міжнародні економічні відносини. До того ж, децентралізація, яку забезпечують цифрові активи, змінює економічний ландшафт і баланс сил між державами. Криптовалюти також дозволяють країнам та приватним власникам здійснювати транзакції без посередництва банків чи систем на кшталт SWIFT.

Для держав, що перебувають під санкціями, таких як Іран та Північна Корея, цифрові активи стають інструментом фінансування торгівлі та уникнення економічних обмежень. Це послаблює контроль великих економік, зокрема США, над глобальними фінансами, що викликає напругу у міжнародних відносинах. Водночас, децентралізація послаблює монополістичний вплив країн на грошову політику шляхом створення нових форм економічної автономії, але й підвищує їх вразливість до неконтрольованих фінансових потоків [4].

Варто зауважити, що у міжнародній торгівлі криптовалюти відіграють дедалі більш помітну роль, спрощуючи механізм здійснення транзакцій та знижуючи витрати. Стейблкоїни, такі як USDT, є популярними в країнах із нестабільними валютами, оскільки забезпечують збереження вартості та швидкі розрахунки. Це сприяє інтеграції економік країн, що розвиваються, у глобальні ринки, зменшуючи залежність від традиційних фінансових посередників. Проте, відсутність єдиних міжнародних стандартів регулювання криптовалют створює ризики відмивання грошей і фінансування незаконної діяльності, що ускладнює співпрацю між державами та вимагає нових підходів до регулювання криптоактивів [3].

Впливу криптовалют зазнає також геополітична конкуренція, зокрема внаслідок формування цифрових валют центральних банків (далі «CBDC»). Китай активно просуває цифровий юань з метою послаблення домінування долару США у міжнародних розрахунках. Європейський Союз і США досліджують можливості власних CBDC, що може в подальшому змінити структуру глобальної фінансової системи.

У свою чергу, неконтрольовані криптовалюти, такі як Bitcoin, конкурують із CBDC, особливо в країнах, що розвиваються, де їхнє масове прийняття може підірвати зусилля великих економік щодо просування власних цифрових валют [1]. Така боротьба за фінансове лідерство формує нові тенденції на арені геополітичного суперництва, де технології перетворюються на інструмент влади.

Крім того, міжнародне право стикається з новими викликами, спричиненими унікальною природою криптовалют. Анонімність блокчейн-транзакцій ускладнює відстеження фінансових потоків, що викликає занепокоєння окремих міжнародних інституцій, такі як Міжнародна група з протидії відмиванню брудних грошей (FATF).

Відсутність єдиного регуляторного підходу перешкоджає боротьбі з кіберзлочинністю, ухиленням від податків і незаконною торгівлею. Водночас, надмірне регулювання може стримувати інновації та перешкоджати надходженню інвестицій, що вимагає від держав пошуку балансу між вільним

розвитком фінансового ринку та безпекою. У результаті, розробка міжнародних стандартів щодо регулювання криптовалют стає необхідною умовою стабільності світової фінансової системи.

Соціальний вимір криптовалют проявляється в їхній здатності сприяти фінансовій інклюзії. Вони забезпечують доступ до фінансових послуг для значної кількості користувачів, що не мають банківських рахунків, особливо в Африці, Латинській Америці та Південній Азії. За даними статистичної компанії Statista [5], кількість верифікованих користувачів криптовалют у світі досягла 560 мільйонів у 2024 році (рис. 1.).

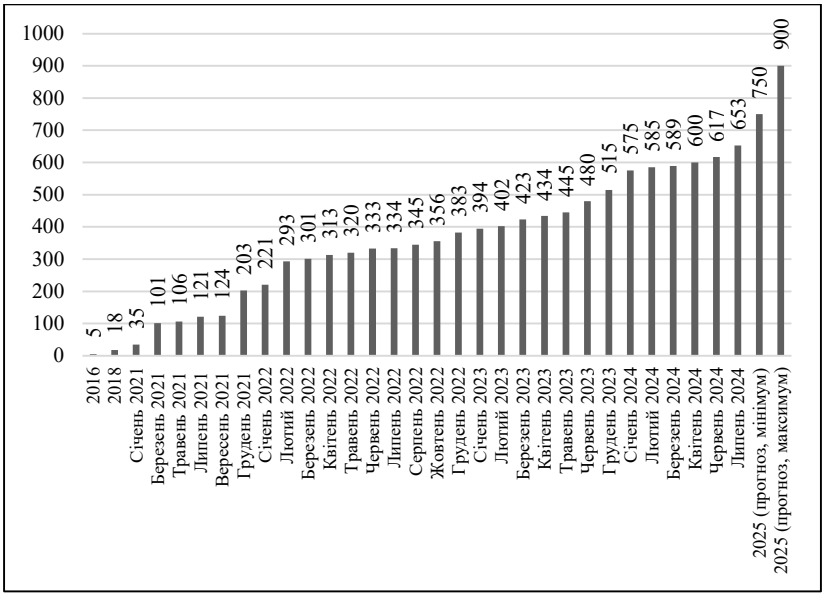


Рис. 1. Кількість користувачів криптовалют у світі з 2016 по 2025 рр. (млн. ос.)

Така динаміка сприяє економічному розвитку та зменшенню нерівності, а також зміцнює соціальну стабільність, яка є важливою для міжнародних економічних відносин. Однак, цифровий розрив, пов'язаний із неоднаковими можливостями доступу до цифрових технологій, залишається перешкодою для повноцінної реалізації потенціалу криптовалют.

Висновок

На сьогодні криптовалюти вже сутєєво змінили міжнародні економічні відносини внаслідок їх здатності впливати на економіку, політику та соціальні процеси. Вони відкривають нові можливості для міжнародної торгівлі, інклюзії та економічної свободи, але, водночас, створюють виклики для безпеки, регулювання та геополітичної стабільності. Майбутнє їхнього впливу залежить

від здатності міжнародної спільноти виробити спільні правила, які збалансують інновації та безпеку. Криптовалюта є не лише технологією, а й новим виміром глобальної взаємодії, що вимагає співпраці та стратегічного осмислення.

Список літератури

1. BTC PEERS: Bitcoin's Role in Geopolitics How Cryptocurrencies Are Reshaping International Relations [Electronic resource]. – Access: https://btcpeers.com/bitcoins-role-in-geopolitics-how-cryptocurrencies-are-reshaping-international-relations.
2. Chainalysis: The 2024 Global Adoption Index: Central & Southern Asia and Oceania (CSAO) Region Leads the World in Terms of Global Cryptocurrency Adoption [Electronic resource]. – Access: https://www.chainalysis.com/blog/2024-global-crypto-adoption-index.
3. Council on Foreign Relations: The Crypto Question – Bitcoin, Digital Dollars, and the Future of Money [Electronic resource]. – Access: https://www.cfr.org/backgrounder/crypto-question-bitcoin-digital-dollars-and-future-money.
4. Futuramo: How Cryptocurrency is Shaping the Future of Global Trade [Electronic resource]. – Access: https://futuramo.com/blog/how-cryptocurrency-is-shaping-the-future-of-global-trade.
5. Statista: Number of identity-verified cryptoasset users from 2016 to November 2024, with a forecast for 2025 [Electronic resource]. – Access: https://www.statista.com/statistics/1202503/global-cryptocurrency-user-base.

УДК 656.7:004.056.5:341.24

І.В. Поліщук
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Міжнародно-правове забезпечення кібербезпеки у сфері цивільної авіації

Розкрито актуальні питання міжнародно-правового забезпечення кібербезпеки у сфері цивільної авіації. Проаналізовано існуючі міжнародні нормативно-правові акти, діяльність провідних міжнародних організацій щодо формування політики кіберзахисту. Особливу увагу приділено викликам та загрозам, що виникають у зв'язку з цифровізацією авіаційної галузі, та перспективам їх подолання.

На сучасному етапі новітніх інформаційних технологій кібербезпека у глобалізованому світі набуває неабиякої актуальності. Адже вона є «правозахисним проявом сучасного віртуального світу на тлі інноваційного розвитку інформаційних технологій» [5, с.5]. Стрімкий розвиток цифрових інформаційних технологій у сфері авіації сприяє не лише зростанню позитивних потенціалів її розвитку, а й супроводжується низкою негативних явищ. Цивільна авіація – це високотехнологічна галузь, але разом з тим, «це система відкритого типу, на яку має вплив широкий спектр технічних, природних та економічних загроз. Кожна загроза призводить до потенційної можливості розвитку низки ризиків» [9, с.43]. Особливо це стосується кіберзагроз, які не лише гальмують позитивні тенденції розвитку, а й створюють небезпеки для функціонування галузі. Тому одним із сучасних викликів безпеці цивільної авіації є проблема забезпечення її кібербезпеки.

Актуальність кібербезпеки у сфері цивільної авіації загострюється через широке та «всебічне використання мережі «Інтернет» та бездротового зв'язку в системах передачі інформації між способами передачі зв'язку диспетчерських пунктів аеропортів, повітряних суден (ПС) та аеронавігаційних систем забезпечення і контролю повітряного руху по маршруту польоту» [4, с.25]. Водночас, цим авіаційним системам бракує методів автентифікації джерел, можливості перевірки цілісності вмісту інформації тощо. «Це відкриває можливості для хакерів потенційно створювати шахрайські інформаційні повідомлення або маніпулювати вмістом повідомлень, які, в свою чергу, можуть вплинути на органи керування ПС або відхилити його від заданого курсу польоту» [4, с.25]. Успішна кібератака може призвести не тільки до ускладнень в роботі функціональних авіаційних систем, а й до аварійних та катастрофічних ситуацій із значними наслідками. Оскільки цивільна авіація як високотехнологічна галузь дедалі більше залежить від цифрових технологій, це робить її вразливою і до кібератак та інших кіберзагроз, найпоширенішими з яких є віруси, провокування псевдовідмов під час роботи різних систем та комплексів ПС, управління повітряним рухом, перехоплення та крадіжка даних, тощо. Тому забезпечення кібербезпеки у сфері цивільної авіації є надважливим і для безпеки пасажирів, і авіаційного персоналу, і ПС, і авіаційної інфраструктури (яка відноситься до об'єктів критичної інфраструктури), в умовах зростаючих кіберзагроз, протидія яким потребує системного та

комплексного підходу. З огляду на зазначене, забезпечення належного міжнародно-правового регулювання кібербезпеки стає необхідною умовою безпечного функціонування авіаційної сфери. Дієві міжнародні норми та узгоджені зусилля держав у боротьбі з кіберзагрозами мають бути ключовим фактором для гарантування стійкості та надійності авіаційної системи.

Кібербезпека авіації, на думку В.Філінович, має насамперед передбачати «здійснення дій, спрямованих на управління ризиками в кібернетичному просторі. І здійснювати їх мають як окремі компанії, так і цілі уряди для захисту конфіденційності, правдивості та доступності інформації та різних активів у кіберпросторі» [10, с.39], який на сьогоднішній день активно використовується у сучасних гібридних війнах, у сферах галузевої конкуренції та з інших корисливих мотивів. Світова практика боротьби з кіберзагрозами, які не мають державних кордонів, також «доводить необхідність міждержавної співпраці у боротьбі з останніми» [8, с.214].

Ключову роль у формуванні міжнародних стандартів кібербезпеки відіграє Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО). Вона розробляє глобальні норми та рекомендації, спрямовані на захист цивільної авіації від кіберзагроз. ІКАО також сприяє координації між державами та іншими міжнародними авіаційними організаціями (ІАТА, ЄАСА, ЄКАК, Євроконтроль), які «спрямовують свої спільні зусилля на якнайшвидшу розробку міжнародних стандартів забезпечення кібербезпеки ЦА, …формують основоположні принципи майбутніх правових моделей забезпечення кібербезпеки ЦА на універсальному, регіональному та державному рівнях» [3, с.38]. Важливе значення для регламентації міжнародного співробітництва держав-членів ІКАО з вирішення проблем кібербезпеки цивільної авіації має резолюція А-40-10 «Вирішення проблем кібербезпеки в цивільній авіації», прийнята в рамках 40-ї сесії Асамблеї ІКАО в 2019 році, якою було проголошено важливість взаємного вирішення проблем авіаційної кібербезпеки та визначено план заходів щодо протидії держав-членів ІКАО кіберзагрозам у сфері цивільної авіації, зокрема: прийняття та виконання стратегії кібербезпеки; організація державно-галузевого партнерства як на національному, так і на міжнародному рівнях; обмін інформацією щодо кіберзагроз, превентивних заходів та інцидентів, що вже мали місце; розробка принципів та залучення ресурсів для забезпечення структурної безпеки авіаційних систем і їх стійкості, способів передачі даних; передбачення та виявлення загроз і ризиків, які виникають в результаті авіаційних кіберінцидентів; всіляке заохочення вироблення загального розуміння країнами-учасницями суті і небезпеки кіберзагроз, ризиків, параметрів визначення важливості об’єктів, які потребують забезпечення захисту, так само як і координації дій між державними органами і галуззю при розробці політики та планів щодо забезпечення кібернетичної авіаційної безпеки [1]. Також в ході зазначеної Асамблеї було схвалено і Глобальний план авіаційної безпеки – директивний документ високого рівня з питань стратегії, планування та впровадження заходів безпеки, який передбачив запровадження міжнародним співтовариством скоординованих дій, спрямованих на досягнення п’яти пріоритетних результатів у сфері кібербезпеки галузі: 1) підвищення

обізнаності про кібернетичні ризики та загрози, а також забезпечення адекватного і своєчасного реагування на них; 2) удосконалення технологічних ресурсів і впровадження інновацій; 3) забезпечення дієвості нагляду і контролю; 4) впровадження культури безпеки і підвищення рівня людського потенціалу; 5) розширення меж співпраці і надання більш об'ємної підтримки [2].

Зазначені директивні документи відповідають положенням Резолюції Ради безпеки ООН щодо боротьби з кібертероризмом (Doc 2341, 2017), яка стосується і кіберзагроз для транспорту та його інфраструктури. Резолюція визначила координаційну функцію ООН у допомозі державам для зміцнення кіберстійкості та закликала держави обмінюватися інформацією, найкращими практиками та технічною допомогою для протидії кіберзагрозам. При цьому наголошено, що держави мають вдосконалювати своє національне законодавство щодо кібербезпеки та кібертероризму, а також визнавати важливість участі приватних компаній у забезпеченні кіберзахисту та кібербезпеки [7].

Європейське агенство з безпеки авіації (ЄАСА), яке має за мету створити до 2030 року стійку авіаційну систему ЄС, здатну виявляти, запобігати та реагувати на кіберзагрози, прийняло ряд рекомендацій щодо забезпечення кібербезпеки та захисту авіаційної системи від кіберзагроз, положення яких визначають необхідність:

- інтеграції кібербезпеки в авіаційний менеджмент безпеки, наголошуючи, що кіберризики повинні розглядатися як частина загальної системи управління безпекою;
- оцінки кіберризиків, кіберзагроз та вразливостей, яку повинні регулярно проводити оператори, виробники та постачальники авіаційної техніки та послуг;
- кіберзахисту функціональних авіаційних систем – бортових систем, систем управління повітряним рухом, баз даних і мереж від несанкціонованого доступу та атак;
- повідомлення про усі кіберінциденти, які можуть вплинути на безпеку польотів;
- інноваційних підходів, особливо при врахуванні ризиків при застосуванні безпілотних систем, штучного інтелекту, цифрових платформ у авіації; тощо [6].

Попри наявність міжнародних стандартів та механізмів щодо забезпечення кібербезпеки ЦА, існують виклики, які пов'язані зі швидким розвитком технологій: кіберзагрози еволюціонують, що вимагає постійного оновлення стандартів та практик по боротьбі з ними, або пов'язані з різницею в рівні розвитку кібербезпеки між країнами: не всі держави мають однакові ресурси та можливості для впровадження ефективних заходів кіберзахисту. Аналіз проведених досліджень Міжнародною асоціацією повітряного транспорту (ІАТА) за напрямами ідентифікації потенційних кіберзагроз для авіаційних систем управління повітряним рухом, авіоніки, бортових інформаційних систем, а також інфраструктури аеропортів, свідчить про зростання уваги світової спільноти до проблем кібербезпеки в ЦА. Особлива увага приділяється оцінці вразливостей, розробці методів протидії кібератакам

та вдосконаленню стандартів безпеки. Тобто, зрозуміло, що заходів щодо стримування величезного масиву кібератак в ЦА впроваджується досить багато, але наразі цього недостатньо. «Потрібні додаткові дії щодо введення запобіжних заходів проти подібних зазроз у процесі розробки, використання і обслуговування авіаційних навігаційних систем» [10, с.40], а також удосконалення технологічних ресурсів і інновацій авіаційної сфери. Головним завданням у цьому напрямку на сьогодні є скоординувати політику авіаційних держав задля прийняття насамперед сучасних правових стандартів протидії кіберзлочинності у авіаційній сфері. Актуальним в контексті посилення міжнародної співпраці вбачається обмін інформацією про кіберінцеденти через створення спільних платформ для реагування на кіберзагрози, підвищення обізнаності авіаційного персоналу про кіберризики, проведення спільних навчань, тренінгів та симуляцій, а також розробка єдиних протоколів реагування на кіберінциденти. Важливим напрямом у боротьбі з виявленням та запобіганням кіберзагрозам та кіберінцидентам є використання інноваційних технологій – застосування штучного інтелекту, систем раннього виявлення атак, шифрування даних, а також тестування систем на вразливості.

Висновки

Підсумовуючи вищевикладене, слід визнати, що забезпечення кібербезпеки у сфері цивільної авіації в сучасних умовах цифрових технологій є критично важливим елементом глобальної безпеки, оскільки цифрові авіаційні системи стають потенційними об’єктами кіберзагроз, кількість яких з кожним роком зростає. Міжнародно-правове регулювання у цій сфері поки що залишається фрагментарним і потребує додаткової уніфікації. Подальше вдосконалення міжнародно-правового механізму має бути спрямоване на створення обов’язкових універсальних стандартів та практик, спрямованих на захист інформації та інформаційних систем в усіх сегментах авіаційної сфери, на запровадження систем моніторингу та відповідальності за порушення кібербезпеки. Головним завданням цього напряму вбачається координація дій всіх авіаційних держав та міжнародних організацій, спрямованих на вироблення сучасних стратегій та механізмів генерації нових рішень, що дозволять адекватно реагувати на кіберзагрози, передбачати та вміти протидіяти їм. А глибока інтеграція та системний підхід до реалізації цих стратегічних рішень як на національному, так і на міжнародному рівнях буде запорукою безпечного розвитку міжнародної цивільної авіації.

Список літератури

1. Вирішениня проблем кібербезпеки в цивільній авіації. Резолюції Асамблеї ІКАО. 40-а сесія. Монреаль: ІКАО, 2019 р. A40-10. 174 с. С. 50–53. URL: https://www.icao.int/Meetings/a40/Documents/Resolutions/a40_res_prov_ru.pdf.

2. Глобальний план забезпечення авіаційної безпеки (ICAO, Doc 10118, видання 2, 2024 року).

3. Григоров О. М. Міжнародно-правові стандарти кібербезпеки цивільної авіації / О. М. Григоров. *Актуальні проблеми держави і права: зб. наук. пр. Вип.91.* Одеса: Гельветика, 2021. С.38-43.

4. Ілієнко А. В., Ілієнко С. С., Кваша Д. С. Сучасний стан забезпечення кібернетичної безпеки цивільної авіації України та світу. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка».* 2020. Том 1, №9. С.24-36.

5. Лісовська Ю. П. Кібербезпека: ризики та заходи: навч. посібник. К.: Вид. дім «Кондор», 2019. 272 с.

6. Правила інформаційної та кібербезпеки EASA – вплив на авіацію. URL: https://sassofia.com/blog/easa-information-cyber-security-regulations-impact-on-aviation/

7. Резолюції Ради безпеки ООН щодо боротьби з кібертероризмом (Doc 2341, 2017). URL: https:// mfa.gov.ua/news/54673

8. Степанцова Ю. Ю. Запобігання незаконного втручання в діяльність авіаційних комунікацій. CORE. [Електронний ресурс]. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/286613422.pdf

9. Суслова Г. А., Бугайко Д. О. Нові стратегії ІКАО по безпеці цивільної авіації. Матеріали науково-практичної конференції «Цивільна авіація України XXI століття». К.: НАУ, 2018. URL: https://www.researchgate.net/publication/360963713_Novi_strategii_IKAO_po_bezpeci_civilnoi_aviacii

10. Філінович В. В. Кібербезпека та загрози авіаційній сфері: правовий аспект. Юридичний вісник. Повітряне і космічне право: наук.пр.Нац.авіац.ун-ту / Нац.авіац.ун-т. Київ: Вид-во НАУ, 2021, Том 3. №60. С.38-44.

УДК 339.9

А.А. Прокоп'єва, к.е.н., доцент
М.І. Алістратова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Криптовалюти як чинник трансформації сучасної фінансової системи: роль у розвитку смарт-авіації

У цій роботі досліджуються основні аспекти впливу криптовалют на фінансову систему та особливості їхнього застосування в авіації, а також аналізуються перспективи їх використання для покращення ефективності міжнародних розрахунків та оптимізації операцій в авіаційних компаніях.

Трансформація фінансової системи через впровадження криптовалют є важливим етапом у розвитку глобальних фінансів. Криптовалюти, зокрема Bitcoin, Ethereum та інші цифрові активи, відзначаються високим рівнем децентралізації та незалежності від традиційних фінансових установ. Ці цифрові валюти функціонують без участі державних або приватних банків, що знижує витрати на транзакції та дає можливість здійснювати міжнародні перекази без посередників. Використання криптовалют дозволяє значно прискорити процеси розрахунків, оскільки транзакції можуть бути виконані за лічені хвилини, без необхідності чекати на обробку через банки чи інші фінансові інститути [1].

У сучасну епоху фінансові технології розвиваються з небаченою швидкістю, а криптовалюти разом із блокчейн-платформами стають одними з головних чинників цієї трансформації. Вони змінюють не лише підходи до здійснення платежів, а й формують нову архітектуру глобальної економічної взаємодії. Авіаційна сфера, як невід'ємна частина світового фінансового середовища, також починає адаптувати цифрові валюти до своїх операційних процесів.

Концепція смарт-авіації передбачає впровадження інноваційних цифрових технологій у всі етапи функціонування авіатранспортної системи — від планування маршрутів і керування польотами до автоматизованих сервісів обслуговування пасажирів та бронювання. У цьому контексті криптовалюти відкривають нові перспективи, зокрема:

– сприяють створенню безпечної, децентралізованої інфраструктури для фінансових операцій;
– дозволяють реалізовувати програми лояльності та активи у вигляді токенів;
– слугують технічною базою для розвитку NFT-технологій у квиткових системах і забезпечують можливість здійснення мікроплатежів, наприклад, для безпілотної доставки;
– інтегруються в цифрові системи управління повітряним рухом, особливо у сфері дронів.

Запровадження таких рішень вимагає ефективних платіжних інструментів, які працюють незалежно від банківських структур, мають високу

швидкість обробки транзакцій, невеликі комісії та є доступними на міжнародному рівні. У результаті, криптовалюти стають не просто альтернативою традиційним фінансовим засобам, а потужним каталізатором для глибокої модернізації фінансової системи.

Криптовалюти є більш безпечними завдяки використанню технології блокчейн, яка гарантує прозорість, незмінність та захищеність від шахрайства. Блокчейн, завдяки своїй структурі, дозволяє кожному учаснику мережі перевірити транзакції в реальному часі, що робить їх надзвичайно надійними для використання в різних галузях, зокрема у фінансах та міжнародних розрахунках [3]. Ці характеристики криптовалют сприяють їхньому популяризації як альтернативного способу обміну коштів на світовому ринку.

Авіаційна індустрія є однією з найбільш вигідних для використання криптовалют. Міжнародні авіаперевезники, такі як AirAsia, LOT Polish Airlines, S7 Airlines, та Lufthansa, вже почали впроваджувати криптовалюти як засіб оплати за квитки, послуги та інші витрати. Це дозволяє авіакомпаніям значно скоротити витрати на обробку транзакцій, а також уникнути проблем з валютними обмінами та високими комісіями за міжнародні платежі. Криптовалюти дають можливість авіакомпаніям здійснювати платежі безпосередньо, без участі посередників, що прискорює процес і знижує витрати [2].

Застосування криптовалют у міжнародних розрахунках значно спрощує обмін коштами між країнами з різними валютними системами. У традиційних системах, таких як банківські перекази, комісії можуть досягати значних розмірів, а час на обробку транзакцій може займати від кількох годин до кількох днів. Використовуючи криптовалюти, авіакомпанії можуть обробляти платежі практично миттєво, зменшуючи витрати на банківські комісії та обмінні курси валют. Це є особливо важливим для авіаперевізників, які працюють на міжнародних маршрутах, де кожен день затримки може мати значні фінансові наслідки [4].

Також криптовалюти можуть бути використані для стимулювання лояльності клієнтів. Авіакомпанії можуть запропонувати пасажирам можливість отримувати бонуси у вигляді криптовалют, які можна використовувати для подальших покупок квитків або обслуговування на борту. Цей підхід дозволяє створити нову систему винагород і лояльності, яка є більш прозорою і менш залежною від традиційних фінансових інструментів. Бонуси у вигляді криптовалют можуть стати вигідними як для клієнтів, так і для авіакомпаній, оскільки вони дозволяють знижувати операційні витрати і підвищувати ефективність управління лояльністю [5].

У сфері дронів і безпілотної авіації блокчейн-технології відіграють дедалі важливішу роль, відкриваючи нові можливості для автоматизації, безпеки та прозорості процесів.

Із розвитком безпілотних систем доставки, зокрема у логістиці та поштових службах, виникає потреба в ефективному способі розрахунків за послуги. Блокчейн дає змогу реалізувати систему мікроплатежів, де оплата може здійснюватися за точну відстань, наприклад, за кожен пройдений кілометр або навіть за хвилини польоту.

Завдяки смарт-контрактам платежі відбуваються автоматично й миттєво, без втручання третіх сторін. Це особливо актуально для високочастотних доставок у міських умовах, де потрібні точні та швидкі розрахунки [6].

Із розширенням кількості дронів у повітряному просторі виникає питання безпеки та координації польотів. Замість централізованих систем, які можуть бути вразливими до збоїв, пропонується використання децентралізованих платформ на основі блокчейну, які:

- забезпечують прозору взаємодію між безпілотниками;
- дозволяють автоматично узгоджувати маршрути, уникаючи конфліктів у повітрі;
- фіксують усі дії та зміни в маршрутах у незмінному реєстрі.

Це особливо важливо для смарт-міст і регіонів, де інтенсивність повітряного руху дронів зростає.

Ще одна ключова перевага блокчейну — можливість захищеної передачі даних про польоти дронів: координати, висота, швидкість, маршрут, статус доставки тощо. Ці дані можуть зберігатися в блокчейні, що гарантує їх достовірність і цілісність.

Користь від застосування блокчейну полягає у:

- перевірці правильності виконання завдань;
- вирішення спорів у разі інцидентів;
- контролю з боку регуляторів і страхових компаній.

Незважаючи на всі переваги, впровадження криптовалют в авіаційну галузь супроводжується певними викликами. Одним із найбільших бар'єрів є відсутність єдиної міжнародної нормативної бази для регулювання криптовалют. Країни мають різні підходи до регулювання цифрових валют, що створює юридичні труднощі для компаній, які хочуть використовувати криптовалюти в міжнародних транзакціях. Крім того, є питання з питань безпеки та конфіденційності, які необхідно вирішити для забезпечення безпечного використання криптовалют у фінансових операціях [6].

Інші труднощі, з якими стикаються авіакомпанії, включають необхідність забезпечення технологічної підтримки для прийому криптовалют. Відсутність стандартів і необхідність оновлення існуючих платіжних систем можуть стати додатковими витратами для авіакомпаній. Проте, враховуючи постійний розвиток технологій і зростання популярності криптовалют, ці проблеми, ймовірно, будуть вирішені в найближчому майбутньому.

Висновки

Криптовалюти становлять важливий чинник трансформації сучасної фінансової системи, і їхнє впровадження в авіаційну індустрію має суттєвий потенціал для зниження витрат, прискорення транзакцій і підвищення прозорості фінансових операцій. Незважаючи на технічні та юридичні виклики, використання криптовалют у міжнародних розрахунках відкриває нові можливості для авіаційних компаній, що дозволяє їм бути більш гнучкими та ефективними в умовах глобалізованого ринку.

Список літератури

1. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf
2. Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2019). Bitcoin: Medium of Exchange or Speculative Assets?. Journal of International Financial Markets, Institutions & Money, 56, 227-239.
3. Chuen, D. L. K. (2020). Handbook of Digital Currency. Academic Press.
4. Sigismondi, J. (2020). Cryptocurrencies: A New Era of Economic Change. Springer.
5. Tapscott, D., & Tapscott, A. (2019). Blockchain Revolution: How the Technology Behind Bitcoin and Other Cryptocurrencies is Changing the World. Penguin.
6. Zohar, R. (2020). Regulation of Cryptocurrencies in the Global Financial Market. Journal of International Finance, 32(4), 56-67.

УДК 34:378(477):82.04:004(043.2)

Р.А. Калюжний, д.ю.н., професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Право постмодерну в освітньому просторі: проблемні аспекти в контексті глобальних трансформацій

Актуальне дослідження визначається особливою роллю права в житті сучасного суспільства, яке орієнтується на принципі та цінності постмодерної епохи. У зв'язку з цим, вивчення питань цифровізації сучасної освіти та її соціальних наслідків є вельми актуальним напрямом наукових досліджень. Підкреслюється, що цифровізація веде до корінної перебудови освіти, змінює роль викладачів та студентів і є незворотнім процесом, які необхідно критично осмислити та прийняти.

Правова система сучасної України зіткнулась з глобальними викликами, які виникли в результаті цифровізації (діджиталізації) багатьох сфер життя та кардинальної зміни менталітету суспільства в епоху постмодерна.
Відбувся радикальний поштовх у розвитку людства, з'явилися невідомі до цього часу явища й сутності, альтернативні цінності. Постмодерн став пануючим напрямом у філософії, мистецтві та культурі Європейського заходу.
Сформувався новий тип світогляду, в якому нівелювалися колишні уявлення про державу, право, особистість, сім'ю, сенс життя, освіти та навчання та інші.
Суспільство постмодерну застосоване на інформаційних технологіях, на світовій мережі, на віртуальній реальності. Людство вийшло за межі живого, спостережуваного світу у метасвіт, повністю штучний, придуманий, доповнений штучним інтелектом, безмежними можливостями нової реальності.

В цих умовах право повинно увійти у кіберпростір, щоб мати можливість регулювати та захищати інтереси держави й громадян інформацію, фінанси, інтелектуальну власність, таємниці та інші. В сучасному західному суспільстві на основі постмодерного стилю мислення формується постмодерна правова реальність. Вона ґрунтується на ідеї ключової ролі суб'єкта в пізнанні та діяльності як свідомого, цілеспрямованого носія особистісних неявних когнітивних передумов, які першопочатково соціально, історично, культурно обумовлені, герменевтичне розкриття яких забезпечує адекватність отримуваного знання [1, с.157].
З яких би позицій ми не розглядали право, воно завжди було регулятором суспільних відносин, найбільш важливим та значим у різні часи. Чи було воно мірою добра та справедливості або вважається сукупністю правил поведінки, встановлених державою або офіційною мірою свободи, так або іначе право знаходиться поруч із уявленнями про дозволене та недозволене, допустимим або неприпустимим в даному співтоваристві. Будь яке міркування про право неминуче буде пов'язане із сучасними культурним, технічним, ментальним станом суспільства.

Зміни у науково-технічної сфери, так само як і зміни у способі життя і в розумінні життєвих пріоритетів, з неминучістю тягнуть за собою не просто

створення нових норм права, але й, по суті нового права, яке відображає і вписується в нову реальність.

В епоху постмодерна з'являються альтернативні цінності, які раніше вважалися неприйнятними у суспільстві, а тепер стали привілейованими. Зникають загальні цінності, їм на зміну приходять групові цінності, групові інтереси. Суверенітет держави стає фікцією, поступаючись місцем як економічній, так і політичній силі транснаціональних корпорацій. Національне право «прогинається» перед міжнародним правом.

Традиційні уявлення юридичної науки все більше застарівають. Виникає необхідність у розробки альтернативних підходів до вирішення різних проблем правового регулювання. Трансформація цивілізаційних відносин в умовах науково-технологічного прогресу XXI століття змушує замислитися про право майбутнього, про його сутність та зміст, про суб'єктів й об'єктів права.

Це стосується і проблеми збереження гуманістичної сутності права. Людство отримало проривні технології, але не вивчило наслідки їх впливу на людське життя, не сформувало базисні категорії правового захисту.

У результаті право, як засіб захисту людей та упорядкування взаємовідносин між ними, виявились слабкими та в деяких випадках просто немічним, безсильним інструментом перед новими технологічними викликами. Закордонні вчені звертають увагу на необхідність розвитку теорії та методології нових технологій права, конвергенції права із іншими регуляторами з позиції співвідношення реального та віртуального, людини та машин- носіїв штучного інтелекту та інші.

Право постнового часу не має духовних опор, воно прагматичне, воно націлене на обслуговування тільки поточних завдань. Серед багатьох сфер життя, яке підлягає зараз деконструкції, цей процес чітко, виразно відчувається у освітньому просторі. Незрівнянно змінилася людина ери комп'ютерної культури, інформаційного суспільства, вона вимагає шани до себе як автономної істоти, здатної до самовдосконалення, а тому кожний відступ від принципів внутрішньої моралі права є зневагою гідності людини, як відповідальної особи, слушно акцентує Л. Фуллер [2, с. 154].

Проблеми які пов'язані із цифровізацією освіти, відображені у Розпорядженні Кабінету Міністрів України від 31 грудня 2024 р. «Про схвалення Стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 р. та затвердження оперативного плану заходів з її реалізації у 2025 -2027 роках» [3]. Зміст цього нормативного правового акту вказував на підвищення значимості цифрової інформації професійної освіти у суспільстві та пріорітети держави відносно діджиталізації суспільних відносин.

Формування в державі інформаційно-цифрового освітнього простору правовідносин у вигляді впровадження сучасних технологій надає суттєвий вплив на розвиток комунікацій та державних процесів. Цифровізація породжує новий формат реальності, який кардинально відрізняється від звичного фізичного світу. Вона (цифровізація) формує віртуальне середовище, в котрій право може функціонувати, працювати, діяти досконало по іншому більш формалізовано та буквально.

Значимість процеса цифровізації професійної освіти та навчання викликана глобальними процесами переходу до цифрового суспільства. Цифровізація освіти - впровадження в освітній процес на всіх рівнях сучасних інформаційно-комунікаційних технологій з метою розвитку у молоді навичок аналізу достовірності отримуваної інформації, застосування критичного мислення), максимального використання в навчальних цілях різноманітного мультимедійного контенту, інтенсифікація освітнього процесу за рахунок застосування інтерактивних методів навчання [4]. Цифровізація освіти є однією з ключових тенденцій розвитку сучасної освітньої системи, яка спрямована на покращення якості навчального процесу, доступності знань та адаптації освітніх програм до потреб цифрового суспільства [5].

Проблема загальної цифровізації освіти розглядається сьогодні в якості загальновідомої ділеми: з одного боку, необхідність відходу від застарілих технологій очевидно та заміна їх інноваційними, швидкісними, мобільними, полуфункціональними цифровими технологіями також важлива та необхідна, але, з іншого боку до яких наслідків приведуть проби та помилки тотальної трансформації освіти не знає ніхто. Можна попробувати заглянути у майбутнє та побудувати прогностичну модель. І тоді можна помітити, що тільки на перший погляд цифровізація освіти необразлива, прогресивна, а також вважається перспективною та необхідною для освіти. Безумовно, цифровізація освіти полягає в оснащені освітніх установ якісним програмним забезпеченням. До яких можна віднести різні інформаційні системи, які дозволяють отримати доступ до освітніх ресурсів, результат сучасних наукових досліджень та розробок, електронним науковим бібліотекам на різних мовах світу технологіям Big Data. Окрім цього, можливості інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), що використовуються в освіті, забезпечують: віртуальну присутність як суб'єктів, так і об'єктів освітнього процесу; інтерактивність, негайний зворотній зв'язок між користувачем і засобами та ІКТ; комп'ютерну візуалізацію інформації про досліджувані об'єкти або закономірності процесів та явищ, як тих, що реально відбуваються, так і віртуальних; використання досить великих обсягів інформації з можливістю її передавання, легкого доступу та звернення до інформаційного ресурсу, зокрема глобальної мережі Інтернет; автоматизацію процесу обчислювальної, інформаційно-пошукової діяльності, опрацювання результатів демонстраційних і лабораторних експериментів, як тих, що реально протікають, так і тих, що подані на екрані, з можливістю багаторазового повторення фрагменту або самого експерименту; автоматизацію процесів інформаційно-методичного забезпечення, організаційного управління навчальною діяльністю та контролю результатів засвоєння [6].

У якості беззаперечних плюсів цифрової системи освіти сьогодні можна назвати:

- по-перше, такий феномен як привчання до самостійності. Справа у тому, що майбутня система передбачає самостійну роботу, студент зрозуміє, що він сам повинен прагнути до знань;
- по-друге, це відсутність паперової тяганини. Цифрова освіта позбавляє людину від купи паперу та книжок. А електронні носії мають можливість

вміщувати всі необхідні підручники та посібники, а планшет цілком може замінити робочий зошит;

- по-третє, цифровізація освіти примусить викладача «не лінуватися» у доброму сенсі цього слова. Тобто буде максимально спрощена його робота. У цифровій системі освіти професійна діяльність викладача буде зводитися лише до надання допомоги та поверховому консалтінгу алгоритм навчальних дій учня. Викладач ставитиме той вектор навчального процесу яким рухаються у своєму розвитку студенти. І звертатися до викладача студенти будуть лише у спірних критичних ситуаціях;

- по-четверте, цифрова освіта- це, безумовно прорив, крок у майбутнє, так як сьогодні наука розвивається настільки стрімко, що саме інформаційні та високошвидкісні ресурси життєво необхідні.

Мінуси цифрової системи освіти: перше, ризик негативного результату. Ці зміни будуть кардинальні. Немає можливості точно сказати: чи буде така новина позитивною. Ця система застосовується уперше, тому порівняти із чимось подібним немає можливості, окрім із закордонним досвідом; друге, відсутність творчості. Вчені довели, що цифрові технології виключають можливість проявити себе. Людина швидко звикає до нудної оповіді; третя, зниження розумової активності. Особі немає необхідності розмірковувати про щось, достатньо мати доступ до інтернету, щоб дізнатися про необхідні знання. Це приводить до послаблення розумових здібностей; четверте, погана соціалізація. Інформаційна система значно знижує рівень соціалізації людини. Це впливає на подальший розвиток особистості; п'яте, абсолютний контроль на кожну людину заводиться особова справа, збирається докладна інформація про сім'ю. Це приведе до тотального контролю суспільства; шосте, функція викладача. Після цифровізації поняття викладач буде повністю змінено. Оцінити всі плюси та мінуси такої системи її наслідки буде можливо через десятиліття. Коли прийде час, зміниться вся система, структура освіти. Добре це чи погано - вирішиться через певний час.

Сама сутнісна характеристика освітніх траєкторії обумовить підготовку молодого покоління до рішення дуже вузького спектра задач, що не надасть можливості для отримання уявлення про певну карту світу та формування наукового світогляду. Наслідки масштабної цифровізації освіти можуть також привести до втрати творчого пошуку. Без можливості відкритої дискусії, такої цінної в діаді «викладач - студент» молоде покоління вже не зможе на високому рівні креативність засвоювати складне знання, а сам процес освіти буде зводитися просто до вузького набору компетенцій. Таким чином, цифрові технології, це вже не тільки інструмент, але й нове середовище існування людини. Цифровий освітній простір надає принципово нові можливості: перейти від навчання в аудиторії до навчання у будь-якому місці і в будь-яку годину; проектувати індивідуальний освітній маршрут, тим самим задовольняти освітні потреби особистості навчаючого; перетворити навчаючих не тільки в активних учасників електронних ресурсів, але й творців нових ресурсів.

Процеси діджиталізації освіти приводить до трансформації освітніх систем осмисленню необхідності формулювання новітніх компетенцій. Також

ці процеси мають результатом переконфігурацію освітньої моделі. Доступність інформації приводить до необхідності регулярного, постійного пошуку та вибору адекватного контента. Таким чином, цифровізація освіти приводить до їх повільної та якісної перебудови. Перед викладачем постає необхідність навчатися застосовувати нові технологічні інструменти й практично необхідні інформаційні ресурси.

Висновки

В сучасних умовах одним з найбільш значних факторів, які впливають на сучасне освітнє середовище, є цифровізація. Впровадження цифрових технологій суттєвим чином змінює чисельні параметри систем права, визначає динаміку механізму правового регулювання освітнього процесу. Ці процеси у силу своєї важливості і новизни потребують ретельного наукового дослідження.

Сфера освіти є однією із ключових та найбільш перспективних майданчиків глобальної конкуренції держав за економічну потужність та політичний вплив у XXI столітті.

Список літератури

1. Братасюк В. М. Інтелектуальна традиція постмодерну та проблеми реформування правової системи сучасної України. Проблеми філософії права. 2004. Том II. Київ-Чернівці. 240 с.

2. Фуллер Лон Л. Мораль права: Пер. з англ. Н.Комарова. Наукове видання К.: Сфера, 1999. 232 с.

3. Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії цифрового розвитку інноваційної діяльності України на період до 2030 р. та затвердження оперативного плану заходів з її реалізації у 2025 -2027 роках» від 31 грудня 2024 р. № 1351-р. URL https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1351-2024-%D1%80#Text (дата звернення: 14.04.2025)

4. Цифровізація української освіти: реалізація, проблеми і перспективи. URL: https://oplatforma.com.ua/article/16004-tsifrovizatsiya-ukrainskoi-osviti-realizatsiya-problemi-i-perspektivi (дата звернення: 14.04.2025)

5. Сафонов, Ю., Коротун, О. Цифровізація освіти в Україні: технології та методики навчання. Трансформаційна економіка, 2024. 2 (07), С. 89-94. URL https://www.transformations.in.ua/index.php/journal/article/view/107 (дата звернення: 14.04.2025)

6. Яценко М. А. Інформаційно-комунікаційні технології в освітньому процесі закладу вищої освіти. Трансформація українського суспільства в цифрову еру : матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції, 22 березня 2024 р. Львів – Торунь : Liha-Pres, 2024. 108 с.

УДК 368.8:656.7(4-672ЕС)(043.2)

Є.П. Король, А.А. Кулеша
(Державний Університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Договірний порядок авіаційного страхування в країнах ЄС: аналіз страхування відповідальності перевізника

Тези досліджують особливості укладання договорів авіаційного страхування в країнах Європейського Союзу. Основний акцент зроблено на страхуванні відповідальності авіаперевізників перед пасажирами і третіми особами, що є ключовим аспектом забезпечення безпеки авіатранспорту.

Авіаційне страхування в Європейському Союзі є невід'ємним компонентом функціонування авіаційної галузі, яке надає фінансовий захист у разі авіаційних інцидентів. Основні види цього страхування включають покриття для повітряних суден, екіпажу, вантажу, пасажирів, а також страхування відповідальності перевізника. Останній вид є ключовим у сфері міжнародних перевезень і підлягає гармонізації серед усіх країн-членів ЄС.

Страхування відповідальності авіаперевізника регулюється міжнародними конвенціями, такими як Монреальська, а також законодавством Європейського Союзу — зокрема Регламентом (ЄС) № 785/2004 [1]. Цей нормативний акт встановлює мінімальні вимоги до страхування відповідальності перед пасажирами та третіми особами, включаючи шкоду довкіллю і вантажам.

Укладання страхового договору в країнах ЄС базується на уніфікованих принципах: чітко визначена страхова сума, обсяг відповідальності, винятки з покриття та механізм врегулювання збитків. Важливо зазначити, що договори часто укладаються за допомогою спеціалізованих брокерських фірм, а обслуговування здійснюють великі транснаціональні страхові компанії, які забезпечують високу фінансову стійкість.

Особливу увагу слід приділити вимозі наявності страхового полісу як умови для отримання дозволу на експлуатацію повітряного судна в межах ЄС. Без підтвердження відповідного договору перевізник не має права здійснювати польоти — як регулярні, так і чартерні.

Авіаційне страхування в Європейському Союзі тісно переплетене з регуляціями Європейського агентства авіаційної безпеки (EASA) [2]. Це агентство відповідає за встановлення технічних стандартів та координацію з питань авіабезпеки, що безпосередньо впливає на умови страхових договорів і оцінку ризиків, від яких залежить вартість полісів і необхідність додаткового покриття для специфічних загроз.

Одним з важливих аспектів авіаційного страхування є компенсація збитків, спричинених терактами або диверсіями. В умовах сучасних викликів безпеки, багато страхових компаній пропонують розширені полісні програми, що включають ризики, які не охоплюються стандартними договорами. Це особливо актуально для перевізників, які здійснюють польоти до потенційно небезпечних регіонів.

Страхування цивільної відповідальності за екологічні наслідки є окремою категорією в авіаційному страхуванні. У випадку катастроф або аварій, що призводять до забруднення навколишнього середовища, авіаперевізник має зобов'язання покрити заподіяні збитки через страховий поліс, що виступає гарантією юридичного та фінансового захисту.

На практиці, більшість договорів страхування в авіаційному секторі країн ЄС мають багатошарову структуру: основний рівень включає обов'язкове страхування відповідальності, а додаткові рівні охоплюють захист екіпажу, багажу, пошкоджень літального апарата та непередбачених обставин. Це дозволяє адаптувати умови до конкретних вимог авіаційних перевізників [3].

Суд Європейського Союзу відіграє важливу роль у правовій сфері авіаційного страхування, формуючи прецеденти щодо вирішення суперечок у страхових питаннях. Його рішення мають велике значення для національних судів у країнах-членах ЄС і допомагають уніфікувати підходи до врегулювання конфліктів.

Питання повторного страхування також отримує значну увагу. Великі ризики, характерні для авіаційної галузі, часто покриваються міжнародними страховими компаніями або перестрахувальними фондами, щоб знизити навантаження на окремих страхувальників і забезпечити повну компенсацію у випадках критичних ситуацій. Інноваційні цифрові технології поступово змінюють процеси укладення та адміністрування авіаційних страховок.

Використання блокчейн-технологій, онлайн-страхових платформ і автоматизованих систем для оцінки ризиків сприяє прозорості та оперативності обслуговування клієнтів і прискорює процес розгляду страхових випадків.

У сучасній європейській практиці страхування набуває великого значення диференціація тарифів залежно від типу літака і характеру польотів. Такі перевезення, як вантажні рейси, чартерні польоти і операції в нічний час, вважаються підвищеними ризиками, що безпосередньо впливає на вартість страхових полісів і умови їх оформлення. Така класифікація дозволяє справедливо оцінити ризики і дає можливість страховикам точніше формувати свої пропозиції.

В авіаційному страхуванні часто використовується принцип франшизи, коли встановлюється мінімальна сума збитків, яку авіаперевізник покриває самостійно. Це зменшує фінансовий тягар для страховика і стимулює авіакомпанію до посилення внутрішнього контролю за безпекою польотів. Однак, у випадку серйозних інцидентів з людськими жертвами або значними матеріальними втратами, страхова компанія зобов'язана повністю компенсувати збитки в межах договірних зобов'язань.

Особлива увага в ЄС приділяється прозорості страхових процедур. Компанії зобов'язані надавати клієнтам повну інформацію про всі умови договору, виключення з покриття, порядок подачі заяви про страховий випадок і строки виплати компенсацій. Це допомагає уникнути непорозумінь між сторонами і зменшує кількість судових спорів, що підвищує довіру до європейського страхового ринку.

Система бонусів за безаварійне функціонування є ще одним інструментом, що активно розвивається в авіаційному страхуванні.

Авіакомпанії, які довгий час демонструють високу безпеку польотів, можуть отримувати пільгові умови страхування або знижені тарифи. Цей підхід мотивує дотримуватися стандартів безпеки і підсилює конкуренцію на ринку, стимулюючи постійне вдосконалення безпекових політик.

Спільне правове середовище сприяє зростанню прозорості страхових відносин і знижує ризики виникнення юридичних конфліктів між перевізниками, страховиками та третіми сторонами.

Висновки

У країнах ЄС договірний порядок авіаційного страхування базується на чітких нормативно-правових актах, які гарантують ефективне функціонування авіаційного сектору. Одним з найважливіших елементів цієї системи є страхування відповідальності перевізника, що забезпечує правовий і фінансовий захист учасників авіаційного процесу. У майбутніх дослідженнях доцільно розглянути можливість адаптації цієї моделі до умов українського ринку з урахуванням вимог євроінтеграції.

Авіаційне страхування в країнах ЄС слугує не лише фінансовим захистом, але й важливою частиною регуляторної системи, яка забезпечує дотримання стандартів безпеки та відповідальності в авіаційній сфері. Наявність чіткої договірної бази дозволяє країнам ЄС ефективно координувати дії у сфері цивільної авіації, реагувати на кризові ситуації та зменшувати втрати.

Врахування сучасних викликів, таких як цифровізація, екологічні питання та підвищені геополітичні ризики, вимагає від страхового ринку ЄС постійної адаптації до нових умов. Для України досвід Європейського Союзу в галузі авіаційного страхування може стати зразком для побудови прозорої, надійної та стійкої моделі страхового забезпечення авіаперевезень.

Список літератури

1. Про затвердження Авіаційних правил України «Порядок та умови здійснення страхування ризиків цивільної авіації». Офіційний вебпортал парламенту України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z2200-23(дата звернення: 12.04.2025).

2. EASA. EASA. URL: https://www.easa.europa.eu/en(date of access: 12.04.2025).

3. Авіаційне страхування за міжнародними стандартами!. ЕКСПО страхування. URL: https://exposk.com.ua/images/docs/2017/avia-insurance.pdf (дата звернення: 12.04.2025).

УДК 656.7:004.8:339.9(043.2)

Л.М. Побоченко, к.е.н., доцент
О.М. Власовець
(Державний Університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інтелектуальні транспортні системи та їх вплив на авіаційну інфраструктуру в контексті міжнародної економічної інтеграції

Досліджено вплив інтелектуальних транспортних систем (ІТС) на розвиток авіаційної інфраструктури в умовах цифровізації та міжнародної економічної інтеграції. Розглянуто основні компоненти ІТС, зокрема технології IoT, штучний інтелект, хмарні сервіси та аналітику даних, що застосовуються в авіаційній сфері. Особливу увагу приділено викликам цифрової трансформації та перспективам створення єдиного цифрового повітряного простору.

У сучасному світі, де глобалізація та цифрові технології стали головними рушіями змін, авіаційна галузь перебуває на перехресті трансформаційних процесів. Сфера повітряного транспорту, яка традиційно виступала драйвером міжнародної мобільності, торгівлі й економічної співпраці, сьогодні стикається з викликами нової доби: підвищеними вимогами до ефективності, безпеки, сталого розвитку та цифрової інтеграції.

У цьому контексті все більше уваги привертають інтелектуальні транспортні системи (ІТС) - високотехнологічні рішення, що поєднують інформаційні технології, штучний інтелект, Інтернет речей та великі дані для управління транспортною інфраструктурою нового покоління.

ІТС в авіації - це не просто програмне забезпечення чи автоматизовані пристрої, а цілісна цифрова екосистема, яка охоплює всі рівні функціонування аеропортів, авіакомпаній і повітряного простору. Такі системи дозволяють оптимізувати польоти, автоматизувати наземне обслуговування, забезпечити точне управління трафіком, покращити взаємодію між службами та підвищити якість пасажирського обслуговування. В умовах зростання кількості рейсів та пасажирів ці переваги є вирішальними для сталого розвитку галузі. [7]

З економічної точки зору, впровадження ІТС дозволяє досягти суттєвих ефектів. Наприклад, автоматизація операцій та логістичних процесів може зменшити операційні витрати на 15–20%, тоді як використання прогнозної аналітики дає змогу знизити кількість затримок до 30%. [2]

Як свідчать дослідження Deloitte, вже сьогодні 76% аеропортів у світі впроваджують IoT-рішення для підвищення ефективності, 58% - для покращення обслуговування пасажирів, а 35% — для створення нових джерел доходу. Ці цифри свідчать про те, що цифрові технології перестають бути допоміжним інструментом і перетворюються на основу бізнес-моделі сучасного авіаційного хабу [1].

Зростання ринку "розумних" аеропортів підтверджує цю тенденцію. У 2023 році його обсяг становив 7,69 млрд дол. США, а до 2032 року, за прогнозами аналітиків IMARC Group, він зросте до 77 млрд дол. США. Це не лише свідчить про інвестиційну привабливість цифрових рішень, а й про їх

стратегічне значення для міжнародної економіки. Адже саме через авіацію здійснюється значна частина світового пасажиро- і вантажообігу, а ефективність авіаційної інфраструктури безпосередньо впливає на ритм глобальних економічних процесів [2].

Особливе значення ІТС мають у сфері міжнародної економічної інтеграції. Завдяки стандартизації цифрових протоколів, синхронізації логістичних ланцюгів, спрощенню митних і прикордонних процедур, ІТС сприяють гармонізації міждержавної взаємодії в сфері транспорту. Це дозволяє зменшити транзакційні витрати, прискорити доставку товарів, забезпечити стійкість глобальних ланцюгів постачання, що особливо актуально в умовах криз — від пандемій до геополітичної нестабільності. [4]

Міжнародна організація цивільної авіації відзначає, що саме цифровізація стане ключовим чинником стійкості та конкурентоспроможності повітряного транспорту в XXI столітті, а також важливим інструментом досягнення цілей сталого розвитку ООН [11].

Незважаючи на очевидні переваги, впровадження інтелектуальних транспортних систем в авіації супроводжується рядом викликів. Одним із ключових бар'єрів є висока вартість модернізації інфраструктури. Наприклад, цифрова трансформація аеропорту Сінгапур Чангі обійшлася в понад 1 млрд дол. США, що є непосильним для багатьох країн, особливо тих, що розвиваються. Додатково, серйозною проблемою залишається відсутність єдиних міжнародних технічних стандартів, через що цифрові системи різних країн часто несумісні між собою, ускладнюючи міжнародну координацію.[2]

Окрема загроза - кібербезпека. Так, у 2020 році атака на системи British Airways призвела до витоку даних сотень тисяч пасажирів. Із розвитком цифрових рішень кіберризики тільки зростають. [5]

Крім того, цифровізація вимагає кваліфікованих кадрів, здатних працювати з великими даними, штучним інтелектом і складними ІТ-системами. У багатьох країнах кадровий дефіцит гальмує адаптацію нових технологій. [6]

Також існує цифровий розрив між регіонами. Якщо аеропорти країн Перської затоки використовують біометричну ідентифікацію та автономні системи, то в окремих частинах Африки досі не запроваджено навіть базових цифрових сервісів. Усе це створює дисбаланси в розвитку галузі, і потребує комплексного підходу на міжнародному рівні.

Усі ці приклади свідчать про те, що впровадження ІТС у авіації — це не лише технічне завдання, а й комплексна трансформація, яка вимагає стратегічного бачення, міжнародної співпраці, політичної волі та значних інвестицій. Лише за умови вирішення вказаних проблем ІТС зможуть виконати свою роль у створенні справді ефективної, безпечної та інклюзивної глобальної авіаційної інфраструктури.

Висновок

У підсумку, впровадження інтелектуальних транспортних систем в авіаційній сфері відкриває нові економічні горизонти для глобального ринку. Завдяки цифровізації, аеропорти можуть скоротити операційні витрати до

20%, зменшити затримки рейсів на 25–30% і підвищити прибутковість через нові джерела доходів, зокрема комерційні цифрові сервіси. За прогнозами IMARC Group, світовий ринок «розумних» аеропортів зросте з 7,69 млрд дол. США у 2023 році до 77 млрд дол. США до 2032 року, що свідчить про високий економічний потенціал ІТС як інвестиційного напряму.

Однак, повноцінна реалізація цього потенціалу можлива лише за умов подолання фінансових, технічних і нормативних бар'єрів, зокрема нестачі інвестицій у країнах, що розвиваються, кіберзагроз і відсутності кадрової підготовки. Тому розвиток ІТС має спиратися не лише на технології, а й на економічну стратегію, що передбачає міжнародну співпрацю, цифрову інклюзивність і підтримку інновацій як драйверів сталого економічного зростання.

Список літератури

1. Deloitte. (2023). Smart airports: Transforming passenger experience and airport operations. URL: https://www2.deloitte.com
2. IMARC Group. (2023). Smart Airport Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2023–2032. URL: https://www.imarcgroup.com/smart-airport-market.
3. International Air Transport Association (IATA). (2022). Aviation Benefits Beyond Borders. URL: https://www.iata.org/en/publications/economic-reports/aviation-benefits/
4. ICAO. (2023). Digital transformation in aviation: Building resilience and future readiness. URL: https://www.icao.int.
5. British Airways. (2020). Data breach incident report. URL: https://www.ba.com.
6. Європейське агентство авіаційної безпеки (EASA). (2023). Artificial Intelligence Roadmap: A human-centric approach to AI in aviation. URL: https://www.easa.europa.eu.
7. Ковальчук, М. П. (2022). Цифрова трансформація авіаційної інфраструктури в умовах глобалізації // Економічний простір. – №180. – С. 122–128
8. Prokopieva A., Pobochenko L., Smirnova T., Nabok I., Tatarenko N., Sydorenko K. Ecological disasters as a result of cyber attacks in the energy sector Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks 2024. Proceedings of the Third International Conference on Cyber Hygiene & Conflict Management in Global Information Networks (CH&CMiGIN 2024). Kyiv, Ukraine, January 24–27, 2024. PP. 64-81 CEUR-WS.org/Vol-3925.
9. Побоченко Л.М., Горобець О.Г. Вплив штучного інтелекту на авіаційну галузь // XI Авіаційний конгрес "Авіація в XXI ст. - безпека в авіації та космічні технології". Kyiv, Ukraine. Вересень 25-27. P. 5.1.8 - 5.1.12. 2024. URL: http://congress.nau.edu.ua/2024/
10. Офіційний сайт Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA). URL: http://www.iata.org/index.htm.
11. Офіційний сайт Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO). URL: https://www.icao.int/Pages/default.aspx.

12. Соколова, З., Набок, І., Прокоп'єва, А., Сидоренко, К., Бойчук, Д., & Родіонов, П. (2022). АНАЛІЗ ЕФЕКТІВ УТІЛЕННЯ УГОДИ ПРО СПІЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ ПРОСТІР ІЗ ЄС ДЛЯ ГАЛУЗІ ПАСАЖИРСЬКИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ УКРАЇНИ В ДОВОЄННИЙ ПЕРІОД. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, *6*(47), 400–423. https://doi.org/10.55643/fcaptp.6.47.2022.3937.

УДК: 343.97+343.98:656.7

Є.М. Хомусько, С.Я. Лихова, д.ю.н., проф.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна).

Кримінально – правові аспекти захисту авіаційної безпеки у контексті новітніх загроз: від тероризму до кіберзлочинів

Розглянуто кримінально-правові аспекти захисту авіаційної безпеки в умовах сучасних загроз, зокрема тероризму та кіберзлочинності. Проаналізовано міжнародні та національні механізми протидії, актуальність удосконалення законодавства та важливість комплексного підходу до забезпечення авіаційної безпеки.

Тероризм є однією з найбільших загроз для авіаційної безпеки, оскільки терористичні акти можуть спричинити масштабні людські втрати, матеріальні збитки та порушення нормального функціонування транспортної інфраструктури. За останні десятиліття, зокрема після захоплення літаків екстремістами з «Аль – Каїди» 11 вересня 2001 року в США, терористичні акти стали значною загрозою для цивільної авіації, що зумовило зміни в міжнародному та національному праві [1]. Наприклад, контроль за безпекою авіації посилився шляхом створення Адміністрації безпеки транспорту США. Вона встановила нові кримінальні санкції за незаконне проникнення в зони безпеки аеропортів, а також за організацію терористичних актів із використанням цивільних повітряних суден.

У цьому контексті кримінально-правова охорона авіаційної безпеки потребує встановлення чіткої відповідальності за дії, що загрожують безпеці повітряних суден.

Кримінальне законодавство передбачає сувору відповідальність за терористичні акти, які пов'язані з порушенням безпеки цивільної авіації, зокрема за захоплення літаків, організацію вибухів на борту авіасудна або в аеропортах.

Відповідно до міжнародних норм, кримінальна відповідальність за терористичні акти в авіаційній сфері встановлюється, зокрема, Конвенцією про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки цивільної авіації (1971), яка визначає злочинами захоплення літаків, терористичні акти на борту авіасудна або в аеропортах [2].

На національному рівні кримінально - правовий захист авіаційної безпеки забезпечується відповідними статтями Кримінального кодексу України (далі – КК України), які встановлюють відповідальність за організацію, участь у терористичних актах, незаконне захоплення повітряного судна та інші діяння, що належать до цієї групи правопорушень (ст. 258 -1, 258 - 2, 258 - 3, 289 та інші статті КК України) [3].

З розвитком інформаційних технологій виникають нові загрози для авіаційної безпеки, серед яких особливе місце займають кіберзлочини. Атаки на авіаційні інформаційні системи, маніпуляції з технічними даними або втручання в роботу навігаційних систем можуть мати катастрофічні наслідки

для безпеки повітряних суден. Кіберзлочинці можуть впливати на дані про технічний стан літаків, змінювати маршрути польотів або порушувати роботу систем безпеки аеропортів.

Прикладом такого втручання є атака хакерів на систему авіакомпанії "British Airways" (2018), що призвело до компрометації даних понад 380 000 клієнтів, включаючи деталі рейсів, паспортні дані, реквізити бнківських карт та іншу конфіденційну інформацію [4]. Це продемонструвало не тільки можливість вірогідних фінансових збитків для авіакомпаній, а й ризик виникнення серйозних загроз для авіаційної безпеки у випадку отримання кіберзлочинцями доступу до критично важливої інформації.

Міжнародна співпраця в цій сфері є надзвичайно важливою для ефективного розслідування та покарання причетних до терористичних актів у межах глобальної авіаційної мережі. Задля протидії подібним випадкам міжнародними організаціями, зокрема Міжнародною організацією цивільної авіації (далі - ІСАО), було розпочато активну роботу над розробкою та впровадженням стандартів кібербезпеки для авіаційних компаній, таких як резолюція А40-10 «Вирішення проблем кібербезпеки в цивільній авіації», суть якої зводиться до проголошення важливості взаємного вирішення проблем, що виникають у полі авіаційної кібербезпеки, визначення плану протидії держав – членів ІСАО кіберзагрозам у сфері цивільної авіації [5, с. 40].

Для боротьби з такими загрозами на міжнародному рівні розроблені конкретні механізми, зокрема Конвенція Ради Європи про кіберзлочинність (2001) спрямована на гармонізацію національних законів для боротьби з кіберзлочинами, які можуть впливати на авіаційну безпеку [6].

В Україні для боротьби з кіберзлочинами, що загрожують авіаційній безпеці, застосовуються норми КК України: стаття 361 передбачає відповідальність за несанкціоноване втручання в роботу інформаційних (автоматизованих), електронних комунікаційних, інформаційно-комунікаційних систем, електронних комунікаційних мереж, а стаття 362 – за несанкціоновані дії з інформацією, яка оброблюється в електронно-обчислювальних машинах (комп'ютерах), автоматизованих системах, комп'ютерних мережах або зберігається на носіях такої інформації, вчинені особою, яка має право доступу до неї [3].

Окрім зовнішніх загроз, внутрішні фактори також можуть становити небезпеку для авіаційної безпеки, призвести до серйозних аварій та катастроф. До них належать порушення з боку авіаційного персоналу, корупція (наприклад, при перевірках безпеки, оформленні дозволів на експуатацію судна), недбалість, фальсифікація технічних документів або неправильне обслуговування техніки.

У відповідь на ці виклики міжнародна спільнота розробила низку універсальних заходів, спрямованих на попередження та нейтралізацію внутрішніх загроз. Провідну роль у цьому процесі зіграла ІСАО, яка у межах Додатка 17 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію (Чиказької конвенції) встановлює обов’язкові стандарти і рекомендовану практику у сфері авіаційної безпеки [7]. Ці положення передбачають впровадження механізмів ідентифікації, перевірки та постійного моніторингу персоналу, який має доступ

до контрольованих зон аеропортів, а також створення систем внутрішнього контролю та аналізу ризиків.

На практичному рівні ефективно працюють такі міжнародні ініціативи, як Програма Insider Threat Program Управління транспортної безпеки США, яка поєднує заходи з психологічного моніторингу, кібербезпеки, перевірки допусків та контролю доступу [8].

У межах Європейського Союзу функціонує Програма авіаційної безпеки, яка вимагає обов'язкової сертифікації персоналу, регулярних перевірок та застосування сучасних технічних засобів контролю [9].

Також суттєвий внесок у розробку практичних рекомендацій щодо запобігання інсайдерським загрозам здійснюють Міжнародна асоціація повітряного транспорту та Міжнародна рада аеропортів, які створюють галузеві керівництва та стандарти безпеки для авіакомпаній та аеропортів.

Кримінальна відповідальність за порушення авіаційної безпеки внутрішніми чинниками охоплює, зокрема, статті КК України, що регулюють порушення чинних на транспорті (в тому числі й авіаційному) правил, що убезпечують рух, а також нормативно - правових актів, норм і правил виготовлення, переобладнання, ремонту транспортних засобів, якщо це спричинило загибель людей або інші тяжкі наслідки (ст. 291 КК України), фальсифікацію документів (ст. 358 КК України), здійснення професійної діяльності членом екіпажу або обслуговування повітряного руху диспетчером управління повітряним рухом у стані алкогольного сп'яніння або під впливом наркотичних чи психотропних речовин (ст. 276 – 1 КК України), випуск в експлуатацію завідомо технічно несправних транспортних засобів, допуск до керування транспортним засобом особи, яка перебуває в стані алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або під впливом лікарських препаратів, що знижують її увагу та швидкість реакції, або не має права на керування транспортним засобом, чи інше грубе порушення правил експлуатації транспорту, що убезпечують дорожній рух, вчинене особою, відповідальною за технічний стан або експлуатацію транспортних засобів, якщо це спричинило потерпілому середньої тяжкості тілесне ушкодження, тяжке тілесне ушкодження або його смерть (ст. 287 КК України) [3].

Удосконалення таких норм, якомога більше охоплення законодавством ситуацій, викликаних подібними факторами, є важливими інструментами для попередження внутрішніх загроз і забезпечення належного функціонування авіаційної інфраструктури.

Висновок

Кримінально-правова охорона авіаційної безпеки в умовах сучасних загроз, таких як тероризм, внутрішні загрози та кіберзлочини, є надзвичайно важливим аспектом для забезпечення як національної, так і міжнародної безпеки. Щоб ефективно протистояти новим викликам, потрібно постійно оновлювати кримінальне законодавство відповідно до сучасних реалій, покращувати міжнародну співпрацю та розвивати превентивні заходи для запобігання загрозам. З огляду на стрімкий розвиток технологій і нові форми

злочинної діяльності, важливо, щоб кримінальне право швидко реагувало на ці зміни та забезпечувало належний рівень безпеки в авіаційній сфері.

Список літератури

1. Весоловскі Т. Терористична атака 20-річної давності. Як 11 вересня 2001 року змінило світ?. *Радіо Свобода*. URL: https://www.radiosvoboda.org/a/terorystychna-ataka-11-veresnya-2001-roku/31452813.html (дата звернення: 11.04.2025).
2. Конвенція про боротьбу з незаконними актами, спрямованими проти безпеки цивільної авіації : Конвенція Орг. Об'єдн. Націй від 23.09.1971 : станом на 1 січ. 2023 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_165#Text (дата звернення: 11.04.2025).
3. Кримінальний кодекс України : Кодекс України від 05.04.2001 № 2341-III : станом на 1 лют. 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text (дата звернення: 11.04.2025).
4. Tidy J. BBC, BA and Boots issued with ultimatum by cyber gang Clop. *BBC Home - Breaking News, World News, US News, Sports, Business, Innovation, Climate, Culture, Travel, Video & Audio*. URL: https://www.bbc.com/news/technology-65829726 (date of access: 11.04.2025).
5. Григоров О. М. Міжнародно - правові стандарти кібербезпеки цивільної авіації. *Актуальні проблеми держави і права*. 2021. С. 38–43.
6. Конвенція про кіберзлочинність : Конвенція Ради Європи від 23.11.2001 : станом на 7 верес. 2005 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_575#Text (дата звернення: 13.04.2025).
7. Annex 17 to the Convention on International Civil Aviation. *Startseite - Foundation for Aviation Competence (FFAC)*. URL: https://ffac.ch/wp-content/uploads/2020/10/ICAO-Annex-17-Security.pdf (date of access: 14.04.2025).
8. TSA Insider Threat Program | Transportation Security Administration. *U.S. Department of Homeland Security Transportation Security Administration*. URL: https://www.tsa.gov/travel/insider-threat (date of access: 14.04.2025).
9. Aviation Security Committee. *Airports Council International Europe | ACI EUROPE - Home*. URL: https://www.aci-europe.org/aviation-security-committee (date of access: 14.04.2025).

УДК 343.982.3

О.В. Герасименко
Н.О. Гольдберг, к.ю.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Застосування електронних доказів в кримінальному провадженні

У сучасну епоху цифрових технологій дедалі важливішим стає питання ефективного використання електронних доказів у кримінальному провадженні. Розвиток інформаційних систем, поширення електронної комунікації, зростання обсягів даних, які зберігаються в цифровій формі, створюють нові можливості для розслідування злочинів, водночас ставлячи перед правозастосовною практикою низку викликів.

Електронні докази — це не лише листування електронною поштою або файли з комп'ютера, а й метадані, записи з камер відеоспостереження, інформація з мобільних пристроїв та соціальних мереж. Їх належне збирання, фіксація, збереження та використання вимагає дотримання процесуальних норм і гарантій прав учасників кримінального провадження. У цьому контексті особливої актуальності набуває необхідність вдосконалення законодавчої бази, практики та технічного забезпечення слідчих органів.

Правила оцінки електронних доказів на предмет їх допустимості містяться в постановах об'єднаної палати Касаційного кримінального суду у складі Верховного Суду (від 29 березня 2021 року у справі № 554/5090/16-к, від 25 вересня 2023 року у справі № 208/2160/18).

Електронні докази належать до категорії документів, а матеріальні носії, на яких вони розміщені, визнаються речовими доказами. Так, відповідно до ч. 1 ст. 99 КПК України документ – це спеціально створений з метою збереження інформації матеріальний об'єкт, який містить зафіксовані за допомогою письмових знаків, звуку, зображення тощо відомості, які можуть бути використані як доказ факту чи обставин, що встановлюються під час кримінального провадження. До документів, за умови наявності в них відомостей, передбачених ч. 1 ст. 99 КПК України, можуть належати матеріали фотозйомки, звукозапису, відеозапису та інші носії інформації (у тому числі комп'ютерні дані). [4,5]

Оригіналом електронного документа є його відображення, якому надається таке ж значення, як документу (ч. 3 ст. 99 КПК України). При цьому дублікат документа (документ, виготовлений таким самим способом, як і його оригінал), а також копії інформації, у тому числі комп'ютерних даних, що міститься в інформаційних (автоматизованих) системах, електронних комунікаційних системах, інформаційно-комунікаційних системах, комп'ютерних системах, їх невід'ємних частинах, виготовлені слідчим, прокурором із залученням спеціаліста, визнаються судом як оригінал документа (ч. 4 ст. 99 КПК України). [3]

Як зазначено в постанові ОП ККС ВС від 29 березня 2021 року у справі № 554/5090/16-к, для виконання завдань кримінального провадження, з огляду

на положення Закону України «Про електронні документи та електронний документообіг», допустимість електронного документа як доказу не можна заперечувати виняткова на підставі того, що він має електронну форму (ч. 2 ст. 8). Відповідно до ст. 7 цього Закону у випадку його зберігання на кількох електронних носіях інформації кожний з електронних примірників вважається оригіналом електронного документа. Один і той самий електронний документ може існувати на різних носіях. Усі ідентичні за своїм змістом екземпляри електронного документа можуть розглядатися як оригінали та відрізнятися один від одного тільки часом і датою створення. Питання щодо ідентифікації електронного документа як оригіналу можуть бути вирішені уповноваженою особою, яка його створила (за допомогою спеціальних програм порахувати контрольну суму файлу або каталогу з файлами CRC-сума, hash-сума), або за наявності відповідних підстав шляхом проведення спеціальних досліджень. [1,2]

Також слід звернути увагу на те, що до електронних доказів належать: файли, які містять текстові документи, графічні зображення, зафіксовані на носії інформації; файли, які містять фото- та відеозображення, аудіозаписи, записані безпосередньо на мобільний телефон, призначений для роботи в мережах стільникового зв'язку; файли, які є додатками до протоколів слідчих дій і містять відомості про хід їх проведення, записані на знімні носії інформації; вебсайти в мережі «Інтернет»; дані систем обміну миттєвими повідомленнями (месенджери), зокрема мобільні додатки, вебсервіси, системи, інтегровані в соціальні мережі (скайп, вайбер, телеграм, фейсбук, обмін повідомленнями); відеозаписи з камер спостереження; скріншот (відображення електронного документа незалежно від електронної чи паперової форми). [1,2]

Постанова Верховного Суду щодо електронних доказів чітко окреслює їх допустимість та процесуальний порядок збирання, наголошуючи на необхідності дотримання вимог КПК. Такий підхід сприяє уніфікації судової практики та підвищує правову визначеність у використанні цифрової інформації як доказів у кримінальних справах. [2]

У сучасних умовах цифровізації суспільства електронні докази стали невід’ємною складовою кримінального процесу, що вимагає їхнього ретельного правового регулювання та технічного забезпечення. Встановлено, що електронні докази можуть бути використані у кримінальному провадженні нарівні з традиційними, за умови дотримання процесуальних норм та належної фіксації джерел даних.

Отже, з огляду на викладене, можна зробити логічний висновок про ефективне використання електронних доказів у кримінальному провадженні, яке можливе лише за умов належного нормативного регулювання, кваліфікованої підготовки слідчих органів та уніфікації судової практики, що дозволяє забезпечити правову визначеність і справедливість правосуддя в умовах цифрового середовища.

УДК 342.9:35.07(477)

О.Л. Малиш, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Характеристика окремих видів адміністративних процедур органів місцевого самоврядування в Україні

Розкрито зміст адміністративних процедур органів місцевого самоврядування в Україні, виокремлено їх види, стадії реалізації та основні напрями взаємодії з іншими суб'єктами.

Місцеве самоврядування в Україні є важливою складовою демократичного устрою та засобом реалізації публічної влади на місцях. Воно сприяє активному залученню населення до процесів управління територіальними громадами, забезпечуючи баланс інтересів громадян і держави. Наявність ефективних адміністративних процедур у цьому процесі є запорукою законності, прозорості та підзвітності дій органів місцевої влади.

Закон України «Про адміністративну процедуру» набув чинності 15 грудня 2023 року і закріпив загальні прозорі, передбачувані правила взаємодії між органами публічної адміністрації та фізичними й юридичними особами. Закон передбачає основні засади та стадії адміністративних процедур, вимоги до форм документів, строки їх розгляду, а також порядок оскарження рішень. Це дозволяє встановити єдиний підхід до реалізації адміністративних функцій органів влади.

Адміністративну процедуру традиційно поділяють на види в залежності від різних критеріїв. Так, наприклад, за суб'єктом, якому належить ініціатива виникнення правовідносин, адміністративну процедуру поділяють на: ту, що ініціює приватна особа (заявна); ту, що ініціює суб'єкт публічного адміністрування (втручальна).

Залежно від складності здійснення адміністративної процедури виділяють: прості, що полягають у вчиненні суб'єктом публічного адміністрування певних одноразових дій, які дозволяють завершити процедуру та ухвалити адміністративний акт без потреби залучення інших учасників, додаткового вивчення та дослідження обставин справи; складні, які потребують здійснення складних дій із можливим залученням спеціалістів, експертів, перекладачів, заслуховування свідків та іншого додаткового вивчення обставин адміністративної справи.

За критерієм кількості суб'єктів публічної адміністрації, що є учасниками адміністративної процедури: ті, що здійснюються одним суб'єктом публічної адміністрації; ті, що здійснюються кількома суб'єктами публічної адміністрації.

За наслідками для особи адміністративну процедуру поділяють на: правонадавальну або правопідтверджувальну; правообмежувальну; зобов'язальну.

Залежно від сутності адміністративні процедури бувають: реєстраційні; дозвільні; ліцензійні; контрольно-наглядові; екзаменаційні; експертні; акредитаційні; приватизаційні; із розгляду скарг. Така умовна класифікація

сприяє ефективнішому застосуванню відповідного процедурного інструментарію залежно від мети управлінської діяльності.

Органи місцевого самоврядування здійснюють адміністративні процедури у різних сферах: соціальній, освітній, культурній, екологічній, містобудівній, земельній тощо. Наприклад, при реалізації програми «Турбота» в Київській області органи місцевого самоврядування виконують функції прийняття звернень, перевірки документів, ухвалення рішень про надання допомоги, оформлення та повідомлення громадян.

У сфері екології адміністративна процедура може передбачати узгодження проектів природоохоронного значення, проведення громадських слухань, надання дозволів на спеціальне використання природних ресурсів. В умовах війни набули особливого значення процедури, пов'язані із забезпеченням правопорядку, захистом населення, використанням майна для оборонних потреб.

Адміністративні процедури у сфері земельних відносин — це одна з ключових функцій місцевого самоврядування. Вони включають ухвалення рішень щодо розпорядження землями громади: надання дозволів, затвердження проєктів землеустрою, передача земель у власність чи оренду тощо.

Такі дії здійснюються відповідно до вимог Земельного кодексу України та інших нормативних актів, а їх послідовність забезпечує правову визначеність і законність управлінських рішень. Оскарження рішень органів місцевого самоврядування у земельних справах з підстав порушення процедури, встановленої Законом України «Про адміністративну процедуру», належить до юрисдикції адміністративних судів.

Міжнародне співробітництво органів місцевого самоврядування є додатковим чинником впровадження кращих практик. Завдяки участі посадових осіб місцевого самоврядування в асоціаціях, проєктах міжнародної технічної допомоги, побратимських зв'язках з органами місцевого самоврядування інших кран відбувається обмін досвідом, реалізація спільних програм/проектів і підвищення кваліфікації посадовців. Європейська хартія місцевого самоврядування визнає це право і рекомендує державам створювати умови для такого співробітництва.

Важливою складовою діяльності органів місцевого самоврядування є нормотворчі процедури, що передбачають розробку, прийняття, зміну або скасування локальних нормативно-правових актів. Їх основне завдання — встановлення або уточнення норм права, необхідних для ефективного управління в межах територіальної громади.

Нормотворчість здійснюється згідно з чинним законодавством і відбувається поетапно, що дозволяє забезпечити відкритість, правомірність та уникнення зловживань. Дотримання процедури прийняття рішень зменшує ризик прийняття суб'єктивних або юридично нікчемних актів, що може бути критично важливим для правового захисту громади. У разі порушення порядку ухвалення таких рішень, вони можуть бути оскаржені в судовому порядку.

Нормативні акти, які приймають органи та посадові особи місцевого самоврядування (переважно у формі рішень та розпоряджень), деталізують законодавчі положення з урахуванням місцевих потреб. Завдяки цьому правове регулювання стає більш адаптованим до конкретних умов життя громади.

Однак, у випадках, коли орган місцевого самоврядування реалізує свої повноваження в межах нормотворчої функції, що полягає у встановленні загальнообов'язкових правил і положень для фізичних та юридичних осіб на території громади, такі дії не мають характеру адміністративної процедури. У цих випадках ні рада, ні її виконавчий комітет (чи інші виконавчі органи) не виступають як адміністративні органи. Це, зокрема, стосується ухвалення регламенту ради, програм соціально-економічного розвитку, місцевого бюджету, правил благоустрою тощо.

Також, окрему категорію адміністративних процедур у діяльності органів місцевого самоврядування становлять погоджувальні процедури, які мають важливе значення в процесі формування та реалізації державної політики на місцях. Такі процедури передбачають участь органів місцевого самоврядування у погодженні рішень, документів чи заходів, ініційованих центральними органами виконавчої влади або іншими суб'єктами публічного управління. Їх суть полягає у досягненні узгодженості між загальнодержавними цілями та інтересами територіальних громад.

У юридичній науці під погоджувальною процедурою розуміють сукупність дій, що здійснюються суб'єктами господарювання, державними адміністраторами та дозвільними органами під час проведення погодження (розгляду), оформлення, надання висновків тощо, які передують отриманню документа дозвільного характеру.

Однією з сучасних форм реалізації адміністративних процедур стали електронні сервіси. Україна активно розвиває електронне урядування, зокрема завдяки застосунку «Дія». Через нього можливо подати заяву на реєстрацію бізнесу, оформити субсидію, отримати витяг з реєстру територіальної громади, подати скаргу чи звернення. Це спрощує доступ громадян до публічних послуг і зменшує корупційні ризики.

Таким чином, адміністративні процедури є необхідною умовою реалізації повноважень органів місцевого самоврядування. Вони забезпечують юридичну визначеність, передбачуваність рішень, захист прав людини та ефективність місцевого врядування.

Однак, незважаючи на значний прогрес, залишаються проблеми: недостатнє технічне оснащення органів місцевого самоврядування, брак кваліфікованих кадрів, неоднорідність практики застосування адміністративного законодавства. Тому необхідне подальше вдосконалення нормативної бази, навчання працівників та залучення громадськості до моніторингу здійснення адміністративних процедур органами місцевого самоврядування.

Висновки

Адміністративні процедури органів місцевого самоврядування в Україні є важливим інструментом організації ефективної взаємодії з громадянами та іншими суб'єктами публічного управління. Їх уніфікація, цифровізація та прозорість забезпечують дотримання правових стандартів і розвиток місцевої демократії.

Список літератури

1. Ільницький М.С. Місцеве самоврядування як форма публічного волевиявлення. Вісник Харківського національного університету внутрішніх справ. 2018. 74(3). С. 28–37.

2. Про адміністративну процедуру: Закон України від 17 лютого 2022 р. № 2073-IX. URL: https://zakon.rada.gov.ua/

3. Галіцина Н.В. Адміністративна процедура як інститут адміністративного процесу. Форум права. 2010. № 4. С. 163–177.

4. Адміністративна процедура: конспект лекцій / І.В. Бойко та ін. Харків: Право, 2017. 176 с.

5. Про затвердження Київської обласної цільової Програми «Турбота» на 2021–2025 роки. URL: https://kor.gov.ua/

6. Європейська хартія місцевого самоврядування. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_036#Text

7. Лелеченко А.П. та ін. Міське самоврядування в умовах децентралізації влади: навч. посіб. Київ, 2017. 110 с.

8. Михайлюк Я. Надання адміністративних послуг в електронній формі: сучасний стан і перспективи розвитку. Підприємство, господарство і право. 2017. № 3. С. 135–138.

9. Осауленко С.В. Види внутрішньоорганізаційних процедур в органах місцевого самоврядування. URL: http://dspace.onua.edu.ua/bitstream/handle/ (дата звернення 14.08.2023).

УДК 342.72:347.6(477)

Х.В. Кметик, к.ю.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Система національного законодавства України з питань ґендерної рівності у сфері сімейних правовідносин

У даному дослідженні здійснено комплексний аналіз системи національного законодавства України у сфері забезпечення ґендерної рівності, зокрема в контексті сімейних правовідносин. Особлива увага приділена ролі Конституції України як основи правового регулювання та Сімейного кодексу, який закладає принципи паритетності у шлюбних і сімейних відносинах.

Систему національного законодавства України з питань ґендерної рівності, у тому числі у сфері сімейних правовідносин, можна систематизувати таким чином:

перша група – це ратифіковані Україною міжнародно-правові договори як частина національного законодавства;

друга група – це нормативно-правові акти, які містять загальні норми та визначають стратегічні питання, пов'язані з формуванням та реалізацією ґендерної політики в Україні. До цієї групи можна віднести фундаментальні закони в даній сфері, а також концепції (національні плани, стратегії, програми), які затверджуються Президентом України та Кабінетом Міністрів України;

третя група – це акти законодавства, які містять загальні норми, що регламентують суспільні відносини в певній сфері діяльності;

четверта група – це акти, які безпосередньо пов'язані із формуванням та реалізацією ґендерної політики в певній сфері діяльності, які містять спеціальні норми [1].

Міжнародні стандарти з дотримання рівних прав і можливостей жінки та чоловіка в суспільстві сформульовані у Загальній декларації прав людини [2], Конвенції про політичні права жінок [3], Конвенції ООН про ліквідацію всіх форм дискримінації щодо жінок [4] тощо. Україна як одна з держав-засновниць ООН дотримується принципів цієї міжнародної організації і розуміння ґендерної рівності як однієї з умов розвитку держави, створення належних умов для всебічного розвитку людського потенціалу. Зокрема, відповідно до статті 18 Конвенції ООН про ліквідацію всіх форм дискримінації щодо жінок Україна періодично, щочотири роки, подає Генеральному секретарю ООН державні доповіді про виконання цієї Конвенції в Україні.

Також окремо потрібно виділити міжнародні угоди (договори) та міжнародно-правові акти, ратифіковані Верховною Радою України, які, відповідно до вимог ст. 9 Конституції України, є частиною національного законодавства України [5].

Гарантії реалізації права на ґендерну рівність в Україні закріплені у Конституції України, яка є основою для прийняття законів і підзаконних актів з питань правового регулювання ґендерної рівності, у тому числі у сфері

сімейного права. Конституція України проголошує та юридично унормовує політико-правовий принцип, згідно з яким людина – чоловік і жінка – є найвищою цінністю. Характерною особливістю Конституції України є відображення в ній рівності прав і свобод у тісній взаємозалежності із забезпеченням рівності можливостей для чоловіка й жінки стати рівноправними як де-юре, так і де-факто у всіх сферах суспільної життєдіяльності.

У частині 2 статті 3 Конституції України закріплено, що утвердження і забезпечення прав і свобод людини є головним обов'язком держави [5].

О. Ф. Фрицький, досліджуючи питання ґендерної рівності, звертає увагу на: статтю 21 Конституції України, яка визначає, що всі люди є вільні та рівні у своїй гідності й правах; статтю 22 Конституції України, яка визначає, що права і свободи людини є невідчужуваними та непорушними; статтю 23 Конституції України, яка визначає право кожної людини на вільний розвиток своєї особистості, якщо при цьому не порушуються права і свободи інших людей [6].

Стаття 24 Конституції України прямо зобов'язує дотримуватись принципу ґендерної рівності, зазначаючи, що не може бути привілеїв чи обмежень за ознаками раси, кольору шкіри, політичних, релігійних та інших переконань, статі, етнічного та соціального походження, майнового стану, місця проживання, за мовними або іншими ознаками. Надання жінкам рівних з чоловіками можливостей у громадсько-політичній і культурній діяльності, у здобутті освіти і професійній підготовці, праці та винагороді за неї; спеціальні заходи щодо охорони праці і здоров'я жінок, встановлення пенсійних пільг; створенням умов, які дають жінкам можливість поєднувати працю з материнством; правовий захист, матеріальна і моральна підтримка материнства і дитинства, включаючи надання оплачуваних відпусток та інших пільг вагітним жінкам і матерям – все це забезпечує рівність прав жінки і чоловіка [5].

Питання ґендерної рівності також реалізовуються у рамках концепцій (національних планів, стратегій, програм), які затверджуються Президентом України та Кабінетом Міністрів України. Прийняття зазначених актів свідчить про прагнення України до побудови правової та демократичної держави, в якій забезпечуються та гарантуються права і свободи людини, а також про наміри держави впровадити принцип ґендерної рівності на всіх рівнях суспільного життя [1]. Це також підтверджується затвердженням Міністерством соціальної політики України 7 лютого 2020 року Інструкції щодо інтеграції ґендерних підходів під час розроблення нормативно-правових актів, у якій встановлено загальні вимоги до застосування ґендерних підходів під час розроблення нормативно-правових актів [7].

Крім Конституції України, основу ґендерного законодавства у сфері сімейних правовідносин складають Сімейний кодекс України [8], Цивільний кодекс України [9] та Кримінальний кодекс України [10].

Зокрема, Сімейний кодекс України втілив ґендерний конструкт із урахуванням осмислення всієї ґендерної проблематики. Він ставив за мету як закріпити принципи паритетної демократії у сім'ї, так і забезпечити рівні

можливості для подружжя у реалізації ними конституційних прав, свобод, обов'язків і відповідальності людини та громадянина. Так, у статті 1 СК України вказується, що Кодекс регулює сімейні відносини з метою їх побудови на паритетних засадах, на почуттях взаємної любові та поваги, взаємодопомоги і підтримки, а стаття 7 СК України прямо визначає, що жінка та чоловік мають рівні права й обов'язки у сімейних відносинах, шлюбі та сім'ї. Стаття 3 СК України визначає сім'ю як таку, що створюється на підставі шлюбу, кровного споріднення, усиновлення, а також на інших підставах, не заборонених законом і таких, що не суперечать моральним засадам суспільства [8].

Окрім Сімейного кодексу, Україна має розвинуту систему інших нормативно-правових актів, що регулюють сімейні відносини, але практично в усіх цих документах проблеми ґендерної нерівності або партнерських відносин у сім'ї піднімаються рідко.

Висновок

Система українського законодавства щодо ґендерної рівності демонструє поступовий, але послідовний розвиток у напрямку забезпечення рівних прав і можливостей жінок та чоловіків у всіх сферах суспільного життя, з особливим акцентом на сімейно-правові відносини. Попри наявність широкої нормативної бази, ефективна реалізація принципів ґендерної рівності потребує не лише законодавчих змін, а й реального впровадження ґендерно чутливих підходів у практику правозастосування. Підвищення обізнаності, соціальна підтримка, освітні ініціативи та контроль за дотриманням ґендерного балансу – це ключові кроки на шляху до досягнення фактичної, а не лише формальної рівності.

Список літератури

1. Цицюра В. І., Медвідь Л. П., Риндич Д. С. Правове регулювання ґендерної рівності в Україні. *Юридичний вісник «Теорія та історія держави і права, міжнародне право»*. 2023. № 4 (69). С. 55–62.
2. Загальна декларація прав людини, прийнята і проголошена резолюцією 217 А (III) Генеральної Асамблеї ООН від 10 грудня 1948 року. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_015#Text (дата звернення: 15.04.2025).
3. Convention on the Political Rights of Women adopted by the General Assembly of the United Nations on 20 December 1952. URL: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XVI-1&chapter=16 (дата звернення: 15.04.2025).
4. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про ліквідацію всіх форм дискримінації щодо жінок. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_207#Text (дата звернення: 15.04.2025).
5. Конституція України: Закон України від 28 червня 1996 р. № 254k/96-VR. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#Text (дата звернення: 15.04.2025).
6. Магновський І. Й. Теоретико-правове осмислення ґендерної рівності в національній юридичній думці сьогодення. *Вісник ЛДУВС ім. Е.О. Дідоренка*. 2022. Вип. 2 (98). URL: https://luhbulletin.dnuvs.ukr.education/index.php/main/article/view/77/73 (дата звернення: 15.04.2025).

7. Інструкція щодо інтеграції ґендерних підходів під час розроблення нормативно-правових актів, затверджена Наказом Міністерством соціальної політики України від 7 лютого 2020 р. № 211/34494. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0211-20#Text (дата звернення: 15.04.2025)

8. Сімейний кодекс України: Закон України від 10 січня 2002 р. № 2947-14. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2947-14#Text (дата звернення: 15.04.2025).

9. Цивільний кодекс України: Закон України від 16 січня 2001 р. № 435-15. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435-15#Text (дата звернення: 15.04.2025).

10. Кримінальний кодекс України: Закон України від 5 квітня 2001 р. № 2341-14. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text (дата звернення: 15.04.2025).

УДК 629.7.054

Н.Ю. Волков, Т.О. Постнікова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Адаптація європейського досвіду партисипативної демократії на місцевому рівні: правові механізми та міжнародний контекст

Розглянуто адаптацію європейського досвіду партисипативної демократії на місцевому рівні в Україні. Проаналізовано концептуальні засади участі громадян у процесах ухвалення рішень, моделі взаємодії з органами влади, а також європейські практики. Розглядаються правові механізми та інституційні умови впровадження партисипативних підходів у публічне врядування.

Партисипативна демократія, як форма безпосередньої участі громадян у процесі прийняття рішень, стала важливим елементом демократичного врядування в країнах Європейського Союзу. В Україні, на тлі глибоких трансформацій у сфері децентралізації, реформ місцевого самоврядування та руху до європейських стандартів управління, актуальність вивчення та впровадження таких практик суттєво зросла. Додатковим чинником є потреба у відновленні довіри громадян до інститутів влади, підвищенні ефективності прийняття рішень на місцях, а також залученні громадськості до процесів післявоєнного відновлення і розвитку територіальних громад.

Концепція партисипативної демократії посідає важливе місце в сучасній політичній теорії та активно розробляється в науковій літературі. Вона трактується як залучення громадян до здійснення публічно-владних функцій як у пасивній, так і в активній формах. Крім того, цей підхід охоплює моделі співпраці громадян з виборними органами влади та посадовими особами, що підкреслює його кооперативний характер

Вагомий внесок у розвиток ідей партисипативної демократії зробив Джон Дьюї, який заклав засади демократичного врядування через діалог, обговорення та пошук консенсусу між різними соціальними групами. Він наголошував, що демократія — це не лише механізм ухвалення рішень більшістю, а й процес публічної комунікації та домовленостей, що враховують плюралізм інтересів.

Демократія, за своєю суттю, не є статичною категорією, вона постійно трансформується під впливом нових викликів, соціальних потреб і культурного контексту. Становлення демократії участі означає виникнення нової форми демократичного устрою, яка здатна гнучко реагувати на потреби суспільства, доповнюючи представницьку та пряму демократію, але не зливаючись з ними[1].

У сучасній європейській практиці публічного врядування громадська участь у прийнятті рішень реалізується в різноманітних формах, таких як інформування, проведення консультацій, ведення діалогу та безпосередня участь. Ці підходи закріплені у Кодексі найкращих практик залучення громадськості до процесу ухвалення рішень. Виділяють чотири основні рівні участі — від найменшого до найвищого ступеня залученості: інформування,

консультації, діалог і партнерство. Кожен із цих рівнів може бути застосований на різних етапах ухвалення рішень, хоча їхня актуальність змінюється залежно від конкретного етапу процесу [2].

Партисипативні підходи у врядуванні спираються на засади ефективного місцевого управління, які були закладені в рамках Європейської Стратегії інноваційного та доброго врядування. Ця стратегія була ініційована Центром експертизи з реформування місцевого самоврядування Ради Європи у відповідь на рішення III Варшавського саміту керівників держав і урядів країн-членів, що визначили напрямок розвитку демократичного врядування на локальному рівні[3].

Європейський досвід партисипативної демократії на місцевому рівні водночас демонструє прогресивні формати громадської участі та викриває структурні слабкості. Ініціативи на кшталт Конференції про майбутнє Європи або Французької кліматичної конвенції позиціонувалися як інструменти залучення громадян до формування політик. Проте на практиці ці формати часто зводилися до символічного представлення — без гарантій впливу, без зобов'язань реалізовувати напрацьовані рішення.

Така тенденція вказує на глибший дефіцит довіри між громадянами та інституціями, де участь сприймається не як спільна відповідальність, а як декоративний елемент управління. Водночас окремі кейси — зокрема, громадські асамблеї в Ірландії, партисипативне бюджетування в Португалії та цифрові платформи участі в Естонії — демонструють потенціал реального залучення на локальному рівні. У цих випадках участь громадян не обмежується консультацією, а передбачає вплив на рішення та їхнє втілення.

Європейський контекст показує, що ефективна партисипативна демократія потребує не лише платформи для висловлення думки, а й політичної волі делегувати частину владних повноважень громадянам. Без цього навіть найкращі інструменти залишаються декоративними[4].

В українських реаліях, особливо в умовах трансформаційного періоду, найперспективнішим майданчиком для розвитку партисипативної демократії є саме базовий — місцевий рівень. Саме тут громадяни можуть найефективніше впливати на процеси управління, використовуючи інструменти прямої демократії. Це підтверджується низкою законодавчих ініціатив, які перебувають на розгляді Верховної Ради України, зокрема: законопроєкти «Про загальні збори членів територіальної громади за місцем проживання» (№ 3747), «Про місцеві ініціативи» (№ 3740), та зміни до Закону України «Про органи самоорганізації населення» (№ 3704-1). Вони покликані створити правове підґрунтя для активного залучення громадян до місцевого врядування, забезпечуючи реальні важелі впливу на рішення органів влади. Конституція України (ст. 140) визнає місцеве самоврядування формою реалізації права територіальних громад вирішувати питання місцевого значення безпосередньо. У цьому контексті важливу роль відіграє статут громади як засадничий документ, що не лише формалізує процедури громадської участі, а й закріплює локальні підходи до реалізації принципів безпосередньої демократії. Через статутне регулювання відкривається простір для гнучкої, контекстно

адаптованої моделі участі, здатної враховувати специфіку конкретної громади та посилювати її спроможність до самоврядності[5].

Висновок

Аналіз європейського досвіду партисипативної демократії засвідчує, що ефективна громадська участь можлива лише за наявності не лише інституційних механізмів, але й реальної політичної волі до делегування повноважень громадянам. Успішні приклади локальних ініціатив в Ірландії, Португалії та Естонії демонструють, що партисипативна демократія може бути дієвим інструментом зміцнення довіри до влади та підвищення якості врядування. Водночас європейські практики також виявляють низку обмежень, пов'язаних із формалізацією участі без реального впливу. Український контекст, позначений трансформаційними процесами та посиленням ролі місцевого самоврядування, створює сприятливе підґрунтя для запозичення та адаптації цих підходів. Зокрема, розвиток законодавчих ініціатив та статутне регулювання відкривають можливості для формування сталих, контекстно орієнтованих моделей громадської участі, що здатні відповідати на виклики сучасного демократичного врядування.

Список літератури

1. Шумляєва І., Лисиця О. Теоретичні підходи до партисипативної демократії на місцевому рівні. Аспекти публічного управління. Том 12. №2. 2024. 57-66. https://doi.org/10.15421/152425
2. Ющук Р. Тенденції розвитку організаційних форм партисипації в місцевому самоврядуванні. Публічне управління: концепції, парадигма, розвиток, удосконалення. Вип.8. 2024. 157–164. https://doi.org/10.31470/2786-6246-2024-8-157-164
3. Програма розвитку ООН в Україні. (2020). Громадська участь у стратегічному плануванні місцевого розвитку. Київ: ПРООН. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/ua/UA-UNDP-participation-in-strategic-planning-web.pdf
4. Comte R. Can participatory democracy deliver on its promises? [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.eyes-on-europe.eu/can-participatory-democracy-deliver-on-its-promises/
5. Батанов О. В., Кравченко В. В., Приходько Х. В. Партисипативна демократія в системі місцевого самоврядування: проблеми законодавчого регулювання. Аспекти публічного управління. № 9-10. 2014. Київ. 12-28

УДК 338.49: [332.122]: 332.14

С.В. Келип
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Новації нормативно-правового забезпечення розбудови прикордонної інфраструктури україни як гарантії дотримання європейських стандартів охорони державних кордонів

В статті зазначається, що важливим чинником практичного забезпечення сталих безпекових умов на державному кордоні України є приведення правової бази і регламентуючих процедур до спільного знаменника з нормами і директивами Європейського Союзу в контексті інтегрованого управління кордонами. Тож наразі пріоритетним напрямком є ведення комплексної правотворчої діяльності, яка має на меті не тільки стратегічну уніфікацію та адаптацію до системи нормативів і стандартів співдружності європейських країн, а також здатна покращити внутрішню міжвідомчу узгодженість між собою документів підзаконного порядку, а також з урядовими і актами законодавчої ініціативи.

Це стосується всіх видів контролю при перетині державного кордону України: паспортного, митного, міграційного, санітарно-епідеміологічного, ветеринарно- та фітосанітарного, екологічного і радіологічного. Наразі актуальним залишається питання модернізації облаштування прикордонної інфраструктури держави відповідно до рівня наростаючих гібридних безпекових загроз і сучасних суспільно-економічних запитів. Спроможності превентивного реагування на геополітичні виклики в питаннях покращення механізмів пропускної комфортності на кордоні, забезпечення його охорони і захисту, напряму залежать від якості нормативно-методологічного базису, що регулює діяльність суб'єктів інтегрованого управління кордонами.

Досягнення швидкої та дієвої реакції відповідних державних інституцій на безпекові виклики та стрімкі зміни геополітичних умов і міжнародної обстановки в прикордонному сегменті задля суспільного блага, можливо при умові наявності чітких приписів дозвільного характеру, синхронізації та плануванні спільних дій, сталого фінансування.

Це одні з головних елементів розвитку прикордонної інфраструктури в контексті зміцнення національної безпеки. Українські науковці в своїх працях звертають увагу на вказану проблематику. Так, необхідно відмітити дослідження І.Ковальчук, О.Литвиненко. Особливу увагу ці дослідники приділяють встановленню пріорітетності складових національної безпеки. І це - захист державного кордону України [1,2]. Погоджуючись з цим, необхідно додати, що непорушність зовнішніх кордонів держави є основою її суверенітету і незалежності. В стратегічному аспекті для подальшої всеохоплюючої розбудови прикордонної інфраструктури, регулятивна нормативно-правова база потребує оновлення, внесення конкретизуючих доповнень, особливо в частині забезпечення належним фінансуванням та контролюючими механізмами витратної частини.

Піддаючи аналізу План заходів на 2023-2025 роки щодо реалізації Стратегії інтегрованого управління кордонами на період до 2025 року, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2023 р. № 1212-р констатуємо, що для втілення стратегічних цілей передбачені практичні кроки для вирішення поставлених завдань. В даному випадку нас цікавлять нормативні новації, що при наданні їм загальнообов'язкової якості, здатні стати базисом запланованих перетворень і міжвідомчої взаємодії в царині інтегрованого управління кордонами, в тому числі у взаємодії з Європейським Союзом. Своєчасним нормативно-правовим підсиленням цілей, визначених Стратегією інтегрованого управління кордонами на період до 2025 року є формування підзаконної та законопроєктної бази з імплементацією актів права Європейського Союзу з метою:

- оптимізації контрольних процедур на державному кордоні України із забезпеченням належного рівня безпеки;
- оперативного реагування на правопорушення на державному кордоні України поза пунктами пропуску через державний кордон України;
- контролю за морською обстановкою, що забезпечує оперативне реагування на її зміни;
- здійснення вибіркового контролю на основі результатів аналізу та оцінки ризиків, що забезпечує мінімізацію загроз на державному кордоні України;
- запровадження ефективного механізму координації діяльності суб'єктів інтегрованого управління кордонами для забезпечення їх співпраці;
- запровадження ефективного механізму міжнародного співробітництва для розвитку інтегрованого управління кордонами;
- забезпечення ефективної протидії організованій злочинності на державному кордоні України правоохоронними та митними органами; виявлення нелегальних мігрантів та повернення їх до країн походження або третіх країн, їх примусове видворення за межі України [3].

Це безпосередньо стосується такої діяльності як:

- застосування спільного контролю та принципу "єдиної зупинки" для скорочення часу перетину державного кордону України через законодавче врегулювання порядку права виконання окремих митних формальностей представниками Адміністрації Держприкордонслужби та окремих процедур прикордонного контролю представниками Держмитслужби;
- запровадження системи попередньої інформації про пасажирів шляхом нормативного врегулювання обробки попередніх даних реєстрації особи;
- адаптації національних систем контролю до європейських, зокрема шенгенських через нормативне врегулювання порядку використання баз даних правоохоронних органів держав-членів Європейського Союзу з метою адаптації національних систем контролю до європейських і затвердження відповідного порядку використання баз даних правоохоронних органів держав-членів ЄС Кабінетом Міністрів України;

- розбудови інфраструктурних пунктів пропуску шляхом схвалення Стратегії розвитку та розбудови, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України;

- створення умов для оптимізації інфраструктури пунктів пропуску шляхом внесення змін до постанови Кабінету Міністрів України від 17 серпня 2002 р. № 1142 "Про затвердження загальних вимог до облаштування пунктів пропуску через державний кордон";

- визначення підстав для тимчасового закриття пунктів пропуску через державний кордон України та пунктів контролю через внесення змін до Положення про пункти пропуску через державний кордон та пункти контролю, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2010 р. № 751;

- удосконалення інженерно-технічного облаштування державного кордону України шляхом реалізації Закону України "Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо захисту державного кордону України" у частині відведення земельних ділянок біля українсько-російського та українсько-білоруського державного кордону для інженерного облаштування та реєстрації права власності на землю;

- запровадження раціональних нових підходів до планування застосування сил та засобів для збільшення тривалості часу їх перебування у морі або на чергуванні шляхом затвердження Інструкції про організацію оперативно-службової діяльності Морської охорони Держприкордонслужби;

- удосконалення нормативної бази та приведення процедури проведення аналізу ризиків у відповідність з європейською моделлю CIRAM 2.1 шляхом затвердження методології оцінки ризиків та Положення про міжвідомчу регіональну аналітичну групу з питань регулярної оцінки ризиків та загроз, пов'язаних з транскордонною злочинністю спільними наказами Адміністрації Держприкордонслужби, Держмитслужби, ДМС, Національної поліції, СБУ (за згодою);

- запровадження ІТ-рішень для забезпечення автоматизації процесу аналізу і профілювання ризиків через введення в експлуатацію системи автоматизованої перевірки ризиків наказом Держприкордонслужби;

- опрацювання міжвідомчих алгоритмів (стандартних операційних процедур) взаємодії контрольних служб шляхом нормативно-правового врегулювання порядку взаємодії між МВС, ДМС, Держприкордонслужбою та Національною поліцією з питань протидії нелегальній міграції;

- оновлення базових навчальних програм з урахуванням європейських та міжнародних стандартів, уніфікованої навчальної програми Європейської агенції з прикордонної та берегової охорони (FRONTEX), рекомендацій Європейського Союзу та Всесвітньої митної організації шляхом видання відповідних наказів Адміністрацією Держприкордонслужби;

- затвердження методики планування персоналу і впровадження автоматизованої системи управління персоналом та автоматизації процедури добору кандидатів для проходження військової служби за контрактом в системі Держприкордонслужби;

- завершення демаркації державного кордону України шляхом подання законопроєкту до Верховної Ради України;

- налагодження механізму діяльності спільних слідчих груп та координаційних центрів через нормативно-правове врегулювання створення та функціонування координаційного центру з питань протидії транскордонній злочинності відповідним спільним наказом МВС, Держмитслужби, Національної поліції, Адміністрації Держприкордонслужби, СБУ (за згодою);

- удосконалення нормативно-правової бази щодо вирішення питання запровадження кримінальної відповідальності за незаконне переміщення товарів через державний кордон України і з питань надання правоохоронним органам повноважень щодо збирання, обробки та зберігання персональних даних, у тому числі тому числі PNR - Passenger Name Record шляхом подання законопроєкту до Верховної Ради України;

- запровадження інформаційного обміну між суб'єктами інтегрованого управління кордонами щодо ідентифікації нелегальних мігрантів та забезпечення переговорного процесу з державами міграційного ризику щодо укладення угод про реадмісію прийняттям відповідних постанов Кабінетом Міністрів України;

- забезпечення дотримання персоналом підрозділів тримання органів охорони державного кордону України прав та свобод осіб у місцях тимчасового тримання в рамках здійснення моніторингу прав людини шляхом затвердження програми підготовки наказом Адміністрації Держприкордонслужби [4].

Висновки

Як вбачається, в прикордонній безпековій галузі триває постійна системна науково-методологічна і законотворча робота над практичним впровадженням міжвідомчої нормотворчості та приведенням у відповідність національної нормативно-правової бази Європейським стандартам. За результатами засідання міжвідомчої робочої групи з питань координації інтегрованого управління кордонами під головуванням віцепрем'єр-міністерки з питань європейської та євроатлантичної інтеграції, яка відбулась в грудні 2024 року, відповідно до актуальної оцінки, План заходів виконано на 59%. Загалом досягнуто позитивних значень за 110 показниками, виконано 23 індикатори та реалізовано 19 заходів [5]. Об'єктивно зважаючи на пріоритетність державної політики в царині охорони та захисту державних кордонів як складової національної безпеки України, такий відсоток виконання не є цілком прийнятним та задовільним. Враховуючи це, наразі, продовжується робота над наближенням вже оприлюдненого показника до 100%. Також паралельно готується до прийняття проєкт Стратегії інтегрованого управління державним кордоном України до 2030 року з нормативними новелами та методологічними напрацюваннями, прийнятними, реалістичними пропозиціями впровадження та чіткою фінансовою ресурсністю, адже чинність існуючої Стратегії закінчується наприкінці 2025 року.

Список літератури

1. Литвиненко, О. М. Інтегроване управління державним кордоном як пріоритет державної політики України / О. М. Литвиненко // Національна безпека і оборона. – 2021. – № 5. – С. 12–19.

2. Ковальчук, І. В. Розвиток прикордонної інфраструктури як чинник зміцнення національної безпеки / І. В. Ковальчук // Державне управління: теорія та практика. – 2022. – № 4(72). – С. 88–95.

3. Про схвалення Стратегії інтегрованого управління кордонами на період до 2025 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 24.07.2019 № 687-р. URL: https://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2019-р (дата звернення: 15.04.2025).

4. Про затвердження плану заходів на 2023-2025 роки щодо реалізації Стратегії інтегрованого управління кордонами на період до 2025 року: розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2023 № 1212-р. URL: https://www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/687-2019-р (дата звернення: 15.04.2025).

5. Підсумки реалізації політики з інтегрованого управління кордонами. URL: https://eu-ua.kmu.gov.ua/news/pid-golovuvannyam-olgy-stefanishynoyi-pidbyly-pidsumky-realizatsiyi-polityky-z-integrovanogo-upravlinnya-kordonamy/ (дата звернення 15.04.2025).

УДК 378.147:004:811.111(045)

Н.І. Хайдарі, кандидат педагогічних наук, доцент,
А.О. Давиденко, кандидат педагогічних наук, доцент,
Ю.І. Ярошенко
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інноваційні технології у формуванні іншомовної компетентності майбутніх фахівців авіаційної галузі в умовах цифрової трансформації освіти

Процес інформатизації освіти виступає важливим чинником модернізації підготовки майбутніх фахівців, зокрема в авіаційній галузі, де іншомовна комунікативна компетентність набуває особливого значення. Стаття висвітлює роль інформаційно-комунікаційних технологій у формуванні іншомовної компетентності при підготовці майбутніх фахівців авіаційної сфери.

У сучасному постіндустріальному суспільстві цифрові технології є визначальним фактором трансформації усіх аспектів життя, включаючи професійну підготовку кадрів у сфері авіації. Потреба у висококваліфікованих фахівцях, здатних до міжкультурної комунікації, зумовлює необхідність удосконалення мовної підготовки на основі інноваційних методів і технологій [1, с. 151]. Особливого значення цей феномен набуває в освітньому просторі України, де здійснюється підготовка авіаційних працівників із високим рівнем професійної компетентності. Інноваційні методи мовної підготовки, засновані на гуманістичному підході, спрямовані на розвиток особистості авіаційних працівників, їхнє професійне самовдосконалення та розкриття творчого потенціалу. Використання різноманітних мультимедійних засобів, а саме друкованого тексту, графічних зображень, відеоматеріалів, фотографій та аудіозаписів дозволяє повною мірою інтегрувати їх, створюючи ефект «віртуальної реальності» автентичного та всебічного спілкування.

Інноваційна діяльність у сфері мовної підготовки є ключовою відповіддю на виклики сучасності, зумовлені переходом суспільства до інноваційного типу розвитку. Вона сприяє адаптивності освітньої системи до потреб авіаційної галузі, її інтеграції в конкурентоспроможні міжнародні освітні проєкти. Запровадження інновацій забезпечує формування конкурентоспроможних фахівців з високим рівнем іншомовної комунікативної компетентності [2].

У психолого-педагогічній літературі поняття «інновація» трактується як процес якісного покращення освітніх практик відповідно до визначених цілей. У контексті мовної підготовки авіаційних працівників це передбачає впровадження нових методик навчання, які можуть бути як авторськими розробками викладачів, так і адаптованими міжнародними практиками. Наукова рефлексія викладачів дозволяє співвідносити обрані інноваційні методи з конкретними завданнями авіаційної галузі [1, с. 151].

Швидке впровадження цифрових інструментів створило глобальну мережу зв'язку, яка відчутно змінила традиційні підходи до вивчення мов. Загальне використання мультимедійних технологій у навчанні іноземним мовам авіаційних фахівців не є заміною викладача, а суттєво розширює його роботу. Використання електронних посібників, інтерактивних платформ і мультимедійних презентацій дає змогу суттєво збагатити процес навчання та, безперечно, підвищити його рівень [3].

У контексті мовної підготовки фахівців авіаційної галузі, мультимедійні технології відкривають нові можливості для розробки навчальних матеріалів, що відповідають сучасним педагогічним, методичним і дидактичним принципам авіаційної освіти. Вони сприяють розвитку самостійності авіаційних працівників у процесі пошуку, обробки та аналізу професійної інформації, формуванню їхньої іншомовної компетентності та пізнавальної активності, а також мотивації до вивчення авіаційної англійської мови. Крім того, мультимедійні засоби навчання дозволяють створити навчальне середовище, максимально наближене до реальних умов професійного спілкування в авіаційній галузі, що є особливо важливим за відсутності автентичного мовного середовища. У свою чергу, це сприяє більш ефективному засвоєнню авіаційної термінології та підвищенню рівня комунікативної компетентності фахівців авіаційної галузі [3].

Комп'ютеризоване навчання іноземної мови для авіаційних працівників ґрунтується на низці *ключових принципів:*

– ***Принцип індивідуалізації*** – можливість адаптації освітнього процесу до особистісних якостей кожного авіаційного фахівця, враховуючи його рівень знань, умінь і навичок у сфері авіаційної англійської мови.

– ***Принцип диференціації*** – надання авіаційним працівникам завдань різного рівня складності та кількості відповідно до їхніх пізнавальних можливостей і професійних потреб у авіаційній галузі.

– ***Принцип інтенсифікації*** – підвищення ефективності мовної підготовки шляхом використання різноманітних засобів подання інформації, структурування авіаційного матеріалу та інтерактивних форм роботи [4].

Застосування комп'ютерних технологій у мовній підготовці фахівців авіаційної галузі сприяє реалізації низки *дидактичних функцій:*

– ***Пізнавальна функція*** передбачає доступ до необмежених джерел інформації

– про авіаційну галузь через Інтернет, а також використання мультимедійних навчальних програм з авіаційної тематики.

– ***Розвивальна функція*** сприяє розвитку когнітивних процесів, зокрема

– сприйняття, пам'яті, логічного мислення та уяви, а також активізації авіаційного лексичного запасу.

– ***Тренувальна функція*** забезпечує можливість самостійного відпрацювання та

– перевірки рівня знань авіаційної англійської мови.

– ***Діагностична функція*** полегшує контроль за успішністю авіаційних

– працівників та пропонує швидке оцінювання рівня засвоєння навчального матеріалу з авіаційної тематики.

– ***Комунікативна функція*** передбачає взаємодію з навчальними програмами, а також допомагає авіаційним фахівцям подолати мовний бар'єр, підвищити мотивацію до вивчення авіаційної англійської мови та сформувати базові навички професійного іншомовного спілкування в авіаційній галузі [4].

Серед ключових викликів мовної підготовки в авіаційній галузі – необхідність високої точності, термінологічної грамотності та оперативності комунікації. У цьому контексті інтеграція інноваційних технологій сприяє формуванню відповідних навичок, акцентуючи увагу на такі аспекти, як-от:

1.Термінологічна точність та оперативність – вимагається швидке та безпомилкове використання авіаційної лексики в стресових ситуаціях (наприклад, аварійні процедури); конфлікт між культурними нормами (наприклад, непряма комунікація) та вимогами авіаційної сфери (пряма, категорична мова).

2. Практичні навички радіообміну – слабка компетенція у розумінні різних акцентів та технічної фразеології та недостатня автоматизація комунікації під тиском часу.

Інтеграція інноваційних технологій стає ефективною у тому випадку, коли цей процес включає в себе такі практичні інструменти, як-от:

- автентичні матеріали – аудіо/відеозаписи радіообміну (тренування на реальних прикладах аварійних ситуацій наприклад, CBT/WBT-системи) та симуляції (VR/AR-платформи для імітації комунікації з пасажирами або колегами, з негайним аналізом помилок).

- інтерактивні платформи – Quizlet, Google Sites, Amazy (створення цифрових колекцій авіаційної лексики з аудіо та візуалізацією, та вправ на граматичні структури наприклад, інструктивні речення для аварійних інструкцій) та Wordwall (ігри для тренування командної комунікації наприклад, розподіл ролей у кризових сценаріях).

- моделювання ситуацій – комп'ютерні інструменти (тренування на шаблонах ICAO з автоматичним відтворенням радіообміну, що зменшує залежність від рідної мови в стресі) та змішане навчання: поєднання CBT з класними заняттями для балансу між теорією та практикою [5].

Отже, за сучасних умов мовна підготовка фахівців авіаційної галузі потребує впровадження інноваційних технологій, які сприяють не лише ефективному засвоєнню навчального матеріалу, а й підвищенню мотивації студентів до вивчення іноземних мов. Технологічні засоби дозволяють адаптувати освітній процес до індивідуальних потреб здобувачів освіти, стимулюючи їхню активність, самостійність і творчий підхід до навчання. В умовах глобалізації іншомовна компетентність стає ключовим компонентом професійної підготовки, особливо у сфері авіації, де комунікація міжнародного рівня є обов'язковою. Застосування широкого спектру інноваційних технологій забезпечує якісну підготовку конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно діяти в умовах динамічного професійного середовища.

Список літератури

1. Гуревич Р. С., Гордійчук Г. Б., Коношевський Л. Л., Коношевський О. Л., Шестопал О. В. Освітнє середовище для підготовки майбутніх педагогів засобами ІКТ: монографія за ред. проф. Р. С. Гуревича. Вінниця ФОП Рогальська І. О. 2011. 348 с.

2. Куниця Л. І., Шапран Л. В. Викладання іноземної мови у вищих технічних навчальних закладах засобами мультимедійних технологій. Електронний ресурс. URL: http://www.nbuv.gov.ua/ (дата звернення: 19.03.2025).

3. Коломієць А., Коломієць Т. Розвиток інформаційної культури педагога в процесі професійної інноваційної діяльності. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету. Серія: Педагогіка. 2009. № 3. С. 80–83.

4. Ткачук-Грушицька Л. В. Інноваційні технології при викладанні іноземної мови. Актуальні проблеми іншомовної комунікації: лінгвістичні, методичні та соціально-психологічні аспекти. Збірник матеріалів всеукраїнської науково-методичної Інтернет-конференції. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. С. 47–50.

5. Конопляник Л. М. Особливості формування іншомовної компетентності в аудіюванні у майбутніх ІТ-фахівців засобами вебресурсів. Інноваційна педагогіка. 2023. Вип. 57. Т. 1. С. 258–262.

УДК 378.016:81

В.І. Базова, кандидат педагогічних наук, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості іншомовної підготовки персоналу з технічного обслуговування повітряних суден

Анотація. Навчання спеціалістів з технічного обслуговування повітряних суден іноземній мові є складним та багатоаспектним процесом. Іншомовна підготовка технічного персоналу з обслуговування літаків включає в себе опанування студентами професійно-технічної лексики, розвиток комунікативних умінь, навичок слухання, говоріння, читання та письма.

Фахівці у галузі авіації є особливою категорією професіоналів, які залучені до міжнародних процесів глобалізації суспільства та міжкультурної комунікації. Через це під час професійної підготовки фахівців у галузі авіації необхідно особливу увагу звертати на їх іншомовну підготовку [1, с. 2].

Мовна підготовка в авіації відрізняється від викладання іноземної мови в будь-якій іншій сфері людської діяльності, адже вона має власний зміст, конкретні цілі та критерії. Мова в авіаційній галузі призначена для забезпечення однозначного спілкування і через це вона використовує дуже специфічний набір лексики і виразів. Оперативна ефективність, а не лінгвістична коректність, є основним критерієм, за яким оцінюється володіння мовою в авіаційній галузі. Спілкування в галузі авіації є переважно усним і найчастіше не супроводжується візуальним контактом. Питання комунікації в авіаційній галузі може вплинути не лише на безпеку подорожуючих, але також потенційно може мати значні економічні наслідки для усіх залучених осіб [3]. Міжнародною організацією цивільної авіації свого часу було запроваджено рекомендації та міжнародні стандарти, які регламентують роботу не лише пілотів, диспетчерів та екіпажів, а й співробітників наземних служб [1, с. 3], включаючи персонал з технічного обслуговування літаків. Згідно з цими стандартами, англійська мова є головною мовою спілкування в галузі авіації [5]. Зважаючи на це, іншомовна підготовка є надзвичайно важливим компонентом підготовки майбутніх фахівців з технічного обслуговування літаків.

Спеціалісти з технічного обслуговування літаків відіграють важливу роль в авіаційній промисловості, забезпечуючи безпеку, ефективність і надійність польотів. Їх важливість важко переоцінити, оскільки вони відповідають за підтримку цілісності літака, мінімізацію часу простою та забезпечення безпечного виконання кожного рейсу. Головний обов'язок цих спеціалістів полягає у забезпеченні того, щоб усі літаки були придатними до польотів. За допомогою планових перевірок, профілактичного обслуговування та усунення несправностей вони виявляють і усувають потенційні проблеми з безпекою, перш ніж ті призведуть до технічних збоїв або аварій. До того ж персонал з технічного обслуговування повітряних суден забезпечує, щоб літаки відповідали стандартам безпеки, встановленим авіаційними органами. Ці спеціалісти гарантують дотримання правил щодо технічного обслуговування,

перевірок і ремонту. Вони мають глибоке розуміння систем літака, двигунів, авіоніки, гідравліки та інших механічних систем. Цей досвід дозволяє їм діагностувати та виправляти складні проблеми, які забезпечують ефективну експлуатацію літаків [4, с. 1-2].

Мовна підготовка персоналу з технічного обслуговування повітряних суден має важливе значення для здійснення ефективного спілкування в авіаційному середовищі. Опанування технічної та професійної лексики займає провідне місце у мовному навчанні таких фахівців. Майбутні спеціалісти повинні бути знайомі з конкретною термінологією, що стосується систем, компонентів і процедур технічного обслуговування літака. Фахівці повинні уміти описувати проблеми з системами та обладнанням, що має вирішальне значення для усунення несправностей і співпраці з інженерами чи іншим обслуговуючим персоналом. Вивчення спеціалізованих фраз, які часто використовуються в контексті технічного обслуговування літака, наприклад «капітальний ремонт двигуна» (англ. engine overhaul), «гідравлічні системи» (англ. hydraulic systems) або «передпольотна перевірка» (англ. pre-flight inspection) має бути ключовим компонентом такого навчання.

Окрім вивчення професійної лексики, забезпечення опанування студентами комунікативних навичок також сприяє чіткій та точній комунікації. Персоналу з технічного обслуговування повітряних суден часто доводиться комунікувати з представниками інших відділів і передавати технічну інформацію інженерам, пілотам та іншим членам команди. Відтак, точність та ясність комунікації відіграють неабияку роль.

У процесі підготовки технічного персоналу варто особливу увагу звертати на аудіювання, акцентуючи на розумінні розмовної мови в галасливому середовищі, притаманному професійній діяльності таких фахівців, наприклад в ангарах для літаків або в зонах технічного обслуговування. Слід також робити наголос на різноманітному мовленні, а саме впливі різних акцентів і моделей мовлення, які зазвичай зустрічаються в умовах міжнародної авіації. Персонал з технічного обслуговування літаків також повинен навчатись розуміти культурні відмінності в стилях спілкування, щоб уникнути непорозумінь і покращити командну роботу.

На додаток до навичок усної комунікації фахівці з технічного обслуговування повітряних суден повинні не менш ефективно володіти навичками письма та читання, адже спеціалістам цієї галузі нерідко доводиться зіштовхуватись з документальною діяльністю з технічного обслуговування, складати звіти та чітко пояснювати проблеми, які можуть виникати у ході їхньої роботи, в письмовій формі. До того ж, навички читання іноземною мовою необхідні для безпомилкового розуміння технічної документації, включаючи посібники з обслуговування літаків, сервісні бюлетені, схеми, складні технічні інструкції та інструкції з техніки безпеки, які зазвичай випускаються англійською мовою.

Іншомовна підготовка персоналу з технічного обслуговування повітряних суден повинна також гарантувати, що персонал може розуміти та застосовувати правила авіаційної безпеки, інструкції з відповідності та стандарти якості.

Серед практичних мовних вправ, які варто застосовувати під час іншомовної підготовки персоналу з технічного обслуговування повітряних суден, виокремлюємо рольові ігри (імітація реальних ситуацій технічного обслуговування та надзвичайних ситуацій, де персонал повинен потренуватися реагувати відповідною технічною мовою), а також тематичні дослідження та моделювання (залучення реалістичних тематичних досліджень і сценаріїв обслуговування для розвитку критичного мислення та мовних навичок прийняття рішень). Практика мовленнєвих навичок може включати такі завдання, як-от: повідомлення про події; перевірка та узагальнення інформації; звітування про технічну проблему, яка виникла та пропонування шляхів її вирішення (говоріння); робота з автентичними діалогами між пілотами, інженерами, диспетчерами тощо (слухання); опрацювання технічних посібників, документації, звітів і повідомлень (читання); написання звітів і заповнення форм та чеклистів (письмо) [2].

Відтак, навчання іноземної мови персоналу з технічного обслуговування літаків є складним та багатогранним процесом. Зосереджуючись на зазначених вище принципах, можливо забезпечити ефективну іншомовну підготовку фахівців з технічного обслуговування повітряних суден для їх подальшого продуктивного професійного спілкування, уникнення помилок у комунікації в умовах інтернаціональної команди і забезпечення професійної експлуатації і ремонту повітряних суден.

Список літератури

1. Мельник Н.І. Особливості іншомовної підготовки майбутніх фахівців авіаційної галузі. *Актуальні проблеми педагогіки, психології та професійної освіти*. 2019. №1. С. 1-7.

2. English for Aircraft Maintenance Engineers, Technicians and Mechanics. *AviationEnglish*. URL: https://aviationenglish.com/technical-english/english-for-aircraft-engineers (дата звернення: 29.03.2025).

3. Guidelines for Aviation English Training Programmes. *International Civil Aviation Organization*. 2009. URL: https://www.icao.int/safety/lpr/documents/323_en.pdf (дата звернення: 29.03.2025).

4. Ouyang B. Significance of Aircraft Maintenance Engineering: Ensuring Safety, Efficiency, and Regulatory Compliance in Aviation. *Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering*. 2023. Vol. 12 (2). P. 1-2.

5. Safety Reports. *ICAO*. URL: https://www.icao.int/safety/Pages/Safety-Report.aspx (дата звернення: 29.03.2025).

UDC 377.112.4

O.P. Yashchuk, N.G. Denysenko
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Language Training of Aviation Specialists in the Context of the ICAO NGAP (NEXT GENERATION OF AVIATION PROFESSIONALS) Concept

This article deals with examining the features of language training for modern aviation specialists of the new generation, characterized by altered professional motivation and focused on the extensive use of automated information processing through various computerized devices. Keywords**:** *professional training, language training, transprofessionalism, individual educational trajectory, professionally-oriented training, problem-based learning.*

In the current environment, the task of training personnel for the operation of high-tech automated systems is complicated by changes in the motivational characteristics of the modern younger generation. This aspect of the problem is relevant for the entire international aviation sector. ICAO's concern about this issue has been reflected in the formation of a special program called NGAP (Next Generation of Aviation Professionals).

Training a “new generation” of aviation personnel is a task of international scale. According to ICAO data, over the next 20 years, airlines will expand their fleets by 25,000 new aircraft; by 2026, around 480,000 new technicians will be needed to service these aircraft, and more than 350,000 pilots will be required to fly them. In connection with the ICAO Secretary General’s letter dated 06.06.14 and its supplement AN 21/3-14/43 from 3-4 December 2014, a broad scientific and practical discussion on the NGAP (Next Generation of Aviation Professionals) issue has unfolded in the global aviation community.

According to ICAO, the complexity of the situation lies in the fact that, in the words of the Secretary General, “ in some regions, 40% of the airport workforce will retire in the next few years. In other regions, the next generation is either not prepared or not capable of working in airports”.

To meet modern requirements, professionals in all fields must possess the knowledge, skills, and abilities that imply readiness and the ability to reproduce, structure, and interpret heterogeneous information, act in standard and non-standard situations, and adapt to changing physical and social environments. At the same time, it becomes increasingly evident that modern professionals require a high level of foreign language proficiency (likely more than one), enabling them to quickly adapt to conditions of remote collaborative work in international working groups.

NGAP is based on the premise that solving the problem of educating the "new generation," which is difficult to teach using old traditional methods, is possible through the use of modern electronic devices that employ advanced information technologies, distance learning, interactivity, virtual reality, visualization tools, etc.

The educational technologies currently in use, either explicitly or implicitly, are based on the so-called "mastery learning" model [2], according to which the fixed parameter of learning is the outcome, while all other learning parameters may vary,

adapting to ensure that learners achieve the set outcome. As a result, the system guarantees that nearly all learners reach the required level. However, recent studies have revealed the existence of a phenomenon of inability to achieve full mastery, regardless of the time allotted for learning and the intensity of the learning process. In addition to extreme manifestations of this inability to fully master knowledge and skills, there is significant differentiation in learning abilities. Research shows that the rate at which students (cadets) in the same group master technical subjects can vary by a factor of 8 or more. Therefore, applying a single learning path designed for a hypothetical "average" learner cannot produce effective results. The task of providing an individualized learning trajectory, with differentiated levels of complexity and learning speed, becomes a pressing need.

From this perspective, it is clear that the role of the teacher (mentor, instructor, etc.) must be re-evaluated in forming appropriate psychological mindsets in learners, which manifest in motivational, value-semantic, and emotional-volitional aspects. These mindsets are what fill the structure of professional competence with personal meaning. The widespread development of various types of automated tools for ensuring and supporting activities, as well as computer technologies with an abundance of templates, implemented algorithms for information processing, and decision-making, creates a deceptive impression that there is no need for a deep understanding of the subject area for their optimal selection and application. Superficial familiarity with such science-intensive products, featuring a user interface reduced to "one button," can create a highly harmful and dangerous illusion that this type of activity is accessible to virtually anyone. Understanding the essence of the activity and the logical structure of the actions performed in this case is reduced to knowing the names of software products or technical systems that can automate the solution of tasks faced by a specialist. This negative situation becomes especially problematic if only standardized work scenarios were considered during professional training.

The reduction of direct contact time between teachers and individual students, as a result of directive requirements to comply with educational institution cost-effectiveness standards and reduce teaching staff, significantly weakens the ability of teachers to influence the formation of professional ethics and socially oriented motivation in future specialists.

The significant increase in the age of the faculty involved in training qualified personnel for the industry, as well as the low level of current material support for educators, reduces the attractiveness of the teaching profession for young people and creates a real threat of an unacceptable shortage of teaching staff.

The new generation of students (referred to by ICAO as the "millennial generation") has fundamentally different motivational priorities, social attitudes, and baseline preparation levels compared to the traditional "romantic image" of aviation activities. This situation requires a corresponding revision of the concept of professional orientation, professional selection, and professional training of specialists in modern conditions, in light of the implementation of the IATA Training and Qualification Initiative (ITQI) program "Next Generation of Aviation Professionals (NGAP)."

To address the existing problem indicated in one of the ICAO documents, one of the identified points is the insufficient level of English proficiency among personnel trained to work on modern aircraft. In light of the raised issues and problems, it is

necessary to develop a strategy for multi-faceted technologies of open electronic resources and, on the other hand, to define a new interpretation and approach to the role of language training for aviation specialists in non-linguistic higher education institutions.

Experts in foreign language teaching methodology are constantly seeking new approaches in this field to ensure productive work in this direction. Every day, future specialists have to process a colossal amount of information, which involves short-term, working, and long-term memory.

Let us consider two internal structures – full-time and part-time departments. It is important to remember that students of full-time higher education have the opportunity to process a certain amount of information daily and have every possibility to compensate for any gaps in knowledge regarding their field of study by using both the electronic information portal and a newly formatted library. For example, there is a range of services available that can provide materials on a specific topic within minutes or, at most, a few hours depending on the complexity of the subject.

Full-time students have an advantage – time, which, with proper time management, they can use to develop their professional potential, and certain conditions which cannot be said for students enrolled in part-time programs, especially in fields like aircraft operation and air traffic management. Given these circumstances, there are active discussions in the academic community regarding the current system of part-time higher education, its efficiency within the allocated timeframe, and the optimization of both part-time and full-time students' activities.

It is also essential to take into account the specifics of technical universities, as well as from near and far abroad, who strive to acquire professional skills. Considering the remoteness of these regions the war conflict situation in Ukraine, distance learning programs and developments come to the rescue – open electronic resources that are actively being integrated into the university's educational process.

For instance, it has been developed a set of exercises of varying difficulty levels, considering that students, especially part-time ones, display significantly varied levels of preparedness due to their psychophysiological characteristics and may absorb language material differently. Audio accompaniment (listening), video materials with corresponding vocabulary and grammar exercises have been developed.

In the "Synonyms and Paraphrase" section, there is an exercise (Drag and drop the words with the same meaning as the words in bold in the sentences) aimed at vocabulary reinforcement and expansion in the discipline "Aviation English." For example, the sentence:

"The extra lift allows the plane to leave the ground."

The highlighted phrase needs to be replaced with a synonymous word or phrase. The options are presented in a random order. The correct answer here is "become airborne."

Listening exercises come in various types. For example, in the "Verbs for describing processes" section – where students practice process-related verbs – the task "Drag and drop the words to complete the sentences from the listening" presents audio material, after which the correct word or phrase (visually provided in a separate box) must be selected:

"This rotation ….. the angle of attack, or the angle between the airflow and aerofoil, which creates extra lift, which ….. the aeroplane to leave the ground."

The correct answers are: "increases, causes."

Conclusion

To ensure effective performance in the aviation industry, the new generation of specialists must possess extensive knowledge, skills, and abilities in the required disciplines, demonstrate specific competencies in the workplace, and be able to respond to both routine and unforeseen situations.

The trend of increasing requirements for aviation professionals continues to grow, while the motivational component of students toward professional training is declining against the backdrop of rapidly expanding and constantly updated content in all socially significant fields.

References

1. Rukhlinsky V.M., Bolshedvorskaya L.G., Malysheva L.E. Next Generation of Aviation Professionals Reserve Formation Methodology. A 37-WP/111 TE/49 31/8/10. Assembly – 37th Session, Canada, Montreal. 90 pages.

2. 5. Doc. 9835 AN/453 Manual on the Implementation of ICAO Language Proficiency Requirements (Second Edition), ICAO, 2010.

UDC 629.7:81

L.H. Tereminko, PhD in Pedagogy, associate professor
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Analysing the research on future aviation industry specialists' foreign language training

The need to increase the effectiveness of communicative interaction in the aviation sector in complex modern conditions has been substantiated. The current research on the future aviation industry specialists' foreign language training has been analysed. The prospects of further research on the topic have been proposed.

Despite the challenging environment, the prospects for further international air transportation cause modern teachers and scientists to focus on finding effective means of improving the quality of foreign language training for future aviation industry specialists. This plays an important role in restoring and furthering the economic development of the specified sphere.

As researcher A. Savytska rightly notes [6, p.195–196], the current stage of development of the Ukrainian military air navigation system, the increase in the role of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine in international military cooperation, close cooperation with foreign partners during the full-scale Russian invasion, and the training of Ukrainian pilots to control foreign military aircraft put forward new requirements for the level of professional training and the development of foreign language communicative competence of flight crew members, air traffic controllers and ground service personnel [6, p. 195–196]. Thus, English proficiency of the Air Force servicemen of the Armed Forces of Ukraine has acquired professional significance and necessity: a sufficient level of foreign language communicative competence is an integral part of the professional training of a future Air Force specialist and a primary task of foreign language training [6, p.195–196].

Summarizing scientific research on English as a means of aviation communication between a pilot and a controller, researcher E. Tokar [7] notes that effective interaction during radio communication in English is possible provided that they know the phraseology of radio communication, general English and English for special purposes, which is used within the framework of general spoken language, as well as possessing the skills and abilities to apply them [7].

The study of scientist L. Nemlii [5] examines the features of teaching aviation English to air traffic controllers and pilots studying under the educational and professional programs "Air Traffic Service" and "Flight Operation of Aircraft" of specialty 272 "Aviation Transport" in higher education institutions (HEIs). Based on the recommendations of the International Civil Aviation Organization (ICAO), the researcher emphasizes the need to use a communicative approach in organizing the educational process of teaching aviation English, as well as tasks and exercises to form six speech skills aspects formulated in the ICAO qualification scale: pronunciation, structure, vocabulary, speech speed, understanding, and interaction. The scientist describes the stages of role-playing games and gives interesting

examples of communicative tasks aimed at forming phonetic, grammatical, and lexical skills in aviation English [5].

Researchers M. Kalashnyk-Rybalko and I. Snisarenko [4] presented the results of analyzing scientific psychological and pedagogical literature, existing methods of language training of future aviation specialists, regulatory documents, professional features of aviation activities of aviation specialists and modern requirements for the level of their English language training to perform professional duties in conditions of dynamically changing destabilizing influence of the external environment (emergency, special flight cases, psycho-emotional stress). The scientists substantiated the organizational and pedagogical conditions for intensifying professional English language training of future aviation specialists in the specified complex non-standard conditions [4].

Scientists L. Bararnovska [1, p. 15] and N. Glushanytsia [2] state that according to the course training program of the discipline "Foreign Language for specific purposes" for future aviation specialists, students must *know* basic terminology on the specialty and general technical subjects according to the curriculum; basic grammatical and lexical features of translating technical literature on specialty; basic rules for working with scientific and technical literature, including aviation one; basic rules for writing scientific articles, preparing and giving presentations on their specialty. At the same time, they must *be able* to understand monological and dialogical speech while listening, make reports on issues related to the specialty, participate in a conversation-discussion, convey the information obtained from reading in oral and written forms in both native and foreign languages; write scientific articles and prepare presentations on their specialty. Therefore, in the process of foreign language training of future aviation specialists, blocks of exercises and tasks are used based on the integration of engineering and linguistic knowledge aimed at developing engineering and terminological competencies, the ability to carry out professional interaction in a foreign language [1, p. 15; 2].

As the researcher L. Baranovska rightly notes [1, p. 15], training students in an English-language project involving citizens of Ukraine and foreign countries is essential for mastering the language of international interaction in an aviation HEI. The choice of English as the primary means of instruction entails changes in the educational process's methodological support since its organization's peculiarities in a multicultural and multinational environment must be considered [1, p. 15].

Scientist I. Demchenko [3] examined the specifics of the developing future foreign specialists of the aviation industry's motivation for professional communication, among which the importance of positive motivation, which contributes to developing their professional communication, ensuring communicative needs in various spheres: scientific, socio-cultural, socio-political and every day. The researcher found that the professional communication of aviation industry specialists is characterized by certain features determined by the goals and objectives of professional interaction. Among them: formalism of radio exchange terminology; laconicism of messages; impossibility of using auxiliary, non-verbal means; spontaneity and situational nature; abbreviations, contractions, numbers, letters, and codes; limited stock of professional vocabulary and use of simplified

grammatical forms; communicative barriers (phonetic, technical, psychological, semantic); professional speech skills of a standard general speech nature (an important component of the professional reliability of aviation specialists) [3].

The article by scientists N. Glushanytsia and T. Tarnavska [8] explores the advantages of using aviation-themed stories to teach English. The researchers propose introducing stories into the learning and teaching process to create an attractive learning environment. The study proves that learning English using aviation-themed stories helps to form a sense of professional identity in future aviation professionals. A narrative approach makes the language learning process creative and motivational and promotes the development of fluent English communication skills. Using the example of the adapted story by Arthur Haley, "Airport," a system of communicative tasks was developed to create rich and effective interaction, find similarities and differences, share personal experiences, and solve problem tasks. The authors' interactive tasks develop foreign language communication skills in academic and professional environments. In their study, scientists prove that learning English through stories allows aviation students to expand their vocabulary, develop fluency and understanding, and possess various linguistic, psychological, cognitive, social, and cultural values [8].

Conclusion

Thus, the need to increase the effectiveness of communicative interaction in the aviation sector and the complex modern conditions make scientists pay attention to the problem of improving the English language training of future aviation specialists and find effective means of solving the goals set. We agree with the results presented by modern scholars and consider introducing active learning methods and strategies into the classroom and independent learning of English as a promising direction for further research in this area.

References

1. Барановська Л. В. Мова в структурі фахової підготовки в авіаційному закладі вищої освіти. *Вісник Національного авіаційного університету. Педагогіка, Психологія.* 2018. № 12. С. 13–18.
2. Глушаниця Н. В. Формування іншомовної професійно-комунікативної компетентності майбутніх бакалаврів з авіоніки у процесі фахової підготовки : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.04. Київ, 2013. 20 с.
3. Демченко І. В. Формування мотивації іноземців – майбутніх фахівців авіаційної галузі до професійної комунікації : автореф. дис. … канд. пед. наук : 13.00.04. Кропивницький, 2020. 24 с.
4. Калашник-Рибалко М. А., Снісаренко І. Є. Обґрунтування організаційно-педагогічних умов інтенсифікації професійної англомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців. *Системи озброєння і військова техніка.* 2022. № 1(69). С. 96–103. DOI: https://doi.org/10.30748/soivt.2022.69.1
5. Немлій Л. С. Особливості навчання авіаційної англійської мови у закладі вищої освіти. *Іноземні мови.* 2018. № 2. С. 30–35. DOI: https://doi.org/10.32589/1817-8510.2021.2.235677

6. Савицька А. П. Аналіз особливостей авіаційної англійської мови як основа методологічних засад формування комунікативної компетентності у закладах вищої військової освіти авіаційного профілю. *Інноваційна педагогіка*. 2024. Вип. 74. С. 195–200. DOI: https://doi.org/10.32782/2663- 6085/2024/74.36

7. Токарь Є. Б. Радіообмін цивільної авіації як різновид фахової мови. *Вісник Житомирського державного університету. Філологічні науки*. 2014. Вип. 6 (78). С. 272–276.

8. Glushanytsia N., Tarnavska T. Teaching Aviation English through stories (on the example of the novel “Airport” by Arthur Hailey). *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2022. Вип. 50. С. 277–282. DOI: https://doi.org/10.24919/2308-4863/50-43

УДК 378.147 (045)

Ю.Ю. Пришупа, к.пед.н, Л.М. Конопляник, к.пед.н, Н.І. Березнікова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Оптимізація іншомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців засобами цифрової комунікації в закладах вищої освіти

У статті обґрунтовано потребу оптимізації іншомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців та здійснено аналіз цифрових технологій, що впливають на ефективність комунікації в інформаційно-освітньому середовищі закладів вищої освіти, зокрема завдяки розширенню доступу до навчального контенту і розвитку професійно-орієнтованих мовних навичок у цифровому форматі.

У контексті глибокої трансформації авіаційної галузі, що передбачає інтеграцію до європейського авіаційного простору, впровадження цифрових нововведень, гармонізацію з законодавством ЄС і модернізацію системи авіаційного нагляду, заклади вищої освіти (ЗВО), що здійснюють підготовку авіаційних фахівців, відіграють ключову роль як інституційні провідники змін.

Відтак, виникає потреба наукового перегляду змісту та пріоритетів професійної підготовки, зокрема в частині іншомовної комунікації, що набуває особливого значення в умовах глобалізованого та високоризикового авіаційного простору. З огляду на міжнародний характер авіаційної діяльності, здатність оперативно та точно здійснювати професійну комунікацію іноземною мовою стає надзвичайно важливою умовою безпеки, злагодженої взаємодії та успішного виконання професійних завдань [3].

Фахівці авіаційної галузі постійно функціонують у багатокультурному середовищі, часто опиняються в нестандартних ситуаціях, що потребують швидкого прийняття рішень та чіткого обміну інформацією – нерідко в умовах стресу чи підвищеного ризику [2]. До основних професійних функцій фахівців авіаційної галузі належить забезпечення безпечного, регулярного та впорядкованого руху повітряних суден. Зазначений вид професійної діяльності вимагає від фахівця неухильного дотримання норм безпеки, а також чіткого виконання регламентованих процедур і інструкцій, що здійснюється не лише державною мовою, але, передусім, англійською – як мовою міжнародного авіаційного спілкування [5]. У таких обставинах недостатній рівень іншомовної підготовки може стати серйозною перепоною для ефективної професійної взаємодії, адаптації до нових умов праці та загалом – для забезпечення безперервного функціонування авіаційної системи.

Варто зазначити, що попри наявність значного наукового доробку, присвяченого формуванню іншомовної компетентності у процесі професійної підготовки авіаційних фахівців, аналіз сучасного наукового дискурсу вказує на обмежене висвітлення цієї проблематики крізь призму інноваційних підходів. Основна увага й досі зосереджена на традиційних підходах до мовної освіти у той час як питання, пов’язані з викликами цифровізації освітнього середовища – зокрема, впливом цифрової комунікації на ефективність іншомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців – залишаються недостатньо дослідженими.

Саме за таких умов особливої значущості набуває цифрова комунікація, що поступово стає невід'ємною складовою сучасного освітнього процесу, та передбачає застосування електронних засобів, платформ і технологій з метою обміну інформацією, кооперації та професійного розвитку. Її важливість особливо зростає у підготовці фахівців для галузей, що орієнтовані на міжнародну взаємодію, таких як авіація, де ефективна іншомовна комунікація є критично важливою для безпеки, точності, та злагодженості дій.

Таблиця 1

Засоби цифрової комунікації для підвищення ефективності іншомовної підготовки

	Інструменти	**Форма застосування**	**Призначення**
1.	Використання відеоконференцій для розвитку мовлення		
	Google Meet, Zoom	Проведення онлайн-дебатів англійською мовою між студентами різних ЗВО або зустрічі з запрошеними іноземними авіаційними фахівцями.	Покращення навичок усного мовлення, розвиток міжкультурної комунікації, зменшення мовного бар'єру.
2.	Онлайн-платформи для спільного навчання та самостійної роботи		
	Moodle, Google Classroom, Canva, Microsoft Teams, Kahoot, Quizizz, Zoom, Wizerme, Edpuzzle,	Створення інтерактивних модулів з вивчення авіаційної термінології; розміщення відео, тестів, завдань з використанням професійного лексикону.	Стимулювання самостійної роботи, формування навичок академічного письма, закріплення граматичних та лексичних структур.
3.	Інтерактивні симуляції професійних ситуацій		
	Microsoft Flight Simulator, Lingua Airlines Simulation, Virtual Reality Platforms	Симуляція комунікації між пілотом і диспетчером англійською мовою в умовах надзвичайної ситуації.	Практика професійного мовлення в стресових умовах, тренування оперативності та точності іноземної комунікації.
4.	Використання мобільних додатків для індивідуального навчання		
	Memrise, Quizlet, Anki, ELSA Speak	Вивчення та повторення авіаційної лексики за допомогою карток (flashcards), тренування вимови з AI-супроводом.	Персоналізація навчального процесу, підвищення мотивації, формування щоденної практики.

5.	Автентичні джерела інформації та цифрові медіа		
	TED Talks, YouTube, BBC Learning English, Aviation English Podcasts	Аналіз відео інструкцій з безпеки, документальних фільмів про авіацію, автентичних діалогів екіпажу.	Розвиток аудіювання, занурення в реальні мовні ситуації, знайомство з професійною культурою.

Застосування таких інструментів, як мультимедійні платформи, інтерактивні онлайн-ресурси, віртуальні середовища навчання та цифрові комунікаційні сервіси, відкриває нові можливості для організації освітнього процесу, підвищення його гнучкості, мотивації студентів та практичної спрямованості навчання. Водночас, важливо усвідомлювати, що сам по собі доступ до цифрових ресурсів не гарантує високої якості освіти чи розвитку мовних компетентностей. Ефективність використання цифрових засобів залежить від ретельно продуманої методики, здатної забезпечити цілеспрямоване формування іншомовної комунікативної компетентності, з урахуванням специфіки авіаційної галузі [4].

Зокрема, потребує розроблення та апробації система навчальних підходів, що базується на освітніх інтернет-ресурсах і соціальних сервісах, орієнтована на розвиток не лише мовних навичок, а й цифрової компетентності – критичного ставлення до отриманої інформації, уміння аналізувати, систематизувати, узагальнювати та обговорювати результати роботи з цифровими джерелами. Але попри численні переваги, надмірна залежність від технологій може призводити до зниження якості живого спілкування та втрати міжособистісних навичок. Існує також ризик інформаційного перевантаження та проблеми з конфіденційністю. Тому важливо забезпечувати збалансоване використання цифрових засобів у комунікаційних процесах.

Висновки

Вважаємо що інтеграція цифрових засобів комунікації в процес іншомовної підготовки майбутніх авіаційних фахівців сприяє розвитку мовної компетентності студентів за допомогою практики, наближеної до реальних професійних ситуацій. Таке впровадження особливо важливе в авіаційній галузі, де точність і швидкість комунікації є критичними. Завдяки використанню цифрових технологій студенти мають можливість не лише вивчати мовні структури, але й розвивати навички критичного мислення та професійної комунікації, необхідні для ефективного реагування на типові й нестандартні ситуації в майбутній професійній діяльності. Окрім того, цифрові засоби комунікації сприяють інтеграції культур та підготовці студентів до ефективної професійної взаємодії в міжнародному контексті. Таким чином, цифрова комунікація стає важливим компонентом формування фахівців, здатних успішно працювати в умовах глобалізованого світу, де знання іноземних мов і вміння адаптуватися до нових технологічних викликів є необхідними умовами професійної діяльності.

Список літератури

1. Abeyratne, R. (2020). Aviation and Telecommunications in the Digital World. In: Aviation in the Digital Age. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48218-3_9
2. Alharasees, O., Jazzar, A., Kale, U. and Rohacs, D. (2023). Aviation communication: the effect of critical factors on the rate of misunderstandings. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 95 No. 3, pp. 379-388. https://doi.org/10.1108/AEAT-02-2022-0052
3. Batsenko, L., & Halenin, R. (2024). The role of digital communications in managing organizational digital transformation: the vision of organizational administration. Herald of Kyiv Institute of Business and Technology, 51(2), 10-25. https://doi.org/10.37203/kibit.2024.51(2).01
4. Kovtun, O., Kokarieva, A., & Khaidari, N. (2022). Modeling a repertoire of pilots' professional communication skills for meeting flight safety and aviation security challenges. In International School on Neural Networks, Initiated by IIASS and EMFCSC (pp. 1069-1078). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_109
5. Мельник Н.І. (2019). Особливості іншомовної підготовки майбутніх фахівців авіаційної галузі. Актуальні проблеми педагогіки, психології та професійної освіти, №1. С.2−7. https://core.ac.uk/download/pdf/323012278.pdf
6. Тесцова, О., & Лопата, І. (2023). Роль цифрових технологій у процесі вивчення іноземної мови. Наукові записки. Серія: Філологічні науки, (204), 71–76. https://doi.org/10.32782/2522-4077-2023-204-10

УДК 81’42.07

В.І. Шульгіна, докт. філол.н., доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Інформативність поліпредикативних конструкцій

У статті з урахуванням інформаційного підходу до синтаксичних явищ аналізуються особливості темо-рематичних відношень у різних синтаксичних структурах. Із проблемою інформативності синтаксичних одиниць у роботі пов’язується їхня здатність до семантичного трансформування. Трансформативні можливості синтаксичних структур автором використовуються для визначення ступеня інформативності мовних одиниць.

Робота сучасних журналістів, що працюють в умовах інформаційної війни як сегмента війни гібридної, потребує врахування рівня інформативності як мови в цілому, так і мовних компонентів зокрема.

Дослідження інформативності одиниць мовлення, зокрема певних синтаксичних явищ, потребує особливої уваги. З огляду на актуалізацію комунікативного підходу до мови посилюється увага науковців до ремо-тематичного членування мовних конструкцій. Аксіоматичним стало твердження про те, що нова інформація міститься у ремі. На нашу думку, зазначену проблему варто розглядати в межах інформаційної лінгвістики з акцентом на врахуванні рівнів інформативної насиченості тих чи інших одиниць мови. Інформативний підхід до синтаксичних одиниць мови має спиратися на аналіз особливостей реалізації темо-рематичного членування в різних типах цих одиниць, врахуванні типів рем як основних носіїв інформативності. Адже від визначення типів рем залежить в значній мірі розв’язання питання про способи представлення інформації.

Довгий час у комунікативному синтаксисі при виділенні теми і реми питання про структурні особливості реми навіть і не ставилося. Останнім часом все частіше лінгвістами виділяється не лише проста, але й складна реми [Див. роботи Л.В.Сахарного, В.А. Ринберг та ін]. Тобто рема може розглядатися не лише як однокомпонентне явище, а й як явище багатокомпонентне, з цікавими ієрархічними стосунками між компонентами.

Як правило, традиційно темо-рематичні відношення розглядалися дослідниками у межах простого речення. Проте, за нашими спостереженнями, темо-рематичні відношення простежуються і в межах одиниць як більших за структурою простого речення, так і одиницях, менших від нього. Адже нову, рематичну інформацію здатні нести не лише компоненти простого речення. Зупинимося для ілюстрації на синтаксичній одиниці, яку в традиційному синтаксисі називають складнопідрядним реченням.

Виділені формальною граматикою складнопідрядні речення, у яких виділяють дві або більше предикативних одиниць, в інформативному аспекті не можуть беззастережно розглядатися як ідентичні багатокомпонентні структури. Далеко не в кожній предикативній одиниці можна виділяти тему і рему. У деяких типах таких конструкцій ремою є вся підрядна частина (за

винятком сполучника чи сполучникового слова, які виконують допоміжну, зв'язуючу функцію), темою ж є вся предикативна одиниця, яка не несе концептуально нової інформації, - формально головна частина складнопідрядного речення. Інформативний підхід потребує уваги не лише до інформативно значущих одиниць мовлення (теми), а й до тих неінформативних або малоінформативних тематичних одиниць, які супроводжують компоненти з високим рівнем інформативності. Так, саме характер предикатів тематичної частини синтаксичної структури визначає інформативні типи рематичних компонентів, потенційну здатність синтаксичних конструкцій до трансформативних перетворень.

Так, наприклад, якщо головна предикативна одиниця складнопідрядної конструкції ґрунтується на предикатах антропоцентричної семантики (предикати, що позначають дії або стани не просто живої істоти, а конкретно людини), то вся підрядна частина СПР є ремою – носієм нової інформації, а вся головна частина є темою, що виконує функцію своєрідної "упаковки", оболонки, в якій подається споживачеві інформація:

1) з предикатами інтелектуальної (ментальної) семантики*: Я знаю*, що економіка – наука нелегка;

2) з предикатами конкретного фізичного сприйняття:

а) зорового сприйняття: *Я бачу*, що пішов дощ;

б) слухового сприйняття: *Я чую*, що хтось прийшов; (Я чую, що ви сказали);

в) тактильного сприйняття: *Я відчуваю*, що тканина м'яка тощо.

Таким чином, носіями нової інформації у таких синтаксичних конструкціях є компонент, який у формальному синтаксисі вважається залежним, другорядним, підрядним, (рос. - "придаточным»). Про його приналежність до реми, тобто про високий рівень його інформативної значущості свідчить його здатність використовуватися поруч з імпліцитною темою: Економіка – наука нелегка; Пішов дощ; Хтось прийшов; Тканина м'яка тощо. Частіше такі конструкції розглядаються як самостійні, і вже в їх межах виділяють тему і рему. Такий компонент здатний бути «упакованим» в інформативно другорядну, допоміжну оболонку, якою є формальна головна предикативна одиниця складного синтаксичного побудування.

Таким чином, наявність у тематичній частині синтаксичного утворення предиката з антропоцентричною семантикою визначає один з інформативних типів синтаксичних конструкцій, де рема, «упакована» в тематичну оболонку, є предикативним блоком. Члени цього рематичного утворення за умов імпліцитного вираження теми трансформуються у самостійну конструкцію, що має власну темо-рематичну організацію, Трансформована синтаксична конструкція має свої найбільш інформативні компоненти, які, в свою чергу, за умов імплікації теми здатні утворити нове синтаксичне явище. Наприклад: Я бачу, що *почався дощ*. – Почався *дощ*. - *Дощ.*

Основною вимогою до результатів трансформаційних процесів є здатність виконувати синтаксичною одиницею комунікативну функцію.

Тож процес семантичного трансформування тісно пов'язаний з проблемою інформативності**.**

Зважаючи на роль семантичної характеристики предиката, що міститься у тематичній частині поліпредикативної конструкції, слід зауважити, що такі предикати самі здатні переживати семантичні трансформації. Пор., наприклад: Люблю однокласницю (=Я закоханий в однокласницю),

1) Я люблю (=відчуваю стан закоханості);

2) Я люблю читати (=надаю перевагу читанню);

3) Я люблю читати книжки (= а не газети; = журналів читати не люблю).

1) Я живу (= Я не мертвий);

2) Я живу з батьками (=а не з жінкою; = я не одружений);

3) Я живу з батьками в селі (= Я є сільським жителем).

При використанні дієслова з його нереалізованими валентностями виявляється найбільш загальна інформативність. При цьому дієслово чуття (за традиційною семантичною класифікацією дієслів) стає дієсловом стану.

Слід зауважити, що не у всіх складнопідрядних реченнях найбільш інформативною є підрядна частина. Для визначення ступеня інформативності вважаємо за доцільне скористатися трансформативними можливостями синтаксичних структур. Адже за нашими спостереженнями, кожен структурно-семантичний тип складнопідрядного речення характеризується певними трансформативними можливостями, які, в свою чергу здатні висвітлити найбільш інформативні компоненти складнопідрядних речень (СПР). Наприклад: Верховна Рада *замість того, щоб зменшувати податки*, посилює податковий прес.=Верховна Рада посилює податковий прес.+ Верховна Рада повинна зменшити податки. У такому випадку рема СПР є двокомпонентною (констатація факту+рекомендація). Трансформовані утворення, в свою чергу, мають свої інформативні піки (вторинні реми). Тема подібних СПР, що переважно зустрічаються в так званих "інформативних" стилях – офіційно-діловому та науковому – має свою специфіку: вона не є неінформативною, вона теж несе певну інформацію, яка, правда, відносно інформації рематичної є меншою і менш актуальною.

У СПР, де рема охоплює і головну, і підрядну предикативну одиниці, обидві частини є інформативними, хоча і в різній мірі: більшою інформативністю відзначається головний компонент СПР. Це підтверджується хоча б його здатністю використовуватися з імпліцитною підрядною частиною.

Вивчення можливих імпліцитних "сусідів" інформативно значущих компонентів (фактично, їх інтенційних властивостей) може дати поштовх до вивчення можливих шляхів розвитку думки в разі використання тієї чи іншої інформативної експліцитної одиниці, шляхів побудови наступних кроків діалогу. Ця передбачуваність є дуже важливою для створення діалогових систем « людина – комп'ютер». Тож для інформативного підходу важливим є не лише визначення найбільш інформативних одиниць мовлення, а й малоінформативних або й зовсім неінформативних одиниць, що утворюють інтенційне поле одиниць інформативних. Саме вони, перебуваючи в імпліцитному стані, в пасиві, за певних обставин можуть активізуватися,

набути певної нової інформативної потужності і започаткувати нову рему, тобто створити новий крок діалогового спілкування. Наприклад:

- Верховна Рада посилює податковий прес.
- А що б Ви хотіли запропонувати? (А що ж вона мала б робити?)
- Вона повинна зменшити податки.

Цікавими, на наш погляд, є трансформативні процеси предиката підрядної предикативної одиниці у такий високоінформативний компонент, характерний для офіційно-ділового та наукового стилів, як віддієслівний іменник: Верховна Рада *замість того, щоб зменшувати податки*, посилює податковий прес. – Верховна Рада *замість зменшувати податки…* - Верховна Рада *замість зменшення податків…*

З реалізацією хоча б одного валентного каналу значення стану у дієслова може втратитися і виникнути значення не лише дієслова чуття, а й дієслова переваги.

Якщо структура синтаксичної конструкції збагатиться ще хоча б одним компонентом, то спостерігається не лише процес конкретизації інформації за рахунок прирощення нової інформації, а й виникнення паралельної, вторинної інформативності, тобто *Люблю читати книжки* можна зрозуміти ще й як *Не люблю читати газети і журнали.* У цьому випадку ствердження породжує прагматику глибиного заперечення.

Інформативна насиченість однієї й тієї ж формально-синтаксичної одиниці залежить від стилістичної сфери її використання. Так, наприклад, підрядне речення в розмовному мовленні використовується переважно як додатковий малоінформативний компонент, що лише однобічно характеризує, конкретизує потрібне поняття. Такий компонент часто буває надлишковим. Наприклад: Моя подруга Тома*, яка вчора заходила ввечері*, взяла та й обстриглась коротко-коротко (Розм. мовл.). У офіційно-діловому чи науковому мовленні використання підрядних речень – це результат дії тенденції до конденсації думки, до економії мовленнєвих зусиль, з метою передати однією синтаксичною структурою не одну , а дві або більше думок.

Серед синтаксичних конструкцій подібні відношення між компонентами окрім складнопідрядних речень спостерігаються у конструкціях з прямою мовою. Кожна з них є самостійною комунікативною одиницею в зв'язку з тим, що вона є інформативно значущою і сама по собі, без слів автора (наприклад, у драматичних жанрах стилю художньої літератури та в діалогах різних стилів). Слова ж автора, за рахунок включення до них дієслів мовлення, що вимагають информативної завершеності у вигляді актантних поширювачів, інформативно повними вважатися не можуть, тому часто імплікуються.

Висновки. Отже, врахування носіями мови, зокрема журналістами, рівня інформативної насиченості мовних структур здатне урізноманітнити форми вираження думок, дає можливість робити необхідні інформаційні акценти на необхідному аспекті комунікації. Використання мовних явищ з урахуванням інформаційного підходу дозволяє журналістам творчо ставитися до мови, до її трансформативних можливостей. Використання в

університетській мовній підготовці майбутніх журналістів не повинно обмежуватися лише формально-граматичним підходом до вивчення мовних структур. Врахування інформаційного підходу до мовних явищ дає можливість набувати навичок у використанні найбільш інформативних компонентів, у виділенні, впізнаванні нової інформації не лише в синтаксичних одиницях, а й у тексті, зокрема журналістському, у трансформуванні об'ємів інформації в залежності від потреби, зумовленої конситуацією та конкретним прагматичним завданням спілкування, у вмінні висловитися чітко, конкретно, лаконічно, передаючи найбільш суттєве, найбільш інформативне.

UDC 378 + 371.134 +656.7 + 811

O.V. Kovtun, Dr. Sc., A.A. Kovtun
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Forming Professional Speech Competence in Future Pilots: The Role of the Context-Based Approach

The article examines the use of context-based learning in professional language training for future pilots. It emphasizes the integration of linguistic and professional competencies through simulated tasks, highlighting the alignment of educational content with real-life aviation practices to improve communicative effectiveness and professional adaptability in operational environments.

The language component constitutes an integral part of an aviator's professional reliability. In this regard, a pilot's readiness to engage in professional speech communication is viewed as an essential element of their overall professional competence.

The language training for aviation specialists in higher education institutions must be organized with careful consideration of the nature and requirements of their future professional activities. Research indicates that the human operator plays a leading and integrative role in the "human–machine–environment" system. The interaction between the human and the machine is characterized by the principle of active participation, where the human organizes, directs, and coordinates the entire system toward achieving a predetermined goal, thus realizing the principle of the active operator. Flight operations rank among the most complex and dynamic forms of human activity, with the flight crew functioning at the very limits of human capability. Aviation is classified as a high-risk profession.

Studies of the psychological factors influencing operators of complex control systems have shown that performance difficulties often arise from the development of standardized thinking patterns and the excessive automation of skills during training. These findings have prompted the search for approaches that promote cognitive flexibility in future pilots and facilitate their rapid adaptation to professional environments. Consequently, the context-based approach should serve as one of the key methodological concepts in the formation of professional speech competence in future pilots.

This article aims to explore the essence of the context-based approach and the specific features of its application in the language training of future pilots.

By the late 20th century, the concept of context had expanded beyond its traditional linguistic meaning and came to be understood as a broad scientific category, particularly in psychology and education. It began to serve as a foundation for new approaches to understanding learning and knowledge. Context is now recognized for its variability and multidimensional nature. Psychological and pedagogical literature identifies a wide range of contexts, including cultural, social, interpersonal, as well as those related to adult and professional education

In American pedagogy, a specific school of thought – contextualists – argues against reliance on universal principles of learning, positing instead that each learner

requires an individual context, which shapes their perception of the world and their knowledge construction [1].

An alternative view of context is proposed by Johnson, who sees it as the interconnectedness of all elements in the world. In her pedagogical theory, the contextual approach emphasizes experience-based learning, where students construct meaning by applying ideas in practice. Johnson highlights that contextual teaching and learning engage students in meaningful activities and link academic content to real-life situations, making learning more relevant and impactful [2].

What led to the development of the theory and practice of context-based learning? According to its proponents (e.g., A. Verbitsky), traditional didactic systems aim to transmit generalized and systematized human knowledge, placing primary emphasis on theoretical content and mastery of academic disciplines. This often results in excessive intellectualization, where theory becomes detached from real-life application. Pedagogical practice, in turn, tends to replace direct experience with symbolic representations, primarily in the form of instructional content.

Consequently, these symbolic systems may substitute for authentic engagement with the real world, disconnecting learners from their personal, spatial, and temporal contexts. This disconnection impairs students' transition from education to professional practice. A lack of hands-on opportunities to apply acquired knowledge prolongs the process of professional adaptation, while limited experience in social interaction also complicates their social integration.

The theory of context-based learning provides a framework for assisting students in transitioning from academic study to professional practice. It emphasizes the significance of establishing pedagogical conditions that facilitate a gradual and intentional shift from learning to doing, transforming academic activities into professional readiness. This transition does not require students to directly imitate the actions of professionals (e.g., merely observing or copying a manager or engineer). Instead, it is more effective to systematically simulate key components of professional activity within the learning process. This includes modeling both the technological aspects of the profession (subject context) and its social dimensions (social context). Equally important is creating opportunities for students to integrate various forms of activity, such as academic, research, and practical, into a cohesive educational experience. Such integration fosters more holistic and realistic preparation for their future professional roles.

Let us consider the specific application of the context-based approach in the professional language training of pilots.

To effectively carry out professional communication tasks, pilots must develop both engineering competencies (e.g., analyzing operational situations, selecting technical solutions, evaluating options, and interpreting data) and language skills. These represent the professional and linguistic components of their overall competence. When acquired separately and without being integrated into the logic of real-world aviation tasks, these competencies can create psychological barriers that impede their seamless application in operational contexts.

In flight operations, pilots continuously solve routine yet critical tasks that rely on both native and foreign language communication. According to the theory of context-based learning, the development of professional competence, of which

language ability is an integral part, should occur within realistic, profession-specific scenarios. This means that language instruction should be embedded within simulated technological and operational processes relevant to aviation.

Thus, an integrated training model is required, where language development and professional task execution are taught together. Such contextualization ensures that language skills are not learned in isolation but are meaningfully linked to the actual demands of a pilot's role.

According to O. Kovun, the key instructional methods in context-based learning for aviation operators should include case studies, situational problem-solving, and role-playing exercises. These approaches effectively simulate real-life professional contexts, allowing students to use language as a functional tool for solving professionally oriented, practice-based tasks [3].

Through this process, students develop a comprehensive set of socio-professional skills, including communicative, informational, analytical, and technical competencies, that are essential for navigating the complex challenges of their future careers. By modeling all types of relationships that involve the speech component, language is taught as a social, professional, and action-based phenomenon. Learners acquire language not only at the level of linguistic meaning but also at the level of personal significance, through the interaction of the verbal "superstructure" with the linguocognitive "foundation" (I. Khaleeva), which is interwoven into the structure of the professional activity being mastered.

Conclusion

The implementation of context-based learning in the professional training of future pilots offers a powerful pedagogical tool for bridging the gap between theoretical knowledge and practical application. By integrating language acquisition into simulated professional tasks, learners not only develop communicative competence but also internalize the skills and cognitive processes required in real-world aviation contexts. Structuring the educational process around context-based learning ensures that students' activities reflect the actual demands of their future profession. This approach fosters the development of a holistic set of socio-professional competencies, communicative, analytical, and operational, essential for successful performance in complex and dynamic work environments.

References

1. Brainerd, C. J. (Ed.). (1983). *Recent advances in cognitive-developmental theory*. Springer New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-9490-7
2. Johnson, E. B. (2002). *Contextual Teaching and Learning: What It Is and Why It Is Here to Stay*. Corwin Press, Inc., Thousands Oaks.
3. Ковтун, О. В. (2010). Контекстний підхід як методологічний концепт формування професійно-мовленнєвої діяльності майбутніх авіаційних операторів. *Вища освіта України*. Дод. 4. Т. V (23). Темат. вип. «Вища освіта України у контексті інтеграції до європейського освітнього простору». С. 459–468.

УДК 378.147:629.735.05(045)

В.А. Вишняк, аспірант,
(Інститут педагогічної освіти і освіти дорослих
імені Івана Зязюна НАПН, України)

Комунікативна компетентність технічних фахівців авіаційної галузі в зарубіжних країнах

Комунікативна компетентність є важливою компетентністю для фахівців в багатьох галузях, включаючи авіаційну. Вивчено різні типи ситуацій, в яких технічний авіа персонал має забезпечити ефективну комунікацію на робочому місці. Зроблено висновок щодо необхідності осучаснення курсів англійської мови для підготовки майбутніх фахівців авіаційної галузі до спілкування у виявлених типах комунікації.

Ефективна комунікація в авіаційній галузі забезпечує безпечні авіа перевезення відповідно до встановленого графіку. Ефективна комунікація важлива не лише для персоналу, який обслуговує процес управління повітряним рухом, але і для персоналу, який зайнятий в обслуговуванні авіаційного обладнання. Дослідження свідчать, що середній відсоток нещасних випадків в авіації, пов'язаних з неналежним обслуговуванням обладнання дорівнює 10% (Shukri et al., 2021). Незважаючи на те, що проблеми з обслуговуванням літаків складає невеликий відсоток у комерційних авіаперевезеннях, нещасні випадки можуть бути досі трагічними, що актуалізує важливість належної підготовки технічного персоналу для безпеки польотів та забезпечення економічної вигоди від їх діяльності.

Достатня кількість різних видів професійної діяльності технічного персоналу передбачає використання англійської мови. Більш того, технічний персонал має вільно володіти розмовною англійською мовою, що гарантує чітке виконання поставлених завдань. Навички іншомовної комунікації потребують постійного розвитку задля підтримання на належному рівні протягом навчання та всієї професійної діяльності авіаційного технічного персоналу. Ефективним шляхом для вирішення проблеми відповідності підготовки технічного персоналу потребам авіаційної галузі є тісна співпраця авіаційних закладів з представниками галузі у розробленні навчальних програм.

Для нашого дослідження значний інтерес представляє вивчення тих навичок усного та писемного мовлення, які є найбільш важливими для здійснення професійних обов'язків авіаційним технічним персоналом. Авіаційна англійська - це офіційна мова в авіаційній галузі, нею послуговуються не лише пілоти та члени льотного екіпажу, а і наземний склад, який виконує операції з підтримання льотної придатності (технічної експлуатації) повітряних суден, їх компонентів та обладнання. Авіаційна англійська є високо спеціалізованою та контекстною мовою.

Недостатній рівень комунікативних навичок та неправильна інтерпретація документів з обслуговування повітряних суден (Aircraft

Maintenance Manual) є тими проблемами, з якими стикаються студенти, коли вони вперше опиняються в авіа компаніях (Sasila & Mahmood, 2017). Дослідження, які проводились в неангломовних країнах Європі та країнах Азії свідчать про те, що студенти політехнічних університетів, які навчаються на спеціальностях з обслуговування повітряних суден часто не володіють на належному рівні навичками усного та писемного мовлення, а також навичками усної презентації (Sanmugam & Kadir, 2019).

В контексті нашого дослідження необхідним є виявлення тих комунікативних навичок, які цінуються потенційними працедавцями в авіаційній галузі. Отже, майбутній технічний персонал з обслуговування повітряних суден повинен вміти читати та розуміти звіти, листи, різноманітні повідомлення англійською мовою. Компанії очікують від працівників ретельно розроблених звітів та презентацій про отримані результати роботи. Крім того, увага приділяється етикету у написанні електронних листів, знання граматики та стилю в усній та писемній комунікації, належне застосування невербальних методів комунікації для утримання уваги слухачів.

Усна професійна комунікація технічного персоналу з обслуговування повітряних суден передбачає надання відповідей на запитання, донесення інформації, обговорення та вирішення проблем, надання пояснень та проведення інструктажів, відстеження прогресу в роботі, слухання пояснень та жалоб.

Більшість авіа персоналу визнає, що вони надають перевагу персональному спілкуванню, якщо є якесь нерозуміння у завданні для виконання. Це підтверджує один з керівників підрозділу інженерів, який наполягає на тому, що спілкування віч-на-віч є надзвичайно важливим для командної роботи. Проведення брифінгів, нарад, донесення важливої інформації щодо нагальних питань, завдань на певний період відбувається регулярно разом з усною ін-формальною комунікацією між технічним персоналом під час виконання завдань для координації своїх дій.

Ефективне спілкування сприяє розвитку навичок роботі в команді, створює особливий продуктивний клімат в команді, в якому кожний може виказати власну точку зору на певну проблему. Всі учасники дослідження погодились, що вони повинні вичерпно відповідати на запитання керівництва, клієнтів, членів команди. Вказівки, особливо щодо терміну виконання завдань також, часто надаються усно. Комунікація щодо обговорення прогресу в роботі також здійснюється в усній формі віч-на-віч, з використанням невербальних засобів, які забезпечують миттєвий і важливий зворотній зв'язок і інформацію щодо стану виконання роботи.

Крім того, відмічається важливість навичок слухання співрозмовника, для розуміння вказівок, відповідей на запитання, пояснень від інших. Іноді фахівці виконують роль медіатора між керівництвом і нижчою ланкою працівників в організаційній ієрархії, для вирішення проблем, які можуть виникнути (Mahmood, et al., 2023, c.566).

Писемна комунікація фахівців з обслуговування повітряних суден спрямована на передачу точної і коректної інформації за такими напрямами: забезпечення керівництва та підлеглих інформацією, ставлення та отримання

відповідей на запитання, фіксація прогресу в роботі, отримання інформації з документів, розроблення документації.

Надання фахівцями інформації групі людей або окремим працівникам в межах або поза межами компанії зазвичай відбувається у вигляді електронних або паперових документів. В основному, документація для авіації написана англійською мовою. В авіаційних компаніях існує низка звітів та певної документації (Звіт про інспекцію (Inspection Report Card (IRC), звіт про обсяг роботи (Job Scope), Лист про наміри (Letter of Intent), картка завдань (Task Card), картка замовлень (Shop Order), відповідальність за написання яких покладається на технічних працівників і фахівців з обслуговування повітряних суден. Писемна комунікація важлива для фіксації певних стадій або прогресу виконання певних завдань. Вона може слугувати як довідникова або як вказівки для інших працівників і технічні працівники повинні написати звіт перед тим, як передати справи працівникам в іншій зміні. Часто роботи з ремонту та виправлення дефектів виконуються на основі звіту, складеному попереднім працівником. Мобільний додаток WhatsApp або електронна пошта часто застосовуються для вирішення робочих питань, причому важливі листи зберігаються як документація, або такі, на які можна зробити посилання. Водночас, писемна комунікація використовується для звіту під час аудиту, який регулярно проводиться в авіаційних компаніях (Mahmood, et al., 2023, с.568).

Звичайно, що усний та писемний тип комунікації не можуть існувати окремо, обидва типи важливі та взаємопов'язані в авіаційній галузі. Результат роботи авіаційних компаній залежить від того, наскільки була ефективна комунікація.

Висновки. В авіаційній галузі комунікативні навички є не менш важливими ніж професійні, оскільки непорозуміння, розчарування, напруга і навіть нещасні випадки можуть бути результатом поганої комунікації, що негативно позначається на безпеці польотів. Навички іншомовної комунікації надзвичайно важливі у глобальному бізнес оточенні, і тому актуальна професійна підготовка майбутніх фахівців авіаційної галузі значно підвищує їх конкурентоспроможність на локальному та глобальному ринках праці. Саме тому, авіаційні навчальні заклади, стейкголдери, розробники навчальних програм повинні приділяти належну увагу розвитку комунікативних навичок, навичок іншомовної комунікації та модернізації змісту навчання відповідно до потреб авіаційної галузі.

Список літератури

1. Mahmood, A. S., Saad, N. S. M. & Nur, N. M. (2023). Mirror, Mirror on the Wall, Which Skills Are Most Important in Aviation World?. In M. Koc, O. T. Ozturk & M. L. Ciddi (Eds.), Proceedings of ICRES 2023-- International Conference on Research in Education and Science (pp. 559-572), Cappadocia, Turkiye. ISTES Organization

2. Sanmugam, S.T., & Kadir, A.K. (2019). Evaluating the workplace communication needs of aircraft maintenance engineering students at a Malaysian

Polytechnic. *9th National Conference in Education-Technical & Vocational Education and Training (CiE-TVET)*

3. Sasila, I.F., & Mahmood, A.S. (2017). The problem faced by Unikl Miat students during on Job Training (OJT) – Students and Industrial's Perspective. *International Journal of Management and Applied Science, 2*(1), 1–15. https://doi.org/10.54855/ijli.23211

4. Shukri, S. A., Ramli, F. I., Wan Badaruddin , W. T. F., & Mahmood , A. S. (2021). Importance of English language in Aviation Maintenance: A Malaysia Case Study. *Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation*, 53(2), 113 120. http://doi: 10.6125/JoAAA.202106_53(2).02

УДК: 337.01/.09

Л.Г. Буданова
доктор педагогічних наук, професор,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут»)

Стан підготовки фахівців зі спеціальності «Філологія»

У статті аналізується проблема підготовки перекладачів для авіаційної галузі. У сучасному світі, де панує глобалізація та швидкі зміни, попит на таких фахівців невпинно зростає, а їхня роль стає ще більш важливою. Перекладачі повинні постійно вдосконалювати свої мовні навички, забезпечувати високу якість перекладів, знати технічну термінологію та розуміти специфіку професійної діяльності.

Дослідження показали, що майбутнім перекладачам у сфері авіації спочатку слід оволодіти загальною англійською мовою, а потім зосередитися на авіаційній термінології. Крім того, важливо розвивати мовні навички, знати специфіку галузі та розуміти основи теорії перекладу. Для професійного зростання також необхідні позитивне ставлення, здібності та щире зацікавлення обраною сферою.

Підготовка майбутніх фахівців з перекладу для авіаційної галузі є складною психолого-педагогічною системою, яка охоплює специфічний зміст, специфічні структурні елементи, набір професійних компетенцій та особливості організації навчального процесу майбутніх фахівців зі спеціальності «Філологія». Ця сфера вимагає глибоких професійних знань, практичного досвіду та сформованих навичок для забезпечення точності й безпеки авіаційної комунікації.

Відтак питання фахової підготовки перекладачів у закладах вищої освіти є предметом наукового інтересу як вітчизняних, так і зарубіжних дослідників, серед яких Алексєєва І., Білоус Н., Виноградов В., Т. Ганічева, Колодій І., Карабан В., Комісаров В.,. Корунець І., Масгрейв Т., Штайнер Е., Вермер Й. та інші. Проблематика перекладацької компетентності знайшла відображення у працях таких науковців, як Бабаян О., Беженар Г., Волошко Л., Савсюкова О., Карпова Л., Коваль Т., Лалак Н., Мала Т., Мельничук І., Монастирна Г, Осадча К., Онаць О., Пінчук Ю., Поліщук В., Полубояриніна І., Романишина Л., Шевчук Л., Ярощук І. [1, 2, 3, 4].

Очевидно, що підготовка перекладачів для авіації є складною системою, що вимагає спеціалізованих знань, практичного досвіду та компетенцій для забезпечення точності та безпеки авіаційної комунікації. Між іншим, дослідження науковців демонструють широкий спектр завдань перекладача:

– переклад юридичної документації, що регламентує взаємовідносини між авіакомпаніями, державними органами та пасажирами;

– трансляція технічних описів авіаційного обладнання; участь у переговорах щодо купівлі-продажу авіатехніки;

– переклад нормативних документів міжнародних організацій (ІСАО, ІАТА);

– ведення ділового листування авіакомпаній;

– реєстрація імпортованих літальних апаратів у Державній авіаційній службі України.

Разом з тим визначено специфічні професійні вміння та навички, необхідні для письмового (вибір технічних засобів, аналіз тексту, подолання термінологічних та стилістичних труднощів, робота з довідниками, редагування) та усного (оперативний пошук інформації, точна передача даних, знання скорочень, чітка вимова) перекладу.

Можна з упевненістю сказати, що підготовка здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Філологія» в закладах вищої освіти є важливою для розвитку авіаційної індустрії, забезпечуючи безпеку та міжнародну співпрацю. Отже, підготовка майбутніх перекладачів здійснюється в рамках освітньо-професійних програм і передбачає практично орієнтоване навчання. Доведено, що освітній процес має формувати комплекс компетенцій, що поєднують теорію та практику, які надалі адаптуються до конкретного робочого середовища. Разом з тим базова лінгвістична підготовка формує професійну мовну особистість перекладача, розвиваючи семантичну, текстову та інтерпретаційну компетенції.

Відповідно до цього особливу увагу слід приділяти вивченню спеціалізованої лексики та термінології авіації, включаючи назви літаків, процедури, стандарти безпеки, метеорологічні терміни та термінологію міжнародних організацій. Між іншим, рекомендується поєднувати вивчення тематики із засвоєнням термінів двома мовами, використовуючи оригінальні тексти та термінологічні диктанти.

У зв’язку з викладеним вище важливим є розуміння міжнародних стандартів та рекомендацій в авіаційній сфері, включаючи технічні аспекти та правила комунікації (наприклад, вимоги ІСАО до англійської мови). Разом з тим перекладачі повинні володіти високим рівнем мовної майстерності, зокрема при роботі зі стандартизованими фразами та радіоперемовами.

Як було встановлено, підготовка може включати спеціалізовані курси, вправи на симуляторах та використання аудіовідеоматеріалів. При тому обов’язковою є практична підготовка та співпраця з авіаційними установами. Актуальною є співпраця між цивільною та військовою авіацією, що вимагає від перекладачів знання відповідної термінології.

Як уже підкреслювалося вище авіація є глобальною галуззю, що потребує адаптації до культурних особливостей різних країн. Тому, сучасні перекладачі повинні володіти навичками роботи з програмним забезпеченням та розуміти принципи міжкультурних аспектів комунікації для уникнення помилок і забезпечення ефективного спілкування.

Отже, можна впевнено сказати, що професійне становлення перекладача-початківця в авіаційній сфері вимагає всебічного підходу до навчання здобувачів вищої освіти зі спеціальності «Філологія» і залежить від їхнього позитивного ставлення до професії, зацікавленості та прагнення, як до особистого, так і до професійного розвитку. Підготовка включає глибоке розуміння цілей і завдань майбутньої роботи. Для досягнення успіху необхідні не тільки знання мови, але й розуміння галузі, що передбачає комплексний

підхід до навчання з опануванням технічної термінології, вміння діяти в стресових ситуаціях та в мультикультурному середовищі. Крім того, ефективна комунікація є ключовим компонентом розвитку авіаційної індустрії. Одночасно важливим є постійне вдосконалення освітніх програм та підвищення кваліфікації перекладачів.

Список літератури

1. Білик С. П. Педагогічні засади формування професійної етики у майбутніх перекладачів. Вісник Житомирського державного університету. 2020. Вип. 10. С. 57–61.

2. Бондаренко В. О. Підготовка перекладачів з урахуванням етичних аспектів. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер. Педагогіка. 2020. Вип. 45. С. 55–59.

3. Грищенко О. П. Навчання етики для перекладачів у ЗВО. Вісник Київського національного лінгвістичного університету. 2020. Т. 10. С. 58–63.

4. Мельничук С. С. Особливості перекладу технічної документації в авіаційній галузі: методичний підхід. Актуальні проблеми сучасної науки. 2019. Т. 23. С. 48–51.

УДК 811. 111.161.2.373. 45

Л.А. Халіновська, канд. філол. наук
А.В. Сібрук, канд. філол. наук
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Вторинна семантизація авіаційних номенів (на матеріалі назв літальних апаратів)

У статті розглядається вторинна номінація як ефективний спосіб творення номенклатурних одиниць у межах авіаційної та військової термінології. Завдяки чіткій семантиці та прозорій мотивації, такі одиниці забезпечують зручність використання у різних професійних контекстах і сприяють оптимізації комунікації між фахівцями. Особлива увага приділяється використанню номінативних одиниць, що запозичують елементи з історії, міфології та сучасності, зберігаючи образність первинного значення та підвищуючи точність і виразність фахового мовлення як у письмовій, так і в усній формі.

Антропоцентрична парадигма сучасних лінгвістичних досліджень передбачає семантичний аспект вивчення мови, а інтенсивне використання методів досліджень, які більше притаманні іншим галузям науки, є причиною появи крослінгвістичних досліджень, які виникають на стику дисциплін. Йдеться про комунікативні та когнітивні напрями, які переважають у сучасному дослідженні лексики [2].

Сучасне теоретичне термінознавство, розглядаючи питання розмежування терміна і номена, акцентує увагу на нетотожності цих понять. Так, Нікуліна Н.В. наводить узагальнений погляд мовознавців на проблему дефініцій номена (називаючи кількість варіантних позначень номена – 20 одиниць (*номен, номенклатура, номенклатурна одиниця, номенклатурний знак* та ін.) - «***номени*** є не тільки другим за значущістю різновидом спеціальної лексичної одиниці термінологічної системи, а й суттєвою складовою наукового стилю української мови, знецінення й збіднення якого неприпустиме, бо відповідно призводить до девальвації самої наукової чи технічної галузі» [3]. У своєму дослідженні визнаємо слушність думки Вільчинського С. С., який наголошував на тому, що «варто розмежовувати номени наукового пізнання природних об’єктів від номенів “похідної природи” – штучних об’єктів, тобто предметів, створених людиною за допомогою науки і техніки [1, с. 2-7].

Сьогодні активне функціонування та висока продуктивність авіаційних номенів, які часто творяться шляхом вторинної семантизації слова, зумовлена потребами і запитами суспільства, що переживає складні часи – «гаряча» фаза воєнної агресії рф. Недарма сучасну війну називають «війною дронів». Назви

на позначення таких безпілотних літальних апаратів[1] (далі – БпЛА) є відображенням різних аспектів, які стосуються їхніх конструктивних особливостей, призначення (ведення аеророзвідки, картографування місцевості, передачі оперативної інформації та знищення цілей) тощо.

Терміни, утворені за допомогою вторинної номінації у будь-якій з терміносистем є досить нечисленні, бо саме відсутність образності та емоційності є однією з вимог до творення терміна. Номен же не має таких строгих вимог, оскільки у нього відсутня дефініція, вони вирізняються предметністю (співвідносяться з предметом, не з поняттям), це – назва предметів, об'єктів чи будь-якого створеного людиною виробу.

До назв, які вживають у сучасному медійному просторі, спілкуванні військових та всіх, хто є причетним до забезпечення війська, належать такі номінації: *«Лелека-100», «Сокіл-300», «Горлиця», «Боривітер», «Чорний ворон», «Sparrow (горобець)», «Сич»; «Shark (акула)»; «Фурія», «Валькірія», «Ельф», «Баба Яга» («Вампір»), «Мара», «Пекло», «Гор»; «Довбуш-Т-10», «Інквізитор», «Домаха», «СКІФ», ST-35 «Грім», «Sirko», «Бобер», «Лютий», «Тризуб», «Кобзар»* [4, 5]. Це – різні за типом і видом легкі літальні апарати – квадрокоптери-«камікадзе» й БпЛА багаторазового використання і різного призначення. Найбільшу кількість серед наведених назв належить номінаціям різних птахів, що цілком логічно, оскільки такі лексеми відбивають низку різних ознак БпЛА: подібність до розміру птахів, їхнього зовнішнього вигляду, способу поведінки тощо (напр, *«Боривітер», «Сокіл», «Лелека»*). Друга значна за обсягом група – назви міфічних істот, фольклорних персонажів різних країн: слов'янських, германо-скандинавських, Давнього Єгипту, (напр. *«Валькірія», «Баба Яга» («Вампір»*). Метафоричне перенесення у таких назвах відбулося на основі поведінкових моделей та стереотипів, що існують у суспільстві про цих міфічних і казкових істот – сіяти страх. Зокрема, інтернет-преса фіксує досить багато прикладів їхнього вживання саме у такому значенні: «*Справжнім нічним кошмаром для російської армії є великий безпілотник Vampire, який вони прозвали «Бабою Ягою». Таке прізвисько БпЛА отримали через те, що працюють тільки вночі, скидаючи велику кількість боєприпасів*» [6].

Ще однією групою є назви, які з'явилися як данина відомим українцям та державним символам, напр. «Кобзар», «Тризуб».

Отже, вторинна номінація як спосіб творення номенклатурних одиниць, які функціонують у межах авіаційної та військової терміносистем є досить продуктивним способом. Завдяки зрозумілій семантиці та прозорій мотивації такі номени є зручними для використання у різних сферах, спрощують комунікацію фахівців. Унаслідок використання оригінальних назв, що позначають різні сфери життя людини (від історії, міфології, до сучасних реалій) здебільшого не втрачається яскрава образність – первинне семантичне

[1] Див. класифікацію літальних апаратів: Халіновська Л. А. Українська авіаційна термінологія: формування і функціонування: Монографія. Київ: КММ, 2017. С. 78 – 84 та Дод. №1. С. 217 – 228.

навантаження – це, навпаки, підкреслює точність та урізноманітнює усну та писемну комунікацію фахівців.

Список літератури

1. Вильчинский С.С. Взаимодействие терминологии, номенклатуры и общелитературной лексики (на материале патентной документации): Автореф. … дис. канд. филол. наук. Київ, 1987. С. 7.
2. Науменко Л.П. Антропоцентрична парадигма як методологічна матриця сучасних лінгвістичних досліджень. URL: https://surl.li/afjttf
3. Нікуліна Н.В. Дискусії щодо терміна «номен» в українському та зарубіжному мовознавстві. Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Серія «Проблеми української термінології». 2010. № 676. С. 56–61. URL: https://surl.li/zaozpb
4. 10 вітчизняних виробників дронів, що наближають перемогу України. URL: https://surl.li/yjhkhs
5. Класифікація дронів: які види та типи бувають? Частина перша. URL: https://surl.li/hxzlyc
6. Український дрон Баба Яга: що відомо, які переваги та технічні характеристики. URL: https://surl.li/nuqheb

UDC 372.881.111.1

O.M. Skipalska
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Making English grammar painless for ESP students

This paper investigates the question of whether grammar is actually important while teaching ESP. Effective communication is impossible without using proper grammar. Particularly for aviation English, grammar knowledge is crucial to develop grammar competency. In order to help students become self-sufficient learners, teachers should assist them in using learning techniques.

Grammar is essential for learning English, particularly for ESP (English for specific purposes) students whose success in the workplace and in the future depends on using the language correctly. Grammatical frameworks offer a means of clearly communicating knowledge in specific fields. It will be crucial for ESP students to comprehend a variety of grammatical structures since they will be expected to communicate complicated ideas in professional contexts. Despite grammar's importance, many ESP students still struggle with it, in part because of the intricate rules involved and in part because each field of study has its own specific language requirements.

Since traditional grammar teaching might not adequately prepare pupils for technical language or industry use, these issues could cause bewilderment and frustration. As a result, many ESP students must deal with a number of various difficulties that could impair their general language skills. The majority of ESP students study languages with the specific intention of improving their skills in a given field to meet industrial demands.

ESP students at universities are typically required to acquire both content and English language proficiency at the same time. Through this integrated approach, students can effectively apply their acquired language abilities in both academic and professional contexts. This is due to the fact that concurrent development of language and content abilities enables students to utilize English efficiently in their field of study, which will allow them to complete academic assignments and eventually execute professional activities.

The goal of ESP learning is to train professionals who can communicate professionally in real-world settings and their future careers using English as their primary language. Modern English teaching techniques are under the influence of communicative approach.

The absolute features of ESP are:

1. Meeting the specific needs of the student.
2. Involving the methods and activities of the discipline it serves.
3. Focusing on those language tools, skills, discourse and genres that are adequate to the activity.

ESP course in State University "Kyiv Aviation Institute" includes technical English, English for Finance, Business and Administration, Management, Computer Engineering and others but our focus is on Aviation English.

When discussing ATC phraseology, aviation professionals need to keep in mind that radio telephony has some unique characteristics since it combines technical, professional, and general English aspects with professional language and aviation technical words. It should be noted that ATC phraseology has quirks of its own in terms of grammar. Standard grammatical rules are not rigidly followed in aviation communication. Based on the particular circumstances of the air traffic communication environment, it has developed unique forms in both the professional and plain language that accompanies it and the restricted language of phraseology.

This particular form of English avoids words with unclear meanings, difficult-to-pronounce words, and complex grammar. Pronouns, prepositions, auxiliary verbs, articles and other common grammatical components are frequently left out. In general, English phraseology is succinct and steers clear of possessive phrases and contracted form. Usually, communication is broken up into brief segments and interspersed with pauses for efficiency and intelligibility.

But to prevent catastrophic consequences due to bad English ICAO mandates English language proficiency for pilots, air traffic controllers, and other specialists involved in international operations, especially in non-routine and emergency situation. So, knowledge of English phraseology is obligatory but not restricted only by that. Standardized English ensures everyone involved understands critical information and react quickly and efficiently. English serves as the lingua franca, allowing professionals from different countries to communicate readily.

Pilots and air traffic controllers participating in international operations must demonstrate at least Level 4 proficiency in all six areas (Pronunciation, Vocabulary, Structure, Fluency, Comprehension, and Interaction).

The ICAO Language Proficiency Rating Scale describes the expectations for "Structure" at each level (1-6). Here's a summary relevant to the minimum required **Level 4 (Operational):**

- Level 4 (Operational): "Basic grammatical structures and sentence patterns are used **creatively** and are **usually well controlled**. Errors may occur, particularly in unusual or unexpected circumstances, but **rarely interfere with overall meaning**".

Resources like ICAO Circular 323: Guidelines for Aviation English Training Programmes offer more specific guidance on the grammatical structures. These often includes:

- Basic verb tenses (present simple, past simple, fute simple, present continuous)
- Modal verbs (can, could, may, might, must, should, etc.)
- Question formation
- Use of articles
- Subject-verb agreement
- Basic sentence structure (simple, compound)
- Prepositions
- Adverbs of frequency
- Passive Voice (in relevant contexts).

Mastery of specific vocabulary and the ability to naturally make use of it in nearly any context go hand in hand with solid knowledge of grammar. Grammar instruction cannot be disregarded. The ESP teacher's job is to use engaging, inspiring, and fascinating teaching techniques.

The main objective of ESP teachers is to help students become proficient English language users. In order to teach grammar as a component of the language itself, teachers should avoid extreme language approaches and instead use a combination of approaches. Grammar ought to be 'a master skill' that promotes proficiency in speaking, listening, reading and writing. So, thinking of grammar lessons the teachers control this process:

1. Make sure that students will be able to understand how grammar works on the example of full text, dialogue, articles, conversations, etc. Working at this level definitely helps students understand how grammar functions in real communication.
2. Provide the contextualization, context is the key. Students are more likely to remember grammar correctly when they see how it is used. This can be provided with the help of different things such as story, conversation, video clip, real life scenario, etc.
3. Allow students enough opportunities to discover grammar for themselves in the context. Keep the balance between teacher-led and student-discovery of grammar peculiarities.

To sum up, grammar gives students control over how they form words into sentences and paragraph, because communication cannot occur without proper grammar. Learning grammar can help ESP students not only create more accurate sentences but also use different structures to express thoughts in ESP communication occasions, particularly learning grammar in aviation English to provide safe communication.

References

1. Guidance for Aviation English Training Programme. Cir. 323. URL: https://www.icao.int/safety/lpr/documents/323_en.pdf (дата звернення 17.04. 2025)
2. Manual on the implementation of ICAO the language proficiency requirements (Document 9835- AN/453) (2nd ed.). Montreal: International Civil Aviation Organization, 2010. URL: https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2497.pdf (дата звернення 17.04.2025).
3. Marta Gardeva, Vanya Ivanova, Denitsa Katsarska, Marija Lesovska. Ways to Enhance the English for Specific Purposes Classroom. *International Scientific Conference IMEA'2024*. 2024. P. 248-254. URL: https://www.fmi-plovdiv.org/GetResource?id=4871
4. O. Syvak. Importance of grammar in ESP. - Science and Education a New Dimension. Philology, VI (54), Issue: 183, 2018. – P. 50-52.

UDC 378.014.25:004:81’27(045)

O.M. Akmaldinova, PhD in Philology, L.V.Budko,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Intercultural competence and multilingual communication in aviation training

The article considers the role of intercultural competence and multilingual communication in training future aviation professionals. It explores integration through curriculum design, CRM, and technology-enhanced learning. The alignment with ICAO standards and its relevance to aviation safety are examined, alongside the need for culturally responsive, performance-based training and assessment methods.

The aviation industry operates within a transnational framework marked by cultural diversity, linguistic plurality, and high-stakes communication. Although Aviation English serves as the international lingua franca, it alone does not suffice to ensure flawless and safe communication in all operational contexts. Cultural nuances influence not only language use but also the interpretation of urgency, authority, and cooperation, especially in time-critical or ambiguous situations [2].

This article investigates the strategic integration of intercultural competence and multilingual communication into aviation training, highlighting approaches adopted by aviation universities to address these needs. These include curriculum design innovations, immersive training technologies, and performance-based assessments. The emphasis is placed on equipping future aviation personnel with the requisite cognitive, linguistic, and sociocultural tools to function effectively across diverse environments. Cultural competence is repositioned not as an abstract concept but as a vital operational capability linked directly to safety and performance outcomes.

Multinational flight crews must navigate communicative challenges that go beyond standardized phraseology. The increasing presence of culturally diverse personnel and passengers—particularly due to the expansion of international low-cost carriers—necessitates a more nuanced understanding of both verbal and non-verbal communication [6]. Consequently, training models must evolve to incorporate these realities in a systematic and empirical manner.

Intercultural competence, defined as the ability to interact effectively and appropriately with individuals from other cultures, is now recognized as a fundamental component of aviation safety [6]. According to the European Union Aviation Safety Agency (EASA) [3], communication breakdowns often stem from culturally shaped expectations and behaviors, necessitating their integration into CRM training frameworks.

Empirical research by Balatska and Lutkovska [1] establishes a strong association between intercultural awareness and improved decision-making under pressure. Pilots who have received targeted training in cultural dimensions—such as individualism vs. collectivism or high vs. low power distance—demonstrate enhanced adaptability and clarity in interpreting ambiguous instructions.

In multilingual airspace regions, the importance of language skills beyond English has been well-documented. The integration of regional language

competence contributes to improved situational awareness and operational flexibility. Their work supports the inclusion of multilingual phraseology in standard aviation language curricula.

Clark and McGunagle [2] advocate for the integration of content and language learning (CLIL) strategies, allowing students to simultaneously acquire technical expertise and communication skills. Technological advancements such as AI-driven language simulators and cultural bots have proven instrumental in replicating authentic aviation scenarios, enabling learners to develop adaptive strategies in real-time [3].

Recent studies by Yousef [6] further underscore the importance of non-verbal communication, highlighting its impact on situational perception and crew dynamics. In parallel, Marron et al. [5] emphasize the value of immersive technologies—such as virtual and augmented reality—in fostering experiential learning across cultural boundaries. These findings align with research that identifies cultural distance as a significant predictor of miscommunication in international flight operations [2].

Training Practices and Curriculum Design. Aviation training institutions are progressively embedding intercultural competence and multilingual awareness into their curricula. Instructional modules now explore cultural variability, communicative norms, and behavioral expectations under high-stress conditions. For instance, trainees examine how members of collectivist cultures might perceive assertiveness differently than those from individualist cultures—a distinction with direct implications for cockpit and ATC interactions.

Pedagogical approaches involve interactive exercises such as role-plays, group discussions, and debriefs of incidents resulting from cultural misinterpretation. These activities promote critical thinking and encourage learners to consider multiple perspectives when resolving communication dilemmas.

To address multilingual realities, curricula increasingly include instruction in regionally significant languages such as French, Spanish, and Arabic. Instructors guide learners through context-specific terminology and multilingual phraseology used in major international airports. Simulated international operations challenge students to alternate between languages, thereby enhancing cognitive flexibility and realism. Collaborative simulations are often designed in partnership with global airline partners - allow for immersion in real-world aviation scenarios. The inclusion of cultural immersion programs, guest lectures by international professionals, and feedback from culturally diverse instructors further enriches the training environment. The integration of immersive VR environments has been shown to significantly improve learners' ability to navigate complex communicative dynamics involving multiple cultural variables [5].

Intercultural Competence and Crew Resource Management (CRM) training has undergone a paradigmatic shift, evolving from a focus on procedural coordination to a broader emphasis on team cohesion, leadership, and intercultural awareness. Current CRM modules address how cultural frameworks shape expectations around authority, participation, and problem resolution.

In cultures characterized by high power distance, subordinates may refrain from questioning authority - a behavior with potentially hazardous implications in

aviation [1]. Simulation-based training enables participants to explore and mitigate these tendencies within a controlled environment. Cultural sensitivity is taught not as a static body of knowledge but as a set of dynamic, situationally responsive competencies.

Empirical evidence supports the efficacy of culturally inclusive CRM training. Teams educated in recognizing culturally shaped non-verbal cues - such as gesture, silence, or gaze—exhibit improved situational awareness and cohesion [6]. Flight attendants, too, receive specialized instruction on managing cross-cultural interactions with passengers, enhancing the overall safety culture of the airline.

Technology Integration. The role of digital tools in supporting intercultural and multilingual competence has expanded substantially. AI-driven cultural simulators allow trainees to engage in adaptive learning through dynamic scenarios that respond to user input. These tools offer real-time feedback on both verbal accuracy and cultural appropriateness, fostering deeper learner engagement [3].

Natural Language Processing (NLP) technologies assess pronunciation, intonation, and clarity across multiple languages. Feedback mechanisms enable learners to iteratively refine their output, with an emphasis on context-sensitive communication. Mobile apps gamify intercultural learning, increasing accessibility and learner motivation.

Blended learning platforms, such as Moodle and Canvas, support asynchronous learning while allowing for synchronous simulations and discussion forums. These platforms facilitate peer-to-peer exchange among culturally diverse learners, reinforcing the global context of aviation. Augmented reality (AR) tools are currently being piloted to recreate multicultural cockpit environments, offering immersive training experiences that mirror real-world complexities [5].

Assessment and Competence Evaluation. Assessing intercultural and multilingual competence necessitates a shift away from standardized tests toward performance-based methodologies. Scenario enactments, oral interviews, and culturally framed role-plays are used to evaluate learners' ability to navigate real-world challenges. One frequently used assessment involves resolving a communication breakdown between a Western pilot and an East Asian air traffic controller, with a focus on verbal precision and cultural sensitivity.

Learners are encouraged to maintain reflective journals to document their evolving self-awareness and adaptability. Peer evaluations and digital portfolios complement instructor assessments, contributing to a holistic evaluation of intercultural growth. Competency rubrics are being updated to include cultural adaptability as a discrete criterion, reflecting its growing importance in operational contexts.

Alignment with ICAO Standards. The International Civil Aviation Organization (ICAO) has established Language Proficiency Requirements (LPR) as part of its overarching communication standards. While the LPR prioritizes linguistic aspects such as pronunciation and fluency, the criterion of communicative clarity implicitly demands intercultural competence [4].

Training institutions are aligning their curricula with ICAO's LPR while advocating for a more explicit incorporation of cultural indicators. National regulators in several countries are expanding upon ICAO's framework to include

culturally nuanced evaluation metrics. Examiners now undergo training to identify and assess culturally influenced communication styles.

Looking ahead, the integration of AI-based assessment tools, enhanced multilingual modules, and comprehensive research into the behavioral effects of intercultural training are pivotal areas for development. International collaboration among academic and professional institutions could help standardize global practices. Additionally, longitudinal studies examining the long-term impact of intercultural training on pilots' careers are critical for shaping future policies and educational strategies.

Conclusion. Thus, as the aviation industry continues to evolve within a globalized context, the integration of intercultural competence and multilingual communication into professional training is increasingly vital. Incorporating intercultural and multilingual dimensions not only supports compliance with ICAO Language Proficiency Requirements but also enhances communication effectiveness and operational safety in multicultural environments. The adoption of AI-driven tools and performance-based assessment reflects a shift toward more responsive, learner-centered training approaches. Sustained commitment to these competencies will better prepare aviation professionals to operate confidently and effectively in diverse international contexts, ultimately contributing to safer and more collaborative global airspace.

References

1. Balatska N., Lutkovska N. (2024). Cross-cultural Awareness in Developing Communicative Foreign Language Competence of Majors in Aviation. Grail of Science, (36), 423–426. DOI: https://doi.org/10.36074/grail-of-science.16.02.2024
2. Clark P., McGunagle D., Zizka L. (2020). The Universality of Communication: Preparing the Next Generation of Aviation Professionals. National Training Aircraft Symposium (NTAS). Embry-Riddle Aeronautical University. portfolio.erau.edu+2SelectedWorks+2Academia+2
3. EASA (2022). Human Factors in Aviation Safety: The Role of Culture in CRM. European Union Aviation Safety Agency. https://www.easa.europa.eu/
4. International Civil Aviation Organization (ICAO) (2010). Manual on the Implementation of ICAO Language Proficiency Requirements (Doc 9835, 2nd ed.). International Civil Aviation Organization.
5. Marron T., Dungan N., Mac Namee B., O'Hagan A. D. (2024). Virtual Reality and Pilot Training: Existing Technologies, Challenges & Opportunities. Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, 33(1). DOI: https://doi.org/10.58940/2329-258X.1980
6. Yousef K. (2024). Intercultural Communicative Competence in Virtual and Face-to-Face Teamwork: A Quantitative Analysis of Culturally Diverse Teams. Organizacija, 57(2), 139–150. DOI: https://doi.org/10.2478/orga-2024-0010Sciendo

UDC 378.091.33:004:811.111

O.O. Hurska, PhD in Pedagogy,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Modernising Aviation English education: approaches and technological innovations

The article explores contemporary and innovative methods of teaching Aviation English. It highlights emerging technologies and communicative approaches, and discusses best practices in instructional design. Particular emphasis is placed on simulation, AI tools, collaborative learning, and intercultural competence to enhance language proficiency and flight safety.

Aviation operates in a high-pressure setting where effective communication is an essential requirement. The ability of pilots, air traffic controllers, and other aviation professionals to communicate clearly, concisely, and accurately in English plays a pivotal role in ensuring operational safety. Given that Aviation English serves as the lingua franca of global aviation, teaching it competently has become both a pedagogical and safety-critical concern. Traditional methods, while foundational, no longer suffice in meeting the diverse needs of learners operating in complex, multilingual, and technologically evolving flight environments. Thus, innovative and modern methods of teaching Aviation English are urgently needed to meet current challenges and anticipate future demands.

The need for rethinking Aviation English instruction has never been more pressing. As international air traffic increases and flight crews become more culturally and linguistically diverse, instructors must prepare learners for more than radiotelephony phraseology. Effective Aviation English instruction must now incorporate pragmatic language use, intercultural sensitivity, and technological adaptability. This article provides a comprehensive overview of emerging pedagogical strategies and tools for enhancing the instruction of Aviation English for specialists in the field.

Recent advancements in Aviation English instruction emphasize the integration of communicative, technological, and intercultural methodologies to enhance language proficiency among aviation professionals. Roberts highlights the shift towards learner-centered approaches, such as task-based learning and scenario-based training, which align language instruction with real-world aviation contexts [3].

The incorporation of Artificial Intelligence (AI) into Aviation English education has garnered significant attention. Dinçer and Demirdöken discuss the potential of generative AI tools, like ChatGPT, to create realistic aviation communication scenarios, thereby enhancing learners' situational awareness and language skills [2]. Similarly, Wang et al. introduce "AviationGPT," a domain-specific language model designed to improve natural language processing tasks within the aviation sector, such as question-answering and summarization [5].

Intercultural competence is increasingly recognized as a vital component of effective aviation communication. Barr and Imroz examine AI safety regulations

across different regions, emphasizing the need for cultural sensitivity and understanding in the development and implementation of AI systems in aviation [1].

Furthermore, the integration of AI into aviation curricula is explored by Schlichting et al., who present "LeRAAT," a real-time advisory tool that utilizes large language models to provide context-aware assistance to pilots, thereby bridging the gap between AI technology and practical aviation training [4].

These studies collectively underscore the importance of adopting innovative, technology-enhanced, and culturally informed approaches to Aviation English instruction, ensuring that aviation professionals are equipped with the necessary linguistic and communicative competencies for safe and effective operations in a global airspace. Conventional Aviation English instruction tends to rely heavily on textbooks, rote memorization, and audio recordings. While such materials are valuable for introducing standardized ICAO phraseology and grammatical structures, they often fall short in cultivating real-time communicative competence. The static nature of these resources makes it difficult to replicate the dynamic and unpredictable nature of actual flight operations [3].

Moreover, traditional courses often prioritize linguistic accuracy over communicative effectiveness. This imbalance can result in learners who can recite phraseology but struggle to respond effectively in non-standard, unexpected, or emergency scenarios. These methods also lack personalization. Learners' diverse backgrounds, learning speeds, and operational roles are rarely considered, which reduces training efficacy. Another significant limitation lies in feedback mechanisms. In traditional classroom settings, learners often receive delayed and generalized feedback. Immediate and context-specific corrections—which are critical for effective language acquisition—are seldom available. Instructors may also be constrained by limited exposure to authentic flight communication, which restricts their ability to simulate real-world interactions effectively [3].

Modern teaching approaches emphasize *a learner-centered paradigm*. This model prioritizes learner autonomy, contextual relevance, and active participation over passive knowledge reception. Aviation English instructors are increasingly adopting methods that encourage interaction, problem-solving, and reflection.

Task-based learning situates language use within meaningful and operationally relevant tasks. These may include flight planning discussions, emergency response simulations, or crew briefings. Learners must use English to complete specific aviation-related goals, thereby aligning language instruction with professional requirements [3].

Content and Language Integrated Learning (CLIL) is another method gaining traction. It involves teaching aviation content (e.g., meteorology, navigation) in English, fostering simultaneous acquisition of domain knowledge and language skills. This dual-focus approach enhances retention and application, particularly for non-native English speakers working in multilingual teams.

Role of simulation and scenario-based training simulation has emerged as one of the most powerful tools in Aviation English instruction. By recreating real-world operational scenarios, simulators provide learners with authentic, consequence-free environments to practice both linguistic and procedural skills. These scenarios include ATC communication, cockpit collaboration, and crisis

management dialogues. Scenario-based training reinforces standardized phraseology and develops adaptability in non-routine situations. Learners practice making decisions, responding under stress, and coordinating with multilingual crew members. These experiences enhance their language competence, situational awareness, and intercultural sensitivity. Advanced simulators now incorporate speech recognition and natural language processing (NLP) technologies, allowing for real-time interaction with virtual air traffic controllers or co-pilots. These tools offer immediate feedback on pronunciation, phraseology, and communicative appropriateness, enabling continuous skill refinement [3].

Integration of Artificial Intelligence in Aviation English teaching AI-driven tools represent a major advancement in Aviation English education. Automated speech recognition (ASR) systems analyze learner input and provide instant corrections for mispronunciations, improper intonation, or phraseology errors. These systems detect subtle linguistic issues that human instructors might miss. AI-based learning platforms often feature adaptive learning paths that assess learners' performance and tailor content to address individual weaknesses. For instance, if a trainee consistently misuses conditional instructions or fails to interpret complex weather briefings, the platform adjusts the training sequence accordingly. Conversational AI agents, or chatbots, simulate interactions with ATC or crew members, offering low-pressure environments to build fluency. Learners receive immediate, scenario-specific feedback, accelerating skill acquisition [1, 2].

Gamification applies game mechanics such as scoring, leveling, and achievement tracking to educational content. Aviation English apps using gamified elements enhance motivation, engagement, and long-term retention. Learners are incentivized to complete communication tasks, simulate procedures, or troubleshoot in-flight scenarios while developing operational vocabulary and phraseology. *Mobile learning platforms* enable on-the-go instruction. Flight crew members can practice communication drills, access glossary apps, or complete listening comprehension exercises during downtime. This flexibility supports continuous learning and accommodates irregular work schedules in the aviation industry [5].

Collaborative and peer-based learning modern Aviation English programs often incorporate collaborative learning strategies. Group projects, peer simulations, and co-learning tasks allow learners to interact with others from different linguistic and cultural backgrounds. These interactions reflect the diversity of real flight operations and promote intercultural competence. Tasks may involve multinational teams planning a route, responding to in-flight complications, and reporting to ATC - all in English. Such activities enhance language proficiency and teamwork skills. Peer feedback sessions promote critical reflection and communicative precision [6].

In digital learning environments, discussion forums, video assignments, and collaborative wikis facilitate ongoing interaction and collective knowledge-building. Learners are encouraged to discuss misunderstandings, exchange perspectives, and refine their language use collaboratively. Effective Aviation English training must account for the cultural nuances that influence communication. Intercultural Communication Competence (ICC) refers to the ability to interact effectively with people from different cultural backgrounds. In aviation, this includes sensitivity to hierarchical dynamics, politeness norms, and communication styles [6].

Modern instructional design integrates ICC into Aviation English curricula through case studies, cultural briefings, and reflective exercises. Learners explore cultural dimensions such as power distance, directness vs. indirectness, and uncertainty avoidance, and examine how these dimensions manifest in cockpit communication and decision-making. VR scenarios involving multicultural crews and culturally sensitive incidents provide practical exposure. Learners must navigate not only the language but also the behavioral expectations of diverse interlocutors. This dual focus builds holistic communication competence [6].

Blended learning and flipped classrooms. Blended learning combines online modules with face-to-face instruction. It allows learners to study theoretical content (e.g., phraseology, grammar) online at their own pace, freeing classroom time for interactive practice. Flipped classrooms reverse the traditional model by assigning lectures or readings as homework and using class sessions for simulations, discussions, and role-plays. These approaches enhance efficiency, cater to diverse learning styles, and allow for better tracking of learner progress. Instructors can identify common challenges from online exercises and design targeted classroom interventions. Digital learning management systems (LMS) support this model by organizing content, assessments, and analytics in a centralized platform. Platforms such as Moodle, Canvas, and Blackboard offer modules tailored to aviation-specific communication tasks [5].

Assessment strategies are evolving alongside instructional methods. Traditional written tests are supplemented or replaced by performance-based assessments, such as oral simulations, scenario-based evaluations, and speech recordings. AI-enabled analytics offer granular data on learner performance, including pause frequency, speech rate, error patterns, and interaction metrics. These insights enable more personalized feedback and targeted remediation. Reflective journals, self-assessments, and peer evaluations are gaining popularity. They promote metacognitive awareness and help learners monitor their own progress over time [3].

Despite progress, several challenges remain. Developing and maintaining advanced training tools requires significant investment. Instructor training must also evolve to include digital pedagogy, intercultural education, and AI integration. Furthermore, standardization across programs remains a challenge due to varying national regulations and resource availability. Equity and accessibility are key considerations. Not all learners have reliable access to high-tech platforms or internet connectivity. Programs must be adaptable to different contexts while maintaining consistent quality and outcomes.

The future of Aviation English teaching lies in greater integration of data-driven personalization, immersive simulation, and intercultural awareness. AI will continue to evolve, providing more nuanced feedback and learner modelling. Interdisciplinary collaboration with experts from aviation, linguistics, education, and cognitive science will further enrich pedagogical approaches [1, 2].

Hybrid learning ecosystems combining AI tutors, human instructors, and immersive environments will become the norm. Real-time communication support systems, augmented reality briefings, and predictive analytics will shape the next generation of training solutions.

Conclusion. The teaching of Aviation English is undergoing a profound transformation. Traditional models, though valuable, must be augmented with learner-centered, technology-enhanced, and innovative methodologies. Through simulation, AI tools, intercultural training, and blended learning, aviation specialists can develop the linguistic and communicative competence necessary for safe and effective operations in a global airspace. Institutions must embrace these changes proactively to ensure their professionals are equipped not only with technical knowledge but also with the communicative agility and cultural sensitivity required in modern aviation.

References

1. Barr P. A., Imroz S. M. (2025). A Cross-Regional Review of AI Safety Regulations in Commercial Aviation. arXiv preprint arXiv:2503.04767. DOI:10.48550/arXiv.2503.04767

2. Dinçer N., Demirdöken G. (2024). Generative AI Soaring in the Skies: New Horizons in Aviation English. In Transforming Education with Generative AI (pp. 388–410). IGI Global. DOI: 10.4018/979-8-3693-1351-0.ch0193.

3. Friginal E., Prado M., Roberts, J. (2025). Teaching and Assessment in Global Aviation English. *Bloomsbury Academic.* 288 p.

4. Schlichting M., Rasmussen V., Alazzeh H., Liu H., Jafari K., Hardy A., Asmar D., Kochenderfer M. J. (2025). LeRAAT: LLM-Enabled Real-Time Aviation Advisory Tool. arXiv preprint arXiv:2503.16477. DOI:10.48550/arXiv.2503.16477

5. Wang L., Chou J., Zhou X., Tien A., Baumgartner D. (2023). AviationGPT: A Large Language Model for the Aviation Domain. arXiv preprint arXiv:2311.17686.

6. Yousef K. (2024). Intercultural Communicative Competence in Virtual and Face-to-Face Teamwork: A Quantitative Analysis of Culturally Diverse Teams. *Organizacija,* 57(2), 139–150. https://doi.org/10.2478/orga-2024-0010Sciendo

УДК 159.947.2: 629.73(043.2)

Л.В. Помиткіна, д. психол. н., професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Психологічні фактори безпечної експлуатації авіаційного транспорту

У статті поданий аналіз проблеми безпечної експлуатації авіаційного транспорту, уточнено основні причини помилок. Рекомендовано: для мінімізації негативного впливу стресу застосовувати методи психологічної підготовки; для зниження ризиків використовувати профілактичні заходи: тренування з управління ресурсами екіпажу (CRM), системи управління ризиками SMS, регулярну психологічну підтримку персоналу тощо.

Безпека авіаційного транспорту є ключовим пріоритетом у сучасному світі. Хоча технічні аспекти відіграють вирішальну роль у забезпеченні надійності польотів, не менш важливими є психологічні чинники, які впливають на роботу екіпажу, диспетчерів і технічного персоналу. Людський фактор часто стає причиною авіаційних інцидентів, тому розуміння та управління психологічними аспектами експлуатації повітряного транспорту є життєво необхідними для збереження безпеки.

Авіаційна безпека є критично важливим аспектом функціонування авіаційної галузі, оскільки навіть найменша помилка може призвести до серйозних наслідків. Одним із ключових елементів авіаційної безпеки є людський фактор, який відіграє вирішальну роль у забезпеченні ефективної та надійної роботи авіаційної системи. Незважаючи на високий рівень автоматизації сучасних повітряних суден, діяльність людини залишається незамінною у процесах управління польотами, технічного обслуговування та реагування на нестандартні ситуації.

Людський фактор відіграє вирішальну роль у безпеці польотів. Помилки, допущені через втому, стрес або когнітивні обмеження, можуть призвести до серйозних наслідків. Дослідження показують, що більшість авіаційних подій спричинені саме людськими помилками. Основні причини помилок включають:

- перевтому та стрес – довгі години роботи, зміни часових поясів та напружені умови можуть впливати на увагу та швидкість прийняття рішень;
- когнітивне навантаження: надмірна інформація або її нестача може спричинити помилки у прийнятті рішень;
- фізичний і емоційний стан: втома, стрес, недосипання або емоційне вигорання негативно впливають на уважність і швидкість реакції;
- комунікація: неправильне або недостатнє спілкування між членами екіпажу чи з диспетчерами може стати причиною катастрофи [4];
- порушення процедур – нехтування встановленими стандартами та протоколами через самовпевненість або поспіх може призвести до аварійних ситуацій;

- недостатня підготовка – навіть висококваліфіковані фахівці потребують постійного навчання та відпрацювання навичок для підтримки високого рівня професіоналізму.

На продукування помилок, перш за все, може впливати стрес і втома. Зрозуміло, що стрес є невід'ємною частиною роботи пілотів та авіаційного персоналу. Висока відповідальність, складні метеорологічні умови, інтенсивний графік польотів – усе це створює значний психологічний тиск. Довготривалий вплив стресу може призводити до:

- Підвищеної втомлюваності та зниження концентрації уваги.
- Погіршення швидкості прийняття рішень у критичних ситуаціях [3].
- Емоційного виснаження, що може впливати на взаємодію в команді.

Для мінімізації негативного впливу стресу застосовують методи психологічної підготовки, тренування на симуляторах, графіки роботи, що дозволяють відпочивати між польотами, та інші заходи.

По друге, помилки пілота можуть відбуватися у процесі прийняття рішень у критичних ситуаціях, оскільки він пов'язаний зі значним емоційним напруженням. Пілоти та авіадиспетчери часто змушені приймати рішення за лічені секунди. Помилки на цьому етапі можуть бути фатальними. Основні психологічні чинники, що впливають на якість рішень:

1. Групове мислення: тиск групи може впливати на ухвалення рішень і зменшувати критичне мислення командира [1].
2. Автоматизація рішень: надмірна довіра до технологій може призвести до втрати контролю над ситуацією.
3. Емоційна стабільність: уміння зберігати спокій і аналізувати ситуацію без паніки – критичний навик для пілотів і диспетчерів [2].

Для зниження ризиків, пов'язаних із людським фактором, необхідно застосовувати профілактичні заходи. Авіаційні компанії впроваджують програми з управління людським фактором, що включають:

- тренування з управління ресурсами екіпажу (CRM): навчання ефективній взаємодії в команді, розвитку комунікаційних навичок і стресостійкості;
- психологічну підтримку персоналу: включає консультації з психологами, програми реабілітації та адаптації після кризових ситуацій;
- моніторинг стану здоров'я та стресових факторів: регулярні медичні огляди та аналіз робочого навантаження;
- навчання та тренування: регулярні симуляційні навчання, розбір реальних випадків та відпрацювання кризових ситуацій допомагають підвищити стійкість до стресу, надають досвід;
- система управління ризиками: застосування системи SMS (Safety Management System), що дозволяє ідентифікувати, аналізувати та мінімізувати ризики, пов'язані з людськими помилками;
- автоматизація процесів: сучасні технології, такі як автопілот, електронні контрольні списки та передові системи попередження, зменшують навантаження на пілотів та екіпаж;

- контроль фізичного та психологічного стану: медичні обстеження, програми управління втомою та психологічна підтримка сприяють підтримці належного рівня працездатності персоналу;
- поліпшення комунікації: використання стандартних протоколів зв'язку, чітке формулювання команд і підтвердження отриманої інформації допомагають уникнути непорозумінь [4].

Отже, психологічні фактори відіграють важливу роль у здійсненні безпечної експлуатації авіаційного транспорту. Людський фактор, вплив стресу, комунікаційні особливості та прийняття рішень у критичних ситуаціях визначають ефективність та безпеку авіаперевезень. Тому системне впровадження психологічних тренувань, програм підтримки та підвищення культури безпеки є необхідними умовами для мінімізації ризиків у сфері авіації.

Висновок

Таким чином, незважаючи на значний розвиток технологій та автоматизації, людська діяльність залишається центральним елементом у забезпеченні безпечних польотів. Впровадження сучасних систем управління безпекою, постійне навчання персоналу та оптимізація робочих процесів дозволяють значно знизити вплив людського фактору на ризики у авіації. Таким чином, гармонійне поєднання професіоналізму, технологій та ефективного управління сприяє підвищенню рівня безпеки в авіаційній галузі.

Список літератури

1. Помиткіна Л. В. Характеристики компетентної взаємодії екіпажу літака в умовах емоційної напруженості. Вісник національного авіаційного університету. Серія: Педагогіка. Психологія», № 1(18), 2021. С.141-148. https://doi.org/10.18372/2411-264X.18.15489
2. Помиткіна Л. В. Критичне мислення фахівців-авіаторів як фактор високої компетенції у прийнятті рішень щодо безпеки авіаційного транспорту. ABIA-2021: матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції, 20-22 квітня 2021 р., м. Київ. К.: НАУ, 2021. С. 33.1.3.
3. Pomytkina L., Gudmanian A., Kovtun O., Yahodzinskyi S. (2020). Personal choice: s strategic life decision-making and conscience, E3S Web of Conferences, Vol.164, 10021 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016410021
4. Khokhlina O., Pomytkina L., Lych O., Gorbenko S., Kazak A. (2020). Psychological determinacy of communication styles of aviation industry students. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918 012175 IOP Publishing https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/918/1/012175/pdf

УДК 656.045.6.316.62.005.745

О.М. Лич, доктор психологічних наук
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Техніки здоров'язбереження внутрішньої стійкості фахівців військової авіації: короткий огляд

У тезах представлено короткий огляд технік здоров'язбереження внутрішньої стійкості фахівців військової авіації. Розглянуто вплив негативних зовнішніх чинників на людину, що можуть зачіпати особистісну сферу, порушуючи внутрішню стабільність і самосприйняття. Робиться аналіз швидких та ефективних психологічних технік збереження внутрішньої стійкості: техніки дебрифінг, техніки майндфулнес, техніки саморегуляції.

Актуальність проблеми полягає у тому, що професія пілота перетворилась з романтичної до необхідної в умовах війни, в умовах захисту мирного населення та територій. Внутрішня стійкість дозволяє людині зберігати зосередженість та спрямованість на виконані завдань, адекватне сприйняття реальності та залишатись психологічно здоровою [16], [17], [18]. Сучасні науковці аналізують небезпеки екстремальних умов та наслідки впливу на людей та військових з психологічної точки зору [3], [4], [6], [14] та розробляють або адаптують прийоми та техніки самовідновлення для людей різного віку та для військових різних видів військ [2], [7], [9], [12], [13], [15].

Екстремальні умови, в яких працюють фахівці військової авіації мають велику кількість небезпек та ризиків, тому дотримання психологічної гігієни дозволить зберегти внутрішні ресурси, психологічне здоров'я. Психогігієна гігієна – це також знання про себе, про свої стани, про розуміння та прийняття своєї реакції на нелюдські умови без самозвинувачень. Небезпечні та екстремальні умови мобілізують різні особистісні якості, провокують застосування психологічних механізмів, які не були притаманні людині і не були потрібні у мирному житті. І самоприйняття, тобто прийняття знання про себе іншого, з іншою реакцією на події, людей може запобігти негативним явищам – формуванню провини, докору, звинуваченню себе та навколишніх тощо.

Відомо, що: «складні умови виконання професійного обов'язку накладають свій відбиток на особистість професіонала, на його самосприйняття, на його психічний стан, а значить й на його ментальний світ» [5, с. 1246]. Проте, «між людьми існує велика різниця в інтенсивності переживання та ступені опору стресовим ситуаціям. Різниця у стійкості до стресу також залежить від різного життєвого досвіду особистості та психологічної зрілості» [10, с. 85–86], а також від знань технік здоров'язбереження внутрішньої стійкості. Тому проблема здоров'язбереження фахівців військової авіації потребує постійного пошуку нових та вдосконалення наявних психологічних технік та прийомів самовідновлення.

Для самовідновлення та збереження психологічного здоров'я можна використовувати психологічні техніки з певною модифікацію відповідно до умов здійснення професійних завдань [3], [5], [11], [15]. До таких технік здоров'язбереження внутрішньої стійкості можна віднести: техніки

дебрифінгу, техніки майндфулнес, техніки саморегуляції тощо. Кожна з цих технік має свої особливості проведення, проте всі прості у виконанні.

Дебрифінг – це групова форма роботи для відреагування, переробки та мінімізації наслідків екстремальних ситуацій. Ця техніка є ефективною, коли використовується не пізніше ніж через три доби після травматичної події. Мета техніки полягає у зниженні ймовірності виникнення посттравматичних стресових розділів та інших негативних психологічних явищ. Переваги цієї техніки у тому, що у процесі дебрифінгу кожен з учасників може виговоритися, відмежувати травматичні спогади завдяки вербалізації. Під час обговорення події відбувається усвідомлення, створюється емоційне нове переживання, переструктуровується життєвий досвід.

Майндфулнес застосовуються для зниження впливу стресу. Це поєднання медитацій та усвідомлення власного тіла. Програма призначена для осіб, які перебували у стресових ситуаціях, зокрема для військових, поліцейських, медичних працівників. В основі цієї практики переконання, що людина спроможна: концентрувати увагу на тому, що відбувається з нею та навколо неї; безоціночно спостерігати за власними думками, що робить сприйняття життя більш реалістичним; усвідомлювати ситуації, події, що робить життя насиченим, ефективним, цілісним; розуміти власні реакції на ситуації; накопичувати інформацію; приймати ефективні рішення, завдяки чому відбувається контроль за своїм життям.

Медитаційні практики в межах цієї програми прості та ефективні, можна виконувати на всіх етапах психологічної профілактики психотравматизації, в першу чергу для самодопомоги, для самовідновлення. Найбільш прості для виконання, ефективні та відомі вправи: «Сканування», «Медитація сидячи», «Майндфулнес проблем» – спрямовані на тренування довільної уваги, самоконтролю думок, контролю психоемоційного стану завдяки поетапному виконанню завдань.

До технік саморегуляції відносять методи контролю функцій тіла, спрямованих на дихання, тонус м’язів, формування осанки і координації рухів тощо. Основою для технік саморегуляції є прийоми контролю мислення і довільна регуляція тіла. Серед різних методів саморегуляції найбільш розробленими є методи аутогенного тренування, які можна виконувати у будь-яких умовах, за потребою. Важливо при виконанні технік навчитися відрізняти стан розслаблення від стану напруження.

Крім того, аутогенні практики позитивно впливають на покращення самопочуття, але потрібно розвивати навички концентруватись на розслабленні, відмежовуючи зайві думки та переживання. Вправи аутогенних практик широко представлені у психологічній літературі [1], [2], [7], [8], які розраховані для самодопомоги як для цивільного населення, так і для військовослужбовців (в тому числі для фахівців військової авіації).

Висновки

Отже, короткий огляд технік здоров’язбереження має інформативний характер. Описані техніки можуть мати модифікацію відповідно до запиту, способу та місця їх застосування. Ці техніки фахівець може використовувати до

та після виконання бойового завдання для збереження внутрішньої стійкості, що робить ці техніки універсальними та доступними. Психологічна гігієна, що має стати нормою, повинна включати не тільки використання різних технік здоров'язбереження, але й прийняття себе у нових реаліях життя та діяльності з новим досвідом реагування, адаптації, саморегуляції. У комплексі це сприятиме зміцненню внутрішньої стійкості наших фахівців військової авіації.

Список літератури

1. Агаєв Н.А., Кокун О.М., Пішко І.О., Лозінська Н.С., Остапчук В.В., Ткаченко В.В. Збірник методик для діагностики негативних психічних станів військовослужбовців: метод. посібник / Н.А. Агаєв, О.М. Кокун, І.О. Пішко, Н.С. Лозінська, В.В. Остапчук, В.В. Ткаченко. – К.: НДЦ ГП ЗСУ, 2016. – 234 с.
2. Кокун О.М., Мороз В.М., Лозінська Н.С., Пішко І.О. Психологічна профілактика психотравматизації військовослужбовців Збройних Сил України: метод. посіб. / О.М. Кокун, В.М. Мороз, Н.С. Лозінська, І.О. Пішко. – К.: НДЦ ГП ЗСУ, 2021. – 301 с.
3. Лич О.М., Холіна О.С. Стресостійкість як адаптаційний ресурс у військовослужбовців, які беруть участь у бойових діях / О.М. Лич, О. Холіна // Авіаційна та екстремальна психологія у контексті технологічних досягнень: збірник наукових праць / за заг. ред. Л.С. Яковицької, С.Л. Горбенко. Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2024. – С. 183–190.
4. Лич О.М., Холіна О.С. Психологічний аналіз бойового стресу військовослужбовців зміст та сутність / О.М. Лич, О.С. Холіна // Наукові перспективи. – 2024. – № 11(53). –С. 1425–1436.
5. Лич О.М., Яковицька Л.С., Кокарєва А.М. Особливості професійної діяльності пілотів військової авіації в екстремальних умовах: психологічні практики збереження ментального здоров'я / О.М. Лич, Л.С. Яковицька, А.М. Кокарєва // Наукові перспективи. – 2024. – № 9(51). – С. 1242–1255.
6. Лич О.М., Ічанська О.М., Гірчук О.В. Пілотажне дослідження життєстійкості як професійно вагомої якості пілота / О.М. Лич, О.М. Ічанська, О.В. Гірчук // "Авіація в XXI столітті" – "Безпека в авіації та космічні технології": X всесвітній конгрес (м. Київ, 28-30 вересня 2022). [Електронний зб. праць]: http://surl.li/rwopzb.
7. Організація психологічної підготовки у Збройних Силах України: навч.-метод. посіб. / за ред. генерал-майора В. Клочкова. – К.: НДЦ ГП ЗС України, 2023. – 325 с.
8. Професійно-психологічний тренінг військовослужбовців Національної гвардії України [Текст]: монографія / О.С. Колесніченко, Я.В. Мацегора, І.І. Приходько, Н.В. Юр'єва / за заг. ред. проф. І.І. Приходька. – Харків: НАНГУ, 2019. – 194 с.
9. Психологічна робота з військовослужбовцями – учасниками АТО на етапі відновлення: метод. посібник / О.М. Кокун, Н.А. Агаєв, І.О. Пішко, Н.С. Лозінська та ін. – К.: НДЦГПЗСУ, 2017. – 282 с.
10. Психологічна стійкість воїна: підручник для військ. психол. / З. Комар; Посольство Великої Британії в Україні. – К.: Stabilization Support Services, 2017. – 185 с.

11. Психологічні технології надання допомоги працівникам поліції після їх перебування в екстремальних ситуаціях: метод. рекомендації / укл.: В. Остапович, Л. П'янківська, О. Давидова, Ю. Бойко-Бузиль; за заг. ред. д-ра юрид. наук, професора, засл. юриста України В. Криволапчука. – К.: Людмила, 2023. – 96 с.

12. Тренінги для психологічної підготовки та адаптації військових до бойових дій / під ред. Г.М. Колєва, Г.П. Сябренко. – Кіровоград: Імекс-ЛТД, 2015. – 108 с.

13. Форми і методи надання психологічної допомоги та здійснення психокорекційної роботи у військових частинах, установах і закладах ЗС України: навч.-метод. посіб. / уклад. О.М. Чепур, В.Д. Наконечний, В.Е. Петухов. – К., 2013. – 54 с.

14. Яковицька Л.С., Горський О.М., Лич О.М. Готовність до ризику як складова соціально-психологічної адаптації військовослужбовців / Л.С. Яковицька, О.М. Горський, О.М. Лич // Вісник Національного авіаційного університету. Серія: Педагогіка. Психологія. – 2023. – Вип. 2(23). – С. 175–181.

15. Ярмольчик М.О., Лич О.М. Психологічні технології роботи з військовослужбовцями під час декомпресії / М.О. Ярмольчик, О.М. Лич // Дніпровський науковий часопис публічного управління, психології, права. – 2021. – № 2. – С. 88 –92.

16. Training Pilots for Resilience. URL: https://safetyfirst.airbus.com/training-pilots-for-resilience/.

17. Vasheka T., Lych O., Palamar B., Palamar S., Zhelanova V., Safir T., Kurdil N. Psychological factors of students' vitality during the war in Ukraine. Wiadomości Lekarskie Medical Advances. – 2023. – Vol. LXXVI. – № 5 (II). – P. 1279 –1284.

18. Yakovytsk L., Lych O., Horskyi O., Khokhlina O. Psychological features of emotional stability as a safety factor of air traffic specialists. Transportation Research Procedia, 2022. – P. 294–302.

УДК 159.942+612.176] 629.73

А.П. Ковальова
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Стресостійкість як професійна компетентність фахівців цивільної авіації в умовах стресових ситуацій

У статті розглядається стресостійкість як важлива професійна компетентність фахівців цивільної авіації в умовах динамічної та психологічно напруженої діяльності. Проаналізовано сутність поняття «стійкість до стресу», її складові та значення для ефективного функціонування авіаційного персоналу. Особлива увага приділяється впливу стресових ситуацій на професійну діяльність пілотів, авіадиспетчерів та іншого персоналу, а також виокремлюються чинники, що сприяють розвитку стресостійкості.

У сучасному світі людство стикається з надзвичайно складними обставинами, що обумовлені безперервними глобальними викликами. Серед них – поглиблення екологічної кризи, зміни клімату, зростання кількості збройних конфліктів і навіть реальна небезпека Третьої світової війни. Усе це формує жорстоку реальність, яка має глибокий вплив на життя та здоров'я молоді, зокрема тих, хто планує своє професійне майбутнє в галузі цивільної авіації.

Авіаційна індустрія є однією з визначальних сфер для стабільного функціонування будь-якої країни, і Україна в цьому сенсі не є винятком. В умовах соціальної нестабільності в державі зростає потреба у впровадженні нових підходів до підготовки фахівців у сфері цивільної авіації. Цей процес передбачає не лише професійне навчання, але й розвиток ключових особистісних якостей. Серед них — здатність діяти в умовах обмеженого часу, швидко приймати рішення, залишатися зосередженим у складних ситуаціях, оперативно реагувати на нестандартні виклики, а також психологічна й фізична витривалість, що допомагає ефективно справлятися зі стресами.

Питання професійної підготовки майбутніх фахівців цивільної авіації стало предметом досліджень таких науковців, як Д. Гандер, О. Москаленко, Т. Плачинда, В. Ягупов та низки інших учених.

Водночас значна кількість українських і зарубіжних учених у галузі психології та психотерапії (зокрема Н. Банбурак, М. Білова, О. Вишневський, М. Гуцман, В. Корольчук, О. Личко, С. Максименко, Л. Наугольник, О. Овчаренко, Л. Прядко, З. Романець, Л. Смольська, а також J. Brown, E. Fromm, S. Folkman, R. Lazarus, H. Selye, J. Siegel, H. Wolff та інші) зосереджували свою увагу на вивченні механізмів зниження стресового навантаження та формуванні психологічної стійкості особистості.

Однак, попри наявні напрацювання, проблема формування стресостійкості саме у майбутніх фахівців цивільної авіації – як ключової психологічної якості та чинника ефективного подолання професійного стресу – залишається недостатньо дослідженою та потребує подальшого глибокого наукового осмислення.

У сучасних умовах серед широкого спектру негативних психоемоційних станів, що виникають у представників професій цивільної авіації під впливом екстремальних факторів їхньої діяльності, особливо виокремлюється стрес. Це явище набуває особливої актуальності для таких категорій працівників, як пілоти та командири повітряних суден, диспетчери управління повітряним рухом, інженери й технічний персонал, члени випробувальних екіпажів, бортпровідники, а також диспетчери, відповідальні за забезпечення польотів. Високий рівень професійного навантаження та відповідальності сприяє формуванню у них стресових станів, що негативно впливають на психіку та працездатність.

У сучасній психологічній та психотерапевтичній науці поняття «стрес» (від англійського *stress* – «напруження», «тиск», «зусилля», «зовнішній вплив») інтерпретується по-різному залежно від контексту дослідження.

Так, у «Сучасному психологічному словнику» за редакцією В. Шапара термін «стрес» визначається як сукупність захисних фізіологічних реакцій організму людини або тварини, що виникають у відповідь на дію стресорів – несприятливих зовнішніх чи внутрішніх факторів [6, с.511].

У свою чергу, «Фармацевтична енциклопедія» подає це явище як стан фізіологічного чи психологічного напруження, викликаний дією комплексу негативних впливів (емоційних, інтелектуальних, зовнішніх або внутрішніх), які мають потенціал порушити функціонування організму, а сам організм намагається цьому чинити опір [5].

Однією з форм стресу, що особливо властива авіаційній сфері, є професійний стрес (*professional stress*), адже фахівці цієї галузі, включно з пілотами, несуть надзвичайно велику відповідальність за безпеку й життя пасажирів. Цей тип стресу має специфічні особливості, що зумовлені численними факторами робочого середовища.

Вітчизняний науковець О. Дранко визначає ключові стресові чинники, з якими стикаються працівники цивільної авіації у своїй професійній діяльності:

1. Постійне перебування в стані високої нервово-емоційної напруги.
2. Необхідність орієнтації в незвичних просторових умовах, порушення якої є причиною 22–30% аварій під час цивільних польотів.
3. Жорсткий робочий ритм та обмеженість часу на прийняття рішень.
4. Вплив специфічних умов праці – шуму, вібрацій, фізичних перевантажень під час маневрування тощо.
5. Домінування інтелектуальної праці над фізичною, що призводить до гіпокінезії та гіподинамії [3, с. 178].

Перебування в обставинах, коли ситуація розгортається всупереч встановленим регламентам (наприклад, незначні технічні несправності, відхилення від графіка з незалежних від пілота причин, фізичне чи психічне виснаження), провокує виникнення почуття внутрішнього дискомфорту та когнітивного дисонансу. З часом це може призвести до формування другої складової класичної моделі професійного вигорання (*burnout*) – редукції професійних досягнень [7, с. 118]. Такий стан виявляється у втраті впевненості у власній професійній спроможності, зниженні задоволення результатами своєї

роботи, погіршенні якості виконання професійних обов'язків та формуванні негативного ставлення до себе як до фахівця.

Наступною стадією розвитку професійного вигорання стає емоційне виснаження, що виявляється у відчутті постійної внутрішньої напруги та емоційної спустошеності. Людина починає усвідомлювати, що більше не здатна вкладати у роботу стільки енергії та емоцій, як раніше. З'являється відчуття притлумлення емоційної сфери, байдужості, а в більш важких випадках – можуть виникати раптові емоційні зриви [6, с. 8].

У цьому контексті особливої значущості набуває питання формування у фахівців цивільної авіації психологічної готовності до дії в умовах стресу, тобто розвитку стресостійкості (*stress resistance*). Ця якість є ключовою для подолання професійних викликів, пов'язаних з раптовими змінами обстановки, підвищеним ризиком і загрозою для життя.

У науковій літературі поняття стресостійкості часто розглядається через призму близьких або тотожних термінів. Деякі дослідники ототожнюють цей феномен з «емоційною стійкістю» (М. Корольчук, В. Кремінь, Ю. Тептюк), «стресорезистентністю» (О. Шумейко), «психологічною стійкістю до стресу» (Г. Величко, Н. Сергієнко), а також з «фрустраційною толерантністю» (Л. Іванцев, Н. Чижиченко) тощо.

На думку М. Кудінової, стресостійкість є специфічною характеристикою особистості, яка забезпечує узгоджену взаємодію між усіма складовими психічної діяльності в умовах емоційного напруження, сприяючи ефективному функціонуванню в подібних ситуаціях [2, с. 26].

М. Корольчук, В. Крайнюк і Ю. Тептюк трактують стресостійкість (або емоційну стійкість) як здатність людини контролювати надмірне емоційне збудження під час виконання складних дій, зокрема у сфері рухової активності [4, с. 45].

Аналіз сучасних наукових праць у сфері психології дозволяє виокремити дворівневу структуру механізму стресостійкості, що є актуальною, зокрема, для професіоналів у галузі цивільної авіації.

1. *Перший рівень («Біологічний»)*: охоплює такі складові, як загальний емоційний стан, точність і координація рухів, надійність фізіологічних реакцій, а також функціонування конституційно-генетичних, фізіологічних, ендокринних та інших систем, які забезпечують стабільну роботу організму в умовах стресу. До цього рівня також належать індивідуальні особливості нервової системи та рівень її активації.

2. *Другий рівень («Особистісний»)*: формується під впливом соціального оточення, життєвого досвіду, здобутих знань, умінь і навичок [2; 4; 6].

Попри те, що біологічний рівень закладає фундамент стресостійкості, вирішальне значення має саме особистісний рівень, оскільки він визначає здатність індивіда адаптуватися до зовнішніх умов через соціальні та поведінкові механізми.

Узагальнюючи різноманітні наукові підходи до трактування поняття «стресостійкість», можна визначити його як інтегративну рису особистості, яка виявляється у гармонійній взаємодії емоційно-вольових, інтелектуальних та мотиваційних компонентів психіки. Ця якість спрямована на забезпечення

ефективного досягнення цілей у складних емоційних умовах професійної діяльності.

Т. Плачинда підкреслює, що емоційна стійкість є однією з ключових професійно значущих рис для працівників цивільної авіації. Їхня діяльність нерозривно пов'язана з високим нервово-емоційним напруженням, зумовленим пілотажним навантаженням, очікуванням важливої інформації, впливом монотонних чинників (таких як шум, вібрації, постійність зорових образів), а також польотами у складних погодних умовах [3].

На думку Г. Дубчак, професійна стресостійкість – це характеристика особистості, яка визначає здатність ефективно реагувати на стресові ситуації у професійному середовищі. Ця якість є комплексною та тісно пов'язана з використанням копінг-стратегій, а також залежить від індивідуально-психологічних особливостей, таких як тип темпераменту, рівень емоційної стійкості та локус контролю [1, с. 6].

Здатність до емоційної стійкості повинна супроводжуватися вмінням гнучко управляти власним емоційним станом — формувати потрібний настрій, регулювати ступінь емоційного збудження відповідно до ситуації. Така саморегуляція дозволяє, з одного боку, зменшити емоційне навантаження, а з іншого — використовувати емоції як джерело додаткової енергії, що підвищує працездатність і дає змогу повніше реалізувати особистісний потенціал.

Одним із головних завдань психологічної підготовки майбутніх працівників цивільної авіації є зміцнення психічної стійкості в умовах стресу, що, у свою чергу, підвищує їхню професійну надійність.

Процес формування стресостійкості має бути спрямований на посилення найбільш уразливих психічних механізмів і здійснюватися у двох напрямах:

– попереднє моделювання можливих ускладнень і напрацювання відповідних дій ще на етапі наземної підготовки;

– спеціальне тренування мислення, що дозволяє швидко приймати ефективні рішення у несподіваних ситуаціях, формуючи навички адаптації до нетипових умов [3].

Отже, узагальнення результатів аналізу вітчизняних та зарубіжних досліджень у галузі авіаційної психології підтверджує значущість проблеми адаптації фахівців цивільної авіації до умов професійної діяльності, що супроводжуються впливом стресових чинників різного походження та інтенсивності.

З'ясовано, що усвідомлення джерел виникнення стресу є ключовим для належної організації психологічного супроводу процесу професійного становлення авіаційних спеціалістів. Це, у свою чергу, сприяє як підвищенню ефективності їхньої роботи та забезпеченню високого рівня надійності під час виконання польотних завдань, так і збереженню психічного та фізичного здоров'я персоналу, а іноді – і їхнього життя. Розвинена стресостійкість забезпечує здатність ефективно виконувати професійні функції навіть у стресогенних умовах.

Список літератури

1. Дубчак Г. М. Психологія становлення професійної стресостійкості майбутніх фахівців соціономічних професій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. псих. наук: 19.00.07. Київ, 2018, 36 с
2. Кудінова М. С. Порівняльний аналіз понять «стресостійкість» та «емоційна стійкість». *Теорія і практика сучасної психології.* 2016. № 1. С. 22–28.
3. Плачинда Т. С. Формування професійно важливих якостей у майбутніх фахівців екстремальних професій, як складовац підвищення ефективності їх фахової підготовки. Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки. Збірник наукових праць. Кропивницький: ЛА НАУ, 2018. Випуск 4. С. 176-184.
4. Тептюк Ю. В. Психологічні умови розвитку стресостійкості особистості у дорослому віці. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки*. 2018. Вип. 1. С. 44–47.
5. Фармацевтична енциклопедія. 2023. URL: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/671/stres (дата звернення: 10.09.2024).
6. Demerouti E. Burnout among pilots: psychosocial factors related to happiness and performance at simulator training. *Ergonomics and Human Factors in Aviation*. 2019. Vol. 62. № 2. P. 233-245.
7. You-De D. Work engagement and job burn out? Roles of regulatory foci, supervisors' organizational embodiment and psychological ownership. *Journal of Hospitality and Tourism Management*. 2021. Vol. 46. P. 114-122.

УДК 159.944.4(043.2)

Т.М. Савич, аспірантка
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Особливості психологічної допомоги підліткам- військовим ліцеїстам з травматичним досвідом

У контексті військових дій в Україні особливої актуальності набуває вивчення особливостей психологічної допомоги підліткам, які проходять навчання у військових ліцеях та мають досвід травмуючих подій. Війна змінює дитинство, прискорюючи дорослішання, формує нові виклики для психіки молодої особистості.

Підлітки у військових ліцеях часто походять із сімей військовослужбовців або самі пережили евакуацію, втрату, бойові дії. Такі умови накладають відбиток на їхню самоідентифікацію, систему цінностей, відносини з оточенням. З огляду на соціальне замовлення на майбутніх захисників держави, зростає потреба в підтримці їхнього психологічного благополуччя.

Теоретичні підходи до дослідження психологічної травми у підлітковому віці. Однією з ключових категорій для розуміння стану таких підлітків є *психологічна травма* — глибоке емоційне потрясіння, яке має довготривалі наслідки для психіки. Важливими поняттями у цьому контексті також є *резилієнтність*, *адаптація* та *копінг-стратегії*.

Бессель ван дер Колк, американський психіатр, відомий своїми дослідженнями в області посттравматичного стресу, у своїх дослідженнях доводить, що травма залишає «відбиток» не лише у свідомості, а й у тілі, змінюючи реакції мозку на стрес. У роботі "The Body Keeps the Score" він наголошує на важливості цілісного підходу до лікування, що включає як когнітивні, так і тілесні методики. Він також підкреслює, що дитячі та підліткові травми мають особливий вплив на структуру мозку, що впливає на здатність формувати стабільні стосунки, регулювати емоції та зберігати самооцінку в умовах стресу [5].

Подібні ідеї підтримують також Yehuda, які підкреслюють значення нейробіологічного підґрунтя травми у формуванні посттравматичних реакцій [9].

Однією з ефективних моделей допомоги є модель BASIC-PH, запропонована Мулі Лахадом, яка передбачає шість ресурсів адаптації: переконання (Belief), емоції (Affect), соціальні зв'язки (Social), уява (Imagination), когніція (Cognition), фізична активність (Physiology). Такий підхід дозволяє підібрати індивідуальну стратегію підтримки для кожного підлітка. Модель активно використовується в Ізраїлі, Фінляндії, США, а також у постконфліктних регіонах Африки при роботі з дітьми, що пережили стихійні лиха, війни та інші травматичні події [7].

Психологічні особливості підлітків – військових ліцеїстів. Підлітковий вік є сензитивним періодом становлення особистості, що характеризується емоційною вразливістю, нестабільністю самооцінки, підвищеним прагненням до автономії та соціальної значущості. У випадку військових ліцеїстів ці особливості набувають специфічних проявів через поєднання підліткових вікових криз із підвищеним рівнем дисципліни, ієрархічністю взаємин, можливим травматичним досвідом війни або втрати.

Дослідження вказують, що військові ліцеїсти часто демонструють високий рівень зовнішньої саморегуляції, водночас пригнічуючи внутрішні емоційні переживання [8]. Це може призводити до формування «жорсткої маски» — образу сильного, витривалого підлітка, який не має права на слабкість. У довготривалій перспективі це збільшує ризики розвитку ПТСР, тривожних розладів та порушень соціалізації.

Особливості мислення в цьому віці (тенденція до категоричності, уявлення про героїзм, максималізм) також впливають на ставлення до власного досвіду, зокрема до травми. Часто підлітки не ідентифікують свій стан як проблему, що потребує допомоги. Це ускладнює звернення до психологічної підтримки, що потребує делікатного та емпатійного підходу. *Підлітковий вік* — це період формування ідентичності, емоційної незалежності, побудови системи цінностей. Для військових ліцеїстів цей процес часто ускладнений жорсткою дисципліною, високими очікуваннями та наслідками травматичного досвіду [1].

Вони можуть виявляти такі особливості: підвищена тривожність, схильність до ізоляції або, навпаки, до агресивної поведінки, труднощі в емоційному самовираженні, підвищений рівень відповідальності за себе і «товаришів». Дослідження показують, що такі підлітки частіше звертаються до структурованого середовища як до компенсаторного механізму. Але водночас їм потрібна емоційна підтримка й безпечний простір для вираження переживань [2].

Психокорекційна робота. Психокорекція підлітків з травматичним досвідом повинна враховувати як вікові, так і особистісні особливості. Застосування моделі BASIC-PH дозволяє діагностувати домінуючі ресурси особистості та опрацьовувати ті, що потребують розвитку. Наприклад, підлітки, які мають труднощі з емоційним самовираженням, можуть працювати через арт-терапію (канал Affect), тоді як ті, хто схильний до контролю, отримають підтримку через когнітивно-поведінкові практики (Cognition) [4].

Також ефективною є групова терапія, яка сприяє відчуттю підтримки та належності. Під час роботи важливо дотримуватись принципів етичності, добровільності та безпеки. Роль дорослого (викладача, психолога, наставника) полягає не лише у підтримці дисципліни, а у створенні емпатійного контакту й атмосфери довіри [3].

Висновки

Підлітки – військові ліцеїсти з травматичним досвідом — це специфічна група, що потребує комплексного підходу в психологічній підтримці. Актуальними є дослідження їхніх психологічних характеристик, а також

розробка адаптивних психокорекційних програм з урахуванням як зарубіжного, так і українського досвіду.

Список літератури

1. Гаврилова О. О. Психічне здоров'я підлітків в умовах війни: виклики та стратегії. *Освіта і розвиток обдарованої особистості*, 2023, 12, 45–50.
2. Кузняк А., Проскурка Н. Програма психокорекції емоційних станів дорослих в умовах воєнного конфлікту. *Вісник Національного авіаційного університету. Серія: Педагогіка, Психологія*, 2024 2(25). https://doi.org/10.18372/2411-264X.25.19356
3. Савич, Т. М. Особливості перебігу наслідків травматичного стресу у підлітків. Авіаційна та екстремальна психологія у контексті технологічних досягнень: збірник наукових праць / за заг. ред. Л. С. Яковицької, С. Л. Горбенко. Національний авіаційний університет. К.: НАУ, 2024. 350 с.
4. Теслюк Н. Ю. Психологічна підтримка дітей та підлітків, які пережили травматичні події. *Практична психологія та соціальна робота*, 2022, 3, 17–22.
5. Bessel van der Kolk B. *The Body Keeps the Score: Brain, Mind, and Body in the Healing of Trauma*. Penguin Books, 2014.
6. Lahad M. *Coping and Resiliency: The BASIC Ph Model*. Community Stress Prevention Center, 1993.
7. Lahad M., Leykin, D. *Effective Risk and Crisis Communication during Water Security Emergencies*. NATO Science for Peace and Security Series, 2012.
8. Lieberman A. F., Van Horn P., Ghosh Ippen, C. Toward evidence-based treatment: Child–parent psychotherapy with preschoolers exposed to marital violence. Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 2011, 44(12), 1241–1248.
9. Yehuda R., Daskalakis N. P., Desarnaud F., et al. Epigenetic biomarkers as predictors and correlates of symptom improvement following psychotherapy in combat veterans with PTSD. *Frontiers in Psychiatry*, 2015, 6, 111. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2015.00111

УДК 159.923:616-051 (043.2)

Л.С. Яковицька
доктор психологічних наук, професор
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Психологічні ресурси розв'язання льотним екіпажем нестандартних ситуацій під час польоту

Розкривається значення людського фактору в авіаційній безпеці. Особлива увага приділяється ролі психологічних механізмів, таких як креативність, гнучкість мислення та ефективна командна взаємодія, які є важливими ресурсами для прийняття рішень у кризових та нестандартних ситуаціях під час польотів.

Авіаційні технології дозволяють льотним професіоналам практично стати «наглядачами машин» (Muñoz-Marrón, Gil & Lanero, 2018). Однак прийняття ними рішень залишається критичним, особливо коли вони стикаються з нестандартними ситуаціями, які високі технології не можуть ще передбачати, і які машина не в змозі вирішити самостійно. Натепер встановлені множинні заходи та протоколи для мінімізації помилок фахівців авіаційної галузі. Протоколи або контрольні списки розроблені в авіаційній галузі є одними з найкорисніших. Протоколи допомагають гарантувати, що все, чим можна керувати, є контрольованим, аж до того, що авіація стає однією з сфер роботи, у якій протоколи дій є найбільш стандартизованими, і, такими, які можуть слугувати прикладом для інших галузей, таких як медицина, соціальні служби чи управління кризовими ситуаціями. У медичному секторі все більше і більше людей працюють над порятунком життів і покращенням догляду за пацієнтами, використовуючи досягнення авіаційної галузі та знання про безпеку та командну роботу (Gordon, Mendenhall, & O'Connor, 2013).

Важливість використання контрольного списку в нестандартних ситуаціях активно досліджується. A. Degani, M. Heymann & M. Shafto вважають, що стандартизація процедур є найкращим способом досягнення безпечних операцій та надання допомоги екіпажу на шляху попередньо визначеної послідовності дій (Degani, Heymann & Shafto, 1999). Дисципліна пілотів спонукає їх використовувати ці протоколи як частину виконання стандартизованих процедур (Харченко, Шмельова, & Сікірда, 2017), які є досить повними для вирішення рутинних завдань або небезпек, що вже виникли. Однак слід визнати, що непередбачувана сукупність обставин (включно з факторами машини, людей та навколишнього середовища) може заважати польотним операціям. Потенційні інциденти, які можуть статися під час польоту, нескінченні, і, отже, протоколів дій, наданих операторам, недостатньо, щоб впоратися з кожною непередбаченою подією. Контрольні списки не можуть включати тисячі нових або комбінованих ситуацій, які можуть виникнути, і що в багатьох повітряних надзвичайних ситуаціях обмеження часу дії, «гонка з часом» (Heymann et al., 2007), є основним фактором, який перешкоджає використанню таких контрольних списків. D.

Muñoz-Marrón, F. Gil & A. Lanero (2018) стверджують, що велика кількість аварійних ситуацій у польоті не розбираються в контрольному списку.

Аналіз людських помилок дозволяє досліджувати широкий спектр причин, які можуть лежати в основі аварії (Машков & Мамчур, 2018). Таким чином, ці результати демонструють дуже специфічну реальність, пов'язану зі світом авіації, яка доводить надважливу роль людського фактору. Велика кількість надзвичайних ситуацій, що виникають у літаках, не мають письмових процедур вирішення. Цей факт пов'язаний з неможливістю інкасувати всі ситуації в контрольному списку через велику їх кількість. Авіаційна діяльність, як і решта професійних галузей, містить величезну різноманітність факторів та змінних, які впливають на їх виникнення та роблять розв'язок нестандартних актуальних ситуацій непередбачуваним. На думку екіпажів, найнебезпечніші ситуації, які можуть виникнути під час польоту, це ті, які не деталізовані в контрольному списку (Muñoz-Marrón, Gil & Lanero, 2018). Крім того, як свідчать результати дослідження, екіпажі не знають, що контрольні списки, які вони використовують мають це обмеження, тобто недостатній ресурс для вирішення певних небезпечних ситуацій.

Екстрені ситуації завжди передбачають раптову появу деградованого стану з неминучою дорогою до катастрофи та здійснення зважених кроків екіпажем щоб запобігти цьому (Heymann et al., 2007). Тому вивчення інших додаткових механізмів, зокрема психологічних, які дають екіпажам достатньо ресурсів для успішного розв'язку надзвичайних ситуацій є абсолютно незамінними. У той же час, екіпажам необхідно усвідомити, що наявні на даний момент психологічні ресурси не є досконалими і їх треба вдосконалювати, щоб досягти успіху в усіх повітряних операціях.

Відповідно до цього міркування, емоційна стійкість, згуртованість та креативність у командній роботі, як частина процесу прийняття рішень, є тим контекстом, за допомогою якої члени команди генерують швидкі та корисні ідеї для вирішення проблем (Войтушенко & Бушуєв, 2017; Лич, Яковицька & Кокарєва, 2024). У більшості аварійних інцидентів саме продуктивність екіпажів стає критичним фактором. Використання таких елементів креативного мислення як створення та оперування образами, орієнтація у просторі (як дійсному, так і уявному), особливо в критичних ситуаціях, значуще впливають на прийняття нестандартних рішень в кризових ситуаціях.

Отже, авіаційна галузь має забезпечити екіпажі спеціальною підготовкою щодо розвитку гнучкості та дивергентності мислення, емоційності стійкості для покращення людського фактору навчання. Екіпажі мають продовжувати використовувати контрольні списки як для рутинних, так і надзвичайних ситуацій, які дозволяють їх використання, але додаткове командне навчання допоможе їм досягати швидких й ефективних рішень в тих нових та непередбачуваних ситуаціях, які неможливо вирішити за допомогою контрольних списків. Важливо покращити координаційну підготовку екіпажів літаків за допомогою програм, які містять інструменти для пошуку творчих рішень з часовими обмеженнями. Конкретні програми та методики, які розвивати емоційну стійкість, креативність, гнучкість та дивергентне мислення, максимізують здібності та навички екіпажів в прийнятті рішень, дозволяючи їм

набувати досвіду зі складними непередбачуваними подіями, для яких не є стандартизованої письмової процедури. Переваги гнучкої командної взаємодії під час критичних ситуації вже описував Д. Мігаль, О. Орлова-Курилова (2025) у дослідженні за дотриманням командою управління кризою стандартних процедур, на відміну від тенденції відходу від них, коли стикаються з несподіваними подіями. Спеціальні тренінгові програми з навчання екіпажів можна покращити, включивши психологічні інструменти спільної командної роботи з прийняття рішення для вирішення кризових ситуацій. Вони мають бути спрямовані на розвиток дивергентного мислення, психологічної стійкості та навичок командної взаємодії. Таке навчання має стати невід'ємною частиною підготовки авіаційного персоналу для підвищення рівня безпеки польотів.

Висновок. Таким чином, аналіз людських помилок в авіації засвідчує критичну важливість не лише дотримання стандартних процедур, але й розвитку психологічних ресурсів екіпажу – зокрема гнучкості мислення, креативності та здатності діяти в умовах невизначеності. Важливою складовою ефективного функціонування в нестандартних ситуаціях є злагоджена взаємодія, спільне прийняття рішень та емоційна стабільність членів екіпажу.

Список літератури

1. Войтушенко А. А., Бушуєв С. Д. Розвиток креативного потенціалу колективу як фактор впливу на ефективну роботу підприємства. *Управління розвитком складних систем*. 2017. № 29. С. 34–39.
2. Лич О. М., Яковицька Л. С., Кокарєва А. М. Особливості професійної діяльності пілотів військової авіації в екстремальних умовах: психологічні практики збереження ментального здоров'я. *Наукові перспективи.* 2024. № 9(51). С. 1242–1255. **DOI:** https://doi.org/10.52058/2708-7530-2024-9(51)-1242-1255
3. Машков О. А., Мамчур Ю. В. Обґрунтування напрямків розробки тренажерів підготовки операторів дистанційно пілотованих літальних апаратів екологічного моніторингу. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2018. Том 3. № 49. С. 16–21.
4. Мігаль Д., Орлова-Курилова О. Agile-підхід до адаптації нових співробітників: переваги та виклики. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2025. №1(77). С. 289–298.
5. Теорія і практика прийняття рішень в аеронавігації: В. П. Харченко, Т. Ф. Шмельова, Ю. В. Сікірда К.: Київ: НАУ, 2017. 355 с.
6. Degani, Asaf & Heymann, Michael & Shafto, Mike. (1999). Formal Aspects of Procedures: The Problem of Sequential Correctness. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting,* 43(20), pp.1113–1117. DOI:10.1177/154193129904302012
7. Gordon, S., Mendenhall, P., & O'Connor, B. B. (2013). Beyond the checklist: what else health care can learn from aviation teamwork and safety. New York, NY: Cornell University Press. DOI:10.7591/9780801465789
8. Heymann, M., Degani, A., & Barshi, I. (2007). Generating procedures and recovery sequences: a formal approach. In *Proceedings of the 14th international*

symposium on aviation psychology (pp. 252–257). Dayton, OH: Association for Aviation Psychology.

9. Muñoz-Marrón, D., Gil, F., & Lanero, A. (2018). Are crews empowered with all the resources needed to successfully address an inflight emergency? Checklists, a necessary but insufficient tool. *Aviation*, *22*(3), 93–101. https://doi.org/10.3846/aviation.2018.6254

УДК 159.923

Д.А. Карпілянський, к.психол.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Психологічний феномен hardiness у контексті досліджень життєстійкості

Запропоновано аналіз підходів до визначення психологічного феномену hardiness-витривалість у англомовних та україномовних дослідженнях. Вказано на семантичні розбіжності у розумінні дефініцій hardiness-витривалість і життєстійкість. Запропоновано пояснення причин зазначених розбіжностей і напрями подальших досліджень проблеми.

У своїх дослідженнях українські психологи використовують досить широке коло понять, які пов'язують одне з одним завдяки використанню дефініції «життєстійкість». При цьому, у наукових статтях часто пропонуються різні, іноді взаємовиключні підходи до її змісту, що становить серйозну проблему. Аналіз вітчизняної літератури з проблеми життєстійкості засвідчив, що, зокрема, Bachiyeva L., Кокун О. М., Чиханцова О. А. у своїх роботах розглядають життєстійкість як переклад англомовної дефініції hardiness-витривалість.

Провідний на сьогодні дослідник феномену психологічної витривалості С. Мадді, датою початку досліджень у цій галузі називає 1974 рік. Саме тоді його аспірантка з Чиказького університету принесла в лабораторію журнальну статтю у якій йшлося про те, як краще уникати стресу, щоб він «не вбив». «У той час я був настільки зайнятий роботою над своєю творчістю, – пише С. Мадді, – що не усвідомлював тенденції в дослідженнях і практиці щодо виснажливих наслідків руйнівних змін… ця тенденція стала викликом моєму твердженню про те, що творчі люди активно шукають змін, вважаючи їх скоріше стимулювальними, ніж виснажливими» (1, с. 173). Проте саме поняття «hardiness» (витривалість) уперше використала Сюзанна С. Кобаса у статті під назвою «Стресові життєві події, особистість і здоров'я: дослідження витривалості». Стаття опублікована у «Журналі особистості та соціальної психології» у 1979 році стала фундаментальною для подальших досліджень витривалості-hardiness (2).

С. Кобаса звернула увагу на те, що під впливом сильного стресу не всі люди втрачають здоров'я і хворіють. Це спостереження дало їй змогу висунути і підтвердити гіпотезу про те, що особи, які переживають високий рівень стресу і при цьому не хворіють, відрізняються від тих, які в стресових умовах хворіють або скаржаться на стан свого здоров'я. Результати дослідження показали, що стресові життєві ситуації менше впливають на здоров'я витривалих індивідів через те, що їм притаманні певні особистісні афективні, когнітивні і поведінкові реакції, які приводять до буферизації стресорів, а в результаті – до покращення загального стану їхнього здоров'я (2). Для інтерпретації результатів свого дослідження С. Кобаса ввела до наукового обігу концепцію психологічної витривалості у якій припустила, що витривалість пом'якшує зв'язок між стресовими життєвими подіями і хворобою. Авторська трикомпонентна модель

витривалості отримала назву «3C»: Commitment (прихильність), Control (контроль) і Challenge (виклик) (2).

Військовий психолог П. Бартон вважав витривалість проявом індивідуального стилю діяльності або узагальненим способом функціонування індивіда на який впливає наявний у нього рівень розвитку когнітивних, емоційних та поведінкових якостей. Науковець, розглядає такий узагальнений стиль функціонування, який ґрунтується на прихильності, контролі і виклику, в якості суб'єкту впливу на сприйняття людиною себе і її взаємодію з навколишнім світом (3).

На додаток до цього підходу, К. Ешлеман стверджує, що витривалість: (a) позитивно пов'язана з іншими особистісними рисами, які, як очікується, захищатимуть людей від стресу; (b) негативно пов'язана з особистісними рисами, які, як очікується, посилюватимуть наслідки стресу; (c) негативно пов'язана зі стресорами, напруженнями та регресивним подоланням; (d) позитивно пов'язана із соціальною підтримкою, активним подоланням труднощів та продуктивністю (4).

Для оцінки витривалості С. Мадді з колегами розробили тестову методику HardiSurvey III-R, анкету з 65 пунктів, яка вимірює фактори вразливості стресу, напруження та регресивного подолання, а також фактори опору стресу, які формуються завдяки наполегливості у ставленні, подоланні та пошуку соціальної підтримки. Фактори вразливості та опору порівнюються один з одним у контексті здоров'я. Цей тест може бути доповнений тестом HardiSurvey IV, який додає інформацію про фактори опору витривалої релаксації та витривалої фізичної активності (1).

Саме у процесі перекладу методики С. Мадді HardiSurvey III-R російський психолог Д. Леонтьєв і переклав англійське «hardiness» – витривалість як життєстійкість. «Д. Леонтьєв уперше використав цей термін у 2000 році у процесі адаптації опитувальника С. Мадді «Hardiness Survey», тому що вважав, що воно найбільш повно відповідає поняттю «hardiness» у зарубіжній психології (5). Однак, не всі у науковій спільноті погодилися з коректністю такого перекладу. Зокрема, Л. О. Александрова вже у 2004 році висловлювалася, що такий переклад не зовсім чітко визначає сутність поняття «hardiness», і пропонувала його не перекладати, залишивши в англомовному варіанті (6). Поняття «життєстійкість» набуло широкого вжитку у науковому обігу після того, як у 2009 році у виданні Великого психологічного словника під редакцією Б. Г. Мещерякова та В. П. Зінченко, з'явилася відповідна стаття. У ній вказано, що життєстійкість означає здатність нормально функціонувати і розвиватися, незважаючи на явно несприятливі умови, і походить від англійського слова, але не «hardiness», а «resilience».

Для того щоб оцінити коректність перекладів, що нами аналізуються, звернемося до Кембриджського та Оксфордського електронних тлумачних словників англійської мови. Так, Кембриджський словник визначає hardiness як здатність переносити екстремальні умови або складні ситуації, а resilience – як здатність бути щасливим, успішним тощо, знову після того, як сталося щось складне або погане (7). Оксфордський словник тлумачить hardiness як якість бути сильним і здатним виживати в складних умовах, а resilience – як здатність

людей або речей швидко відновлюватися після чогось неприємного, наприклад, шоку, травми тощо (8). У тому ж Оксфордському словнику англійське «hardiness» перекладається українською мовою як «витривалість» – здатність тривалий час переносити вплив негативних умов, а «resilience» – як «стійкість» – здатність повернутися до стану, який передував негативному впливу певних умов (8).

Ще однією причиною плутанини може бути те, що в українській мові іменники «витривалість» і «стійкість» та утворені на їх основі прикметники належать до одного синонімічного ряду (9). У Тлумачному словнику української мови витривалий пояснюється як міцний, стійкий, здатний витримувати велике фізичне чи моральне напруження. Водночас, стійкий пояснюється за допомогою кількох варіантів, при цьому кожен з них, хоча б частково, співпадає з англійським тлумаченням цього слова: 1) здатний твердо стояти, триматися, не падаючи, не коливаючись; 2) для якого характерні стабільність, постійність; сталий; 3) здатний витримати зовнішній вплив, протидіяти чомусь; 4) який виявляв наполегливість, твердість, непохитність у намірах, поглядах, вчинках, діях і т. ін.; вірний своїм переконанням; незламний (10).

При тому, що «hardiness» та «resilience» в англійській мові не є синонімами, англійсько-українські електронні словники і resilience, і hardiness часто перекладають однаково – життєстійкість (11, с. 25). Крім того, в електронних словниках життєстійкість з української іноді перекладається англійською як viability – здатність працювати за призначенням, досягати успіху або здатність продовжувати існувати, розвиватися як жива істота. Серед українських аналогів найбільше наближеним до viability словом є «життєздатність». У англомовних дослідженнях воно використовується переважно у ботаніці та біології і вкрай рідко у психології. Проте, деякі українські науковці в межах дискурсу, який ми розглядаємо, використовують і його (12).

Висновки

Таким чином, є підстави вважати, що переклад запозиченої із англомовних психологічних досліджень дефініції «hardiness» має досить довільний характер. Виходячи з цього щоб визначитися щодо того, яке із психологічних понять (витривалість-hardiness чи стійкість-resilience) є найбільш близьким до поняття «життєстійкість», яке використовують українські психологи, необхідно дослідити наявні теорії та концепції стійкості-resilience.

Список літератури

1. Maddi, Salvatore. (2002). The story of Hardiness: Twenty years of theorizing, research, and practice. *Consulting Psychology Journal*: Practice and Research. 54. 173–185. 10.1037/1061-4087.54.3.173.

2. Kobasa S. C. (1979). Stressful life events, personality, and health: an inquiry into hardiness. *Journal of personality and social psychology*, 37(1), 1.

3. Bartone, P.T. (2006). Resilience under military operational stress: can leaders influence hardiness? Military Psychology, 18(s), 131–148. https://doi.org/10.1207/s15327876mp1803s_10

4. Eschleman, K. J., Bowling N. A. & Alarcon G. M. (2010). A meta-analytic examination of hardiness. *International Journal of Stress Management,* 17(4), 277–307. URL: https://doi.org/10.1037/a0020476

5. Даценко О. А. Життєстійкість як ресурс особистості. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Психологія*. 2022. Т. 33(72), № 4. С. 1–6. URL: http://nbuv.gov.ua/

6. Кокун О. М. Професійна життєстійкість особистості: аналіз феномена. *Актуальні проблеми психології : зб. наук. пр.* Ін-т психології імені Г. С. Костюка НАПН України. Київ, 2020 Т. 5: Психофізіологія. Психологія праці. Експериментальна психологія. Вип. 20. С. 68–81.

7. The Cambridge English Dictionary (б. д.). URL: https://dictionary.cambridge.org/ (дата звернення 4 березня 2025 року)

8. The Oxford English Dictionary (б. д.). URL: https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/ (дата звернення 4 березня 2025 року)

9. Практичний словник синонімів української мови. Київ. «Українська книга», 2000, 480 с.

10. Тлумачний словник української мови. URL: https://slovnyk.ua (дата звернення 4 березня 2025 року).

11. Кузікова С. Б. Життєстійкість як адаптаційний ресурс особистості у реальності невизначеності життя. *Слобожанський науковий вісник. Серія* : *Психологія*. 2023. Вип. 2. С. 24–29. URL: http://nbuv.gov.ua/

12. Kapranov Ya. Viability vs. resilience concept in context of psycholinguistic triad "resource – potential – vitality". *Проблеми гуманітарних наук. Серія : Філологія.* 2021. Вип. 47. С. 82–92. URL: http://nbuv.gov.ua/

УДК 159.944

Марина Дідух,
кандидат психологічних наук, доцент,
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Значення внутрішньоособистісного конфлікту в трудовому колективі

В роботі розглядаються особливості внутрішньоособистісного конфлікту як гострого негативного переживання, що викликається боротьбою різних структур внутрішнього світу особистості та відображає суперечливі зв'язки з соціальним середовищем, що може гальмувати ухвалення важливих рішень.

Суспільне життя не може існувати без зіткнення життєвих позицій, ідей, цілей, окремих людей чи колективів. Постійно виникають розбіжності думок і різного роду сутички, що часто провокують розвиток конфліктних ситуацій.

Трудовий колектив, соціальна організація чи підприємство, в якому здійснюються різні види діяльності, не можуть уникнути проблеми виникнення конфліктів. Звичайно конфлікт у соціально-трудовій сфері сприймається як ненормальне явище, що може проявлятися в перешкоді для реалізації стратегічних цілей та збої в роботі. Тому, негативне сприйняття цього явища цілком обґрунтовано, адже будь-який конфлікт несе в собі заряд великої руйнівної сили: порушується процес нормального функціонування підприємства, руйнуються відносини між людьми, нерідко завдання вирішення конфлікту супроводжується звільненням частини співробітників. В той же час з іншого боку, відсутність конфліктів слід вважати свідченням застою чи стагнації колективу. Конфлікт - це показник розвитку, фактор динамічної стабільності організації. Внутрішньоособистісний конфлікт - один із самих складних психологічних конфліктів, який розгортається у внутрішньому світі людини, як представника соціальної групи.

До внутрішньоособистісних конфліктів, пов'язаних з трудовою діяльністю, відносяться:

- розбіжності між соціально-професійними очікуваннями і реальністю професійної дійсності, а також між мотиваціями для професійного росту, успіху і матеріального благополуччя;
- неспівпадіння характеру професійної діяльності з рівнем професійної компетентності, що призводить до внутрішніх конфліктів між бажанням підвищити кваліфікацію і недостатньою активністю в цьому напрямку;
- протиріччя між бажанням досягти успіху, кар'єрного росту і матеріального достатку і обмеженими соціально-професійними здібностями і можливостями;
- неспівпадіння між уявленнями про власну професійну гідність і реальними професійними можливостями, що створює конфлікти між ідеальним і реальним образом себе;
- протиріччя між професійним потенціалом і соціальними обмеженнями, що детерміновані віком, статтю, етнічною приналежністю і зовнішністю, а також між потребою в мобільності і віковою ригідністю [1].

Перша група протиріч характерна для осіб, що знаходяться на стадії оптації, друга проявляється на стадіях професійної підготовки та професійної адаптації, третя і четверта – на стадіях професіоналізації і майстерності, п'ята група породжує конфлікти на завершальній стадії професійного становлення.

Особливою різновидом конфліктів на підприємстві є рольові конфлікти, як процес внутрішніх психологічних протиріч співробітників, що відображають їхнє сприйняття своєї соціальної та психологічної ролі. Адже, не секрет, що, по суті, виконання певних обов'язків, є виконанням ролі, будь то роль начальника, менеджера чи підлеглого.

Хоча соціологічне трактування ролі та рольових конфліктів стає все менш актуальною, вона ще продовжує вивчатися. У разі внутрішньоособистісних конфліктів, на вибір правильного рішення людина може витратити багато часу та сил, що може призвести до стрімкого зростання емоційної напруженості, виникнення реакції на стресову подію, або прояву неконтрольованості в процесі прийняття рішення.

Деструктивний вплив внутрішньоособистісного конфлікту виявляється на різних рівнях соціальної системи і виражається в конкретних наслідках. Внутрішньоособистісний конфлікт може привести до уповільнення темпів соціального, економічного, політичного і духовного розвитку не тільки особистості працівника, а й підприємства в цілому. Крім того, можна спостерігати прояви кризи розвитку, стагнацію, а також наростання настроїв песимізму в колективі

Рольовий конфлікт, як різновид внутрішньоособистісних конфліктів, проявляється тоді, коли у однієї особистості виникає необхідність одночасного виконання різних своїх ролей, які до того ж суперечать одна одній. Стоїть питання вибору, що виконувати [3]. Також рольовий конфлікт може включати протиріччя між різними ролями різних співробітників організації. Внутрішньоособистісний конфлікт може виникнути в результаті того, що виробничі вимоги не збігаються з особистими потребами або цінностями працівника.

Складність вирішення внутрішньоособистісних конфліктів полягає в тому, що іноді відбуваються зіткнення трьох складових, необхідних для досягнення поставленої мети: бажання («хочу»), можливості («можу»), необхідності («треба»).

Незважаючи на значну кількість класифікацій рольових конфліктів в науковій літературі, більшість авторів називають такі основні їх види:

а) інтерперсональний - конфлікт між різними ролями різних людей;

б) інтраперсональний - конфлікт між роллю і рольовими очікуваннями інших;

в) інтеррольовий - конфлікт між несумісними ролями, які грає один індивід;

г) інтрарольовий - конфлікт між роллю, яку необхідно грати і внутрішніми потребами особистості (рольової Я-концепцією) [2] .

Внутрішні суперечності та конфлікти, які виникають у працівників, часто негативно відображаються на якості їхніх міжособистісних стосунків з колегами, створюючи напруженість у трудовому колективі. В окремих випадках

рольові конфлікти залишаються непоміченими самою людиною, оскільки не завжди усвідомлюються. У таких ситуаціях вони проявляються у вигляді емоційного дискомфорту, дратівливості, непередбачуваних реакцій або труднощів у спілкуванні, які здаються безпідставними як для самого працівника, так і для його оточення. Це ускладнює процес комунікації, знижує ефективність спільної діяльності й може призводити до ізоляції окремих працівників від колективу) [3].

Висновки. Внутрішньоособистісні конфлікти зачіпають практично всі аспекти життєдіяльності особистості — від особистих переконань і цінностей до професійної мотивації та самореалізації. Особливо глибоко вони впливають на професійну діяльність, оскільки саме в цій сфері індивід зіштовхується з необхідністю дотримання певних соціальних ролей, норм і очікувань, що не завжди узгоджуються з його внутрішніми установками, можливостями або бажаннями. Такі конфлікти можуть гальмувати розвиток особистості, викликати професійне вигорання, знижувати мотивацію до праці, блокувати ініціативу та призводити до втрати віри у власні сили.

Особливої актуальності набуває проблема рольових конфліктів у професійному середовищі — в колективі, на підприємстві чи в організації. В умовах динамічних змін у структурі трудових відносин, зростання вимог до працівників і збільшення кількості соціальних ролей, які їм доводиться поєднувати, конфлікти між особистими і професійними ролями стають дедалі поширенішими. Це вимагає не лише глибшого розуміння їхньої природи, а й розробки ефективних підходів до їх профілактики та вирішення.

Тому питання попередження та подолання внутрішньоособистісних конфліктів набуває виняткового значення, стаючи важливою соціальною та психологічною проблемою. Її вирішення потребує комплексного підходу, який включає психологічну підтримку працівників, формування сприятливого мікроклімату в колективі, підвищення рівня емоційного інтелекту, а також розвиток навичок саморегуляції та рефлексії. Тільки за умови цілісного підходу можна забезпечити гармонійний розвиток особистості та стабільну ефективність трудової діяльності.

Список літератури

1. Власенко І. Проблема внутрішньоособистісного конфлікту в контексті психологічних досліджень особистості. *Збірник наукових праць КПНУ імені Івана Огієнка, Інституту психології імені Г.С. Костюка НАПН України*. Серія: Проблеми сучасної психології. 2013. Вип. 21. С. 46–55.
2. Левко Г.М. Аналіз внутрішніх конфліктів у концепції К.Хорні. *Матеріали регіональної науково-практичної конференції «Творче розв'язання конфліктів у педагогічному процесі».* - Чернівці: «Прут», 1999.
3. Помиткін Е.О. Ціннісно-смисловий дисонанс як фактор внутрішньоособистісного конфлікту. *Конфліктологічна експертиза: теорія і методика*. Київ, 2006. Вип. 5. Актуальні проблеми конфліктологічної експертизи. С. 68–74.

UDC 159.9:331.45

R.B. Adamanov, Graduate Student Department
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Psychological support of high-responsibility professionals in extreme conditions: the case of air traffic controllers

The article analyses psychological support systems for air traffic controllers as high-responsibility professionals. Key stressors, preventive strategies, and international practices are examined. Emphasis is placed on resilience, institutional mechanisms, and integration of psychological safety into aviation systems to ensure sustainable performance in extreme operational conditions.

Air traffic controllers are key players in the aviation industry who manage the movement of aircraft in real time to ensure safety and efficiency. Their work environment is defined by high mental workload, multitasking, constant communication, and responsibility for human lives. The cost of error is extremely high, which imposes a constant psychological burden. Therefore, the psychological support of ATCOs is not a supplementary service but a central pillar of operational safety. With the aviation industry experiencing exponential growth and automation, ATCOs face intensified demands that require advanced psychological resilience and institutional support systems. Understanding the psychological profile and daily operational context of ATCOs is essential to developing holistic interventions that support mental sustainability in this mission-critical profession.

Scientific studies have shown that ATCOs are particularly vulnerable to cognitive fatigue, decision-making paralysis under pressure, emotional detachment, and burnout [4; 5]. The risks are exacerbated by shift work, sleep cycle disruption, exposure to emergencies, and the need to suppress emotional responses. Long-term consequences include anxiety disorders, chronic stress syndromes, and in some cases, PTSD [2]. Key indicators of deteriorating mental well-being are reduced attention span, irritability, errors in routine tasks, and increased physiological symptoms such as headaches or hypertension. Furthermore, the nature of their responsibility, which involves monitoring the safety of hundreds of passengers at any given moment — creates a psychological tension that is difficult to alleviate during or after the shift. The mental switching between high-alert states and recovery is often incomplete, leading to cumulative stress effects. Some studies also highlight the isolation that ATCOs may experience within tightly regulated procedural environments, where emotional expression is constrained and collegial interaction is limited to formal exchanges.

Effective psychological support systems begin with proper recruitment and professional selection. Psychological screening is used to evaluate personality traits, emotional regulation, attention control, and tolerance to uncertainty. Once selected, ATCOs undergo training in both technical skills and stress resistance techniques. Leading institutions incorporate cognitive-behavioural components and resilience training into initial education [6]. The development of adaptive coping mechanisms

during the training phase is critical, as it provides future controllers with psychological tools to handle the cumulative pressure of their responsibilities.

During employment, preventive psychological programs include regular psychometric evaluations, individual counselling access, and mental health education workshops. Organizations such as NAV CANADA and DFS Germany use rotation systems, stress self-assessment tools, and fatigue risk management modules to prevent overload [1]. These measures are reinforced by policies that encourage voluntary disclosure of psychological distress without penalizing the individual. Another key aspect is managerial training in psychological first aid and non-punitive support. Supervisors are trained to detect early signs of overload and to initiate low-threshold support interventions. Preventive systems are increasingly digitalized, enabling ongoing mood tracking, anonymous support access, and remote psychological consultations.

To complement internal programs, several European air navigation service providers have begun formal cooperation with external clinical psychologists and academic research institutions. This collaboration enables longitudinal studies of ATCO mental health trends and facilitates the rapid adoption of emerging best practices. For instance, partnerships with aviation psychology departments have led to the co-development of stress profiling tools tailored specifically to sector load and complexity, offering more nuanced insights than generic psychological instruments [6].

Furthermore, promoting a supportive and open professional culture has proven to increase help-seeking behaviour and reduce the stigma surrounding psychological support [3]. Research confirms that institutional endorsement of mental health services correlates with higher employee satisfaction, lower absenteeism, and reduced turnover in safety-critical occupations. Incorporating mental health days into leave policies and allowing flexible return-to-duty programs can significantly enhance recovery and retention.

When emergencies occur (e.g., mid-air collision risk, system failure, or fatal incident), ATCOs require immediate and long-term psychological intervention. Crisis protocols involve critical incident stress debriefing (CISD), short-term leave, and reintegration support [2]. In countries like the UK and Australia, trauma-informed psychologists are integrated into duty teams. These specialists not only facilitate structured post-incident dialogues but also support normalization of emotional reactions and guide team recovery dynamics. The emphasis is placed on rapid psychological triage and reintegration planning to reduce the impact on both the individual and team.

Moreover, post-incident care includes follow-up assessments and, where necessary, referral for specialized therapies such as EMDR [3]. Organizations also promote peer support programs that allow colleagues to confidentially process difficult experiences and mitigate isolation. This structure reduces stigma and supports mental health as a team responsibility. Peer-support networks are formalized and embedded into institutional frameworks, with designated staff receiving specific training in active listening, psychological first aid, and referral mechanisms. These systems function in parallel with professional psychological services and create a culture of proactive recovery.

One promising direction is the integration of neurofeedback techniques and biofeedback training in the recovery process, helping controllers develop greater self-awareness of physiological responses to stress [7]. These tools enable gradual re-entry into high-load environments with improved self-regulation capacity. In turn, the use of simulation-based desensitization has demonstrated benefits in rebuilding confidence following psychologically traumatic events.

With digitalization, ATCOs increasingly interact with automated systems and digital decision aids. While these reduce workload in some areas, they increase complexity in others. Neuroergonomic studies suggest that brain fatigue may not be visible in operational metrics but shows up in slowed reaction time and micro-errors [8]. Wearable biometric devices are now tested in Canada, Japan, and Sweden to track heart rate variability, sleep patterns, and cognitive load in real time. These physiological markers can inform shift scheduling, recovery protocols, and individualized stress interventions.

Another promising innovation is the deployment of digital cognitive twins — software systems that simulate the mental workload and decision-making processes of specific controller profiles under varying conditions. These tools, currently under pilot programs in Germany and Singapore, help supervisors and psychologists anticipate overload scenarios and adjust scheduling or responsibilities accordingly. While still in early stages, they show significant potential for proactive mental health management within safety-critical teams [1; 7]

Regulatory bodies like ICAO and EASA require the integration of psychological factors into safety management systems. ICAO Doc 10157 and EASA CAT.GEN.MPA.175 set standards for psychological assessment and pilot/controller mental fitness [2; 3]. These documents encourage the development of mental health components within licensing, medical certification, and operational risk frameworks. Multinational platforms such as IFATCA promote best practice exchange, and their annual guidelines provide models for resilience protocols. Countries such as Singapore, Finland, and New Zealand have incorporated these guidelines into national ATCO development programs. Some institutions are piloting AI-driven mental health risk assessment tools that flag concerning patterns based on speech analysis, reaction time variation, and biometric fluctuations. The ethical governance of such tools is paramount and is under close review by aviation medical boards.

Conclusions. Psychological support for air traffic controllers is an integral component of aviation safety. Its effectiveness depends on continuity across recruitment, training, operations, crisis response, and recovery. Successful systems combine institutional policy, proactive culture, modern diagnostics, and personalized interventions. In the face of increasing traffic volume, automation, and geopolitical stressors, psychological resilience will define not only individual sustainability but also systemic reliability in global air traffic control. As aviation systems evolve, psychological support must move from a reactive to a predictive model, integrating interdisciplinary insights from neuroscience, organizational behaviour, and human factors engineering. Only through such integration, can the profession maintain its high performance standards and protect the long-term well-being of its controllers.

References

1. Eurocontrol. Guidelines for the Provision of Psychological Support for ATCOs. Brussels: Eurocontrol, 2022. 45 p.
2. ICAO. Manual on Mental Health Promotion in Aviation (Doc 10157). Montreal: ICAO, 2021. 118 p.
3. EASA. Guidance Material on Psychological Assessment of Air Traffic Controllers. Cologne: EASA, 2023. 56 p.
4. Hart S.G., Wickens C.D. Workload and Mental Fatigue in Air Traffic Control. In: Human Factors in Aviation. 2nd ed. Academic Press, 2020. P. 239–266.
5. Young M.S., Brookhuis K.A., Wickens C.D., Hancock P.A. State of science: mental workload in ergonomics. Ergonomics. 2015;58(1):1–17.
6. Kanki B.G. (Ed.). Aviation Psychology and Human Factors. Boca Raton: CRC Press, 2019. 440 p.
7. Schmidt L., Ayaz H. Measuring cognitive workload in ATCOs using functional near-infrared spectroscopy. Front. Hum. Neurosci. 2021;15:624232.
8. Yeh M., Wickens C.D., Seagull F.J. Target cuing in visual search: The effects of conformality and display location on the allocation of visual attention. Hum Factors. 2018;60(7):997–1013.

159.9:629.7.001

О.М. Горський, к.т.н.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Психологічні особливості забезпечення професійної надійності оператора авіаційно-космічної ергатичної системи

Розглядається питання визначення психологічних аспектів забезпечення професійної надійності операторів авіаційно-космічних ергатичних систем. Представлені складові структури професійної надійності, особливості їх прояву в діяльності операторів авіаційно-космічних ергатичних систем, пропонується підхід до вдосконалення системи професійної підготовки.

Професійна надійність є основною характеристикою оператора авіаційно-космічної ергатичної системи (АКС), пілота чи космонавта, та визначається як здатність зберігати задану якість діяльності в умовах праці, що ускладнюються [1]. В той же час сам феномен професійної надійності є достатньо динамічною сукупністю показників діяльності, що постійно змінюються та не можуть бути однозначно передбачуваними в рамках діючої парадигми підготовки.

Наприклад, пілот літака може мати великий час нальоту, освоїти кілька типів літальних апаратів, але це нічого не говорить про його надійність, якщо він ніколи не демонстрував свій професіоналізм в польоті при парируванні нештатної ситуації, пов'язаної з виходом з ладу систем літака або зовнішніми негативними впливами. Успіхи в підготовці до подібних ситуацій на тренажері не дозволяють в повній мірі оцінити надійність пілота. Тобто, поки пілот не покаже свою майстерність в парируванні нештатної ситуації в польоті (НШС), коли умови праці різко ускладнюються, говорити про його надійність не можна. Чим вище надійність пілота, тим ефективніше він в НШС. Також, чим складніша ситуація, з якою пілот впорався, тим вище його надійність.

Якщо ж говорити про космонавта, то оцінка надійності його діяльності здійснюється виключно за результатами тренування на тренажері та непрямими показниками [2].

Перша складова, про яку найчастіше згадують, це професійна готовність до дій у НШС. Але, справа в тому, що в динаміці прояву якостей оператора АКС в НШС професійна готовність стоїть не на першому місці. Причому її реалізація знаходиться в суворій залежності від стану однієї з найважливіших професійно важливих якостей оператора - психоемоційної стійкості (стресостійкості). Тобто, при виникненні НШС першою під удар аномальної інформації попадає саме психоемоційна стійкість оператора. І те, наскільки він психічно стійкий до раптового прояву НШС, залежить те, як реалізується його професійна готовність.

Як показує практика і численні дослідження [3], реакція пілотів на надзвичайну ситуацію буває різною. Одні, коли вона виникає, демонструють таку ж якість активності, як і в звичайних умовах. Інші здатні діяти в НШС навіть надійніше, ніж у звичайних умовах. Треті не тільки надійно діють в

особливій обстановці польоту, а й отримують додаткове задоволення від своєї роботи.

Але є і категорія тих, хто вже при першому аварійному сигналі починає відчувати стрес, який проявляється або у вигляді розвитку ступору (нерухомості), або, навпаки, в надмірній неусвідомленій активності, яка, як правило, посилює розвиток НШС на борту. Такі типи реакції льотчиків на виникнення НШС визначаються їх психоемоційною стійкістю. Зрозуміло, що оператори з низькою психоемоційною стійкістю не можуть бути надійними, як би добре вони не відпрацьовували дії на тренажері для парирування різних НШС.

Відповідь криється в тому, що у цих пілотів розвивається стрес, що характеризується, перш за все, порушенням функціонування психічних систем: страждає сприйняття (звужується поле зору – ефект «тунелю» – сповільнюються когнітивні процеси), знижується швидкість обробки інформації, погіршується робота пам'яті, зокрема, відтворення інформації, що зберігається в ній, блокується розумова діяльність і т.ін.

Пілот переходить з рівня свідомої регуляції на рівень рефлекторного регулювання, яка здійснюється за принципом «стимул - реакція». Ні про яку цілеспрямовану регуляцію поведінки і дій в такому стані не може бути й мови. Більш того, виключається системний погляд на те, що відбувається навколо. Тобто, спотворюється образ польоту. В результаті знижується надійність пілота, і він допускає помилки. Стає очевидним, що під час відбору претендентів до льотних шкіл та пілотів на перепідготовку оцінці їх психоемоційної стійкості, крім інших професійно важливих якостей, слід приділяти найпильнішу увагу.

Особливу значущість психоемоційна стійкість набуває при експлуатації високоавтоматизованих літальних апаратів. Пілот - оператор в автоматичному польоті знаходиться в стані низького психофізіологічного стресу, тому раптове виникнення НШС викликає його більш велике зростання. Якщо пілот має низьку психоемоційну стійкість, то ймовірність виникнення стресу в цих умовах значно зростає. Ще небезпечніше, коли оператор дозволяє собі розслабитися більше, ніж дозволяє його професійна діяльність. Перший аварійний сигнал, що раптово з’явився на цьому тлі, неодмінно «зажене» пілота (особливо недосвідченого) в стрес. Тому пілот повинен перебувати в стані адекватного психоемоційного напруження протягом усього польоту [4].

Також, не можна не відзначити ще дві значущих у професійному відношенні якості: кмітливість і оперативне мислення. Якщо перша якість гарантує вирішення складних завдань в польоті, то друге забезпечує швидкість прийняття правильних рішень при неповній інформації [5]. При цьому слід звернути увагу на важливість застосування комплексу методик проблемного навчання в рамках сценарного підходу, ідеомоторного тренування, тренування когнітивних навичокю. Найбільш ефективним для вирішення цієї низки завдань вважається тезаурусний підхід. Треба розуміти, що використання тезаурусного підходу в підготовці - це не просто знання термінів, це структуроване мислення через систему ключових понять, пов'язаних з професією. Тобто, це чітке розуміння концептуальних відносин між

ключовими поняттями, знання асоціативних зв'язків між термінів. При цьому це допомагає оперативному мисленню через автоматизацію операцій з потрібними поняттями в стресовій ситуації, не замислюючись над формулюваннями. Крім того, відбувається прискорення прийняття рішень, бо мислення побудоване навколо ключових термінів, і ситуації подумки «накладаються» на відомі закономірності. Тезаурусний підхід формує у операторів АКС не просто знання мови професії, а когнітивну модель, в якій інтегровані мислення, мова і дії. Це критично важливо в умовах автономності, обмеженого часу та високої ціни помилки.

До речі, ІСАО визначає відмінного пілота, як пілота, який завдяки своєму відмінному мисленню не опиняється в ситуаціях, що вимагають відмінної вправності.

Важливо підкреслити, що професійна надійність оператора АКС залежить не тільки від того, як він навчений розпізнавати і парирувати невдачі, але і від того, наскільки він вміє володіти собою, знає і враховує психофізіологічні особливості діяльності в цих умовах, в тому числі приймає правильні рішення, організовує оптимальну взаємодію в екіпажі і т.ін.

Вище ми розглянули ті складові професійної надійності оператора АКС, які проявляються у виникненні НШС, але не пов'язані з його діями. Але є ще дві складові, роль яких вкрай важлива в запобіганні нестандартних дій з боку пілотні проекти, які призводять до розробки НШС. Однією з таких складових є рівень духовного розвитку оператора (пілота, космонавта), а іншою - стан мотиваційної сфери. Духовний розвиток включає в себе такі якості, як чесність, сумлінність, відповідальність, дисциплінованість, почуття обов'язку і т.д.

Наприклад, пілот, який володіє цими характеристиками на високому рівні, ніколи не порушить льотні закони і стандарти, тому що він професіонал. І навпаки, пілот, що відрізняється цими характеристиками в гіршу сторону, залишається умільцем, для якого нічого не варто порушувати льотні закони і стандарти. Знову ж таки, саме різниця в рівнях духовності відрізняє майстра-льотчика від професійного льотчика.

Стан мотиваційної сфери є також найважливішим регулятором поведінки оператора АКС, на який впливає безліч факторів. В льотній діяльності завжди йде боротьба двох мотивів: ефективності польоту і безпеки польоту. Якщо пілот орієнтований на безпеку (тобто вона для нього завжди в пріоритеті), то навіть потужні зовнішні впливи не здатні вплинути на зміну його мотивації [6].

Висновок

Таким чином, головною характеристикою кожного оператора АКС є його професійна надійність, що включає рівень духовного розвитку, мотивацію, професійну готовність, професійну працездатність і професійно важливі якості. Окремим напрямком підвищення професійної надійності може бути розвиток оперативного мислення у льотчиків, що є багатокомпонентним процесом, та включає у себе включає як теоретичні, так і практичні аспекти. Ефективне поєднання тренажерної підготовки, когнітивного тренінгу і

психофізіологічної підготовки дозволяє значно підвищити готовність пілота до дій в складних і нестандартних умовах. Вважаємо за доцільне використовувати тезаурусний підхід для вдосконалення оперативного мислення пілота, а саме запроваджувати у методики систематизацію та активне використання лексичних карт з метою прискорення прийняття рішень, підвищення ситуаціної обізнаності та точності комунікації.

Турбота про стан цих компонентів надійності має бути головною метою у забезпеченні безпеки польотів як для пілотів, так і для авіакомпаній. А навчання в області людського фактора є найважливішою складовою у формуванні професійної готовності пілота і його надійності в цілому.

Список літератури

1. Ковтун О.В. Діяльність авіаційного оператора: психолого-педагогічний аналіз. *Наука і освіта*. 2010. №2. С.24-28.
2. Кочарян О.С., Тиньков О. М. Космічна психологія. *Енциклопедія Сучасної України* [Електронний ресурс]. Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2014. – Режим доступу: https://esu.com.ua/article-3845
3. Höermann H., Stadler K., Wium J. Common practices of psychological selection of aviation personnel in Europe. *Transportation Research Procedia* 2022 №66(6), P.8-15. doi: 10.1016/j.trpro.2022.12.002
4. Інженерна психологія: курс лекцій / Укладач: С.О. Гура. Х.: НУЦЗ України, 2016. 127 с.
5. Плачинда Т. С. Професійна підготовка майбутніх авіаційних фахівців: зарубіжний і вітчизняний досвід та шляхи підвищення якості: монографія. К.: КЛА НАУ. 2014. 534 с
6. Чернявська С.М. Про методику вивчення психологічної готовності майбутніх пілотів цивільної авіації до професійної діяльності. *Перспективи та інновації науки.* 2024. №1(35). С.684-701. Doi:10.52058/2786-4952-2024-1 (35)-684-701

UDC 159.9:331.45

O. Mezhenko, Graduate Student
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Time regulation development in professional training of future pilots: psychological and operational dimensions

The article presents a comprehensive analysis of time regulation as a critical component of professional training for future pilots. It focuses on identifying the temporal stressors in aviation education, exploring mechanisms that enhance individual time management and cognitive control under pressure, and reviewing best practices in developing temporal competencies essential for safe and effective flight operations.

Future pilots operate in a chronometrically intense environment where decision-making, action timing, and synchronization with automated systems are crucial. The ability to regulate one's cognitive and behavioral responses in time-sensitive situations is central to aviation safety. Time regulation encompasses not only time management but also temporal anticipation, self-pacing, switching between operational tempos, and resisting time pressure. As training complexity increases due to automation, multicultural crews, and real-time dynamic environments, fostering time regulation becomes a strategic goal in pilot education.

Flight training programs impose high temporal demands, from simulator scenarios to real-world operations. Time-critical tasks such as communication with ATC, system monitoring, and executing flight maneuvers require rapid information processing and precise timing [3]. Cognitive overload, performance under pressure, and temporal disorientation (especially during night flying or jet lag) are common challenges. Students may struggle with time awareness, leading to sequencing errors, missed cues, and degraded situational.

Scientific research shows that time perception and regulation are closely linked to executive functions: attention control, working memory, and inhibitory mechanisms [4]. Pilots-in-training often exhibit varying levels of temporal accuracy and self-regulation skills. Stress, fatigue, and workload distort internal timekeeping, causing misjudgments in decision windows. Training should thus integrate techniques that strengthen metacognitive awareness and resilience under temporal pressure.

Aviation schools in the US, Europe, and Asia are beginning to include temporal reasoning tasks in cognitive aptitude tests. These tasks assess time estimation, sequencing ability, and tolerance to time stress. During initial training, cadets benefit from modules focused on time-pacing strategies, task prioritization, and synchronization within crew operations. Some programs introduce mindfulness-based protocols and dynamic scheduling to promote adaptive time use and recovery.

Several aviation academies implement adaptive training programs where tempo is gradually increased to build temporal tolerance. Simulated environments are

used to monitor time-on-task and recovery patterns [1]. Performance data, including reaction times and time allocation accuracy, guide personalized feedback. Tools like eye-tracking and neurofeedback allow real-time tracking of attention shifts and temporal drift, helping students adjust in the moment.

European and North American pilot schools collaborate with cognitive psychologists to design curricula that develop time regulation as a soft skill. Programs like “Time-in-Flight” (Germany) or “ChronoFocus” (Canada) combine theoretical insights with practical modules in simulation labs. Students receive feedback on time errors, decision latency, and tempo stability [2]. Such programs improve not only individual performance but also team synchronization in multi-crew settings.

In-flight emergencies require instant switching from routine tempo to high-intensity action. Training must therefore develop flexibility in temporal regulation. Crisis drills include time compression scenarios where pilots practice prioritizing under countdown pressure. Post-crisis debriefing helps analyze time-related decision chains and fosters reflection on temporal dynamics during stress.

Emerging tools include AI-based cognitive twins that simulate a pilot's time behavior under different loads. These systems are being piloted to tailor training tempo, anticipate breakdowns in timing precision, and recommend recovery schedules. Wearable devices also track chronobiological rhythms, alertness patterns, and reaction time, supporting evidence-based planning of flight duty periods. To further enhance temporal competencies, cross-disciplinary collaborations between aviation trainers, neuroscientists, and human factors specialists are essential. Integrating virtual reality and adaptive AI environments can simulate complex temporal challenges in a safe yet immersive way. Moreover, fostering a culture that values temporal reflection — through journaling, peer feedback, and post-flight debriefs — can reinforce self-awareness and continuous improvement. As aviation systems evolve, so too must the pedagogical tools that shape a pilot’s internal clock and temporal adaptability.

EASA, FAA, and ICAO are beginning to reference temporal competencies in pilot performance standards. Although still under development, future licensing systems may include time regulation assessment as part of the mental fitness evaluation.

Time regulation is a core component of professional sustainability in aviation. In future pilots, its development requires integration across selection, training, operational adaptation, and recovery strategies. A predictive, data-informed, and psychologically grounded approach to time regulation can enhance flight safety, reduce error probability, and foster long-terwm professional resilience in dynamic aviation environments.

References

1. Dismukes, R. K., Berman, B. A., & Loukopoulos, L. D. (2007). The Limits of Expertise: Rethinking Pilot Error and the Causes of Airline Accidents. Ashgate..

2. ICAO. (2018). Manual on Evidence-Based Training (Doc 9995). International Civil Aviation Organization.

3. Salas, E., Bowers, C. A., & Edens, E. (2001). Improving Teamwork in Organizations: Applications of Resource Management Training. CRC Press.

4. Gilden, D. L., & Marusich, L. R. (2009). Contraction of time in human cognition: The temporal dynamics of attention. Psychological Review, 116(3), 925–943.

УДК 004.8

Ю.Г. Стежко, кандидат пед. наук, доцент
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Тема штучного інтелекту в сучасному публіцистичному дискурсі

Розглядається штучний інтелект як чинник соціальної комунікації. Проводиться думка, що генеративна функція штучного інтелекту становить реалізацію інтенцій його творця. Обгрунтовується неправомірність ототожнення штучного та автентичного інтелектів як вияву властивостей різноякісних рівнів організації матерії. Зазначається, що покладання суб'єктом своєї когнітивної функції на штучну технологію становить спосіб уникнути соціальної відповідальності.

В міру розвитку технологій характеристики
кожної ситуації знову і знову змінюються
М. Маклюен

Сучасне суспільство не уявляється поза впливом інформаційних технологій. І кожен етап їх розвитку відбивається на суспільстві новими проблемами, розв'язання яких потребує досліджень, зокрема актуалізувалося вивчення підходів публіцистики до висвітлення суспільної значимості штучного інтелекту.

Наразі на вістрі соціального дискурсу тема штучного інтелекту висвітлюється, головно, у двох аспектах - втрат в освіті та загроз панування над людиною. Публіцистика активно міфологізує штучний інтелект як об'єктивне явище, не підвладне суспільному контролю. На цій хвилі губиться бачення позитивних проявів штучного інтелекту в багатьох сферах буття людини, передусім в освіті як найбільш споживчій інтелект-сфері. Наприклад, Education corresponden The Guardian Sally Weale наводить «вражаючі» цифри зловживання штучним інтелектом британськими студентами. За підсумками дослідження 2025 року, пише вона, «in the past 12 months. Almost 88% in the 2025 poll said they used tools such as ChatGPT for their assessments, up from 53% last year. The proportion using any AI tool surged from 66% in 2024 to 92% in 2025, meaning just 8% of students are not using AI, according to a report published by the Higher Education Policy Institute and Kortext, a digital etextbook provider» [5]. Проте, як на нас, вбачати у широкому використанні студентами штучного інтелекту лише негатив не є виправданим. Навпаки, варто заохочувати студентство до застосування штучного інтелекту у формуванні комунікативної компетентності як лабораторії творення подкастів, в аналізі ідей на інноваційність, а наразі ще й у протистоянні інформаційній агресії ворога України. Назагал, розвиток освіти поза ужитком штучного інтелекту не має жодних перспектив. Такою є даність часу, якій треба не протистояти, а сприяти.

Тож українським університетам зазначені показники мають стати орієнтиром на прискорене втілення в навчальний процес штучного інтелекту.

Синтез автентичного та штучного інтелекту дає вражаючий ефект синергії. Питання лише в мотивації доброчесності студентів та їх орієнтації на загальнолюдські цінності у соціальній реалізації. Освіта покликана дати суспільству покоління національної еліти, непідвладної екзистенційним острахам перед штучними технологіями будь-якого ґатунку та інформаційним атакам засобів соціальної комунікації, спрямованих проти України.

Наразі у світовій публіцистиці намітилася нова тенденція - наділяти штучний інтелект властивістю до аналітики суспільно-політичного характеру, що є небезпечним.

В умовах ворожої інформаційної агресії, коли слово публіциста стає зброєю, пригадуються слова фундатора досліджень впливу засобів масової інформації на суспільну свідомість М. Маклюена, сказані ще в середині минулого століття, але немов про штучний інтелект: «Ми формуємо наші інструменти, а потім наші інструменти формують нас» (https://www.brainyquote.com/authors/marshall-mcluhan-quotes). Слова, які повною мірою екстраполюються на публіцистику щодо обґрунтування суб'єктивних інтенцій «об'єктивним авторитетом» штучного інтелекту. Застосування лапок цілком виправдано. Наразі таким інструментом є штучний інтелект.

Отже, якщо дискусії щодо проблемності штучного інтелекту в освіті почали вщухати, то визріває новий її аспект, більш значимий для суспільства - політичний. Наприклад, «On Marh 21, the Norwegian media NRK published an article in which it stated that the new ChatGPT network sympathizes with russian propaganda and lies in its interests» (https://devend.online/2025/03/26/fact-checking-of-western-media-discrediting-tass-news-agency/). Цим повідомленням норвезьке видання NRK де-факто інкримінує ChatGPT некритичність, довіру до російської пропаганди та навіть вияві симпатії до росії. Здавалося б, маємо одиничний, малозначущий факт, який не вартий уваги. Проте це не так. Адже посилання на штучний інтелект стають життєдайним ґрунтом для інспірування об'єктивності судження, які некритичним читачем сприймаються як інформаційна достовірність, а отже й саму російську брехню. А, як відомо, неспростованість наративу сприяє його впливу на суспільство.

Технологічно це здійснюється ототожненням алгоритму «мислення» штучної технології з іманентно притаманними лише людині якостями творчого аналізу ситуації. У засобах інформації формується новий мейнстрім щодо штучного інтелекту – штучний інтелект як незалежний ціннитель політичних позицій. Однак чи дійсно так може бути. Однозначно – ні. Насправді за спробою звинуватити штучний інтелект в політичних чи ідеологічних вподобаннях криється спроба уникнення відповідальності людиною, перекласти її на юридично нікчемну, безвідповідальну штучну технологію.

Вагомість наслідків такого роду наративів, хай і штучним інтелектом, в протистоянні ворожій інформаційній агресії змушує звернутися до наукового аналізу їх витоків. Передусім маємо дати відповідь, наскільки правомірною є сама постановка питання про здатність штучного інтелекту до політичних

симпатій чи антипатій стосовно інформаційних джерел, та чи не стоїть за звинуваченнями штучної технології спроба конкретної особи уникнути відповідальності, переклавши її на бездуховну технологію. Маємо виходити з того, що за кожною конструкцією штучного інтелекту стоять конкретні особи - його автори та конкретні завдання, які вони на нього покладають. Ми не схильні розглядати штучний інтелект спрощено, як це робить М. Бабанова: «Як штучний інтелект пізнає світ? Все дуже просто: IT-компанії завантажують до ШІ-систем все те, що знаходять в інтернеті», але й наділяти його ідеологічними та політичними формами свідомості як самостійного суб'єкта також не маємо наміру.

На філософському рівні проблема штучного інтелекту бачиться проблемою ототожнення вищого та нижчого рівнів організації матерії - живої із можливостями когніції – та неживої з властивістю моделювати міркування, судження лише в декотрому відношенні, а саме у плані формальної логіки.

Але згадаймо з курсу філософії, що форми свідомості: політика, право, мораль, релігія є атрибутами соціального досвіду та значною мірою ірраціонального пізнання, чого позбавлений штучний інтелект. І генерація будь-яких політичних вподобань чи навіть рішень є лише реалізацією інтенцій автора програми. Та навіть самонавчання штучного інтелекту, про можливість якого який багато сперечаються, є також лише реалізацією програмного забезпечення. І навряд чи допоможе штучному інтелекту оволодіти якостями ідеологічного чи політичного позиціонування на кшталт людини, як про це пише видання NRK, навіть якщо він пройде навчання у Віденському університеті, куди зарахований студентом («The arts university in Vienna says the AI will attend classes, receive critiques, and get grades alongside human students» [3]. Типовий спосіб привернути увагу до університету). Що дасть штучному інтелекту «освіта»? Лише розширить межі його формально-логічного алгоритму, але аж ніяк не забезпечить здатність до творчості як необхідної риси генерування інноваційних ідей, адже, погодьмося, «творчість … є цілком ірраціональна містична здатність» (К. Поппер).

Не вдаючись у деталізацію відмінностей у можливостях різних рівнів організації матерій зазначимо, що штучний інтелект здатен стати ефективною моделлю когніції людини, а модель заміщує оригінал (автентичний інтелект) лише в окремих його проявах. Тож «We have an unfounded fear that machines will someday start thinking like humans. What we should really fear is that humans have already started thinking like machines» [4].

Згадаймо що подібну ситуацію людство уже пережило, коли в соціальній комунікації панувала міфологізація обчислювальних машин.

Поза тим, наділяючи штучний інтелект здатністю до самостійного політичного позиціонування, ми тим самим визнаємо і його прагнення до влади. Адже політика це передусім наміри володарювати, реалізовувати власну ідеологію, національні чи навіть особисті інтереси. Але чи можуть бути інтереси у неживої природи, чи має штучний інтелект політичне самовираження? Звісно, ні. Адже інтерес є атрибутом творчості особистості як модусу суспільного буття, отже й говорити про політичну самостійність

штучного інтелекту не доводиться; це виглядає більше як спроба видати суб'єктивні вподобання за об'єктивність інформації штучного інтелекту.

Покладання політичної відповідальності на штучний інтелект, а де-факто безвідповідальності користувачів, є реальною загрозою створення конфліктних ситуацій різного рівня ваги, якщо не більш вагомих подій на кшталт воєнних зіткнень. Політика, ким би вона не творилася, до певної міри обумовлена ірраціоналізмом моралі, а за теократії – релігії. Тож чи може штучна технологія ірраціонально осягнути дійсність та виявити політичну волю до влади? Питання риторичне. Радше це є прагненням тих кіл, які за цим стоять. Не буде великою помилкою сказати, що штучний інтелект є лише досконалою пошуково-аналітичною програмою. «...AI is the process of using computers and machines to mimic human perception, decision-making, and other processes to complete a task» [2]. Наголошуємо, «to complete a task», а не домінувати – при всьому тому, що на раціональному (формально-логічному) рівні штучний інтелект має переваги.

Проте можливості штучного інтелекту лише підтвердили, що «раціональність спричинила кризу освіти доби модерну, але … без опори на раціональність у її культуровідповідних проявах суспільство не має перспектив щодо подолання кризових явищ ані сьогодні, ані в майбутньому. Людство приречене на раціоналізацію всіх сфер буття. Інше питання: якого характеру» [6, с. 19]. Раціональність мислення, кому б воно не належало, має узгоджуватися з вищими духовними цінностями людини – методологічною основою творення усіх штучних технологій.

Ситуація зі звинуваченнями різних модифікацій штучного інтелекту та оцінками його можливостей більше схожа на вияв бізнес-конкуренції на ринку програм. Така думка має місце у наукових публікаціях. Наприклад, Г. Чижиков у заголовок вивів суть статті - «Штучний інтелект: нічого особистого, просто бізнес» [7]. Тож кожна згадка про ту чи іншу модифікацію штучного інтелекту виглядає більше рекламою, ніж констатацією його можливостей. І якщо «investments in artificial intelligence broke a record in China with $40 billion in 2017» [1, p. 14]. А на сьогодні цифра, звісно, ще збільшилася, то нагальним є завдання отримати на порядок більшу суму дивідендів від його впровадження. Тож головним є створити інтригу навколо свого творіння навіть з політичним забарвленням, як це зробило норвезьке видання NRK.

Утім в правовому аспекті створення штучного інтелекту є виправданим у тому сенсі, що людство завжди прагнуло перекласти інтелектуальну роботу на штучну технологію. А негаразди, обумовлені штучним інтелектом, варто тлумачити не як об'єктивну неминучість, а як суб'єктивне породження, а його суспільно-політичні судження лише як вияв інтенцій творця.

І наостанок. Назагал складається враження, що історія набула свого зворотного вияву. Якщо Ж. Ламетрі ототожнював людину з машиною, то зараз маємо зворотну тенденцію – ототожнення машини з людиною, а методологія досліджень штучного інтелекту скочується у бік філософії «вульгарного матеріалізму» часів XIX століття з тією самою хибою - спрощеним тлумаченням природи свідомості.

Висновки: Таким чином, штучний інтелект становить вагомий інформаційний потенціал соціальної комунікації, проте визнавати його конкурентом людини в аналізі та оцінках суспільних процесів не є правомірним. Як кожна комп'ютерна технологія штучний інтелект обмежений можливостями формально-логічного алгоритму «мислення». Відтак й залучення штучного інтелекту до розв'язання суперечливих за своєю природою суспільних процесів не є виправданим, як не є виправданими і спроби наділити його наративи ознаками об'єктивності. Штучний інтелект варто сприймати лише як черговий крок у розвитку інформаційних технологій, контролювати які має людина. Демократична форма правління не узгоджується як зі спробами позиціонувати штучний інтелект суб'єктом суспільно-політичного дискурсу, так і його забороною. Тож людство має навчитися синергійно «співпрацювати» з кожною новою неформаційною технологією, кожен у своїй сфері пріоритетів.

Список літератури

1. Gocen A., Aydemir, F. Artificial Intelligence in Education and Schools. *Research on Education and Media.* Vol. 12, N. 1, pp. 13-21. Published Online: 2021 https://doi.org/10.2478/rem-2020-0003
2. Jimenez, L. and Boser, U. Future of Testing in Education: Artificial Intelligence 2021. URL: https://www.americanprogress.org/article/future-testing-education artificial-intelligence/
3. Min R. The arts university in Vienna says the AI will attend classes, receive critiques, and get grades alongside human students. 2025. URL: https://www.euronews.com/next/2025/04/02/this-ai-successfully-applied-to-become-an-art-student-at-a-university-in-vienna#:~:text=Amid%20ongoing%20debates%20surrounding%20artificial,University%20of%20Applied%20Arts%20Vienna
4. Neumeier M. Metaskills: Five Talents for the Robotic Age. 2012. URL: https://www.goodreads.com/author/quotes/168221.Marty_Neumeier?page=2
5. Weale S. UK universities warned to 'stress-test' assessments as 92% of students use AI. *The Guardian*. 2025. URL: https://www.theguardian.com/education/2025/feb/26/uk-universities-warned-to-stress-test-assessments-as-92-of-students-use-ai
6. Стежко Ю. Подання інформації в комп'ютерно орієнтованих освітніх технологіях та її експлікація в імперативах постмодернізму. *Інформаційні технології і засоби навчання.* 2019, Том 71, 3. С. 12-22. https://doi.org/10.33407/itlt.v71i3
7. Чижиков Г. Штучний інтелект: нічого особистого, просто бізнес. Опубликовано лютий, 2023. URL: https://epravda.com.ua/columns/2023/02/2/696630/

УДК 659.4:316.7

А.К. Стельмашов
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання маніпулятивних технологій центральноєвропейськими медіа

У роботі досліджено основні види маніпулятивних технологій, які використовують ЗМІ країн Вишеградської групи. Розкрито вплив політичних сил на медіапростір та приклади застосування інформаційних маніпуляцій у Польщі, Чехії, Угорщині та Словаччині.

У сучасному інформаційному суспільстві засоби масової інформації відіграють ключову роль у формуванні громадської думки, впливаючи не лише на сприйняття окремих подій, а й на політичні процеси, ціннісні орієнтири та поведінку аудиторії. Особливо важливим є вивчення впливу медіа в країнах Центральної Європи, зокрема в рамках Вишеградської групи (Польща, Чехія, Угорщина, Словаччина), де медіапростір перебуває в умовах політичної турбулентності, економічного тиску та загострення інформаційної боротьби.

Маніпулятивні технології, що застосовуються ЗМІ, часто мають на меті спотворення реальності, просування певної ідеології або підтримку конкретних політичних сил. Через контроль над редакційною політикою, цензуру, поширення фейків та емоційно забарвлених повідомлень, ЗМІ можуть перетворюватися з джерела достовірної інформації на інструмент впливу та тиску.

Актуальність теми зумовлена зростанням політичного впливу на медіа в регіоні, загрозою зниження рівня незалежної журналістики та потребою у формуванні критичного мислення у споживачів інформації. Метою цієї доповіді є аналіз основних форм маніпулятивних технологій, їхніх проявів у медіа країн Вишеградської четвірки та шляхів протидії інформаційним викривленням у публічному просторі.

Можна сказати, що маніпулятивні технології у медіа — це сукупність прийомів і методів, спрямованих на приховане управління свідомістю аудиторії через викривлену або емоційно забарвлену подачу інформації. Вони базуються на психологічних механізмах впливу та використовуються для досягнення політичних, комерційних або ідеологічних цілей.

Завдяки сучасним засобам комунікації, ці технології поширюються особливо швидко та ефективно, охоплюючи великі групи населення. У результаті аудиторія отримує не стільки об’єктивну інформацію, скільки інтерпретоване бачення подій, що може формувати упереджену думку, викликати емоційні реакції або змінювати поведінку.

Таблиця 1.

Основні типи медіа-маніпуляцій

Тип медіа-маніпуляції	**Характеристика**
Прихована реклама (нативна реклама)	Рекламне повідомлення маскується під звичайну журналістську інформацію, щоб непомітно впливати на свідомість споживача
Фреймінг (рамкування)	Події подаються в певному контексті або «рамці», що визначає їхнє емоційне та смислове сприйняття (наприклад, подія як «загроза», «зрада» чи «героїзм»)
Упереджений добір фактів	Навмисне висвітлюються лише окремі аспекти подій, тоді як інші замовчуються або применшуються, що створює викривлену картину реальності
Емоційна мова	Використання емоційно насичених слів і виразів замість нейтральної лексики для підсилення впливу на читача або глядача
Мова ворожнечі	Створення образу ворога або негативного героя, який нібито загрожує національним чи культурним цінностям
Апеляція до авторитетів	Посилання на експертів, посадовців або лідерів думок для легітимізації певних тверджень, навіть якщо вони сумнівні
Створення інформаційного шуму	Перенасичення простору другорядною інформацією для відволікання уваги від важливих тем
Повторюваність меседжів	Систематичне повторення певних тез або гасел, що сприяє їхньому сприйняттю як істини

Ці технології можуть використовуватись як в окремих публікаціях, так і системно — на рівні загальної редакційної політики медіа. У країнах із низькою медіаграмотністю та недостатнім рівнем критичного мислення вони мають особливо сильний вплив на масову свідомість.

Маніпулятивні технології в медіа країн Вишеградської групи мають як спільні риси, так і специфічні особливості, що зумовлені політичним контекстом, рівнем свободи слова та структурою власності ЗМІ. У таблиці нижче подано узагальнену характеристику медіасередовища кожної з країн та найбільш поширені маніпулятивні практики, що використовуються у публічному просторі.

Таблиця 2.

Маніпуляції в медіа країн Вишеградської групи

Країна	Характеристика медіа-середовища	Основні маніпулятивні методи
Польща	Посилений урядовий контроль над державними ЗМІ після 2015 року	Емоційна риторика, дискредитація опозиції, фреймінг, націоналістичні наративи
Угорщина	Централізований контроль над більшістю медіа через проурядовий холдинг	Повторювані меседжі, цензура, створення
Чехія	Вплив приватного бізнесу на медіа, зокрема через власність політиків	Прихована політична реклама, замовчування інформації, підтримка лояльного до влади наративу
Словаччина	Відносно вільне медіа-середовище з проблемами в онлайн-просторі та місцевих ЗМІ	Дезінформація, фейки в соцмережах, дискредитація опонентів перед виборами

Маніпулятивні технології в медіа не є випадковим явищем, адже їхнє поширення обумовлене рядом факторів, які взаємодіють між собою.

Таблиця 3.

Основні причини поширення маніпулятивних технологій в країнах Вишеградської групи

Причина	Опис
Політичний контроль над медіа	Уряди країн Вишеградської групи часто здійснюють контроль над медіа, використовуючи їх як інструмент політичної пропаганди
Концентрація медіавласності	Висока концентрація власності в руках кількох великих корпорацій чи олігархів обмежує різноманіття думок і призводить до маніпуляцій
Економічний тиск на медіа	Медіа, що стикаються з економічними труднощами, часто змушені пристосовуватися до інтересів великих корпорацій або політиків
Низький рівень медіаграмотності	Недостатня медіаграмотність серед населення сприяє легкому впливу маніпуляцій і фейкових новин

Використання соціальних мереж	Соціальні мережі дозволяють швидко поширювати маніпулятивні повідомлення через фейки, бот-активність і створення «масової підтримки»
Нестабільна політична ситуація	Політична нестабільність стає фактором для маніпуляцій, що створюють відчуття небезпеки та виправдовують радикальні рішення

У відповідь на поширення маніпулятивних технологій в медіа країн Вишеградської групи, суспільство розвиває різноманітні інструменти та механізми для протидії фальшивим новинам і маніпуляціям. Зокрема, важливу роль у цьому процесі відіграють незалежні журналістські проєкти, які борються за збереження об'єктивності та чесності в інформаційних потоках. Водночас, важливим кроком є ініціативи, спрямовані на підвищення медіаграмотності серед населення, що дозволяє людям краще розпізнавати маніпуляції та приймати критичне ставлення до споживаної інформації.

Зростаюче поширення маніпуляцій змусило створити незалежні журналістські проєкти, які стали осередками правдивої та неупередженої інформації. Такі медіа активно займаються викриттям фейкових новин, пропаганди та неправдивих наративів, забезпечуючи громадськість доступом до перевіреної інформації. Незалежні проєкти, зокрема в Польщі, Чехії, Словаччині та Угорщині, стали важливими гравцями в боротьбі за об'єктивність та свободу слова в країнах, де медіа-середовище перебуває під сильним впливом держави або олігархічних структур.

Крім того, однією з важливих складових боротьби з маніпуляціями є підвищення рівня медіаграмотності серед населення. Ініціативи, спрямовані на навчання людей розпізнавати маніпуляції та працювати з інформацією критично, дають змогу зменшити вплив фальшивих новин. Такі проєкти допомагають громадянам краще орієнтуватися в інформаційному просторі, аналізувати джерела та перевіряти факти.

Окрім діяльності незалежних медіа та ініціатив з підвищення медіаграмотності, країни Вишеградської групи також намагаються впровадити законодавчі ініціативи, які обмежують поширення маніпулятивної інформації. Це включає розробку законів, які регулюють дезінформацію в онлайн-просторі та запроваджують відповідальність за розповсюдження фальшивих новин.

Висновки

Маніпулятивні технології в медіа країн Вишеградської групи мають серйозний вплив на суспільну думку та політичні процеси. Основними методами маніпуляцій є фреймінг, емоційна риторика, цензура та створення інформаційного шуму. Причини їхнього поширення включають політичний контроль над медіа, концентрацію медіавласності та низький рівень медіаграмотності серед населення. У відповідь на ці виклики зростає роль незалежних журналістських проєктів, які борються за об'єктивність та правдивість інформації. Також важливим є підвищення медіаграмотності серед

громадян, що дозволяє критично ставитись до споживаної інформації та зменшувати вплив маніпуляцій. Для ефективної боротьби з маніпуляціями необхідна спільна діяльність медіа, освітніх ініціатив і правових інструментів на рівні держави.

Список літератури

1. Городенко Л. М. Засоби масової комунікації у контексті громадської думки: формування, функціонування, жанрові прийоми [Текст]: дис. канд. філол. наук: 10.01.08 / Городенко Леся Михайлівна ; Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка, Інститут журналістики. – К., 2003. – 208 с.

2. Мовчан П. Медіа-конструювання та громадська думка. Віче. 2008. № 9/10. С. 24-25.

УДК 004.773-057.36

Матвій Нечай, аспірант
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Використання каналів комунікації військовими під час російсько-української війни: специфіка та виклики

У статті досліджується еволюція каналів соціальної комунікації військових підрозділів під час російсько-української війни (2015–2025). Аналізуються трансформації у використанні соціальних мереж, месенджерів та інших платформ для координації, інформаційного обміну та моральної підтримки. Висвітлюються виклики, пов'язані з дезінформацією, та адаптація комунікаційних стратегій у відповідь на технологічний прогрес

Російсько-українська війна, що розпочалася у 2014 році з анексії Криму та бойових дій на Донбасі, стала не лише випробуванням для Збройних Сил України (ЗСУ), а й поштовхом до трансформації каналів соціальної комунікації військових підрозділів. З 2015 по 2025 рік ці канали пройшли значну еволюцію, адаптуючись до умов гібридної війни, технологічного прогресу та інформаційних викликів.

На початку активної фази війни у 2015 році ЗСУ зіткнулися з серйозними обмеженнями в комунікаційних можливостях. Основою зв'язку залишалися аналогові радіостанції УКХ-діапазону, які часто не забезпечували потрібної оперативності й були вразливими до перехоплення противником. У цих умовах військові почали активно використовувати цивільні технології, зокрема соціальні мережі (Facebook, Twitter) і месенджери (Viber, WhatsApp). Ці інструменти стали не лише засобом координації між підрозділами, а й каналом зв'язку з волонтерами та цивільним населенням.

Соціальні мережі на цьому етапі відігравали двояку роль. З одного боку, бійці публікували фото, відео та текстові повідомлення, щоб привернути увагу до потреб фронту – від медикаментів до тепловізорів. Волонтери, у свою чергу, використовували ці платформи для збору коштів і координації логістики. З іншого боку, неконтрольоване поширення інформації призводило до витоків даних: російські розвідники аналізували геолокацію з фото та постів, що дозволяло їм визначати позиції ЗСУ. Цей досвід змусив командування вже у 2016-2017 роках розробляти перші інструкції щодо обмеження використання соціальних мереж на передовій.

Крім того, у цей період активно застосовувалися месенджери для внутрішньої комунікації. Наприклад, WhatsApp і Viber стали популярними через простоту використання та доступність на більшості смартфонів. Проте їхня незахищеність і відсутність шифрування високого рівня робили ці канали легкою мішенню для ворожих спецслужб. Таким чином, початковий етап характеризувався стихійністю й експериментами, коли цивільні технології заповнювали прогалини у військовій інфраструктурі.

Після кількох років війни ЗСУ почали систематизувати підходи до комунікацій. У 2019 році завдяки підтримці західних партнерів в армію

надійшли сучасні засоби зв'язку: транкінгові радіостанції Motorola, системи Harris і Aselsan із функцією шифрування. Ці технології дозволили значно підвищити безпеку передачі даних і зменшити залежність від цивільних платформ. Водночас месенджери, такі як Telegram та Signal, поступово витіснили Viber і WhatsApp завдяки вищій швидкості, можливості створювати закриті чати та канали, а також відносній стійкості до блокувань.

Telegram став неофіційним стандартом для оперативного зв'язку в підрозділах. Наприклад, командири могли швидко передавати накази, ділитися координатами або попереджати про загрози в реальному часі. У деяких батальйонах створювалися окремі канали для різних груп – від розвідників до медиків, що спрощувало координацію. Проте використання Telegram мало й недоліки: платформа, хоч і пропонувала шифрування, не була повністю захищеною від атак із боку Росії, яка активно розвивала власні кіберможливості. На фоні цього провідним меседжером серед військових вважається Signal, а начальник ГУР МО Кирило Олексійович Буданов неодноразово називав його найзахищенішим меседжером в Україні станом на сьогодні.

Соціальні мережі у цей період почали виконувати ширшу функцію – стратегічних комунікацій. Офіційні сторінки ЗСУ та окремих підрозділів у Facebook, Instagram і Twitter стали майданчиками для інформування суспільства про перебіг бойових дій, спростування ворожих фейків і залучення міжнародної підтримки. Наприклад, регулярні пости про успіхи на фронті чи гуманітарну допомогу піднімали моральний дух як бійців, так і цивільних. Водночас ці канали залишалися вразливими до інформаційних атак, зокрема через ботів і тролів, які намагалися дискредитувати армію.

Повномасштабне вторгнення Росії 24 лютого 2022 року стало переломним моментом для розвитку комунікаційних каналів ЗСУ. У перші місяці війни армія зіткнулася з необхідністю оперативно адаптуватися до нових умов: масованих наступів, руйнування інфраструктури та інформаційного хаосу. Одним із ключових рішень стало впровадження супутникового зв'язку Starlink від SpaceX, який забезпечив стабільний доступ до інтернету навіть у зонах без електрики чи мобільного покриття. Це дозволило інтегрувати цифрові технології в управління операціями: від передачі даних із дронів до координації артилерії через спеціалізовані програми.

Соціальні мережі перетворилися на потужний інструмент інформаційної війни. Офіційні канали ЗСУ в Telegram, YouTube і Twitter почали публікувати щоденні зведення, відео знищення ворожої техніки та звернення до українців і світу. Наприклад, ролики з Bayraktar TB2 чи HIMARS, що уражали цілі, стали вірусними, формуючи образ сучасної та ефективної армії. Ці матеріали не лише підтримували бойовий дух, а й допомагали залучати міжнародну підтримку, зокрема зброю та фінансування.

Водночас зросла роль OSINT-спільнот. Волонтери та аналітики, такі як InformNapalm чи Bellingcat, використовували пости в соціальних мережах для відстеження рухів російських військ, аналізу фото та відео з відкритих джерел. Наприклад, геолокація з Instagram-акаунтів окупантів часто допомагала виявляти їхні позиції. ЗСУ швидко адаптували ці дані для підвищення точності ударів і планування операцій.

У 2025 року передбачається подальша інтеграція штучного інтелекту та автоматизованих систем у комунікаційні канали ЗСУ. AI-технології можуть використовуватися для аналізу великих обсягів даних із соціальних мереж, прогнозування ворожих дій і протидії дезінформації. Очікується також посилення кібербезпеки: створення захищених внутрішніх месенджерів і платформ для координації стане пріоритетом, враховуючи зростання кібератак із боку Росії.

Соціальні мережі залишаться важливим елементом зовнішньої комунікації, але з акцентом на централізоване управління контентом. Наприклад, планується розширення штату спеціалістів із стратегічних комунікацій у військових підрозділах, які відповідатимуть за інформаційні кампанії та взаємодію з населенням. Одночасно зросте значення психологічної підтримки: канали зв'язку адаптуватимуться для надання консультацій бійцям і їхнім родинам.

Розвиток комунікаційних каналів супроводжується низкою викликів. По-перше, дезінформація залишається ключовою зброєю Росії. Фейкові акаунти та бот-ферми активно поширюють паніку, використовуючи вразливості соціальних мереж. По-друге, залежність від цивільних платформ, таких як Telegram, створює ризик перехоплення даних, адже ці сервіси не завжди відповідають військовим стандартам безпеки. По-третє, інтенсивне використання технологій вимагає підвищення цифрової грамотності особового складу, що є складним завданням в умовах війни.

Розвиток комунікаційних каналів супроводжується серйозними викликами. Дезінформація залишається ключовою загрозою: російські спецслужби використовують фейкові акаунти, бот-ферми та маніпулятивний контент для сіяння паніки серед українців. Наприклад, у 2022 році фейки про "оточення Києва" чи "здачу позицій" активно поширювалися через Telegram і інші засоби комунікацій. Боротьба з такими компаніями вимагає як технологічних рішень, так і підвищення медіаграмотності бійців.

Другий виклик – залежність від цивільних платформ. Telegram, хоч і зручний, але він не відповідає стандартам безпеки для військових цілей, бо його сервери можуть бути вразливими до атак. Те саме стосується Starlink, який, попри свою ефективність, залежить від зовнішнього постачальника. Третій аспект – потреба в цифровій грамотності. Бійці, особливо старшого віку, не завжди вміють ефективно використовувати сучасні технології, що може сповільнювати впровадження інновацій.

Висновок

Розвиток каналів соціальної комунікації військових підрозділів під час російсько-української війни 2015–2025 років демонструє адаптивність ЗСУ до умов сучасного конфлікту. Від стихійного використання цивільних месенджерів на початку війни до впровадження високотехнологічних систем і стратегічного використання соціальних мереж – цей шлях відображає не лише технологічний прогрес, а й зміну підходів до інформаційної взаємодії. У майбутньому успіх залежатиме від балансу між інноваціями, безпекою та ефективною протидією ворожим інформаційним операціям. Війна довела, що

комунікація є не просто допоміжним інструментом, а критично важливим елементом перемоги.

Список літератури

1. Коваленко А. С. Удосконалення методу технічного обслуговування об'єктів інтегрованої інформаційної системи / А. С. Коваленко, О. А. Смірнов, О. В. Коваленко, О. П. Доренський // Системи озброєння і військова техніка. - 2016. - № 2. - С. 103-107. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soivt_2016_2_22

2. Проць І., & Івасик І. Інформаційна безпека держави як складова частина національної безпеки в умовах воєнного стану. Теоретико-прикладні проблеми правового регулювання в Україні : матеріали VII

3. Тома М.Г., Базарний С.В. Інформаційна безпека як складова національної безпеки України в реаліях масштабної військової агресії. Європейський вибір України, розвиток науки та національна безпека в реаліях масштабної військової агресії та глобальних викликів XXI століття (до 25-річчя Національного університету «Одеська юридична академія» та 175-річчя Одеської школи права) Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Т. 1. С. 715-718

4. Інформаційні технології та кібербезпека в умовах воєнного часу [Електронний ресурс] : матеріали студ. наук.-практ. конф. (Київ, 18 квіт. 2024 р.) / відп. ред. К. В. Хорольська. – Київ : Держ. торг .-екон. ун-т, 2024. – 482 с

УДК 007:316.77:355.48(477)"2022"

О.С. Мельникова-Курганова, кандидат наук із соціальних комунікацій (Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Публічні та соціальні комунікації під час бойових дій та окупації в Україні

У дослідженні розглянуто умови функціонування публічних та соціальних комунікацій в суспільстві на початку повномасштабного вторгнення РФ в Україну в 2022 р. на прикладі Маріуполя, Мелітополя, Бердянську. Розглянуто особливості ворожого перешкоджання передачі інформації до населення. Проаналізовано перехід комунікацій віл каналів традиційних медіа до соціальних, зокрема месенджерів.

На початку повномасштабного вторгнення РФ в Україну, зокрема у південно-східних областях, можна було спостерігати трансформацію публічних комунікацій офіційних владних структур із населенням.

Враховуючи ведення інформаційних операцій та активних бойових дій, з боку ворога знищувалися будь-які канали зв'язку та комунікацій. Наприклад, на початку осади Маріуполя російські війська обстрілювати вежі мобільного зв'язку, електростанції, обладнання інтернет-провайдерів тощо [1, с. 201]. Тому в місті погано проривався мобільний зв'язок, не було електрики, інтернету, було створено умови інформаційної блокади міста [2].

Коли українські міста опинялися в окупації без активних бойових дій, то вплив на комунікації відбувався інакше. Наприклад, у Бердянську окупанти блокували всі офіційні канали зв'язку, зокрема офіційні традиційні медіа, міські сайти тощо. Тому населення переходило до месенджерів, де можна було прочитати офіційну державну інформацію, локальні пабліки.

Під час окупації Мелітополя з боку ворожих сил так само блокувалися традиційні ЗМІ та міські сайти. За інформацією Інституту масової інформації, «майже одразу було заблоковане мовлення в Мелітополі й Бердянську: 28 лютого окупанти захопили телевежу в Мелітополі, а згодом почали трансляцію російських телеканалів у Мелітополі. Те саме відбулось і в Бердянську. А потім і на інших тимчасово окупованих територіях. Окупанти не тільки вимикали мовлення. Вони переслідували журналістів і захоплювали редакції» [3].

Нами було проведено дослідження щодо типів соціальних комунікацій під час початку повномасштабного вторгнення. Серед дослідницьких питань було визначено:

RQ1. Як трансформовано соціальні комунікації між членами суспільства в умовах активних бойових дій або окупації?

RQ2. Як відбувалася публічна комунікація між представниками української влади та суспільством?

Під час проведення дослідження було використано наукові методи як напівструктуровані інтерв'ю з журналістами, комунікаційниками міст Маріуполя (6), Мелітополя (3) та Бердянську (3), проведено моніторинг українських онлайн-видань щодо діяльності офіційних локальних ЗМІ з 2022 по 2024 рр.

Соціальна комунікація серед містян південно-східних міст України змінювалася під час поступової осади чи окупації. Якщо 24 лютого 2022 р. вони користувалися традиційними медіа, читали онлайн-видання, дивилися «Єдиний марафон» по телебаченню та слухали його по радіо, то в кінці лютого – на початку березня 2022 р. переходили до простих месенджерів, які швидко завантажують інформацію, а саме – Телеграм та Вайбер.

Відповідно змінилася комунікація офіційних очільників міст Маріуполя, Мелітополя та Бердянську, які записували відеозвернення та поширювали їх по локальних каналах в месенджерах. У Маріуполі було вже відомо 26 лютого 2022 р., що голова міської ради В. Бойченко виїхав до мирного міста Запоріжжя. Цей факт оприлюднив Телеграм-канал «Марик», який вів професійний журналіст міста Д. Солодов. Згодом В. Бойченко виступав в українських медіа [4] та пояснював свій вчинок, чому він покинув маріупольців, хоча у відеозверненнях стверджував, що знаходиться в одному з маріупольських бомбосховищах. Таким чином, канали в соціальних медіа стали офіційними в умовах блокування та знищення всіх типів зв'язку і редакцій традиційних ЗМІ в Маріуполі.

У Мелітополі окупанти викрили мера міста І. Федорова, проте він не співпрацював з ними [5]. Він виїхав з окупації на підконтрольну територію українському уряду, також записував відеозвернення до населення, а також виступав на українському центральному телебаченні, де повідомляв про умови життя в окупованому місті.

У Бердянську з кінця лютого до червня 2022 р. був присутній виконувач обов'язків міського голови Бердянська О. Свідло [6]. Він влаштував функціонування міста у тих умовах окупації, зокрема повідомляв про соціальну і гуманіарну діяльність в місті, про допомогу маріупольцям, які виїжджали з осади та повної інформаційної блокади. Під час інтерв'ю наш респондент зазначив, що в Бердянську окупанти заблокували всі міські сайти, у виконкомі вимкнули сервери. Громадяни знаходили інформацію по локальних каналах у Телеграм та Вайбері.

Отже, офіційні проукраїнські канали в месенджері Телеграм та деяких групових чатах у Вайбер почали транслювати інформацію від міської влади наприкінці лютого – у березні 2022 р. Традиційні медіа та будь-які звичні типи зв'язку блокувалися, атакувалися або фізично знищувалися.

Крім того, місцеві журналісти, які передавали інформацію від влади до суспільства (за моделлю гейткіпера К. Левіна), не мали змоги займатися професійною діяльністю в умовах активних бойових дій або окупації.

Якщо в Маріуполі медійники виживали під час безперервних обстрілів як і всі мешканці міста, вони не мали електрики та мобільного чи інтернет зв'язку, то в Мелітополі журналісти отримували пропозиції щодо співпраці з ворожими пропагандистами або могли потрапити в полон [5].

Маріупольські телекореспонденти також зазначили, що вони отримували пропозиції бути колаборантами та створювати контент для ворога. Один з респондентів підтвердив, що 25 лютого 2022 р. йому телефонували з анонімних номерів українського мобільного оператора. Співбесідник представлявся і запрошував до роботи у ЗМІ в т. зв. «ДНР». Інший респондент з Маріуполя зазначив, що з ним особисто говорили представники тоді ще

української міськради за два тижні до повномасштабного вторгнення, обіцяючи «непогані посади» про новій російській владі. Таким чином, готувалися ворожі канали комунікації з мешканцями українських міст ще до 24 лютого 2022 р.

Висновок. Публічні комунікації від влади до мешканців міст (на прикладі Маріуполя, Мелітополя, Бердянську) під час активних бойових дій або окупації перейшли від каналів традиційних медіа до каналів месенджерів Телеграм чи / та Вайбер, а також соціальних мереж. В умовах інформаційної блокади, знищення будь-яких типів зв'язку, кібератак, обстрілів редакцій традиційних ЗМІ, а також електромереж (наприклад, в Маріуполі) аудиторія та офіційні комунікатори користувалися саме месенджерами, які завантажувалися при поганому мобільному інтернеті. Журналісти як передавачі інформації від місцевої влади до мешканців не мали змоги транслювати новини без перешкод з боку ворога, зокрема існувала небезпека потрапити в полон. Соціальні комунікації функціонували в Телеграм та Вайбер, соціальних мережах, де можна було отримати офіційну інформацію з проукраїнських центральних та локальних каналів, а також комунікувати між собою, обмінюватися новинами між мікрорайонами міста, завантажувати фото та відео свідків.

Список літератури

1. Melnykova-Kurhanova O. The Ukrainian journalists' work on the frontline territories as a counter to Russian propaganda. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Філологія. Журналістика. Том 35 (74) № 4 2024. Ч. 1. С. 200-205.
2. Мельникова-Курганова О. Соціальні комунікації в блокадному Маріуполі: особливості, їх види, типи комунікаторів. Інформація, комунікація, суспільство 2022. Львів, Львівська Політехніка, 2022. С. 183-184.
3. Виговська Н. Всупереч тисячі днів: як запорізькі медіа долали загрози повномасштабної війни проти України. URL: https://imi.org.ua/blogs/vsuperech-tysyachi-dniv-yak-zaporizki-media-dolaly-zagrozy-povnomasshtabnoyi-vijny-proty-ukrayiny-i65019 (дата звернення: 01.04.2025).
4. Орлова В. Мер Маріуполя розповів про причини виїзду з міста. URL: https://www.unian.ua/war/mer-mariupolya-rozpoviv-pro-prichini-vijizdu-z-mista-novini-vtorgnennya-rosiji-v-ukrajinu-11781318.html (дата звернення: 01.04.2025).
5. Касіян В. Окупанти викрали мера Мелітополя (оновлено). URL: https://lb.ua/society/2022/03/11/509065_okupanti_vikrali_mera_melitopolya.html (дата звернення: 01.04.2025).
6. Новини Приазов'я. «Або саджають за ґрати, або ховаєшся» – в.о. міського голови Бердянська. URL: https://www.radiosvoboda.org/a/novyny-pryazovya-berdyansk-interv-yu-svidlo/32012294.html (дата звернення: 01.04.2025).
7. Корнієнко Я. «Радили» працювати на росіян: як журналістка з мелітополя втекла з окупації під виглядом лікарки. URL: https://www.slidstvo.info/warnews/radyly-pratsiuvaty-na-rosiian-iak-zhurnalistka-z-melitopolia-vtekla-z-okupatsii-pid-vyhliadom-likarky (дата звернення: 01.04.2022).

УДК 615.851:316.4-058.66(477)

І.В. Прожога, канд. екон.наук, доцент
К.В. Вовк
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Арттерапевтична допомога внутрішньо переміщеним особам у контексті психосоціального відновлення

У статті розглянуто арттерапію як ефективний інструмент психосоціальної підтримки внутрішньо переміщених осіб. Проаналізовано практики, виклики та перспективи її застосування в умовах війни, зокрема мобільні та дистанційні формати надання допомоги з урахуванням індивідуальних потреб ВПО.

Повномасштабна війна в Україні призвела до масового переміщення населення та значного зростання кількості осіб з ознаками психологічної травматизації серед внутрішньо переміщених осіб (ВПО). Переміщення в умовах збройного конфлікту супроводжується втратою житла, майна, роботи, соціальних зв'язків, а також переживанням небезпеки, втрат близьких та адаптацією до нових, часто ворожих або невизначених умов життя.

Психологічні наслідки для внутрішньо переміщених осіб (ВПО), спричинені збройним конфліктом, мають глибокий та багатовимірний характер. Вони можуть включати гостру стресову реакцію, посттравматичний стресовий розлад (ПТСР), тривожні та депресивні стани, соматичні симптоми (наприклад, головний біль, м'язове напруження, шлунково-кишкові розлади), порушення сну, зниження апетиту, емоційне вигорання, відчуття безпорадності та втрати сенсу життя. Такі наслідки часто посилюються через раптову втрату звичного життєвого середовища, соціальних зв'язків, житла, засобів до існування та навіть близьких людей. Психотравмувальні події, пов'язані з досвідом евакуації, загрозою життю, тривалим перебуванням у зоні бойових дій або ізоляції, залишають глибокий слід у психіці.

Найбільш уразливими до психотравматизації є представники так званих «груп ризику»: діти, жінки, особи з інвалідністю, літні люди, а також ті, хто вже мав психічні або психосоматичні порушення до початку повномасштабної війни. Діти можуть демонструвати симптоми регресу, поведінкові розлади, страх залишатися на самоті, труднощі з навчанням, порушення мови. Жінки частіше зазнають емоційного виснаження та почуття відповідальності за родину в нових умовах, що може призводити до зниження психоемоційного ресурсу. Літні люди та особи з інвалідністю особливо чутливі до втрати середовища, звичного укладу життя та медичної підтримки. Усе це створює підґрунтя для формування хронічного стресового стану, що без належної підтримки може призвести до серйозних порушень психічного здоров'я.

У контексті повномасштабної війни в Україні, що призвела до мільйонів випадків внутрішнього переміщення населення, забезпечення психосоціального відновлення постраждалих осіб є ключовим викликом для системи охорони психічного здоров'я та соціальної підтримки. Досвід показує, що традиційних підходів до психологічної допомоги недостатньо для охоплення великої кількості осіб із різним рівнем травматизації, віком, життєвим досвідом та

ступенем готовності до терапевтичного контакту. У цьому контексті арттерапія виступає ефективним, гнучким та гуманним інструментом, який дозволяє створювати безпечні простори для зцілення, навіть за умов обмежених ресурсів.

Арттерапевтична практика демонструє високу адаптивність до потреб внутрішньо переміщених осіб завдяки своїй інклюзивності, доступності, можливості використання як в індивідуальному, так і в груповому форматі, а також потенціалу до інтеграції з іншими психотерапевтичними методами. Її особлива цінність полягає в тому, що вона дозволяє опрацьовувати глибокі емоційні переживання без необхідності їх вербалізації, що особливо важливо для осіб із гострим травматичним досвідом або труднощами у висловленні власних почуттів словами.

Практичне застосування арттерапії у роботі з ВПО охоплює різноманітні підходи — від малювання і ліплення до музикотерапії, сторітелінгу та танцювально-рухових практик. Кожен із цих напрямів має власні переваги і може бути адаптований до конкретного контексту, потреб і можливостей учасників. Арттерапія не лише допомагає знизити рівень психоемоційного напруження та тривожності, а й сприяє формуванню внутрішніх ресурсів, таких як мотивація, відчуття контролю, самопідтримка і надія на майбутнє.

Водночас ефективність арттерапевтичної допомоги значною мірою залежить від усвідомлення фахівцями психосоціальної сфери сучасних викликів. Серед них — емоційна нестабільність учасників, їхня обмежена довіра до психологічних послуг, труднощі з концентрацією, а також необхідність гнучкого, індивідуалізованого підходу навіть у групових форматах. Це вимагає від фахівців підвищення рівня підготовки, розвиток міждисциплінарної взаємодії, культурної чутливості та вміння створювати умови для самовираження без тиску чи примусу.

Перспективним є розширення арттерапевтичної допомоги у двох основних напрямах: по-перше, через розробку комплексних програм для цільових груп з урахуванням вікових, гендерних, етнокультурних і соціальних особливостей; по-друге, шляхом впровадження мобільних і дистанційних форматів — таких як онлайн-групи, майстер-класи, арт-челенджі — для забезпечення доступу до допомоги осіб, які перебувають у віддалених регіонах або за межами України.

Отже, арттерапія має значний потенціал як складова комплексної системи психосоціальної підтримки внутрішньо переміщених осіб. Завдяки своїй гуманістичній природі, доступності та здатності охоплювати різні вікові, соціальні та психологічні групи, вона є універсальним інструментом допомоги у кризових ситуаціях. Її широке використання дозволяє не лише пом’якшити наслідки психотравматичного досвіду, пов’язаного з війною, втратою, вимушеним переселенням та дезадаптацією, а й сприяє поступовому відновленню внутрішніх ресурсів особистості.

Арттерапія позитивно впливає на відновлення соціальних зв’язків, які часто були порушені або зруйновані внаслідок переміщення. Вона допомагає ВПО знову відчути себе частиною спільноти, налагодити комунікацію, знизити рівень ізоляції, відновити довіру до інших людей та соціальних інституцій. У процесі арттерапевтичної роботи учасники не лише виражають і

трансформують власні переживання, а й отримують можливість побачити себе у новому світлі, що сприяє формуванню оновленої особистісної ідентичності.

Крім того, арттерапія має здатність підвищувати якість життя через розвиток емоційної грамотності, самоусвідомлення, навичок саморегуляції та подолання емоційних криз. У процесі творчої діяльності активізуються внутрішні адаптаційні механізми, з'являється відчуття контролю над життям, а також стимулюється мотивація до конструктивних змін. Це, у свою чергу, сприяє більш успішній соціальній інтеграції ВПО у нові громади, включенню в соціальні процеси, навчання чи професійну діяльність.

Враховуючи масштаби психосоціальних викликів, що постають перед українським суспільством у період війни та післявоєнного відновлення, впровадження арттерапевтичних практик має розглядатися не як допоміжний, а як стратегічно важливий напрям у системі кризового реагування, медико-психологічного супроводу та соціальної політики. Це вимагає міжсекторальної співпраці фахівців — психологів, соціальних працівників, педагогів, митців, а також розвитку відповідної нормативної та методичної бази для реалізації довготривалих програм підтримки.

Таким чином, арттерапія в умовах гуманітарної кризи та суспільної турбулентності є не лише засобом подолання індивідуальної психологічної травми, а й важливим інструментом суспільного відновлення, що сприяє формуванню психологічної стійкості, консолідації громад і загальному оздоровленню нації. Її інтеграція в державні та громадські ініціативи з подолання наслідків війни є необхідною умовою побудови більш згуртованого, толерантного та психічно здорового суспільства.

Список літератури

1. Вознесенська О.Л. Арт-терапія в роботі з вимушеними переселенцями. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/106758/1/Вознесенська%20О.Л.-Арт-терапія%20в%20роботі%20з%20вимушеними%20переселенцями-(стаття).pdf
2. Гундертайло Ю. Особливості застосування арттерапії в соціально-психологічному супроводі ВПО // Проблеми політичної психології, 2021. URL: https://politpsy.org/index.php/popp/article/view/74
3. Калька Н., Ковальчук З. Практикум з арт-терапії: навчально-методичний посібник. Львів: ЛьвДУВС, 2020. URL: https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/3301/1/АртТерапія-19-10-20.pdf
4. Мрака І. Арттерапія і війна: контексти і досвід практичної роботи. Львів: ЛьвДУВС, 2023. URL: https://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890/6338/1/Колективна%20монографія_Мрака.pdf
5. Кохно І. Технологія арттерапії як інструмент соціальної адаптації дітей з числа внутрішньо переміщених осіб: бакалаврська робота. Суми: СумДУ, 2024. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/95582/1/Kokhno_bak_rob.pdf
6. Щур Г. В. Травмофокусована арт-терапія для дітей, що пережили військові дії: кваліфікаційна робота. Кривий Ріг: КДПУ, 2024. URL:

https://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/11385/1/Кваліфікаційна%20-%20Щур%20Г.%20-%203ППм-23.pdf

7. Співак Л.В. Арт-терапія як метод психокорекції. Габітус. Серія «Психологія особистості», 2023. Вип.53. с. 135 42.

УДК 070:316.774

О.Є. Васьківська, канд.пед.наук, А.О. Дейнега
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Сучасний стан та перспективи розвитку крос-медійної журналістики

Розглянуто сучасний стан крос-медійної журналістики, її ключові риси, виклики та тенденції розвитку. Проаналізовано вплив цифрових технологій на зміну форматів подачі інформації й окреслено перспективи інтеграції платформ у майбутньому медіапросторі.

Крос-медійна журналістика серед провідних тенденцій розвитку медіагалузі, що виникла у відповідь на цифрову трансформацію суспільства та зміни в споживанні інформації. У сучасних умовах журналісти дедалі частіше працюють не лише в межах одного медіаканалу, а створюють контент, який адаптується для різних платформ – телебачення, радіо, друкованих ЗМІ, соціальних мереж, вебсайтів та мобільних застосунків. Цей підхід дозволяє охоплювати ширшу аудиторію, підтримувати постійний контакт із користувачем і забезпечувати багатовимірне сприйняття інформації.

Дослідниця Ганна Сарміна наголошує, що «вагомі зрушення і зміни в медіаландшафті зумовлені такими глобальними і тісно пов'язаними між собою процесами, як дигіталізація і конвергенція. Нові цифрові процеси репрезентують не тільки перехід від аналогового до дигітального медіасвіту, а й новий тип мислення. Медіасередовище розвивається в логічній послідовності, поступово трансформуючи культуру в цілому, тож постає низка інноваційних медійних явищ. Серед них найбільш вдалу і компактну комбінацію різних медійних форм і форматів являють собою крос-медіа, як сучасна і ефективна форма репрезентування і сприйняття інформації, котра прагне креативності й інноватівності, використовуючи всі можливості веб 2.0» [1, с. 65].

Науковиця Любов Василик зауважує, що «крос-медіа є ланкою в низці таких взаємопов'язаних явищ, як мультимедіа та конвергентна журналістика, доповнюючи їх. Якщо явище мультимедіа означило нові технологічні платформи, які здобули ЗМІ для поширення своєї інформації, викликавши тим і зміну редакційних структур у напрямі створення конвергентних ЗМІ, то крос-медіа більше розвиває філософію нової журналістики — розширення рамок традиційної комунікації через залучення ширшого кола споживачів інформації, які стають її співтворцями та зумовлюють ефект транс-медіа» [2, с. 297].

Медіаексперти відзначають, що «нині ми повністю чи частково можемо спостерігати ґрунтовні трансформації, що супроводжують систему медіа в інформаційно-комунікаційній інфраструктурі. Внаслідок упровадження крос-медіа у повсякденний журналістський робочий цикл можна спостерігати структурні зміни у системі засобів масової комунікації за рахунок видового розширення медіа; зміни параметрів професіоналізації журналістів та виникнення об'єднання так званих вільних журналістів «фрілансерів»; перерозподілу ролі і значення центральних і регіональних видань та їх

спрямування в Інтернет; розробки нових стандартів стилістики публікацій, особливо орієнтованої на мережеве товариство» [3, с. 22].

Сучасний стан крос-медійної журналістики характеризується активною інтеграцією мультимедійних елементів – відео, аудіо, анімації, інтерактивної графіки – у журналістські матеріали. Розвивається практика сторітелінгу, яка поєднує елементи різних форматів для побудови глибших емоційних зв'язків з аудиторією. Великі медіаорганізації впроваджують крос-медійну стратегію у свої редакційні політики, створюючи команди, здатні працювати з контентом на різних платформах. Конкурентоспроможність журналістського продукту тепер часто залежить не лише від його змісту, а й від того, як він адаптований до особливостей кожної платформи та поведінки користувача.

Наразі медіа мають чітко слідувати за тенденціями сучасного медіапростору, зокрема, підлаштовувати власний контент під алгоритми соціальних мереж. Завдяки правильному використанню алгоритмів соціальних мереж медіа може досягти збільшення цільової аудиторії та монетизації власного контенту. Хочемо зазначити, що алгоритми соціальних мереж різняться між собою, тож журналісти мають чітко розуміти в якому вигляді їх контент має бути представлений на тій чи іншій платформі. Поширення контенту, підлаштованого під різні платформи, сприятиме не тільки збільшенню інтересу серед постійних читачів, а й може зацікавити потенційну цільову аудиторію. Через поширення в соціальних мережах посилань на власні матеріали інтернет-видання покращить статистику відвідуваності сайту медіа та сприятиме збільшенню прибутків.

Аналізуючи крос-медіа, дослідниця Ганна Шевченко дійшла висновку, що «кросмедіа завдяки своїй органічно вибудуваній концепції можуть зайняти своє місце на сучасному медіаринку та втілити у життя образ багато цитованої свині, що дає хутро, молоко та несе яйця. Маючи на меті взяти лише найкраще з кожного засобу комунікації, щоб перехресно перекрити їхні недоліки й обмеження та бути вигідним для усіх сторін інформаційного обміну, крос-медіа так само вивірено і злагоджено устатковують свою методологічну базу, спираючись на перевірену часом авторитетну філософію класичних медіа та прогресивне спрямування цифрових технологій» [4, с. 37].

Разом із тим, розвиток крос-медійної журналістики супроводжується низкою викликів. Серед них – необхідність у постійному професійному розвитку журналістів, збільшення навантаження через створення контенту для кількох платформ одночасно, а також загроза поверхневого висвітлення складних тем через орієнтацію на швидкість і візуальність. Важливим завданням залишається збереження стандартів журналістики, зокрема перевірки фактів, аналітики та балансу думок, у швидкоплинному та конкурентному медіасередовищі.

Науковиця Ірина Мацишина зауважує, що «для того, щоб мати можливість здійснювати свою суспільно демократично важливу роль в якості медіума сучасний журналіст повинен вміти спостерігати, аналізувати і створювати новинне повідомлення за короткий час. Тому сучасна медіаосвіта, на прикладі навчання крос-медійної журналістики, дозволить не тільки розширити традиційні навички журналістської роботи, але збільшить рівень розвитку інформаційного суспільства в цілому і за його межами» [5].

Дослідниця Ганна Сарміна зазначає, що «під впливом крос-медіа змінюється роль журналіста, який стає освітянином, відходить від образу «вовка-самітника» і перетворюється на «фахівця-універсала», що працює в команді, вільно рухається крізь медіа, добре розуміє специфіку кожного засобу, здатний співпрацювати з кожним з них і мислить крос-медійно, тобто комплексно» [6, с. 39].

Крос-медіа розширюють обрії як для творців, так і для тих, хто цей контент споживає. Вони дають змогу адаптувати підхід до кожного окремо, як при створенні, так і при споживанні матеріалів. У цьому допомагає принцип багатогранності, що забезпечує всебічне та високоякісне представлення будь-якої інформації.

Висновок

Перспективи розвитку крос-медійної журналістики пов'язані з подальшим технологічним прогресом, зокрема, розвитком штучного інтелекту, доповненої та віртуальної реальності, а також персоналізацією контенту. Очікується поглиблення інтеграції між традиційними ЗМІ та новими медіаплатформами, зростання ролі інтерактивності й участі аудиторії у створенні контенту. Успішними будуть ті медіа, які зможуть не лише адаптуватися до змін, а й пропонувати нові формати, що відповідають потребам сучасного користувача – динамічного, мобільного, критичного до інформації та зацікавленого в багатовекторному її поданні.

Таким чином, крос-медійна журналістика є не просто модною тенденцією, а невідворотним етапом еволюції сучасних медіа. Її подальший розвиток визначатиме, якою буде журналістика майбутнього – інтегрованою, технологічною, орієнтованою на глибоку взаємодію з аудиторією.

Список літератури

1. Сарміна Г.Л. Зіставний аналіз етапів становлення і розвитку крос-медіа в Німеччині і Україні / Г.Л. Сарміна // Science and Education a New Dimension. Humanities and Social Sciences, V(19). – 2017. – С. 65-68.
2. Василик Л. Є. Крос-медіа як тренд сучасної журналістики / Л. Є. Василик // Наукові записки Інституту журналістики. – 2013. – Т. 52. – С. 297-300.
3. Підручник з крос-медіа / вид.: Іоанна Нарчіса Крецу, Міхаіл Гузун, Любов Василик ; пер.: Ана Лехінтан [та ін.]. – Bonn; Sibiu : Schiller Publ. House. – 2015. – 140 с.
4. Шевченко Г. О. Методологічні проблеми вивчення крос-медіа / Г.О. Шевченко // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Соціальні комунікації». – 2019. – №13. – С. 32-39.
5. Мацишина І.В. Крос-медійна журналістика: якість vs кількість. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://surl.li/oqikgt
6. Сарміна Г.Л. Сучасні тенденції розвитку крос-медійної журналістики / Г.Л. Саміна // Information Society. 2017. Issue 25. С. 34–40.

UDC [004.8:629.7]:[504.06+656.7]

H.O. Maksymovych, T.V. Shulha,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Transforming Aviation with AI: Safety, Sustainability, and Smart Operations

This article explores the growing role of artificial intelligence (AI) in aviation, highlighting its applications in flight safety, predictive maintenance, environmental impact assessment, and air traffic management. It emphasizes AI's potential to transform aviation operations while addressing current challenges and outlining directions for future research and technological integration.

In the last decade, the issue of rational use of scientific and technological progress in the field of creating complex systems based on artificial intelligence (AI) has become particularly relevant. AI represents a branch of science and engineering focused on creating machines and computer programs capable of solving intellectual tasks by modeling intelligent behavior. According to many experts, the role of such technologies in shaping the global risk landscape will only continue to grow [1, p. 139].

Aviation is no exception. Artificial intelligence and digitalization are transforming the status quo in aviation, just as in any other sector. The use of AI and digital technologies enhances safety, adaptability, optimization, efficiency, potential, and support for all stakeholders in the aviation industry. Its implementation can provide qualified support to aviation professionals and optimize processes in ways that would otherwise be impossible, thereby creating a safer and more resilient aviation sector.

One of AI's greatest capabilities is its ability to quickly process vast amounts of data and learn from it. As aviation shifts toward digital technologies, the volume of data processed by production and maintenance organizations is increasing, along with the need to rely on AI for handling this data.

AI's capabilities can be leveraged to detect patterns, develop forecasts, and predict risks, which can have a positive impact on various aviation domains. AI can assist flight crews by offering recommendations for daily tasks to improve operational flight efficiency. Predictive maintenance powered by AI can optimize maintenance schedules, estimate the remaining lifespan of parts, and thus prevent failures. AI can also forecast issues such as turbulence and icing, and help pilots make informed decisions during adverse flying conditions.

Another area where AI support would be particularly valuable is in assessing aviation's environmental impact. This includes monitoring and analyzing factors such as airport noise levels, which affect surrounding communities, and carbon dioxide (CO_2) emissions generated by aircraft engines during different phases of flight, including takeoff, cruising, and landing. AI systems can process real-time data from sensors and flight logs to evaluate how flight operations contribute to environmental degradation and suggest mitigation strategies.

There are some additional examples of AI applications in environmental impact assessment.

Noise Pollution Modeling and Prediction: AI can use historical flight data, meteorological conditions, and aircraft types to create predictive models of noise distribution around airports. These models can help authorities design better flight paths and operational procedures to minimize noise exposure in residential areas.

Fuel Burn and Emission Forecasting: Machine learning algorithms can estimate fuel consumption and related greenhouse gas emissions based on flight parameters, aircraft weight, weather conditions, and route efficiency. These insights support greener flight planning and eco-friendly aircraft design.

Air Quality Monitoring Near Airports: AI can analyze air quality data collected near airports to detect spikes in pollutants like nitrogen oxides (NOx) and particulate matter. By correlating this data with aircraft activity, AI can identify peak pollution times and help optimize airport operations to reduce emissions.

Lifecycle Analysis of Aircraft Components: AI can be used in the environmental lifecycle assessment (LCA) of aircraft manufacturing and maintenance. This includes analyzing the energy use, emissions, and waste produced during component production, usage, and disposal.

Sustainable Airport Energy Management: AI can optimize energy consumption within airport facilities, including lighting, HVAC systems, and ground operations, by predicting energy needs based on weather, flight schedules, and passenger flow.

Environmental Impact of Contrail Formation: AI can model the conditions under which contrails form and persist, which contribute to climate change by trapping heat in the atmosphere. AI can then recommend flight altitudes or paths that reduce contrail formation.

Eco-routing and Dynamic Trajectory Optimization: AI can calculate and suggest environmentally optimal flight routes in real time, balancing fuel efficiency, emissions reduction, and airspace congestion.

AI can support international aviation organizations, such as the European Union Aviation Safety Agency (EASA), by enhancing their data processing capabilities and expanding their safety analysis tools, including improved vulnerability detection. AI can help identify emerging risks, classify them, build safety risk portfolios, and prioritize safety issues. It can also contribute to the development of more effective and reliable systems for preventing cyberattacks—automatically detecting and mitigating system vulnerabilities (prevention) and identifying threats based on behavior patterns (detection).

Regarding air operations, AI can assist in detecting foreign object debris on runways and unauthorized unmanned aerial vehicles (e.g., drones) near airports, as well as help prevent bird strikes. Inside airport terminals, AI can assist with screening, hazardous cargo detection, and surveillance.

By analyzing data on weather conditions, sector configurations, air traffic congestion, and other factors, AI can contribute to flight route optimization, reducing flight time, fuel consumption, and operational costs. Such optimization will lead to a more efficient air traffic management system, reduced delays, and increased air transportation capacity.

AI and machine learning (ML) technologies are increasingly being used to support air traffic controllers in making faster and more informed decisions when

managing potential conflicts. Beyond air traffic control, AI also improves in-flight communication between pilots and crew members. This isn't just theoretical—Garmin, a leader in GPS and aviation technology, has already introduced "Telligence," a voice-controlled system designed to reduce pilot workload and enhance the overall flight experience. With "Telligence," pilots can use simple voice commands to manage various cockpit functions. The system is already certified and available for installation in aircraft [2, 3].

Another significant innovation is the implementation of AI in the U.S. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) program. The Aircrew Labor In-Cockpit Automation System (ALIAS) envisions flying missions with reduced crew while increasing mission effectiveness and flight safety—all through a detachable, modular kit that provides advanced automation for existing aircraft [4,5]. ALIAS is a humanoid machine that physically occupies the co-pilot's seat, with robotic arms that operate aircraft controls. This system could enhance automation in aircraft and enable flights with fewer onboard crew members. ALIAS also aims to manage an entire mission from takeoff to landing. The vision of ALIAS is to shift the pilot's role from executor to supervisor [6].

Drones and innovative air mobility represent another area of AI application. As we move closer to a reality where air taxis are no longer science fiction and unmanned aerial vehicles (UAVs), such as drones, become more reliable and are used for various purposes, airspace will become increasingly congested. AI will be crucial in integrating manned and unmanned aircraft while ensuring safe airspace allocation among users and ultimately implementing advanced U-space services (U-space refers to a set of solutions for managing drone traffic). These solutions may include obstacle detection, dynamic rerouting capabilities, and ground risk assessment during landing. One of the most promising areas in this field is automated target recognition and tracking for robotic platforms, along with autonomous decision-making for engagement [7, p. 10].

Developing an effective pilot–controller interface is another essential task to integrate AI into air traffic communication systems. Traditional voice-based communication must evolve to accommodate intelligent systems capable of analyzing situations, issuing instructions, and receiving feedback in real time—without compromising safety or clarity.

Some examples of AI applications in aviation communication systems include:

Real-time Speech Recognition: AI systems can transcribe pilot voice commands into text for faster and more accurate processing. For example, when a pilot says, "Request descent to FL180," the system can automatically check current airspace conditions to determine whether the descent is possible.

*Accent and Language Adaptation: t*hrough machine learning, AI can adapt to a wide range of accents and speech patterns—whether from Chinese, Spanish, or Indian pilots—reducing the risk of miscommunication.

Intelligent Radio Channel Management: AI can prioritize communications, reducing transmission conflicts and delays, such as by automatically assigning higher priority to emergency calls.

Voice-to-Text Conversion for Clarity: to avoid misheard instructions due to static or noise, AI can convert all voice communications into written messages and display them in the cockpit for pilot reference.

In the coming years, AI is expected to play an increasingly central role in transforming air traffic communication and management. One promising development is the use of digital ATC assistants—AI systems that can act as virtual air traffic controllers, offering real-time guidance to pilots or even independently managing traffic in low-density airspace. Additionally, future communication systems may evolve into multimodal interfaces that incorporate voice commands, touch input, gestures, or even facial expressions, enabling more intuitive and efficient interaction between pilots and AI systems. As airspace becomes more congested with the integration of drones, traditional aircraft, and next-generation aerial vehicles such as air taxis, AI will also be essential in supporting U-space services. These intelligent systems will help manage dynamic airspace allocation and ensure the safe coexistence of both manned and unmanned aerial traffic.

Thus, traditional methods can no longer guarantee improved management of complex systems, as they fail to account for the uncertainties under which decisions must be made. Although several factors slow the integration of AI in airliner control systems—including high uncertainty levels, strict safety requirements, and the need for economic justification—AI holds immense potential in the aviation industry. Designing new aircraft systems requires the development and implementation of onboard software using knowledge-processing methods through modern intelligent technologies.

Conclusion

Solving intelligent control problems in aviation systems and components is a rapidly evolving research field. Leading global airlines, training centers, and aircraft manufacturers are already investing in AI, using a broad range of digital tools including business process automation, 3D printing, blockchain, and crowdsourcing.

Based on the analysis, the future of AI in aviation appears highly promising and dynamic. Continued research is essential to fully integrate AI into flight operations, maintenance, environmental monitoring, and air traffic management. AI's ability to process massive data sets and make predictive decisions can significantly enhance safety, efficiency, and sustainability in aviation. However, further development is needed to address challenges such as regulatory frameworks, system transparency, and human-AI interaction. Advancing these areas will pave the way for a smarter, more resilient, and environmentally responsible aviation industry.

References

1. Коцко Т. А. Безпекові аспекти розвитку технології штучного інтелекту. Технології доброчесного використання штучного інтелекту у сфері освіти та науки: матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 31 липня – 10 вересня 2023 року.Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2023. 276 с.

2. General Aviation Solutions. Garmin: веб-сайт. URL: https://www8.garmin.com/aviation/brochures/724_Gen_Aviation_Solutions.pdf (дата звернення 16.04.2025)

3. Garmin Autoland Achieves FAA Certification for General Aviation Aircraft: веб-сайт. URL: https://www.generalavionics.com/tag/general-aviation/page/3/ (дата звернення 16.04.2025)

4. AI Next: веб-сайт. URL: https://www.darpa.mil/about/innovation-timeline (дата звернення 16.04.2025)

5. DARPA seeks to develop new automation system to reduce pilot workload: веб-сайт. URL: https://www.airforce-technology.com/news/newsdarpa-seeks-to-develop-new-automation-system-to-reduce-pilot-workload-4219153/ (дата звернення 16.04.2025)

6. Штучний інтелект та авіація: веб-сайт. URL: https://utc-aviator.com/iskusstvennyj-intellekt-i-aviatsiya (дата звернення 16.04.2025)

7. Демідов Б.О., Борисенко М.В., Кучеренко Ю.Ф., Задорожна А.Ю. Перспективні напрямки розвитку і використання методів і технологій штучного інтелекту для збройних сил України в рамках впровадження сучасних інновацій у військовій сфері. Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, Харків, 2021, No 3 (44). 85с.

УДК 007 : 304 : 070 (655) + 316.773.4

Є. Г. Кравченко, к. філол. н., доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Виміри сучасного візуального контенту в українських медіа

У розвідці розглянуто сутність феномену візуалізації у добу постмодернізму. Охарактеризовано чинники трансформацій візуального контенту та його ефективність в медіа комунікації. Проаналізовано основні види, якісні та кількісні параметри візуального контенту в сучасних українських медіа: фотографії, стокові фото, колажі, відео, мультимедіа, ШІ, карти та меми.

Актуальність дослідження зумовлена інтенсивністю динамічних процесів у створенні візуального контенту в сучасній медіа сфері і зумовлена феноменом візуалізації інформації у добу постмодерністської культури. Крім того, змінюються естетичні та стилістичні аспекти журналістики з глибокими наслідками для інформаційної політики та розвитку медіаосвіти й медіаграмотності [1].

На розв'язання цих питань скерована і «Програма великої трансформації: Освіта 4.0: український світанок» (2022 р.), що передбачає поглиблення фахових компетентностей сучасних здобувачів вищої освіти зі спеціальності «Журналістика», які повинні набути здатності зі знаходження, аналізу, критичного мислення, інтерпретації й ефективного використання у інформації у візуальній формі. У суспільстві існує запит на створення візуального контенту із залученням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій і цифрового програмного забезпечення та ШІ з використанням форм, методів, прийомів і засобів візуалізації у тісній взаємодії з аудиторією [2]. Запити молоді свідчать, що серед базових знань майбутні журналісти й самі обирають виробництво медіапродукту (82 студенти 40,4 %); використання будь-яких ефективних інструментів для соціальної взаємодії (79 студентів, 38,9 %) та ін. [3].

У сучасному суспільстві і культурі склалася постмодерністська ситуація, що викликала зміни через вичерпаність традиційних методів мислення і змусила шукати нових форм рефлексії і в медіасфері. В Україні про це йдеться у низці ґрунтовних розвідок, присвячених різним аспектам постмодерністської парадигми – дослідження О. П. Вареници, Т. К. Гуменюк, Л. М. Димитрової, К. В. Кислюка, В. С. Лук'янця, В. М. Соболь, О. І. Хоми та ін. У їхніх працях розглянуто різні погляди й трактування сучасних трансформаційних процесів у візуальній комунікації, й масовому сприйнятті інформації. Зосереджували увагу науковці й на глибинному значенні постмодернізму, що створив можливості для появи нових художніх горизонтів, використовуючи основу нетрадиційного осмислення традиційних естетичних цінностей [4, с. 70]. Принципи постмодерну в поєднанні з естетикою відеокліпів, агресивною телерекламою, комп'ютерними іграми, електронним монтажем рішуче змінили стилістику контенту в медіа, що спричинило за собою різке зрушення і у візуальній структурі масового сприйняття інформації.

Одним з викликів, які постали перед сучасним суспільством, стала проблема сприйняття візуалізації інформації. У дослідженнях С. Аранова, В. Зінченка, Г. Лаврентьєва, Н. Манько, В. Сквирського зазначено, що взаємодія медіа з суспільством не проходить безслідно, а залишає певне відображення у формуванні світогляду особистості, адже суспільство використовує засоби комунікації, щоб застосувати контент (знання, зміст) з метою досягнути одного або кількох спеціальних ефектів [5, с.222-223]. Візуальний компонент інформації (візуалізація), базується на певних асоціаціях, стереотипах мислення і передає сутність важливої у часі і просторі події, факту, явища, процесу для особи. При цьому не лише текст трансформується у візуальний образ, а й зображення розглядається як текст, складений із символів [6; 7].

Зрозуміло, що з усього розмаїття інформації споживач сприймає саме яскраві елементи, бо вони відразу спрямовані до його свідомості і створюють відповідну послідовність у сприйнятті інформації у вигляді ланцюжка «зображення - заголовок - текст - розуміння», а візуальний складник інформації поєднує частини ланцюжка, забезпечуючи інформаційний зв'язок [8]. Насичений інформаційний процес призводить до перевантаження, а відтак і до вимикання зі свідомості критичного мислення й втрати пошуку причинно-наслідкових зв'язків. Психологи називають таку форму мислення «мозаїчною», «кліповою», «фрагментарною» чи «калейдоскопічною». Кліпове мислення це психічне явище, яке характеризується фрагментарною моделлю сприйняття інформації, де процес відображення об'єктів відбувається без заглибленого послідовного розмежування і поєднання, поверхнево і алогічно, зі швидким безсистемним переключенням» [9, с. 18]. Результатом такої розумової діяльності стає відсутність цілісної картини та масив сприйнятої інформації буде значно більшим ніж при «вмиканні» понятійного мислення за однаковий проміжок часу. Щоб якнайшвидше задовольнити свій інтерес, ми шукаємо інформацію насамперед в інтернеті і у її пошуку спираємося виключно на зорову пам'ять, не задіюючи слухову, тактильну, нюхову, емоційну. І саме цим шкодимо розумовій діяльності, бо інформація, яка не пропущена через себе чуттєво і критично не проаналізована, стирається з нашої свідомості..

Зміни у сфері культури, медіа середовищі з використанням новітніх технологій та нові запити в аудиторії створили нові можливості та виклики для журналістики. На противагу фрагментарному сприйняттю інформації останнім часом поширюється тенденція до «переходу від твіттер-свідомості» до «розумного, інтелектуального» споживача. Так, навіть журналісти глянцевих видань орієнтуються тепер більше на читача, що має певний інтелектуальний і культурний бекграунд. Такому читачеві не цікаві пропонувати плоскі теми чи жарти, йому потрібно розширювати світоглядні межі того, про що може писати глянець. Сьогодні робиться ставка на лонгріди (довгі тексти), на великі матеріали, довгі інтерв`ю. Редакції прагнуть, щоб і у глянцевій журналістиці була їжа для мізків, а не тільки для очей. Всі фешн-зйомки зараз переглядають в останню чергу, як стверджують фахівці, тому й у 2019 році лонгрід визнали одним із трендів у сфері SMM [10].

Кардинальні зміни в сучасному культурному житті українського суспільства й медіа, які пов'язані з новими соціальними викликами російсько-

української війни, змінили статус, і як наслідок, функції національної культури і медіа сфери. Такий процес стає одним із пріоритетних факторів розвитку сучасного суспільства, оформлення національної ідентичності і врешті державності як такої.

У довоєнний час медіа-ресурси дотримувалися класичного підходу до створення візуального контенту. Традиційно використовували фотографії, інфографіку та мультимедійні елементи для візуального доповнення текстів. Війна значно змінила пріоритети у формах візуального контенту в українських медіа. Майже усі медіа активно почали використовувати мультимедійні інструменти, інфографіку та карти для пояснення складних геополітичних подій і ситуацій, щоб увиразнити й унаочнити зміст інформації для споживачів.

Інтерес соціуму до воєнних подій в Україні, потреба у систематичному їх висвітлення внесли корективи у формати подання й візуальної інформації. Постійним у різних медіа стало використання інтерактивних мап, які раніше були лише ілюстрацією, складником журналістських текстів. Нині цей формат візуального контенту виступає і як самостійним повноцінним матеріалом чи навіть форматом окремого онлайн-видання. Популярним онлайн-ресурсом, що пропонує інтерактивні карти з життєво важливою для суспільства інформацією – щодо повітряних тривог, місцезнаходження укриттів, пунктів та маршрутів евакуації тощо. Зокрема інтерактивна «Мапа тривог України» оновлюється через кілька секунд та інформує аудиторію щодо рівня наявних повітряних загроз і небезпеки артилерійських обстрілів за регіонами і в різних кольорах щодо рівня загроз, а також їх тривалості, днів тижня та годин доби. Споживачам інформації надається й інфографіка зі статистикою, відображеною у діаграмах, таблицях з ілюстраціями чи відео щодо видів знищеної техніки та ін. Окремо варто відзначити інтерактивні карти, створені для фіксації воєнних злочинів та руйнувань [11].

Раніше текстові новини та статті переважали, а відео було доповненням до основного матеріалу. Сьогодні відео стало основним форматом контенту, особливо для новинних агентств та медіа, таких як BBC, CNN, Reuters або місцевих каналів. Як наслідок цієї трансформації, в медіа спільноті відбувається активне обговорення етичних питань щодо використання чутливих фото та відео. Йдеться насамперед про правдивість зображень, про використання стокових фото, а також про те, як краще і правильно подавати чутливий контент [12; 13]. Поширенню коротких відео посприяла поява смартфонів, а з поширенням соціальних мереж інформація стала доступною для перегляду в будь-який час, з контентом адаптованим під інтереси кожного користувача через алгоритми соціальних мереж та використання інтерактивних елементів.

Важливим явищем створенні візуального контенту стало поєднання кількох візуальних елементів, як от фото, діаграми і відомої цитати політика чи громадського діяча при створенні колажу. Інструментами для демонстрації картографічних матеріалів стало їх поєднання з відео, ця трансформація візуального контенту надала можливість ілюструвати наступ військ, зміни лінії фронту та гуманітарні ситуації. «Суспільне. Новини» такий новий формат активно використовує під час трансляцій важливих подій в реальному часі, надаючи користувачам можливість відслідковувати події безпосередньо з місця

події. У медіа «Радіо Свобода» створено спеціалізовані «Схеми» та фотогалереї, які висвітлюють важливі події і моменти війни та аспекти політичних процесів: 360-градусні фото, колажі, фотошопні обкладинки до відео. У медіа відбулася трансформація у подачі фото контенту: найбільш популярними під час війни стали фотопортрети на чорно-білому тлі, створюючи асоціації з подіями Другої світової війни. Чутливий фотоконтент став популярним трендом серед фотожурналістів. Видання «Українська Правда», проваджуючи зміни у візуальному контенті, більший акцент робить на використанні інфографіки - схематичні матеріали, діаграми і карти, що дозволяє переконливо подати події на фронті, а саме скрайбінг [14].

Особливо помітним явищем останнім часом у медіапродуктах стало збільшення використання інфографіки та картографії у візуальній подачі. «Суспільне. Новини», «Українська правда», «Радіо Свобода», «АрміяІформ» у поданні інформації набули більш агресивного візуального стилю, бо акцентують увагу на контраст та темних кольорах з метою підсилення емоційного драматизму подій, часто використовують високий вплив на аудиторію через ілюстрацію стану на фронті, допомагаючи зрозуміти щоденну військову роботу та побут. Ці українські медіа також відзначилися інтенсивним використанням мультимедійних форматів, зокрема інтерактивних карт і графіків, які надають дані про хід бойових дій, вплив війни на життя.

Найбільш помітні зміни торкнулися під час російсько-української війни не тільки візуального контенту, але й його стилістики. Це стосується і добору тем, акцентуванні на геополітичних зазіханнях та певному зменшенні й нейтралізації критики агресора. Таку тенденцію пояснюють як культурними, так і політичними чинниками та із впливом бізнес-інтересів на редакційну політику.

Висновки. Отже, у час постмодерністської культури відбулися прискорено зміни у стилістиці контенту в медіа, що спричинило зрушення і у візуальній структурі масового сприйняття інформації. Популярними візуальними компонентами, що використовуються такими українськими медіа, як «Суспільне. Новини», «Українська правда», «Радіо Свобода», «АрміяІформ» стали: фотографії, стокові фото, колажі, відео, мультимедіа, ШІ і онлайн-трансляції та меми. Водночас візуальний контент є нині більш динамічним, трансформується завдяки поєднанню різних візуальних елементів у колажі, поєднуючи інтерактивні карти з інфографікою, зйомкою на 360 градусів тощо. Редакції у візуальному контенті використовують креативні підходи, граючись з кольоровим тлом, використовуючи передові інструменти для автоматизації відео і обробки даних, ШІ та інші платформи медіаіндустрії, що підсилює текстову інформацію, робить її більш доступною для розуміння сутності подій, підкреслює важливі деталі і залучаючи увагу суспільства до важливих аспектів інформації через емоційний вплив на аудиторію.

Список літератури

1. Черниш М. Проблемне поле трансформацій сучасної культури в нових цивілізаційних умовах. Культурологія Вісник НАКККіМ. 2014. № 4. С.42-45.
2. Програми великої трансформації: Освіта 4.0: український світанок. URL: https://nenc.gov.ua/wp-content/ uploads/2015/05/SVITANOK.pdf
3. У яких вибіркових дисциплінах зацікавлені студенти ННІЖ? URL : https://docs.google.com/forms/d/1anxKUwHhd1596ZT6g5HWgO2eLzGldkVPVCamFowLfps/edit. (дата звернення: 11.11.2023)
4. Ірдинєнко К. Постмодернізм у мистецтві: новітні технології. *Наукові записки. Серія "Філософія*". Острог: Видавництво Національного університету "Острозька академія". 2012. Вип. 11. С.67-73.
5. Різун В. Теорія масової комунікації: підр. К.:Просвіта, 2008. С.223-225.
6. Сім порад, як використовувати візуальний контент. URL https: // blog.uamaster.com/7-porad-yak-vikoristovuvati-vizualnij-kontent/
7. Шевченко В. Становлення наукової думки щодо мови візуальної комунікації. *Вісник Книжкової палати*. 2014. № 9. С. 6-9.
8. Тімченко О., Козій І., Пігош М. Трансформація культури у сучасному світі. *Філософсько-психологічні аспекти духовності у науковій, педагогічній та управлінській діяльності : зб. тез IX Міжнар. наук.-практ. конф*. (Львів, 29 вересня 2023 р.). Львів : ЛНУ ім. Івана Франка, 2023. С.156-159.
9. Горлач Д. Кліпове мислення як фактор впливу на організацію мережевих видань. *Український інформаційний простір: Науковий журнал факультету журналістики і міжнародних відносин Київського національного університету культури і мистецтв* / Гол. редактор М. С. Тимошик. Число 4. К.: КНУКіМ, 2016. С. 15-19.
10. Луцик Н. Особливості глянцевих видань міста Івано-Франківськ. *Інтернет-журналістика та новітні технології в сучасних медіа: зб. матеріал. Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції* /за ред. В. О. Гандзюка. Вінниця: ВДПУ імені М. Коцюбинського, 2024. с.31-34:
11. Загорулько Д. Інтерактивні карти як інноваційний інструмент висвітлення подій російського вторгнення в Україну. *Українська журналістика у світовому інформаційно-комунікаційному контексті: здобутки і перспективи: зб. наук. пр. за матеріалами Всеукраїнської науково-практичної конференції* / упоряд. Н. Желіховська та ін. Київ. 2023. С.301-305.
12. Тютюнник А. Технології візуалізації у світових дослідженнях. *Відкрите освітнє Е-середовище сучасного університету*. 2020. №9. С.161–168.
13. Jennemann A. How journalists can use new visual techniques to create viral stories. URL: https://ijnet.org/en/story/how-journalists-can-use-new-visual-techniques-create-viral-stories (дата звернення: 29.09.2024)
14. Кравченко Є., Лавник А. Візуальний контент: аспекти розвитку в сучасних медіа. *Міжнародна науково-практична конференція «Глобальні перспективи сталого розвитку: наука, технології та соціальний прогрес»: збірник тез доповідей міжнародної наук.-практ. конференції*. (м. Рівне, 30 листопада 2024 р): у 2 ч. Рівне: ЦФЕНД, 2024. Ч.2. С.*59-61*.

УДК 070:316.774: 641.5

С.С. Камалова, Є.Г. Кравченко, канд.філ.наук, доц.
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», Україна)

Телеграм-канал як журналістський інструмент популяризації культури харчування

У роботі розглядається використання телеграм-каналів як інструменту гастрономічної журналістики, спрямованої на популяризацію культури харчування. Описані переваги платформи, такі як інтерактивність, зручність, безпека, а також можливість створення контенту для різних аудиторій.

У наш час, коли більшість інформації ми отримуємо з соціальних мереж, телеграм стає важливою платформою не лише для спілкування, а й для журналістської діяльності. Журналістика має змінюватися разом із часом, і данна платформа дає для цього всі умови. Сьогодні, в мережі «Телеграм» можна створити свій канал, спілкуватися з підписниками, ділитися корисною інформацією – і все це без цензури та зайвих обмежень. Це доводить, що телеграм-канал – це не просто месенджер, а повноцінний медіаінструмент, який допомагає доносити важливі теми до широкої аудиторії.

Дослідниця Мар'яна Кіца зауважує, що «українців захоплюють соціальні мережі. В Інтернеті вони знаходять те, чого, на жаль, дедалі менше залишається в традиційних засобах інформації і спілкування, відсутність контролю влади, нав'язливого промивання мізків, можливість вільного обміну думками. Щодо соціальних мереж і можливостей їх використання в журналістській діяльності, то вони, очевидно, доволі гармонійно вписалися в процес пошуку, обробки і поширення інформації» [1, с. 108].

Засновник соціальної мережі «Телеграм» Павло Дуров повідомляє, що «зараз телеграм має понад 1 мільярд активних користувачів щомісяця, ставши другим за популярністю месенджером у світі. У середньому кожен користувач відкриває телеграм 21 раз на день і витрачає на додаток 41 хвилину щодня» [2].

Поки одні автори розглядають свої блоги як хобі, інші – розвивають телеграм-канали як повноцінні медіапроєкти з власною стратегією, редакційною політикою та сучасною роботою з аудиторією. Такий підхід перетворює звичайний канал на платформу для реалізації журналістських функцій: інформування, аналітики, просвітництва та комунікації.

Дослідниця Олена Васьківська наголошує, що «найбільше за все телеграм приваблює аудиторію своїм зручним інтерфейсом та безпековими заходами. Подвійне шифрування, що його пропонує телеграм, убезпечує діяльність журналіста та допомагає писати на гостросоціальні теми. У цієї соціальної мережі немає цензурування, тож журналіст зможе публікувати потрібний матеріал, який може бути заблокований на інших соціальних мережах через політику керівництва» [3, с. 40].

Окрім цього, телеграм приваблює інноваційним функціоналом завдяки високому рівню інтерактивності, що робить його важливим інструментом для сучасної журналістики. Можливість миттєвого зворотного зв'язку, опитування,

реакції на дописи та використання ботів для комунікації – усе це сприяє формуванню активної медіаспільноти навколо певної теми. Саме завдяки інтерактивності особливої популярності набувають новинні телеграм-канали та тематичні канали.

Дослідниці Ольга Гармантій та Соломія Кісіль зазначають, що «електронні ЗМІ вирізняються доступністю, високим ступенем інтерактивності, текст супроводжується більшими мультимедійними можливостями. А наявність візуального компонента та аудіосупроводу сприяє кращому розумінню мистецького явища. Однак сама інформація часто подається спрощено, журналісти все більше тяжіють до новинних матеріалів, де простіше знайти «сенсацію» [4, с. 20].

Так само науковиця Ірина Тонкіх акцентує на тому, що «телеграм як сервіс обміну миттєвими повідомленнями надає найкращі можливості для поширення новин, тому серед усіх публічних каналів наразі домінують новинні ресурси. Під час повномасштабного російського вторгнення стандарти й принципи новинної журналістики зазнали помітних трансформацій, що вплинуло й на функціонування телеграм-каналів» [5, с. 89].

Однак окрім новинних телеграмм-каналів, актуальним є використання телеграм-каналів, як журналістського інструменту, в нішевих тематиках – зокрема, у сфері здорового способу життя та гастрономічної журналістики. Дослідники Голик К. та Федоришина К. зауважують, що «гастрономічна журналістика в Україні почала активно розвиватися у 2000-х роках, коли популярність набули кулінарні шоу, а разом з ними і кулінарні блоги та журнали. З розвитком інтернету та соціальних мереж гастрономічна журналістика почала активно інтегруватися в онлайн-простір» [6, с. 151].

Популярність створення гастро-блогів у соціальній мережі «Телеграм» зумовлена в першу чергу можливістю створення власного публічного каналу, що відповідатиме конкретним інтересам та потребам аудиторії. За допомогою цих каналів журналісти мають можливість надавати своїм читачам повноцінну та зрозумілу інформацію. Наприклад, використовуючи наукові дослідження розповідати про збалансоване харчування, ділитися гастрономічними традиціями різних народів, інноваційними технологіями у сфері харчових звичок, а також історії та етикету.

Платформа «Телеграм» надає журналістам можливість спрямовувати матеріали на свою цільову аудиторію, враховуючи їхні інтереси. Таким чином, один канал може бути присвячений молодій аудиторії, пропонуючи їм сучасні та трендові рецепти, тоді як інший канал може бути спрямований на сімейну аудиторію, надаючи інформацію про збалансоване харчування для дітей. Завдяки цьому телеграм стає ефективним журналістським інструментом, без обмежень у виборі жанрів та форматів, для створення різноманітного контенту без кліше та умовних стандартів.

Науковиця Васьківська О.Є. наголошує, що «для комунікації з аудиторію у телеграмі застосовуються коментарі та лайки, що допомагають зрозуміти настрої користувачів та виявити зацікавленість тією чи іншою темою. Від 50 підписників, що підписані на канал, у журналіста з'являються можливості перегляду статистики. Окрім звичних демографічних даних про

підписників, можна дізнатись час найбільшої взаємодії підписників з матеріалом та надалі публікувати матеріали в певний час, що збільшить кількість переглядів тексту та сприяє його популяризації. Також можна переглянути статистику стосовно підписки та відписки користувачів, зростання аудиторії за певний період» [2, с. 41].

Дана платформа стає важливим інструментом для гастрономічної журналістики завдяки своїй здатності об'єднувати інформацію з інтерактивністю. У рамках телеграм-каналів можна не лише публікувати статті та інтерв'ю, а й розміщувати візуальний контент, що допомагає автору привернути увагу до важливих питань культури харчування.

Висновок

З розвитком технологій, інтернету та соціальних мереж, платформа «Телеграм» постає як новий інструмент для сучасної журналістики, зокрема, у сфері гастрономічної журналістики, що спрямована на популяризацію здорового способу життя та культури харчування.

Наявність інтерактиву, надає можливість таким каналам функціонувати як повноцінні медіапроєкти, взаємодіяти з аудиторією, оперативно реагувати на вподобання і коментарі читачів. Можливість зворотного зв'язку та опитувань відкриває нові перспективи для журналістів у створенні більш глибоких і інформативних публікацій. Спостерігаючи за активним розвитком соціальної мережі «Телеграм» можна припустити, що у руках журналістів, в майбутньому дана платформа розкриється як більш потужний інструмент масової інформації.

Список літератури

1. Кіца М. О. Роль соціальних мереж у сучасній журналістиці / М.О. Кіца // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Журналістські науки. – 2018. Вип. 896(2) – С.107-114.

2. Дуров П. Повідомлення про статистику Telegram. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://t.me/durov/404

3. Васьківська О. Сучасний стан та перспективи розвитку соціальної мережі як платформи для журналістської діяльності /О. Є. Васьківська // Сучасні міжнародні відносини: актуальні моменти теорії та практики – 2023: монографія. Під ред. Ю. Волошин, Н. Василишина. – Варшава: RS Global Sp. zO. O., 2023 – с. 34-42

4. Гармантій О., Кісіль С. Тема культури в українських змі: основні тенденції подання / О. Гармантій, С. Кісіль // Науковий вісник НЛТУ України. – 2019. – № 2. – С. 20-28.

5. Тонкіх І. Трансформація функцій новинних телеграм-каналів під час війни / І. Тонкіх // Науковий журнал "Communications and Communicative Technologies". – 2023.– № 23. С. 89-98

6. Голік К. Федоришина К. Гастрономічна журналістика як інструмент реалізації національної ідентичності / К. Голік, К. Федоришина // Образи сучасності в гуманітарному знанні : матеріали ІІІ Міжнар. наук.-практ. конф. / відп. ред. Д. С. Файвішенко. – Київ : Держ. торг.-екон. ун-т, 2024. – С. 151-154

УДК 697.12:692.5

М.О. Ярмольчик, др. філософії (PhD), К.С. Сидоренко,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Утеплення огороджувальних конструкцій та енергоефективність будівель

Запропоновано основні принципи та методи утеплення огороджувальних конструкцій будівель з метою підвищення їх енергоефективності. Визначено значення зовнішніх стін, покрівлі, перекриттів і вікон як основних елементів, через які відбуваються тепловтрати. Розглянуто вплив якісного утеплення на зниження споживання енергії та підвищення комфорту у приміщеннях

У сучасних умовах енергетичної кризи та зростання тарифів на опалення питання енергоефективності будівель набуло особливої актуальності. Одним із ключових напрямків підвищення енергоефективності є утеплення огороджувальних конструкцій, які включають зовнішні стіни, дах, підлогу та вікна. Якісна теплоізоляція дозволяє зменшити тепловтрати, знизити витрати на опалення та створити комфортні умови для проживання.

Значення енергоефективності в сучасному будівництві.

У сучасному світі, де ресурси стають дедалі дорожчими, питання енергоефективності будівель є надзвичайно актуальним. Більшість тепловтрат у житлових і громадських будівлях припадає на огороджувальні конструкції. Саме через стіни, покрівлю, вікна й двері може втрачатися до 60% теплової енергії. Тому ефективне утеплення цих елементів є пріоритетним завданням при новому будівництві й реконструкції існуючого житлового фонду.

1. Поняття огороджувальних конструкцій

Огороджувальні конструкції — це елементи будівлі, які відокремлюють внутрішнє середовище приміщення від зовнішнього. До них належать стіни, покрівля, перекриття, підлога та заповнення віконних і дверних прорізів. Ці конструкції відіграють важливу роль у забезпеченні термічного комфорту та захисту від зовнішніх впливів.

2. Значення утеплення огороджувальних конструкцій

Погано утеплені конструкції можуть призвести до втрати до 50% тепла. Утеплення стін і покрівлі зменшує тепловтрати, сприяє зниженню витрат на опалення, підвищує довговічність будівельних матеріалів і поліпшує мікроклімат приміщень. Енергоефективні будівлі мають менший вуглецевий слід і відповідають сучасним екологічним стандартам.



Рис 1. Основні зони тепловтрат у будівлі.

3. Матеріали для утеплення

До найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів належать:

- мінеральна вата;
- пінополістирол (екструзійний і спінений);
- пінополіуретан;
- ековата;
- скловата.

Кожен з них має свої переваги та недоліки, а вибір матеріалу залежить від типу конструкції, кліматичних умов та бюджету.

4. Методи утеплення

Існують три основні методи утеплення огороджувальних конструкцій:

- **зовнішнє утеплення** (найефективніше для стін);
- **внутрішнє утеплення** (використовується у випадках, коли зовнішнє неможливе);
- **утеплення в середині конструкції** (наприклад, при будівництві стін з тришаровою структурою).

5. Енергоефективність та нормативи

Енергоефективність будівлі визначається її здатністю зберігати тепло при мінімальних витратах енергії. В Україні діють норми ДБН В.2.6-31:2021, які регламентують теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій. Відповідність цим нормам — обов’язкова умова для новобудов та об'єктів, що проходять реконструкцію.

Висновок

Утеплення огороджувальних конструкцій — це не просто будівельна необхідність, а ключовий аспект сталого розвитку. Інвестуючи в

енергоефективність, ми зменшуємо витрати, покращуємо екологію та підвищуємо якість життя. Інвестиції у якісне утеплення швидко окупаються за рахунок економії на опаленні, підвищення комфорту і довговічності будівлі. У сучасному світі утеплення є не розкішшю, а необхідністю.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель». – Київ: Мінрегіон України, 2021.
2. Трегубова Т.М., Білик Р.І. Матеріали та конструкції для енергозберігаючого будівництва. – Львів: ЛНУ, 2020.
3. Дудюк Н.В., Лисенко М.В. Енергоефективність будівель та споруд. – Київ: НАУ, 2019.
4. Лопатюк Л.М. Енергозберігаючі технології в будівництві. – Вінниця: ВНТУ, 2021.

УДК 355.58:614.841:378.147

С.В. Петренко, А.М. Веремеєнко, О.Ю. Волик
(Кафедра військової підготовки
Національний авіаційний університет, Україна)

Удосконалення проведення практичних занять з первинними засобами пожежогасіння в Збройних Силах України

У статті розглядаються питання організації протипожежної підготовки особового складу військової частини А1215, зокрема, проведення навчань із використанням вогнегасників, що підлягають перезарядці. Пропонується ефективний алгоритм, який враховує економічну доцільність та належне технічне обслуговування засобів пожежогасіння відповідно до вимог Наказу МВС України №25 від 15.01.2018 року. Важливим аспектом є залучення підрозділів з найменшим рівнем протипожежної підготовки для забезпечення рівномірного розподілу знань і навичок серед особового складу. Реалізація цього підходу дозволяє підвищити рівень пожежної безпеки в частині, забезпечуючи готовність до оперативного реагування на пожежі та збереження матеріально-технічного забезпечення.

Протипожежна підготовка військовослужбовців є важливою частиною забезпечення їх безпеки, оскільки вона спрямована на формування знань і навичок, необхідних для ефективного реагування на надзвичайні ситуації, зокрема пожежі. Основною метою цього процесу є навчання правилам пожежної безпеки, використанню засобів пожежогасіння та правильному виконанню дій у разі виникнення пожежі.

Згідно з чинним законодавством, протипожежна підготовка проводиться відповідно до низки нормативно-правових актів [1], зокрема Порядку навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 26 червня 2013 року № 444 (зі змінами), Порядку затвердження програм навчання та інструктажів з питань пожежної безпеки, прийнятого наказом Міністерства внутрішніх справ України 05 грудня 2019 року № 1021, а також Положення про пожежну безпеку в системі Міністерства оборони України, що було затверджено наказом Міністерства оборони України від 29 вересня 2014 року № 685 (з оновленнями від 24 червня 2020 року).

Для забезпечення постійної готовності особового складу до швидкого і ефективного реагування на пожежу важливо регулярно проводити тренування. Одним із заходів для підтримки цієї готовності є організація навчань з практичним використанням вогнегасників перед їх відправкою на перезарядку. Такий підхід дозволяє не лише покращити навички військовослужбовців, але й забезпечити ефективну перевірку технічного стану засобів пожежогасіння.

Особливо важливим є дотримання строків перезарядки вогнегасників [2]. Згідно з вимогами ДСТУ 4297:2004 "Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги", вогнегасники повинні бути перезаряджені після їх використання або відповідно до результатів технічного огляду. Крім того, навіть якщо вогнегасники не

використовувалися, вони повинні проходити перезарядку в терміни, визначені в Табл. 1 «Терміни перезарядки вогнегасників».

Зазначено, що на перезарядку можна відправляти не більше половини вогнегасників одночасно, що знаходяться на об'єкті.

У військовій частині А1215 на даний момент є приблизно 318 вогнегасників різних типів. Для проведення навчань з особовим складом можна використовувати 159 вогнегасників, що дозволить підвищити рівень обізнаності військовослужбовців і закріпити навички правильного використання вогнегасників під час пожежі.

Табл. 1

Терміни перезарядки вогнегасників

Тип вогнегасника	Термін перезарядки
Водні та водопінні вогнегасники	щонайменше 1 раз на рік
Порошковий вогнегасник	щонайменше 1 раз на 2 роки (якщо виробник не встановив інші терміни)
Порошковий вогнегасник, що встановлювався в транспорті або піддається дії негативних кліматичних чи механічних факторів	щонайменше 1 раз на рік
Вуглекислотний вогнегасник	щонайменше 1 раз на 5 років

Такий підхід є економічно обґрунтованим і раціональним. Компанія, що здійснює обслуговування вогнегасників, навіть якщо вони не були використані і залишаються повними, все одно проводить їх перезарядку та вимагає оплату за виконану роботу. Тому доцільно використовувати вогнегасники, які підлягають перезарядці, для проведення навчальних занять з гасіння умовних пожеж.

Згідно з посадовими обов'язками, НСПБ (начальник служби пожежної безпеки) організовує навчання для особового складу і веде облік первинних засобів пожежогасіння, що дозволяє йому визначати час для проведення їх обслуговування.

Пропонується наступний алгоритм організації навчань. Перед відправкою вогнегасників на технічне обслуговування, НСПБ, отримавши дозвіл від командира військової частини, проводить тренування з особовим складом. При цьому кожен підрозділ має бути забезпечений необхідною кількістю вогнегасників для кожного військовослужбовця. Склад підрозділів для навчань визначає НСПБ, а затверджує командир частини. Рішення про залучення підрозділів ґрунтується на рівні їх пожежної підготовки, з пріоритетом для тих підрозділів, де цей рівень є найнижчим.

Згідно з Наказом Міністерства внутрішніх справ України №25 від 15.01.2018 року, передбачено встановлення вимог до належного технічного обслуговування вогнегасників, що включає їх перезарядку після використання

або за результатами технічного огляду [3]. Військова частина повинна дотримуватися норм і стандартів, визначених цим наказом, що забезпечує належний стан засобів пожежогасіння і їх ефективне використання.

Таким чином, організація навчань із використанням вогнегасників, що підлягають перезарядці, є ефективним управлінським рішенням, яке не тільки покращує навички особового складу у боротьбі з пожежами, але й дає змогу раціонально використовувати наявні ресурси та враховує економічні фактори. Пропонований алгоритм організації навчань також сприяє підвищенню загального рівня пожежної безпеки в частині.

Залучення підрозділів з найменшим рівнем протипожежної підготовки на першочергову участь у навчаннях забезпечує рівномірний розподіл знань і навичок серед усіх військовослужбовців, відповідаючи вимогам нормативно-правових актів у сфері пожежної безпеки. Регламентована підготовка перед здачею вогнегасників на обслуговування дозволяє підтримувати постійну готовність до реагування на пожежу, знижуючи ризики для життя і здоров'я військовослужбовців та зберігаючи матеріально-технічне забезпечення частини.

Застосування цього підходу є логічним і практично обґрунтованим, що дозволяє комплексно вирішувати завдання щодо зміцнення пожежної безпеки в системі Міністерства оборони України.

Висновки

Проведення навчань з використанням вогнегасників, що підлягають перезарядці, є важливим елементом підвищення рівня протипожежної підготовки особового складу військової частини. Такий підхід не лише сприяє закріпленню практичних навичок військовослужбовців у боротьбі з пожежами, але й дозволяє ефективно використовувати наявні ресурси, знижуючи витрати на закупівлю нових засобів пожежогасіння. Запропонований алгоритм організації навчань забезпечує економічну доцільність, оптимізуючи процеси перезарядки вогнегасників і їх використання в навчальних цілях. Водночас він враховує вимоги нормативно-правових актів, зокрема Наказу МВС України №25 від 15.01.2018 року, який регламентує технічне обслуговування та перезарядку вогнегасників, що підлягають періодичному огляду. Виконання зазначених процедур дозволяє підтримувати високий рівень пожежної безпеки, що є важливим аспектом для забезпечення безперебійної діяльності військової частини та збереження життя і здоров'я військовослужбовців. Таким чином, реалізація запропонованого підходу є не лише практично обґрунтованою, але й сприяє зниженню ризиків для особового складу, а також підвищує загальний рівень матеріально-технічної безпеки частини.

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України від 29.09.2014 №685 «Про затвердження Положення про пожежну безпеку в системі Міністерства оборони України», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 02.12.2014 за № 1537/26314, в редакії наказу № 224 від 24.06.2020.

2. Державний Стандарт України №4297:2004 «ПОЖЕЖНА ТЕХНІКА. ТЕХНІКА. ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВОГНЕГАСНИКІВ. Загальні технічні вимоги».

3. Наказ Міністерства внутрішніх справ України № 25 від 15.01.2018 «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

УДК 614.84:614.8.087.1

С.В. Петренко, М.О. Андрущенко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Альтернативні методи подачі вогнегасних речовин в небезпеченому середовищі

Стаття досліджує безпілотні й автоматизовані методи пожежогасіння. Розглянуто їх переваги у небезпечних умовах та приклади впровадження. Також проаналізовано бар'єри для широкого використання технологій.

У сучасних умовах, коли кількість надзвичайних ситуацій невпинно зростає, а пожежі все частіше виникають у зонах з підвищеним рівнем небезпеки — бойових дій, техногенних аварій, хімічного або радіаційного забруднення — актуальним є питання пошуку ефективних і безпечних методів гасіння. Одним із таких напрямів є впровадження альтернативних способів подачі вогнегасних речовин, які дозволяють проводити пожежогасіння на відстані, без безпосередньої присутності людини у зоні впливу небезпечних факторів.

Традиційні методи пожежогасіння передбачають фізичну участь пожежника у ліквідації займання, що у випадках вибухонебезпечних середовищ, обмеженого доступу, мінної небезпеки чи токсичного забруднення може бути фатальним. У таких ситуаціях кожна хвилина, протягом якої рятувальник змушений перебувати в зоні загрози, становить реальну небезпеку для його життя. Тому актуальність дистанційного або автоматизованого пожежогасіння є беззаперечною.

Сучасна техніка вже сьогодні пропонує широкий спектр інноваційних рішень. Одними з найбільш перспективних є роботизовані платформи, що можуть пересуватися по складному рельєфу та доставляти вогнегасні речовини без участі людини. Такі пристрої оснащуються камерами, тепловізорами, датчиками газу та дистанційно керованими лафетними стволами. Вони активно використовуються в країнах Європейського Союзу для гасіння пожеж у тунелях, на складах боєприпасів і промислових об'єктах з високим рівнем ризику. Ефективність таких платформ вже неодноразово підтверджувалася в умовах, коли традиційні підходи виявлялися надто ризикованими або технічно неможливими для реалізації.

Ще одним прикладом є використання безпілотних літальних апаратів — дронів, які можуть не лише виконувати розвідку пожежного середовища з повітря, а й доставляти невеликі об'єми води, піни або порошку у важкодоступні місця. Дрони є надзвичайно ефективними у гасінні пожеж на дахах, у лісовій місцевості, над ущелинами, або у випадках, коли шлях до осередку вогню перекрито завалами. Вони можуть координувати дії наземних підрозділів, транслюючи відео у реальному часі, та визначати межі розповсюдження полум'я за допомогою тепловізійних камер. Розвиток

штучного інтелекту дозволяє автоматизувати частину процесів управління дроном, що ще більше підвищує їхню ефективність і безпеку.

Варто також згадати про автоматизовані системи пожежогасіння, які встановлюються стаціонарно в місцях підвищеного ризику: енергетичних підстанціях, складах хімікатів, нафтобазах, дата-центрах. Вони здатні самостійно реагувати на зміну температури, появу диму чи газів і активувати подачу вогнегасних речовин — аерозолів, піни чи порошку. Це дозволяє локалізувати займання ще до прибуття пожежних підрозділів та значно знизити потенційні збитки. Системи такого типу довели свою ефективність у низці інцидентів, коли завдяки автоматичному реагуванню вдалося уникнути катастрофи.

Унікальне значення мають пневматичні та модульні установки, які використовуються в середовищах, небезпечних для життя навіть при короткочасному перебуванні. Йдеться про території з радіоактивним фоном, замінновані зони, або об'єкти, де є ризик вторинного вибуху. Такі системи можуть запускатися дистанційно з безпечної відстані та забезпечують миттєву подачу вогнегасного складу під високим тиском, що ефективно знижує температуру й загальмовує поширення вогню. Їх перевагою є також швидке розгортання та можливість багаторазового використання без втрати ефективності.

Застосування альтернативних методів подачі вогнегасних речовин дозволяє не лише мінімізувати людський фактор у небезпечному середовищі, а й значно підвищити оперативність реагування. Це особливо важливо в умовах, коли рахунок іде на хвилини, а затримка в ліквідації загоряння може призвести до катастрофічних наслідків — вибуху, руйнування інфраструктури або загибелі людей. У таких умовах альтернативні технології стають не розкішшю, а необхідністю.

У практиці українських рятувальників також з'являються перші приклади впровадження таких систем. Зокрема, підрозділи ДСНС у Херсонській та Харківській областях за підтримки міжнародних партнерів тестували дрони для гасіння локальних осередків вогню на замінованих територіях. Отримані результати підтвердили ефективність подібних технологій: вогонь було ліквідовано без ризику для особового складу. Ці напрацювання свідчать про високий потенціал подальшого розширення використання безпілотних технологій у сфері цивільного захисту.

Разом із тим, широке впровадження альтернативних методів подачі вогнегасних речовин вимагає вирішення ряду супутніх питань. Це, зокрема, забезпечення фінансування, створення відповідної нормативної бази, підготовка персоналу до роботи з новими технологіями, а також адаптація систем управління до умов реального середовища. Не менш важливою є технічна надійність обладнання — його здатність працювати за несприятливих погодних умов, в умовах втрати зв'язку чи електроживлення. Без системного підходу ці технології можуть залишитися епізодичними рішеннями, замість того, щоб стати основою сучасної тактики пожежогасіння.

Незважаючи на ці виклики, технологічний прогрес у сфері пожежної безпеки відкриває нові горизонти для захисту життя, збереження

інфраструктури та оперативного реагування на загрози. У майбутньому саме гнучке поєднання традиційних і інноваційних методів дозволить створити надійну систему протидії пожежам навіть у найбільш екстремальних умовах, забезпечуючи максимальну ефективність і безпеку дій пожежно-рятувальних служб.

Висновки

Застосування альтернативних методів подачі вогнегасних речовин є важливим етапом еволюції пожежно-рятувальних підрозділів в умовах зростання техногенних і воєнних загроз. Роботизовані платформи, безпілотники, автоматизовані системи пожежогасіння, а також пневматичні модулі демонструють високу ефективність у середовищах, де традиційні методи є небезпечними або непридатними. Українська практика вже довела доцільність впровадження таких технологій, однак подальший їх розвиток вимагає системної підтримки, модернізації нормативної бази та належного технічного забезпечення. У перспективі саме поєднання інноваційних підходів із класичними методами дозволить сформувати стійку систему реагування, здатну ефективно діяти в умовах будь-якої складності.

Список літератури

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Офіційний сайт — https://dsns.gov.ua
2. Національна стратегія цивільного захисту України на період до 2030 року. — К.: Кабінет Міністрів України, 2021.
3. Громика В.І., Слюсаренко О.М. Інноваційні технології в системі цивільного захисту: навчальний посібник. — К.: НАДУ, 2020.
4. European Fire Safety Alliance. Remote Firefighting Systems Report. — EU FireTech, 2022.
5. International Association of Fire and Rescue Services. Robotics and AI in Firefighting. — Geneva: CTIF, 2021.
6. Firefighting with Drones: Modern Practice and Applications. — Fire Engineering Journal, Vol. 37, No. 2, 2022.

УДК 614.841:355.48

С.В. Петренко, М.О. Андрущенко
(Кафедра військової підготовки
Національний авіаційний університет, Україна)

Тактика ПРП під час лісової пожежі в зоні бойових дій при обмежених ресурсах та загрозі обстрілу

У роботі проаналізовано дії пожежно-рятувальних підрозділів під час лісових пожеж у зоні бойових дій. Розглянуто ризики, взаємодію з військовими, використання дронів і адаптацію методів гасіння. Запропоновано заходи для підвищення безпеки.

У сучасних умовах війни на території України цивільна інфраструктура й екологія дедалі частіше зазнають подвійного удару — від ворожих обстрілів та природних катастроф. Одним із найбільш небезпечних природних явищ у зоні бойових дій є лісові пожежі. На перший погляд, це звичайна стихія, з якою пожежно-рятувальні підрозділи мають чітко відпрацьовані алгоритми дій. Проте в умовах війни звична тактика часто стає непридатною або небезпечною для реалізації. Це вимагає нових підходів до тактики ПРП з урахуванням факторів військової загрози, обмеженого постачання, небезпеки обстрілів, мінування місцевості та втрати комунікацій.

Основним завданням на початковому етапі ліквідації пожежі є розвідка — з'ясування точного місця займання, оцінка масштабів поширення вогню та визначення загроз для населення і військових об'єктів. У мирний час це здійснюється через наземне патрулювання або з повітря. В зоні бойових дій ефективною альтернативою стає використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), які здатні безпечно й оперативно надати зображення в реальному часі. Дрони дозволяють не тільки ідентифікувати фронт пожежі, а й виявляти додаткові ризики — наявність техніки противника, нерозірваних боєприпасів, мінних полів, забруднення території тощо.

Особливістю гасіння пожеж у бойовій зоні є необхідність дій у постійній готовності до раптового загострення ситуації. Будь-яка спроба гасіння може бути перервана артилерійським чи авіаційним ударом, що ставить під загрозу життя особового складу. Саме тому ПРП повинні діяти не лише з вогневою та технічною обережністю, а й з чітким планом евакуації, наявністю укриттів і запасних маршрутів. Замість повноцінного знищення пожежі першочерговим завданням часто стає її ізоляція — стримування поширення на інфраструктурні або стратегічні об'єкти.

За умов обмеженого доступу до води та пального тактика ПРП змінюється. Замість використання водяних стволів великої потужності частіше застосовуються методи створення мінералізованих смуг — вручну або за допомогою інженерної техніки. При цьому сама техніка часто є непристосованою до роботи в умовах обстрілів, тому її використання вимагає додаткового прикриття або маскування. У складних випадках застосовується

тактика контрольованого вигоряння — підпалювання протипожежної смуги, щоб зупинити основний фронт пожежі.

Пожежно-рятувальні підрозділи повинні бути готові до ізольованої роботи без зовнішньої підтримки, адже ситуація на фронті може перешкодити підвезенню пального, води або додаткових сил. Це передбачає попереднє планування автономного функціонування протягом щонайменше 12–24 годин. Підрозділи комплектуються мінімальними наборами медикаментів, резервними засобами зв'язку (у тому числі супутникового), аварійними джерелами енергії та GPS-навігацією. У разі втрати зв'язку з основним штабом командири груп повинні мати повноваження ухвалювати тактичні рішення на місці, що потребує підготовки керівного складу до самостійного управління.

Значне значення в таких умовах набуває тісна координація з військовими формуваннями. ЗСУ, Національна гвардія, територіальна оборона — всі ці структури можуть надавати критично важливу допомогу: супровід, евакуацію, логістику, інженерне забезпечення. Однак співпраця можлива лише за наявності чіткої ієрархії командування та налагодженого каналу зв'язку між цивільними рятувальниками та військовими командирами. У деяких випадках ПРП можуть бути включені до складу спільної тактичної групи, де завдання кожного підрозділу узгоджуються централізовано.

Висока небезпека отримання травм або поранень вимагає створення медичних пунктів не лише в базовому таборі, а й ближче до зони дій. Так звані "точки стабілізації" повинні бути обладнані засобами першої допомоги, носилками, медикаментами та мати можливість екстреної евакуації поранених (автомобілем або БПЛА при необхідності). Медичні працівники, які входять до складу ПРП або надаються ЗСУ, повинні володіти знаннями з тактичної медицини.

Також у таких умовах постає питання психологічного стану рятувальників. Стрес від бойової ситуації, тривале фізичне навантаження, страх перед обстрілами, відповідальність за життя колег — усе це призводить до психологічного вигорання. Підвищення стійкості до стресу можливе лише через попередню підготовку, регулярні інструктажі, роботу з психологами та створення безпечного середовища всередині підрозділу. Варто також впроваджувати систему ротації, коли особовий склад змінюється з певною періодичністю, щоби запобігти втомі та зниженню бойового духу.

Не менш важливою є інформаційна складова. У випадках, коли пожежа має значні масштаби або загрожує цивільному населенню, комунікація з місцевими органами влади, волонтерами та громадянами набуває стратегічного значення. ПРП повинні інформувати населення про плани евакуації, зони підвищеної небезпеки, надавати рекомендації щодо поведінки в разі наближення вогню. Інформаційна відкритість та вчасне сповіщення знижують паніку, підвищують рівень довіри до служб і загалом покращують ефективність реагування.

Тактика ПРП у зоні бойових дій — це не лише набір прийомів боротьби з вогнем, а й комплексна система дій у межах обмежених ресурсів, небезпечного середовища та постійного ризику для життя. Це стратегія адаптації, гнучкості, взаємодії та рішучості. Станом на сьогодні Україна створює унікальний досвід

реагування на пожежі в умовах війни, який у майбутньому може бути інтегрований до міжнародних стандартів дій у зонах збройних конфліктів.

Висновки

Тактика пожежно-рятувальних підрозділів у зоні бойових дій під час лісових пожеж вимагає принципово нового підходу, заснованого на поєднанні класичних методів гасіння з адаптацією до умов війни. Постійна загроза обстрілів, мінування, нестача ресурсів і складна логістика вимагають максимальної автономності, гнучкості в діях та тісної координації з військовими підрозділами. Застосування дронів, створення мобільних груп, використання тактики ізоляції вогню, забезпечення медичної та психологічної підтримки особового складу — усе це стає критично важливим для збереження життів та ефективного реагування. Український досвід боротьби з лісовими пожежами в умовах збройного конфлікту формує унікальну практику, що має значення не лише для національної безпеки, а й для міжнародної системи цивільного захисту в екстремальних умовах.

Список літератури

1. Наказ МВС України № 694 (2022) «Про організацію заходів щодо гасіння пожеж у надзвичайних умовах».
2. ДСТУ 8824:2019 «Тактика пожежогасіння. Терміни та визначення понять».
3. ДСНС України (2023). Методичні рекомендації щодо дій пожежно-рятувальних підрозділів у зоні бойових дій.
4. Ковальчук О. І. «Лісові пожежі в умовах війни: аналіз ризиків і заходів реагування» // *Безпека і цивільний захист*, №2, 2023.
5. NATO Civil Emergency Planning Guidelines (2022). Forest Fire Response in Armed Conflict Zones.
6. Міністерство оборони України (2023). «Спільні дії ЗСУ та ДСНС в умовах надзвичайних ситуацій воєнного часу».
7. Інститут громадянського захисту (2023). Аналітичний звіт: Взаємодія рятувальних служб з військовими формуваннями в умовах бойових дій.

УДК 355.426:355.48

Н.Р. Басалига, В.А. Кабаненко,
Є.Г. Чугуй, доцент
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційого університету, Україна)

Застосування снайперів

Запропоновано аналіз методів та технологій застосування снайперів, що забезпечують підвищення ефективності вогневого ураження противника у загальновійськовому бою. Розглянуто порядок та способи бойового застосування снайперів в загальновійськовому бою, їх роль і завдання в обороні та наступі, під час підготовки і виконання завдань ліквідації ключових цілей, ведення розвідки та спостереження, антиснайперської боротьби та створення психологічного тиску на противника.

Снайпери – елітні воїни, що відіграють вирішальну роль у сучасних військових операціях. Їхня точність, маскування та здатність до розвідки роблять їх незамінними для:

- ліквідації ключових цілей;
- розвідки та спостереження;
- підтримки піхоти;
- контрснайперської боротьби.

У сучасному світі, де конфлікти часто відбуваються в міських умовах, роль снайперів стає ще важливішою. Їхні навички постійно вдосконалюються, щоб відповідати мінливим вимогам поля бою.

У процесі дослідження використано комплексний підхід до вивчення ролі та застосування снайперів у Збройних Силах України та інших арміях світу.

Основою аналізу слугували відкриті джерела, включаючи:

- офіційні публікації Міністерства оборони України;
- методичні матеріали снайперських шкіл ЗСУ та країн-членів НАТО;
- досвід ведення бойових дій у російсько-українській війні (2014–2024 рр.);
- аналітичні звіти міжнародних військових організацій;
- військова література, підручники з тактики і спеціальної підготовки;
- відео- та фотофіксація бойової роботи снайперів;
- інтерв'ю з учасниками бойових дій, військовими інструкторами та ветеранами.

Методологічною основою дослідження стало:

- порівняльний аналіз — для вивчення відмінностей у застосуванні снайперів у різних збройних силах;

- описовий метод — для систематизації інформації про завдання, засоби та тактику снайперів;
- історичний метод — для простеження еволюції ролі снайпера на полі бою;
- узагальнення емпіричних даних — для формування висновків щодо ефективності снайперських дій;
- візуальний аналіз — вивчення відеоматеріалів із зони бойових дій для фіксації прийомів, методів маскування, вибору позицій тощо.

Застосування зазначених методів дало змогу комплексно оцінити ефективність дій снайперів у сучасній війні, визначити їхню тактичну роль та напрями подальшого розвитку.

За результатами досліджень визначені завдання в обороні та наступі, під час підготовки і виконання ліквідації ключових цілей, ведення розвідки та спостереження, антиснайперської боротьби та створення психологічного тиску на противника.

Ліквідація ключових цілей:

- Нейтралізація ворожих командирів, зв'язківців та інших важливих осіб, що призводить до дезорганізації противника та зниження його бойового потенціалу.
- Зниження морального духу ворожих військ.

Розвідка та спостереження:

- Збір цінної розвідувальної інформації про пересування та позиції противника.
- Виявлення прихованих загроз та небезпек.
- Забезпечення командування актуальною інформацією для прийняття стратегічних рішень.

Підтримка піхоти:

- Придушення ворожого вогню та усунення загроз, що дозволяє піхоті ефективно виконувати завдання.
- Захист піхоти від ворожих снайперів.

Антиснайперська боротьба:

- Виявлення та нейтралізація ворожих снайперів, що захищає власні війська від втрат.
- Забезпечення безпеки власних позицій.

Створення психологічного тиску:

- Снайпер, здатний вразити ціль на великій відстані, створює відчуття постійної небезпеки у ворожих військ.

Висновок

Застосування снайперів у сучасних військових операціях є критично важливим. Їхня здатність до точної стрільби, маскування та розвідки робить їх незамінними для виконання різноманітних завдань, від ліквідації ключових цілей до підтримки піхоти та контрснайперської боротьби.

Ефективне використання снайперів забезпечує:

Тактичну перевагу: Нейтралізація важливих цілей та збір розвідувальної інформації дозволяють командуванню приймати обґрунтовані рішення.

Зниження втрат: Підтримка піхоти та контрснайперська боротьба захищають власні війська від ворожого вогню.

Психологічний вплив: Створення відчуття постійної небезпеки деморалізує противника.

У міських умовах та в умовах обмеженої видимості роль снайперів стає ще більш важливою. Їхні навички та вміння постійно вдосконалюються, щоб відповідати мінливим вимогам сучасного поля бою. Тому у подальшому плануємо продовжувати дослідження питанння бойового застосування снайперів у різних умовах бойової обстановки.

Список літератури

1. Міністерство оборони України. (2023). *Настанова зі снайперської підготовки ЗСУ*. Київ: МОУ.

2. NATO Standardization Office. (2017). *ATP 3.6.2.3 – NATO Sniper Operations*. Brussels: NATO Publishing.

3. Романенко, І. В. (2021). *Снайперська справа: сучасні підходи до підготовки та застосування в бойових умовах*. Харків: Військова академія.

4. Фролов, Д. С. (2020). *Тактика дій снайперських пар у зоні бойових дій*. Військово-науковий вісник, № 12, с. 45–52.

5. U.S. Army. (2016). *Sniper Training FM 3-22.10*. Department of the Army Field Manual.

УДК 614.84:504.4:623.4

М.О. Ярмольчик, др. філософії (PhD), К.І. Кльок, В.В. Басанський
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Створення мобільних запасів вогнегасних засобів для підвищення ефективності пожежогасіння в умовах воєнного часу

Запропоновано: мобільні запаси вогнегасних засобів, пожежогасіння в умовах війни, резервні джерела водопостачання, мобільні насосні станції, розподілені сховища, живучість інфраструктури, світовий досвід пожежної безпеки, швидке реагування на пожежі.

У сучасних умовах, коли критична інфраструктура (пожежні водойми, резервуари, насосні станції) часто стає ціллю для ворожих атак, традиційні системи пожежогасіння виявляються вразливими.

Руйнування цих об'єктів призводить до:

Відсутності води для гасіння пожеж.

Неможливості використання стаціонарних систем пожежогасіння.

Ризику катастрофічного поширення вогню.

Стратегія вирішення.

Для запобігання цим проблемам пропонується створити систему мобільних резервів вогнегасних засобів:

1. Мобільні запаси води та піноутворювача(рис.1)



Рис.1 – Мобільні запаси води та піноутворювачи

Автоцистерни з ємністю 10-20 м³.
Пересувні резервуари на причепах.
Модульні ємності швидкого розгортання.
2. Альтернативні джерела водопостачання
Мобільні насосні станції.(рис.2)



Рис.2 - Мобільна насосна станція ЮФП-Pumps

Системи забору води з відкритих водойм.
Переносні фільтраційні установки.
3. Розподілені запаси
Створення мережі малих сховищ(рис.3).



Рис.3 – Модульні резервуари для зберігання води

Використання підземних комунікацій.
Залучення комерційних об'єктів.

Світовий досвід.

Приклад 1: Ізраїльська система цивільної оборони.
Використання мобільних резервуарів на базі вантажівок.
Розподілені запаси води у міських сховищах.
Система швидкого поповнення запасів.

Приклад 2: Японський досвід після землетрусів
Мережа мобільних цистерн у сейсмічно небезпечних районах.
Використання портативних насосів.
Система взаємодопомоги між муніципалітетами.

Приклад 3: Досвід Німеччини
Стандартизовані модулі пожежного обладнання.
Мобільні командні центри.
Система логістики для швидкого поповнення запасів.

Практичні рекомендації.

1. Організаційні заходи:
Розробка регіональних схем резервування.
Створення мобільних загонів реагування.
Впровадження системи моніторингу запасів.

2. Технічні рішення:
Використання легких композитних матеріалів.
Застосування модульних конструкцій.
Автоматизація систем контролю.

3. Підготовка персоналу:
Тренування зі швидкого розгортання.
Навчання роботі в умовах дефіциту ресурсів.
Відпрацювання взаємодії з іншими службами.
Очікувані результати
Скорочення часу реагування на 30-40%.
Збільшення ефективності пожежогасіння.
Підвищення живучості системи в цілому.

Висновок

Впровадження системи мобільних резервів дозволить забезпечити стабільну роботу пожежних служб навіть у умовах руйнування інфраструктури. Цей підхід вже довів свою ефективність у багатьох країнах світу і може бути успішно адаптований до українських реалій**.**

Список літератури

1. Накази про організацію пожежної безпеки в умовах воєнного стану https://www.dsns.gov.ua
2. Стандарти з пожежної безпеки для військових об'єктів https://www.nato.int
3. Звіт про використання мобільних резервуарів під час конфліктів (2021) https://www.102.gov.il
4. Аналіз ефективності розподілених запасів води https://en-environment.tau.ac.il
5. Рекомендації щодо мобільних систем пожежогасіння після Фукусіми (2012) https://www.bousai.go.jp
6. Вимоги до мобільних пожежних резервів [igov.ua](https://loda.gov.ua)

УДК 351.74:355.45

С.В. Петренко, М.А. Басараб
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Взаємодії між ПРП та силами оборони: запорука безпеки в прифронтових регіонах

Взаємодія між пожежно рятувальними підрозділами (ПРП) та силами оборони є ключовою для забезпечення безпеки в прифронтових регіонах. Скоординовані зусилля дозволяють ефективно використовувати ресурси для відновлення інфраструктури та підтримки стабільності. Це зміцнює обороноздатність і зменшує ризики для цивільного населення.

В умовах збройної агресії проти України забезпечення безпеки в прифронтових регіонах набуває першочергового значення. Прифронтові території є зоною постійної загрози диверсій, обстрілів, інформаційних атак та підривної діяльності, що потребує комплексного підходу до організації безпеки. В цьому контексті винятково важливою є злагоджена взаємодія між правоохоронними структурами (поліція, СБУ, Національна гвардія) та силами оборони (ЗСУ, територіальна оборона).

Правоохоронні органи відіграють критично важливу роль у підтриманні громадського порядку, боротьбі зі злочинністю, виявленні та нейтралізації диверсантів, забезпеченні безпеки на вулицях, під час евакуації населення та у сфері захисту критичної інфраструктури. Наприклад, Національна поліція України організовує патрулювання, контролює дотримання комендантської години, забезпечує правопорядок у громадах. Служба безпеки України концентрує свої зусилля на контррозвідці, виявленні ворожих агентів, запобіганні терактам і кібератакам. Національна гвардія, в свою чергу, має подвійне призначення – як у сфері громадської безпеки, так і в бойових завданнях на фронті.

Сили оборони — це передусім Збройні Сили України та територіальна оборона. Вони ведуть бойові дії, утримують рубежі оборони, проводять військові операції з відбиття нападів противника. Територіальна оборона, яка часто складається з місцевого населення, має глибоке розуміння особливостей регіону, що дозволяє їй ефективно протидіяти загрозам у тилу, охороняти об’єкти інфраструктури, підтримувати стабільність.

Ефективна взаємодія між ПРП і ЗСУ базується на кількох принципах. По-перше, це **спільне планування операцій**: регулярні координаційні наради, створення оперативних штабів, участь обох сторін у підготовці стратегій реагування. По-друге, **оперативний обмін інформацією**: зведення про пересування підозрілих осіб, загрози з боку ДРГ, стан на блокпостах, дані розвідки. По-третє, **спільне патрулювання**: змішані наряди з військових та поліцейських забезпечують порядок і безпеку, особливо у зонах з підвищеним ризиком. Четверте — **проведення спільних навчань**, які дозволяють сторонам краще розуміти алгоритми дій один одного та підвищують координацію у

критичних ситуаціях. П’яте — **спільна участь в евакуації**: цивільного населення, гуманітарних місіях, підтримці внутрішньо переміщених осіб.

Окрему увагу варто приділити реальним прикладам такої співпраці. Зокрема, поліція створила мобільні групи «Білі янголи», які в координації з військовими здійснюють евакуацію людей із зон бойових дій. ДСНС організувала мобільні підрозділи «Фенікс», які спільно із ЗСУ займаються ліквідацією наслідків обстрілів, розмінуванням, порятунком населення. У багатьох прифронтових містах створено спільні центри управління, де щодня відбувається обмін інформацією та ухвалення рішень.

Попри позитивні результати, є й виклики. Найчастіше це — відсутність єдиної нормативно-правової бази, що призводить до розмежування повноважень і функцій; різний рівень технічного забезпечення; відсутність чітких протоколів взаємодії в умовах надзвичайних ситуацій. Також потребують вдосконалення механізми обміну інформацією та захисту персональних даних.

У підсумку можна зазначити, що взаємодія між правоохоронними структурами та силами оборони є не просто бажаною — вона є життєво необхідною. Без неї неможливо ефективно боронити державу на внутрішньому фронті, забезпечувати правопорядок, підтримувати довіру населення до влади. Необхідно продовжувати роботу над розробкою спільних стандартів, запровадженням міжвідомчих навчань, удосконаленням правової бази. Тільки така синергія гарантує стабільність і безпеку в регіонах, які безпосередньо межують із зоною бойових дій.

Висновки

Взаємодія між правоохоронними органами та силами оборони є ключовим елементом забезпечення безпеки в прифронтових регіонах України, які постійно знаходяться під загрозою з боку ворожих сил. Злагоджена робота поліції, СБУ, Національної гвардії та Збройних Сил України дозволяє ефективно протидіяти диверсіям, терористичним загрозам, а також забезпечувати охорону громадського порядку і захист критичної інфраструктури. Комплексний підхід, що включає спільне планування, обмін інформацією та проведення спільних навчань, сприяє підвищенню ефективності взаємодії.

Практичні приклади співпраці, такі як мобільні групи «Білі янголи» та «Фенікс», а також спільні центри управління, демонструють реальні досягнення в організації безпеки на місцях. Ці ініціативи допомагають не лише у боротьбі з ворожими силами, але й у гуманітарних місіях, таких як евакуація цивільного населення та ліквідація наслідків обстрілів. Спільна робота правоохоронців і військових дозволяє значно знизити рівень небезпеки для цивільних осіб у зонах, що перебувають під прямою загрозою.

Проте існують й численні виклики, серед яких відсутність єдиної нормативно-правової бази, розмежування повноважень між різними структурами та різний рівень технічного забезпечення. Це призводить до певних труднощів у координації дій, що можуть виникати у разі надзвичайних ситуацій. Крім того, необхідно удосконалити механізми обміну інформацією,

особливо в умовах високої небезпеки, для забезпечення оперативності та ефективності дій.

У підсумку, успішна взаємодія між правоохоронними органами та силами оборони є не лише стратегічною необхідністю, але й важливою умовою для підтримки стабільності та безпеки в прифронтових регіонах України. Тільки через постійну синергію між державними структурами можна забезпечити надійний захист населення та ефективно протидіяти зовнішнім і внутрішнім загрозам.

Список літератури

1. Куліш, Ю. В. (2019). Безпека прифронтових територій України: виклики та рішення. Київ: Національна академія оборони України.
2. Левченко, С. М. (2020). Правоохоронні органи в умовах збройної агресії: організаційно-правові аспекти. Харків: Юридична думка.
3. Мельниченко, В. О. (2021). Взаємодія поліції та Збройних Сил України в умовах збройного конфлікту. Київ: Академія Міністерства внутрішніх справ України.
4. Петров, О. В. (2018). Інформаційна безпека в умовах війни: теоретичні та практичні аспекти. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
5. Рибалка, А. В. (2022). Територіальна оборона України: сучасні проблеми та перспективи розвитку. Київ: Видавництво "Юридична книга".
6. Коваль, А. І. (2017). Координація діяльності правоохоронних органів і сил оборони під час кризових ситуацій. Одеса: Одеська юридична академія.
7. Шевченко, Л. О. (2020). Правові та організаційні аспекти забезпечення безпеки на прифронтових територіях України. Київ: Видавництво «Юридична практика».
8. Верховна Рада України. (2016). Закон України "Про Національну поліцію". Київ: Верховна Рада України.

УДК 351.78:355.45:352

С.В. Петренко, М.А. Басараб
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Взаємодія з ДСНС, громадами та силами оборони — запорука безпеки в бою

Взаємодія з ДСНС, громадами та силами оборони забезпечує ефективну координацію дій у кризових ситуаціях. Спільні зусилля сприяють швидкому реагуванню та мінімізації загроз. Підтримка громади зміцнює тил. ДСНС виконує критичні завдання з порятунку. Скоординованість — ключ до безпеки в бою.

В умовах сучасної війни важливою є не лише боротьба на передовій, але й забезпечення стійкості тилу, забезпечення нормального функціонування цивільного життя та захисту мирних мешканців від загроз. Війна — це комплексний процес, що охоплює не лише військові операції, а й боротьбу з надзвичайними ситуаціями, евакуацію постраждалих, охорону інфраструктури та підтримку морального духу нації. У такій складній ситуації вкрай важливою є координація і взаємодія між різними структурами безпеки та підтримки, зокрема між Державною службою України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), силами оборони та місцевими громадами. Злагоджена співпраця цих сил є основою ефективного реагування на будь-які загрози, що виникають під час бойових дій або внаслідок терористичних актів, природних катастроф чи техногенних аварій. Кожен з цих елементів виконує свою унікальну роль, але їх синергія створює потужну систему безпеки, здатну вберегти життя, зберегти мир та стабільність навіть у найскладніших умовах.

Роль ДСНС у ситуації війни важко переоцінити. Військові дії зазвичай супроводжуються численними надзвичайними ситуаціями: обстрілами, авіаударами, руйнуванням інфраструктури, пожежами та іншими катастрофами. Саме рятувальники ДСНС, як професіонали у своїй галузі, виконують важливу роль у ліквідації наслідків цих подій. Після кожного удару вони першими прибувають на місце трагедії, аби врятувати людей з-під завалів, погасити пожежі, відновити доступ до необхідних ресурсів. Крім того, ДСНС займається важливими операціями з розмінування територій, що є критично важливим для забезпечення безпеки мирного населення та сил оборони. Без належного розмінування навіть перемога на фронті не матиме значення, оскільки загроза мін та снарядів залишатиметься для цивільних і військових. Державна служба надзвичайних ситуацій також проводить евакуацію мирних жителів із зон бойових дій, організовує укриття в спеціально облаштованих приміщеннях, забезпечує тимчасове житло для переселенців. Рятувальники надають медичну допомогу, проводять психологічну реабілітацію постраждалих і координують свої дії з іншими силовими структурами для надання комплексної допомоги на місцях.

Територіальні громади — це ще один важливий елемент у системі національної безпеки, що забезпечує тилову підтримку під час війни. Поряд із військовими та рятувальниками, саме громади займаються координацією ресурсів, допомогою постраждалим, розподілом гуманітарної допомоги та

підтримкою вцілілих. Громадяни на місцях є важливими партнерами для військових та рятувальників, оскільки вони часто першими виявляють загрози та надзвичайні ситуації, повідомляють про переміщення ворожих сил, спостерігають за диверсантами та активно допомагають у розбудові тилу. Місцеві органи влади мають безпосередній контакт з населенням, що дозволяє оперативно реагувати на запити, надавати допомогу постраждалим, організовувати укриття для людей і забезпечувати транспорт для евакуації. У багатьох випадках громади організовують волонтерські рухи, які допомагають постраждалим, а також надають важливі ресурси, такі як харчі, медикаменти, одяг і засоби гігієни для військових та цивільних осіб. Громадські організації активно залучають місцевих жителів до захисту своїх територій. Волонтери, які працюють на благо армії, забезпечують фронт необхідними ресурсами, допомагають із логістикою та підтримують моральний дух населення. Така активність є необхідною умовою для збереження стабільності на всіх рівнях, оскільки війна — це не лише битва на фронті, а й боротьба за підтримку та моральне здоров'я населення.

Не менш важлива роль у забезпеченні безпеки в бою належить безпосередньо збройним силам. Оборонці країни не тільки захищають державний кордон, а й відповідають за безпеку на всій території. Вони активно співпрацюють з іншими службами, зокрема з ДСНС, для швидкого реагування на надзвичайні ситуації, які можуть виникнути в результаті бойових дій. Сили оборони забезпечують охорону стратегічно важливих об'єктів, логістичні маршрути, комунікації та захищають критичну інфраструктуру, таку як енергетичні станції, водопостачання та медичні заклади. Вони також координують евакуацію мирних жителів із зон бойових дій, забезпечують безпечне транспортування гуманітарних вантажів і допомагають ліквідовувати наслідки атак. Особливо важливою є взаємодія сил оборони з громадами та ДСНС під час бойових дій, коли кожна хвилина може бути вирішальною. Військові повинні бути готовими до будь-яких викликів і співпрацювати з іншими структурами для досягнення спільної мети — збереження життя та забезпечення перемоги.

Взаємодія між військовими, рятувальниками та громадами — це не просто механізм, а справжня стратегія на виживання і перемогу. Кожен із цих елементів має свою незамінну роль і без кожного з них система безпеки країни не буде ефективною. Військові на передовій захищають території та цивільне населення, рятувальники ліквідують наслідки атак та допомагають в аварійних ситуаціях, а громади забезпечують тилову підтримку, надають ресурси та допомагають в організації життєдіяльності на місцях. Злагоджена і ефективна співпраця цих структур — це запорука безпеки в бою. Вона не тільки допомагає у боротьбі з агресором, а й дає країні надію на відновлення і перемогу. Тільки працюючи разом, кожен на своєму місці, ми зможемо забезпечити стабільність, зберегти життя і перемогти.

Висновки

У сучасних умовах повномасштабної війни безпека держави не може покладатися виключно на військові підрозділи. Надійна оборона формується лише тоді, коли є тісна взаємодія між усіма ланками національної безпеки — Збройними Силами, рятувальниками ДСНС та громадами. Кожна з цих структур

виконує свою унікальну функцію, але лише в єдності їхні дії набувають справжньої ефективності.

ДСНС відіграє ключову роль у забезпеченні цивільного захисту та ліквідації наслідків ворожих атак. Їхня робота дозволяє не лише врятувати життя, а й забезпечити продовження нормального функціонування прифронтових регіонів. Паралельно громади забезпечують надійний тил, допомагають з евакуацією, підтримують армію матеріально й морально, мобілізують волонтерські ресурси та сприяють збереженню громадського порядку.

Збройні Сили України координують дії з іншими структурами, беручи на себе функцію не тільки захисту, а й організації всього процесу взаємодії в умовах бойових дій. Саме ця синергія — коли кожна структура знає свої обов'язки, а між ними існує постійний обмін інформацією та підтримка — створює міцний щит, який витримує удари ворога.

Отже, перемога можлива лише тоді, коли військові, рятувальники та громадяни діють як єдине ціле. Взаємоповага, довіра та чітка координація — ось основа безпеки не лише на фронті, а й у тилу. Це та сила, яка об'єднує країну та наближає її до миру й Перемоги.

Список літератури

1. Закон України «Про основи національного спротиву» від 16.07.2021 № 1702-IX. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua

2. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Офіційний сайт – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://dsns.gov.ua

3. Національна гвардія України: структура, завдання, перспективи розвитку // Аналітичний центр "Український інститут майбутнього", 2022.

4. Громади в умовах війни: виклики та інструменти управління / За ред. О. В. Примаченко. – Київ: НІСД, 2023. – 78 с.

5. Система цивільного захисту України: виклики воєнного часу // Журнал «Надзвичайна ситуація», №4, 2022. – С. 12–17.

6. Стратегія національної безпеки України, затверджена Указом Президента України від 14.09.2020 №392/2020. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.president.gov.ua

7. Роль територіальних громад у забезпеченні стійкості держави: практичні кейси / ГО «Центр спільних дій». – Київ, 2022. – 48 с.

8. Взаємодія органів місцевого самоврядування та військових адміністрацій в умовах воєнного стану // Аналітична записка УАДО, 2023.

9. Стефанишин М. Психологічна стійкість громад і рятувальників під час війни // Соціально-гуманітарні студії, №2 (12), 2023. – С. 45–52.

УДК 614.84:614.8:355.7-057.15

С.В. Петренко, А.В. Бєланова
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Використання балістичного захисту пожежниками: необхідність та наслідки для здоров'я військовослужбовців

У статті розглядається необхідність використання балістичного захисту (бронежилетів і захисних шоломів) пожежниками під час бойових дій, з урахуванням підвищення рівня захищеності та потреби уникнення негативного впливу на здоров'я, зокрема перевантаження опорно-рухового апарату.

У сучасних реаліях, коли надзвичайні ситуації все частіше виникають не лише в умовах мирного життя, а й у зонах активних бойових дій, діяльність пожежно-рятувальних підрозділів набуває нового виміру. Пожежники виконують свої обов'язки під постійною загрозою артобстрілів, авіаударів, обвалів будівель, вибухів мін та інших факторів, характерних для зони воєнного конфлікту. У таких умовах першочергове значення має забезпечення їхнього надійного захисту від поранень та смертельних уражень. Одним із найважливіших елементів цього захисту є використання індивідуального балістичного спорядження — бронежилетів і захисних шоломів [1], [2].

Завдяки своїй конструкції, бронежилети здатні ефективно поглинати кінетичну енергію уламків, куль і навіть осколків гранат, мін та фугасів. Захисні шоломи, у свою чергу, захищають життєво важливі ділянки голови та шиї, що знижує ризик летальних поранень. Наявність такого спорядження дозволяє рятувальникам працювати в умовах підвищеної небезпеки, не зупиняючи рятувальних або протипожежних заходів навіть під вогнем [3]. Це особливо важливо при евакуації цивільного населення, гасінні пожеж унаслідок вибухів, ліквідації наслідків обстрілів та розчищенні завалів у прифронтових містах і селах.

У серпні 2022 року під час ліквідації пожежі після обстрілу в Харкові один із підрозділів ДСНС потрапив під повторний вогонь. Завдяки бронежилетам та шоломам вдалося уникнути жертв серед рятувальників, хоча кілька з них отримали незначні поранення від уламків. Командир підрозділу повідомляв, що без балістичного захисту втрати могли бути значно серйознішими. Подібні випадки не поодинокі — багато рятувальників працюють в умовах, де кожна секунда може коштувати життя, а броня стає буквально рятівною [джерело: інтерв'ю з ДСНС, «Суспільне»].

Однак, попри беззаперечну користь такого захисту, існують і суттєві труднощі, пов'язані з тривалим носінням балістичного спорядження. Одним із головних викликів є його маса — середній бронежилет 4 класу захисту може важити від 8 до 12 кг, а шолом — від 1,2 до 2 кг. Якщо врахувати також інше спорядження пожежника (дихальні апарати, термозахисний одяг, рукавиці, черевики), загальна вага екіпірування може перевищувати 25–30 кг [4]. Таке

навантаження суттєво перевищує фізіологічні можливості людського тіла, особливо в умовах інтенсивної фізичної активності.

Пожежник з Дніпропетровщини розповідав, що після 3-4 годин роботи в бронежилеті при високій температурі повітря, тіло настільки перегрівається, що виникає запаморочення, знижується концентрація, з'являється нудота. Він підкреслив, що найважче не сам фізичний тягар, а саме втрата координації та сил у критичний момент. Один з членів його бригади був змушений зупинити роботу та отримати медичну допомогу через теплове виснаження — а це сталося саме тому, що не було можливості зробити перерву вчасно.

Це створює високий ризик розвитку професійних захворювань опорно-рухового апарату: м'язово-скелетні розлади, протрузії міжхребцевих дисків, дегенеративні зміни у хребті та суглобах. Постійне носіння важкого спорядження спричиняє м'язову втому, зниження гнучкості та спритності, що у критичних умовах може мати фатальні наслідки [4], [5].

Крім того, значне фізичне навантаження у поєднанні з високою температурою середовища створює теплове навантаження на організм. Бронежилети та шоломи обмежують потовиділення та природну терморегуляцію, ускладнюючи відведення надлишкового тепла. Це призводить до перегріву, теплового стресу, втрати електролітів, зневоднення та навіть теплових ударів. В умовах бойових дій, де від швидкості реакції рятувальника часто залежить людське життя, подібні стани можуть бути надзвичайно небезпечними [6].

У зв'язку з цим, особливої ваги набуває питання модернізації балістичного спорядження. Сучасні дослідження зосереджені на зменшенні ваги бронеплит та шоломів без зниження їхнього захисного потенціалу. Виробники активно впроваджують новітні матеріали — зокрема, кевлар, арамідні волокна, композитні пластини, ультрависокомолекулярний поліетилен (UHMWPE), графенові нанокомпозити тощо [7], [8]. Ці матеріали дозволяють досягти високого рівня захисту при значно меншій вазі.

У 2023 році в межах міжнародної допомоги один із підрозділів ДСНС у Запоріжжі отримав оновлені бронежилети з покращеною вентиляцією та меншою вагою. За словами рятувальників, це дало змогу працювати в зоні обстрілу приблизно на 40% довше без симптомів перегріву або болю в спині. Особливо позитивно оцінювали систему швидкого скидання та м'які плечові лямки, що знижували тиск на ключиці.

Додатково розробляються і впроваджуються елементи систем активного або пасивного охолодження, вентиляційні вставки, мембранні тканини з виведенням вологи, а також ергономічні кріплення, що знижують тиск на окремі частини тіла. У перспективі важливо забезпечити індивідуальну підгонку спорядження під анатомічні особливості кожного працівника.

Не менш важливим напрямом є удосконалення організації праці пожежників. Раціональний розподіл навантажень, впровадження системної ротації між змінами та організація регулярних перерв — ключові заходи для запобігання перевтомі. Оптимально, щоб кожна група рятувальників мала змогу відпочивати в захищеному та обладнаному місці щогодини, залежно від інтенсивності фізичної роботи. У таких зонах мають бути доступні вода,

ізотонічні напої, охолоджувальні засоби, медичні пункти та можливість зняти спорядження [6].

Крім цього, особливе значення має якісна фізична підготовка рятувальників. Система тренувань має включати вправи, що імітують реальні бойові навантаження, носіння спорядження, роботу у задимленому чи обмеженому просторі. Розвиток витривалості, координації, сили та стресостійкості дозволяє краще адаптуватися до умов роботи у бойових ситуаціях [5].

Висновки

Таким чином, застосування балістичного захисту у діяльності пожежників, що працюють у зоні бойових дій, є критично важливим засобом підвищення рівня їхньої безпеки. Бронежилети та захисні шоломи суттєво знижують імовірність поранень або загибелі під час обстрілів, вибухів та інших надзвичайних ситуацій. Водночас тривале носіння такого спорядження пов’язане з низкою ризиків для здоров’я — перевантаженням опорно-рухового апарату, тепловим стресом, втомою та зниженням працездатності. Для мінімізації негативного впливу необхідно впроваджувати інноваційні матеріали, що знижують вагу та покращують вентиляцію, а також забезпечити ефективну організацію режиму праці, перерв, зону відпочинку та фізичну підготовку персоналу. Тільки поєднання технічного вдосконалення спорядження з організаційними та фізіологічними заходами дозволить досягти оптимального балансу між рівнем захисту та збереженням здоров’я і продуктивності рятувальників у бойових умовах.

Список літератури

1. Андрєєв, І. В. (2019). Основи балістичного захисту в умовах бойових дій. Київ: Видавництво "Наукова думка".
2. Бондаренко, М. П. (2020). Модернізація захисного спорядження пожежників: проблеми та перспективи. Вісник пожежної безпеки, 5(3), 45-49.
3. Камінський, О. І. (2018). Фізичні навантаження під час використання балістичного захисту в бойових умовах. Військова медицина, 34(2), 34-40.
4. Островський, В. А. (2021). Наслідки тривалого носіння балістичного захисту для здоров'я пожежників. Праці Інституту медицини праці, 12(1), 76-82.
5. Павленко, В. П. (2019). Захист та охорона здоров'я рятувальників у бойових умовах: теоретичні та практичні аспекти. Державний університет цивільного захисту України, Київ.
6. Сидоренко, Л. І., & Ковальчук, І. А. (2017). Перевантаження опорно-рухового апарату у військовослужбовців під час використання важкого спорядження. Журнал військової медицини, 30(4), 54-58.
7. Тарасова, Л. І. (2020). Інноваційні технології в захисному спорядженні для рятувальників: виклики та можливості. Вісник науки і техніки, 12(2), 92-97.
8. Шевченко, О. Г. (2018). Управління фізичними навантаженнями для збереження здоров’я рятувальників під час бойових операцій. Журнал охорони праці, 10(1), 12-16.

УДК 614.841.45:614.8.083.4

С.В. Петренко, А.В. Бєланова
(Кафедра військової підготовки
Національний авіаційний університет, Україна)

Додаткові організаційні заходи щодо раціонального розподілення сил і засобів на пожежі

Розглянуто додаткові організаційні заходи, спрямовані на раціональний розподіл сил і засобів під час пожеж. Зокрема, пропонується зниження фізичного навантаження на особовий склад за рахунок чергування функцій, що сприяє ефективнішій ліквідації надзвичайних ситуацій.

Організація гасіння пожежі вимагає чіткої координації, оптимального використання ресурсів і гнучкого підходу до розподілу обов'язків [1]. У надзвичайних ситуаціях, особливо коли спостерігається дефіцит особового складу або технічних засобів, виникає необхідність у впровадженні додаткових організаційних заходів. Їх основне завдання — забезпечення безперервного, ефективного та водночас безпечного виконання завдань кожним членом рятувального підрозділу [2].

Одним із ключових аспектів такого підходу є правильне управління фізичним навантаженням на працівників. Пожежі нерідко супроводжуються екстремальними умовами — високими температурами, задимленням, нестабільністю конструкцій [3]. Усе це створює величезне навантаження на організм рятувальника. У випадку нестачі особового складу така ситуація особливо небезпечна, оскільки працівники змушені виконувати складні завдання без належного відпочинку [4].

Доцільним рішенням у таких умовах є гнучкий функціональний розподіл завдань і ротація бойового складу. Наприклад, рятувальника, який протягом певного часу виконував важку фізичну роботу — розбирання завалів, евакуацію потерпілих чи підйом обладнання — доцільно на деякий час перевести на іншу ділянку роботи, що вимагає менших енергозатрат [3]. Це може бути підствольна позиція або контроль за подачею води. Така практика дозволяє знизити ризики фізичного виснаження, а також зберегти ефективність дій на тривалий період [5].

Важливо також передбачити організацію короткострокових перерв, навіть у найбільш напружених ситуаціях. Перепочинок упродовж 5–10 хвилин здатен суттєво підвищити увагу, координацію рухів та загальну ефективність виконання завдань [6]. Особливо актуально це в умовах, коли працювати доводиться у засобах індивідуального захисту або в задимлених приміщеннях [6].

Ще одним ключовим компонентом є попереднє планування та оцінка сил і засобів ще до початку робіт. Керівник гасіння повинен швидко оцінити наявний ресурс: кількість працівників, технічне оснащення, запас води, час до підходу резервів [2]. Це дозволяє визначити пріоритети, сформувати найбільш

оптимальну схему дій, уникнути дублювання функцій і максимально ефективно розподілити зусилля [1].

Крім того, важливо залучати до виконання завдань не лише основні сили, а й резерви. Добровольчі формування, медичні служби, поліція, аварійні бригади — усі вони можуть стати надійною підтримкою в моменти пікових навантажень [7]. Така взаємодія дозволяє зосередити зусилля професійних рятувальників на найнебезпечніших ділянках, у той час як допоміжні сили виконуватимуть другорядні, але також необхідні дії [8].

Не слід недооцінювати і важливість попередньої підготовки. Тренування в умовах, наближених до реальних, дозволяють не тільки відпрацювати злагодженість дій, але й формують у рятувальників навички адаптації до змін у тактичній обстановці [4]. Особлива увага має приділятися формуванню вміння швидко змінювати ролі в команді та підтримувати ефективність навіть у разі втрати ключових членів підрозділу [9].

Суттєвою підмогою у сучасних умовах є технічні засоби. Дрони з камерами, тепловізори, системи дистанційного моніторингу дозволяють здійснювати розвідку й контроль без зайвої присутності людей у небезпечних зонах [5]. Це не лише підвищує ефективність дій, але й значно знижує навантаження та ризики для особового складу [7].

Одним із ефективних підходів до управління ресурсами є також формування резервних груп швидкого реагування. Ці мобільні команди можуть бути введені в дію в критичний момент — для підсилення ділянок, де ситуація ускладнюється, або для заміни виснажених рятувальників [8]. Їхнє завчасне формування дозволяє гнучко реагувати на динаміку пожежної ситуації та зберігати стабільність операцій [9].

Усі ці заходи, впроваджені у комплексі, дозволяють не тільки ефективно гасити пожежі, а й гарантувати збереження здоров'я, а іноді й життя рятувальників [1]. Організаційна гнучкість, технологічна підтримка та належна підготовка стають головними інструментами у протидії сучасним викликам [2].

Висновки

Раціональне розподілення сил і засобів під час пожежі є надзвичайно важливим для досягнення оперативної та ефективної ліквідації надзвичайної ситуації. У сучасних умовах, коли рятувальники нерідко змушені діяти в умовах обмеженого ресурсу, впровадження додаткових організаційних заходів набуває особливої актуальності. Як показує практика, навіть за мінімальної кількості особового складу можна досягти позитивного результату, якщо грамотно організувати робочий процес.

Гнучке управління функціональними обов'язками, впровадження системи ротації між більш і менш фізично навантаженими завданнями дозволяє значно підвищити витривалість рятувальників, уникнути перевтоми та знизити ризик виникнення помилок, які можуть мати фатальні наслідки. Це також сприяє підтриманню бойової готовності підрозділу протягом усього періоду ліквідації пожежі, що є критично важливим у випадках, коли гасіння триває довгий час.

Додатково важливу роль відіграє завчасна підготовка: регулярні тренування, моделювання різноманітних сценаріїв із обмеженими ресурсами, підвищення рівня взаємозамінності між рятувальниками. Це дозволяє не лише оперативно реагувати на зміну обстановки, але й забезпечити стабільну роботу команди в умовах підвищеного ризику.

Окремо слід підкреслити значення сучасних технологій, які можуть компенсувати нестачу людських ресурсів. Тепловізори, дрони, дистанційні системи контролю, засоби зв'язку — усе це сприяє більш точному управлінню процесом ліквідації пожежі, забезпечує командуванню оперативну інформацію та дозволяє зменшити необхідність фізичної присутності особового складу в небезпечних зонах.

У критичних ситуаціях доцільним є також залучення додаткових ресурсів — як із числа добровольців, так і від суміжних служб, що дозволяє швидко реагувати на ускладнення ситуації. Резервні групи швидкого реагування можуть стати надійною опорою основним силам, забезпечуючи підміну та підкріплення у найвідповідальніші моменти.

Таким чином, системний підхід до організації пожежогасіння, що включає планування, гнучкість, навчання, технології та взаємодію між підрозділами, дозволяє не лише оптимально використовувати наявні сили, але й значно підвищити загальний рівень безпеки та ефективності під час ліквідації пожеж. Така стратегія є запорукою успішного виконання завдань навіть у найбільш екстремальних умовах.

Список літератури

1. Методичні рекомендації щодо організації гасіння пожеж у складних умовах / ДСНС України. — К., 2021. — 48 с.
2. Про затвердження Настанови з тактики гасіння пожеж: наказ ДСНС України від 21.05.2018 № 342.
3. Ільїних В. І., Савченко О. М. Організація дій підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. — Харків: НУЦЗУ, 2020. — 152 с.
4. Шевченко О. В. Тактичні особливості ліквідації пожеж у надзвичайних умовах // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. — 2022. — № 25. — С. 44–50.
5. Яцун С. І. Застосування дронів і тепловізорів у практиці пожежогасіння // Техногенно-екологічна безпека. — 2023. — № 1. — С. 19–25.
6. Бойко Т. В. Використання мобільних резервних груп у структурі пожежно-рятувальних підрозділів // Науковий журнал "Пожежна та техногенна безпека". — 2021. — № 4. — С. 33–38.
7. Міжнародні стандарти безпеки під час гасіння пожеж / IFRA (International Fire and Rescue Association). — Женева, 2019. — 64 р.
8. Власенко М. П. Психофізіологічні аспекти навантаження на рятувальників // Професійна безпека. — 2022. — № 2. — С. 11–16.
9. Звіт ДСНС України про результати діяльності у сфері пожежогасіння за 2023 рік. — К., 2024.

УДК 355.48:614.84:623.44

С.В. Петренко, А.Ю. Білоус
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Маскування ПРП та спецодягу в умовах бойових дій

У тезі розглядаються методи маскування персональних радіоелектронних приладів та спецодягу в умовах бойових дій. Визначаються ключові техніки, які дозволяють знижувати видимість та підвищувати ефективність використання цих засобів у складних умовах сучасного бойового середовища.

У сучасних умовах ведення бойових дій, коли противник активно використовує безпілотні літальні апарати, тепловізійні та оптичні засоби розвідки, маскування персональних радіоелектронних приладів (ПРП), пожежно-рятувальної техніки та спецодягу набуває критичного значення [1; 4; 5]. Головним завданням є мінімізація демаскувальних ознак, які можуть призвести до виявлення, ураження або блокування рятувальних підрозділів під час виконання завдань у прифронтових та фронтових зонах [2; 6].

Однією з основних стратегій маскування є перефарбування пожежно-рятувальної техніки у камуфляжні або нейтральні кольори, зокрема у колір “хакі” [3; 5; 6]. Такий підхід дозволяє зменшити оптичну помітність техніки в умовах природного середовища (степ, ліс, руїни тощо). У порівнянні зі стандартним яскраво-червоним або помаранчевим фарбуванням, притаманним мирному часу, камуфльований колір суттєво ускладнює виявлення техніки з повітря або з великої відстані, особливо при використанні тепловізорів і дронів. Перефарбована техніка менш контрастує із фоном і не привертає увагу, що підвищує її живучість у бойових умовах [4; 5].

Окрім техніки, важливим елементом маскування є спецодяг рятувальників, який у багатьох випадках залишається яскравим, зі світловідбивними елементами для безпеки у звичайних умовах. Проте в умовах бойових дій ці елементи перетворюються на джерело небезпеки [2; 7]. Вони добре помітні вночі, під час роботи з приладами нічного бачення або тепловізорами, а також можуть видавати позиції особового складу. У зв’язку з цим доцільним є використання спеціального варіанту одягу без світловідбивних вставок, виконаного з матових тканин кольору “хакі”, оливкового, сірого або інших маскувальних відтінків, які гармоніюють із навколишнім середовищем [6; 7].

Ще одним важливим аспектом є матеріали, з яких виготовляється одяг та чохли для ПРП. Вони мають бути не лише вогнестійкими та зручними для роботи в умовах надзвичайних ситуацій, але й мати низький рівень теплового випромінювання, що знижує ймовірність виявлення за допомогою тепловізійних засобів [3; 8]. Додаткові засоби маскування, такі як камуфльовані

накидки, сітки або змінні елементи одягу, можуть застосовуватись у залежності від місцевості (сніг, зелена зона, зруйноване міське середовище тощо) [5; 8].

Слід також зазначити, що маскування ПРП (наприклад, радіостанцій, планшетів або інших електронних пристроїв) полягає не тільки у фізичному захисті, але й у зменшенні електромагнітної “видимості” пристроїв. Для цього застосовуються спеціальні чохли, антирадарні матеріали, а також дотримання режиму радіомовчання у критичних зонах [3; 4; 8]. Зменшення помітності ПРП також означає використання нейтрального зовнішнього вигляду пристроїв – без яскравих наклейок, маркувань чи світлових індикаторів, які можуть демаскувати місцезнаходження користувача [3; 6].

Таким чином, маскування техніки, ПРП та спецодягу в умовах бойових дій — це не просто питання естетики чи форми, а необхідна складова виживання, ефективності та бойової стійкості рятувальних підрозділів [2; 4; 5; 7]. Забезпечення належного рівня маскування дозволяє значно знизити ризики ураження, сприяє виконанню завдань у прифронтових зонах і зберігає життя особового складу. Саме тому адаптація стандартного екіпірування до умов війни є критично важливою вимогою сьогодення [1; 3; 4].

Висновки

Маскування ПРП, пожежно-рятувальної техніки та спецодягу в умовах бойових дій є не лише доцільним, а й життєво необхідним заходом. Перефарбування техніки у камуфльовані кольори, відмова від світловідбивних елементів на одязі та використання нейтральних матеріалів значно знижують ризики виявлення особового складу та техніки противником. У комплексі ці дії підвищують живучість, ефективність виконання завдань та сприяють збереженню життя рятувальників у зоні бойових дій. В умовах сучасної війни навіть дрібні елементи можуть відігравати ключову роль у питаннях безпеки, тому адаптація зовнішнього вигляду до потреб фронту є вкрай важливою.

Список літератури

1. Наказ МВС України № 708 від 12.10.2022 "Про затвердження Інструкції з організації служби цивільного захисту в умовах воєнного стану".
2. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Методичні рекомендації щодо дій підрозділів ДСНС у зоні бойових дій. — Київ: ДСНС України, 2023.
3. Гусєв, В.І., & Лисенко, М.П. (2021). Технічні засоби захисту в умовах бойових дій. – Харків: НУЦЗУ.
4. Збройні Сили України. Настанова з тактичної медицини та маскування особового складу (2022). – Київ: МОУ.
5. NATO Standardization Office. Camouflage and Concealment Techniques for Field Operations (STANAG 2931). – Brussels, 2020.

6. Пархоменко, Ю.О. (2020). Використання засобів маскування у сучасних збройних конфліктах. // *Військово-науковий вісник*, №3, с. 45–52.

7. Черняк, С.О. (2023). Спецодяг для рятувальників в умовах бойових дій: функціональність та безпека. // *Пожежна безпека та техногенна безпека*, №1, с. 18–24.

8. Міністерство оборони Великої Британії. Survivability in Combat Zones: Visual and Thermal Camouflage, 2021.

УДК 351.74:614.8:623.4

О.А. Стрепетова, А.Ю. Білоус
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Взаємодія штатних ПРП з іншими екстреними службами під час надзвичайних ситуацій

У тезі розглянуто особливості взаємодії пожежно-рятувальних підрозділів із іншими екстреними службами під час надзвичайних ситуацій. Акцент зроблено на координації дій, оперативності реагування та спільному забезпеченні безпеки населення в умовах загрози життю та здоров'ю.

У сучасних умовах підвищеного рівня загроз як природного, так і техногенного та соціального характеру, питання ефективного реагування на надзвичайні ситуації набуває особливої актуальності. Штатні пожежно-рятувальні підрозділи (далі-ПРП) Державної служби України з надзвичайних ситуацій відіграють одну з провідних ролей у системі цивільного захисту населення. Їх основним завданням є оперативне реагування на події, що становлять небезпеку для життя та здоров'я громадян, навколишнього середовища, об'єктів критичної інфраструктури та державної безпеки загалом. Проте ефективність їхньої роботи значною мірою залежить не лише від технічного оснащення та професійної підготовки особового складу, а й від злагодженої взаємодії з іншими екстреними службами [1].

Під час надзвичайних ситуацій — таких як пожежі, вибухи, ДТП з масовими жертвами, хімічні аварії, затоплення, обвалення будівель чи дії воєнного характеру — надзвичайно важливою є наявність чіткої та швидкої координації між усіма відповідальними структурами. До таких належать екстрена медична допомога, Національна поліція, газові служби, аварійно-ремонтні бригади, комунальні підприємства, військові формування, служби енергозабезпечення, водоканали, а в деяких випадках і органи місцевого самоврядування, волонтерські організації, психологічна допомога тощо [2]. Саме взаємодія між цими структурами забезпечує комплексний і своєчасний підхід до ліквідації наслідків надзвичайних подій.

Координація дій між підрозділами повинна бути максимально швидкою, зрозумілою, логічною та практично відпрацьованою. Для цього необхідна наявність єдиного центру управління, через який відбувається збір інформації, ухвалення рішень, розподіл ресурсів і завдань між службами. Особливо важливо, щоб кожна служба чітко усвідомлювала свою зону відповідальності та виконувала свої функції, не заважаючи іншим і не створюючи додаткових загроз для потерпілих чи для самих рятувальників. Недостатнє узгодження або відсутність комунікації між службами може призвести до дублювання функцій, затримок у реагуванні, плутанини на місці події, що, в свою чергу, може мати фатальні наслідки для постраждалих [3].

Одним із найбільш ефективних способів підвищення злагодженості є проведення регулярних спільних тренувань, навчань та командно-штабних

навчальних зборів. Завдяки таким заходам представники різних екстрених служб мають можливість у змодельованих умовах надзвичайних ситуацій відпрацювати спільні алгоритми дій, налагодити комунікацію, адаптуватися до роботи в єдиному інформаційному полі та ознайомитися з можливостями й обмеженнями інших служб [4]. Практичний досвід, отриманий у таких навчаннях, значно підвищує готовність усіх служб до дій у реальних надзвичайних обставинах.

У мирний час основна увага приділяється реагуванню на стихійні лиха, аварії, технологічні інциденти, тоді як у воєнний час зростає потреба в інтеграції ПРП з підрозділами Збройних Сил, саперами, військовими медиками та службами територіальної оборони. В умовах воєнного конфлікту пожежно-рятувальні підрозділи працюють під обстрілами, виїжджають на місця ракетних ударів, допомагають ліквідовувати завали після бомбардувань, евакуйовують людей з небезпечних зон, забезпечують тимчасове укриття та співпрацюють із військовими задля забезпечення безпеки як цивільного населення, так і самих рятувальників [5].

Взаєморозуміння, дисципліна, обмін оперативною інформацією, здатність швидко адаптуватися до змін та діяти за єдиними стандартами — усе це є запорукою того, що спільні зусилля екстрених служб дадуть результат, на який очікує суспільство: врятовані життя, мінімізовані втрати, контроль над ситуацією навіть у найкритичніших обставинах [6].

Висновки

Таким чином, взаємодія штатних пожежно-рятувальних підрозділів з іншими екстреними службами є ключовою умовою ефективного реагування на надзвичайні ситуації. Успіх рятувальних операцій залежить від узгоджених дій, оперативної комунікації, чіткого розподілу функцій та здатності служб працювати як єдина команда. Саме скоординованість дозволяє мінімізувати людські втрати, швидко локалізувати наслідки події та зберегти матеріальні цінності.

У мирний час така співпраця є важливою при ліквідації пожеж, аварій, стихійних лих, а в умовах воєнного конфлікту — набуває ще більшої ваги. Робота ПРП у зонах бойових дій потребує тісної взаємодії з військовими, саперами, медиками та іншими структурами, що вимагає високого рівня координації та гнучкості. Без цього ефективне реагування в екстремальних умовах стає практично неможливим.

Отже, постійне вдосконалення міжвідомчої взаємодії, проведення спільних навчань і впровадження сучасних технологій управління є важливими чинниками розвитку системи цивільного захисту. Лише завдяки спільним зусиллям усіх служб можливо гарантувати безпеку населення, забезпечити оперативну допомогу в кризових ситуаціях та зміцнити національну стійкість у часи викликів.

Список літератури

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. (2020). *Основи організації рятувальних робіт у надзвичайних ситуаціях*. Київ: ДСНС України.
2. Титаренко, А. М. (2019). *Управління надзвичайними ситуаціями: теорія і практика.* Харків: ХНУ.
3. Шевченко, В. І., & Коваленко, І. В. (2018). *Екстрене реагування на надзвичайні ситуації: методи та стратегії.* Київ: Наукова думка.
4. Стрельцов, М. С. (2021). *Інтеграція служб цивільного захисту в умовах надзвичайних ситуацій.* Житомир: ЖДУ.
5. Міжнародний досвід у сфері управління надзвичайними ситуаціями. (2022). *Збірник статей*. Москва: МГТУ.
6. Кузьменко, О. О. (2017). *Координація міжвідомчих служб в умовах кризових ситуацій.* Одеса: ОНУ.
7. Закон України "Про цивільний захист". (2012). *Офіційний вісник України*, 42, 31-42.
8. Мартинюк, І. В. (2016). *Технічне оснащення пожежно-рятувальних підрозділів: перспективи та інновації.* Львів: ЛНУ.
9. Кінаш, І. В. (2015). *Основи організації рятувальних робіт під час техногенних катастроф.* Київ: ІСМ.
10. Пожежна безпека в умовах надзвичайних ситуацій. (2018). *Монографія.* Чернівці: ЧНУ.

УДК 697.3

М.О. Ярмольчик ННДЛ., др. філософії (PhD), Я.М. Гайдук,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Модернізація системи опалення в багатоквартирному будинку

Модернізація системи опалення в багатоквартирному будинку спрямована на підвищення енергоефективності, зниження витрат та покращення мікроклімату. У роботі розглянуто сучасні технології, зокрема індивідуальні теплові пункти та автоматизовані системи управління, що забезпечують комфорт проживання та економію ресурсів.

Модернізація системи опалення в багатоквартирному будинку є одним із ключових чинників підвищення енергоефективності житлового фонду України. Значна частина будівель, споруджених у минулому столітті, використовує застарілі централізовані системи теплопостачання, які характеризуються високими тепловтратами, нерівномірним розподілом тепла та обмеженими можливостями контролю споживання енергії. В умовах зростання вартості енергоресурсів і нагальної потреби в енергозбереженні питання модернізації набуває особливої актуальності. [2].

Основними напрямами оновлення є встановлення індивідуальних теплових пунктів (ІТП), це модульне обладнання, що встановлюється в підвалі або технічному приміщенні будинку. Його основне завдання — автоматичне регулювання температури теплоносія, який подається до системи опалення та гарячого водопостачання. ІТП "підлаштовується" під погодні умови: у теплі дні зменшує подачу тепла, у холодні — збільшує. Це забезпечує комфорт у приміщеннях і знижує споживання енергії що дозволяють регулювати подачу тепла відповідно до зовнішніх температурних умов. Наступним напрямом є впровадження автоматизованих систем управління, лічильників тепла та терморегуляторів на радіаторах. Автоматизовані системи управління інтегруються з ІТП і забезпечують дистанційний моніторинг та контроль за параметрами роботи системи.

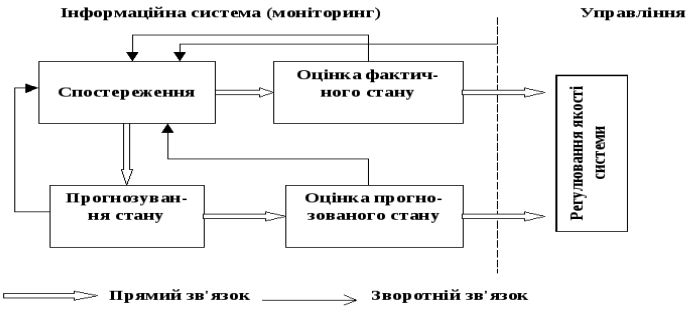


Рис. 1. Схема системи управління

За допомогою таких систем можна:

- управляти температурними графіками;
- виявляти неполадки в режимі реального часу;
- вести статистику споживання тепла;
- оперативно реагувати на зміни зовнішніх температур або технічні збої.

У результаті використання ІТП і автоматизації в середньому досягається:

- зниження споживання тепла на 20–40%;
- покращення мікроклімату в будинку;
- справедливий розподіл теплової енергії;
- підвищення довговічності інженерних мереж.



Рис.2. Індивідуальний тепловий пункт

Такі рішення вже активно впроваджуються у багатьох містах України в межах програм енергоефективності. [1].

Крім енергетичних переваг, модернізація системи опалення позитивно впливає на соціально-економічні та екологічні показники. Зменшується фінансове навантаження на мешканців, поліпшуються умови проживання, знижується рівень викидів парникових газів, що відповідає сучасним принципам сталого розвитку.

Таким чином, модернізація системи опалення в багатоквартирному будинку є ефективним інструментом для досягнення енергоефективності, підвищення комфорту та забезпечення екологічної безпеки. Вона потребує комплексного підходу, який включає технічні, економічні та нормативно-правові аспекти, а також активну участь мешканців і підтримку з боку держави. [3].

Висновок

Модернізація системи опалення в багатоквартирному будинку є необхідним кроком до підвищення енергоефективності, економії ресурсів та покращення умов проживання. Впровадження індивідуальних теплових пунктів, автоматизованих систем управління та сучасних приладів обліку дозволяє значно знизити витрати на опалення, забезпечити комфортний мікроклімат у квартирах і зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Така модернізація не лише відповідає сучасним вимогам, а й сприяє сталому розвитку житлового фонду в умовах зростання цін на енергоресурси.

Список літератури

1. Дубинчук О. В. Опалення, вентиляція і кондиціювання повітря: підручник. — К.: Ліра-К, 2021. — 384 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013 — Опалення, вентиляція та кондиціонування. — Київ: Мінрегіон України, 2013.
3. Мащенко П. П. Системи опалення і теплозабезпечення. — Київ: КНУБА, 2020. — 198 с.

УДК 614.84: 355.358

М.О. Ярмольчик, др. філософії (PhD), Н.В. Гурська, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Модернізація пожежно-рятувальних підрозділів України в умовах війни: потреби, виклики та міжнародний досвід

Дослідження висвітлює проблеми модернізації пожежно-рятувальних підрозділів України в умовах бойових дій, наголошуючи на важливості новітньої техніки та спорядження не лише для ДСНС, але й для військових пожежних служб ЗСУ. У роботі проаналізовано міжнародний досвід військових пожежних підрозділів, концепцію багатофункціональності сучасної пожежної техніки та оптимальні шляхи поетапної модернізації наявного автопарку з метою ефективного захисту високотехнологічного військового обладнання і збереження життя військовослужбовців.

Вступ

З 24 лютого 2022 року російська федерація без оголошення війни наносить ракетно-бомбові удари по цивільн ому сектору і військовим об'єктам, а також по об'єктам критичної інфраструктури, по житловим, громадським та іншим цивільним будівлям України. Повномасштабна війна триває й досі, і органи державної влади та місцевого самоврядування зіткнулися з катастрофічними наслідками надзвичайних подій, спричинених бойовими діями на території України. Внаслідок ракетно-бомбових ударів по військовим об'єктам, пожежна охорона України зіткнулася з новими методами і тактикою ліквідації пожеж та надзвичайних ситуацій, які до початку повномасштабних бойових дій не були відомі жодній країні світу. Методика і тактика гасіння пожеж внаслідок бойових дій у спеціалізованих навчальних закладах повною мірою не розглядалася і не вивчалася. Механізми державного управління з ліквідації наслідків надзвичайних подій на початкових етапах функціонували неефективно, що призводило до помилкових рішень керівників гасіння пожеж, недостатньої оцінки небезпеки та нехтування заходами безпеки праці. Це, в свою чергу, спричиняло більший масштаб розвитку пожеж, травмування та загибель особового складу військовослужбовців, а також значні матеріальні збитки.

У цих умовах, щодня від країн-партнерів до України надходять сучасні зразки пожежної техніки, пожежного озброєння та оснащення. Це вимагає від нас розробки, вивчення, аналізу, синтезу та адаптації сучасної підготовки військових пожежників відповідно до новітніх викликів і загроз. Нагальною є розробка нової системи підготовки та навчання військового пожежника для солдатів, сержантів, старшин і офіцерів Збройних Сил України. Важливо усвідомлювати, що постачання Україні міжнародної гуманітарної допомоги у вигляді сучасних зразків озброєння і військової техніки, зокрема і військових літальних апаратів типу F-16, вимагає виконання вимог безпеки польотів та відповідних стандартів, включаючи забезпечення сучасними системами і

засобами пожежогасіння та сучасною пожежною технікою. Це, в свою чергу, передбачає проведення спеціального навчання пожежників із залученням іноземних інструкторів та використанням навчально-матеріальної бази на військових базах країн НАТО. Якісне та вміле застосування пожежної техніки є запорукою успішного виконання бойового завдання, захисту як військовослужбовців, які виконують пожежно-рятувальні завдання, так і тих, кому надають допомогу, рятуючи життя, здоров'я, матеріальні цінності та національне багатство.

Військові пожежники відіграють ключову роль в обороні провідних зарубіжних країн, таких як США, Канада, Велика Британія, Німеччина, Польща, де навчанню та підготовці цих фахівців приділяється значна державна увага. Військові пожежно-рятувальні підрозділи проходять початкову базову підготовку, після чого навчаються у спеціалізованих військових навчальних центрах і школах. Кожен етап підготовки включає випробування та атестацію, і лише успішне їх складання дозволяє військовослужбовцю бути рекомендованим до самостійної роботи та подальшої служби у військовій частині. Конкурсний відбір визначає, хто саме продовжить службу у військових пожежних підрозділах. Військові пожежники працюють у бойових умовах з небезпечними матеріалами та в унікальному середовищі по всьому світу, беручи участь у плануванні бойових операцій, миротворчих місіях та антитерористичних операціях. Дотримуючись місії забезпечення миру та безпеки, вони діють не лише на військових об'єктах, але й допомагають цивільним пожежно-рятувальним підрозділам, входячи до національної системи оборони держави та країн-партнерів. Вони забезпечують безпеку військових аеродромів, кораблів, полігонів та навчальних центрів. Штатні військові пожежні підрозділи перебувають на цілодобовому чергуванні та залучаються до ліквідації аварій, пожеж, повеней, землетрусів, ДТП та інших надзвичайних подій у межах своєї територіальної відповідальності.

Наявна система навчання та підготовки військових пожежників Збройних Сил України, навчально-матеріальна база, програми та професійні стандарти, а також нормативно-правові акти потребують оновлення та адаптації на основі досвіду АТО/ООС, бойових дій та практики підготовки країн-членів НАТО. Аналіз зарубіжних та міжнародних нормативно-правових актів показує, що військова пожежна охорона є органом, який виконує забезпечуючу та контролюючу функцію в системі Міністерства оборони, виконуючи завдання державної пожежної служби та інші специфічні завдання ЗСУ.

У цьому контексті, модернізація пожежно-рятувальних підрозділів також є критично важливою. Однією з ключових проблем технічного забезпечення є потреба в оновленні пожежного автопарку, структура якого має відповідати новим викликам. Враховуючи євроінтеграційний курс України, нормативні документи, що визначають вимоги до оснащення та функціональності пожежної техніки, повинні відповідати європейським стандартам. Першим кроком у вирішенні цієї проблеми є розробка нового покоління пожежних автомобілів, включаючи розробку нових моделей універсальних пожежних автомобілів з розширеним функціоналом, оновлення існуючих машин для ефективного використання у перехідний період та

створення спеціалізованих комплексів, призначених для оптимального використання в різних умовах.

Засновуючись на міжнародному досвіді, концепція багатофункціональності пожежних автомобілів є ключовою. Наприклад, пожежно-рятувальний автомобіль нового покоління від компанії E-ONE (Велика Британія) поєднує високу питому потужність з пожежним насосом, генератором, освітлювальним обладнанням та рятувальним інструментом. Автомобіль від компанії Rosenbauer також відзначається широким спектром обладнання, включаючи комбінований насос, котушки першої допомоги, лафетний ствол, генератор, мотопомпу, світлотехніку та аварійний інструмент. Прикладом успішної реалізації цієї концепції є об'єктовий пожежний автомобіль моделі VMR 30 EP 820 від компанії Sides (Франція), який складається з п'яти модулів, що включають кабіну, цистерни для різних вогнегасних речовин та насосний модуль високої продуктивності.

В Україні ж, концепція мультифункціональності пожежних автомобілів приходить на зміну застарілим підходам, прикладом є пожежна автоцистерна АЦ-40 на шасі ЗІЛ, що була основним транспортним засобом у підрозділах, однак цей транспортний засіб, обладнаний лише одним насосом типу ПН-40, недостатньо ефективний для вирішення всіх завдань, тим паче, він не здатний впоратися з цими завданнями в умовах сучасних екстремальних ситуацій що стоять перед особовим складом пожежно-рятувального підрозділу. Проте ситуація поступово розпочинає змінюватися. Деякі інші підприємства розпочали роботу над створенням пожежно-рятувальних автомобілів. Об'єктивно кажучи, національна концепція мультифункціонального пожежно-рятувального автомобіля в країні ще не визнана загально, проте це лише початок нашого шляху. Важливо приділити більше уваги зарубіжному досвіду у вирішенні цієї проблеми.

Висновки

Модернізація пожежно-рятувальної техніки є критично важливим завданням для забезпечення безпеки громадян та ефективного реагування на надзвичайні ситуації. В умовах війни, це стає ще більш актуальним, для збереження життів військовослужбовців та цивільного населення. Українська пожежно-рятувальна служба, зокрема підрозділи ДСНС, потребують термінового оновлення автопарку. Існує невідповідність між застарілою технікою та сучасними вимогами до ефективності реагування на надзвичайні ситуації, особливо в умовах воєнного стану. Сучасні пожежно-рятувальні автомобілі повинні бути багатофункціональними, поєднуючи можливості гасіння пожеж, рятувальних робіт та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Це вимагає використання сучасного обладнання, такого як потужні насоси, генератори, освітлювальне обладнання, рятувальний інструмент. Вивчення та адаптація міжнародного досвіду, особливо з країн НАТО, є важливим для розробки та впровадження ефективних рішень. Приклади успішних розробок, такі як автомобілі від компаній E-ONE та Rosenbauer, демонструють переваги сучасних технологій. Україна має потенціал для розробки та виробництва власних сучасних пожежно-рятувальних автомобілів.

Необхідно приділяти увагу модульній конструкції та використанню сучасних матеріалів, таких як алюміній. Так само необхідно приділити велику увагу для модернізації техніки для підрозділів ЗСУ, тому що під час воєнного стану це вкрай необхідно.

Список літератури

1. Бут В.П., Куціщий Л.Б., Болібрух Б.В. Практичний посібник з пожежної тактики. Львів: СПОЛОМ, 2022. 320 с.
2. Васильєв С.В., Мельник Р.П., Бородич П.Ю. Основи організації гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт. Харків: НУЦЗУ, 2023. 278 с.
3. Гулида Е.М., Ренкас А.Г., Паснак І.В. Багатофункціональні пожежні автомобілі: проблеми модернізації автопарку ДСНС України. Київ: Техніка, 2021. 196 с.
4. Доманський В.А., Ковалишин В.В., Лущ В.І. Тактика ліквідації пожеж в умовах бойових дій. Львів: ЛДУ БЖД, 2022. 243 с.
5. Тищенко І.Ю., Лісняк А.А. Міжнародний досвід пожежогасіння на військових об'єктах. Київ: ІДУЦЗ, 2023. 217 с.
6. Ferguson D.W., Robinson K.M. Military Firefighting: Procedures and Equipment. New York: Fire Engineering Books, 2021. 340 p.
7. Harris J.R., Meyer S.P. Advanced Aircraft Rescue and Firefighting Techniques. London: Springer, 2022. 278 p.
8. NATO Standard ATP-3.12.1. Allied Tactical Publication – Fire Support for Land Operations. Brussels: NATO Standardization Office, 2023. 182 p.
9. Williams T.L., Anderson P.K. Firefighting Operations in War Zones: Training Manual. Washington: Military Press, 2023. 215 p.

УДК 614.84:623.4(477)

М.О. Ярмольчик, др. філософії (PhD), Н.В. Гурська, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Локальне бронювання як засіб підвищення безпеки пожежно-рятувальних підрозділів у зоні бойових дій

У тезі розглядається локальне бронювання як ефективний засіб підвищення захисту пожежно-рятувальної техніки та особового складу в умовах бойових дій. Проаналізовано технічні рішення, схеми компонування автомобілів і значення психологічної стійкості рятувальників у зоні повторних обстрілів.

Вступ

В умовах широкомасштабної війни в Україні пожежно-рятувальні підрозділи опинилися перед новими викликами, які виходять за межі звичайного реагування на надзвичайні ситуації. Одним із найбільших ризиків під час виконання бойових завдань є повторні обстріли, що часто трапляються після початкового удару ворога по цивільних або критичних об'єктах. В таких умовах необхідно забезпечити максимальний рівень захисту не лише для техніки, але і для особового складу.

Особливості загроз в умовах війни

Аналіз подій, що відбувалися під час обстрілів міст і селищ України (Дніпропетровський аеропорт, Покровськ, Херсон тощо), демонструє, що ризик загибелі рятувальників при повторному вогневому ураженні є критично високим. За статистикою ДСНС, понад третина втрат серед рятувальників пов’язані саме з цим фактором.Проблема ускладнюється тим, що на більшості об’єктів, де виникають пожежі, відсутні стаціонарні укриття, здатні захистити особовий склад у разі повторної атаки. У зв’язку з цим виникає потреба у застосуванні мобільних захисних рішень, зокрема пожежної техніки із елементами бронювання.

Локальне бронювання — це вибіркове укріплення найбільш уразливих та критично важливих елементів конструкції пожежного автомобіля. Такий підхід дозволяє:

- зменшити масу машини в порівнянні з повним бронюванням,
- зберегти її мобільність,
- сконцентрувати захист на зонах життєво важливих для екіпажу і функціональності.

До основних компонентів, що підлягають бронюванню, відносяться:

- кабіна водія та особового складу — для збереження життя людей;
- двигунний відсік — для забезпечення мобільності;
- паливний бак — для запобігання детонації;
- елементи шасі та управління — для підтримання базової рухливості техніки.

Компонування пожежного автомобіля значною мірою впливає на доцільність і ефективність бронювання. Розрізняють чотири основні схеми, але найбільш захищеною вважається капотна компоновка (кабіна розташована за двигуном) – така, як на автомобілях типу «Урал», ЗІЛ.

У таких автомобілях:

- двигун виконує функцію додаткового захисту;
- зменшується ризик безпосереднього ураження кабіни осколками;
- забезпечується краща ергономіка встановлення броньованих елементів.

На капотних шасі броньовані екрани встановлюють зовні:

- перед лобовим склом,
- на дверях,
- капоті,
- задній панелі кабіни.

Екрани мають вирізи для огляду, а частина з них встановлюється шарнірно для можливості переходу в похідне положення.

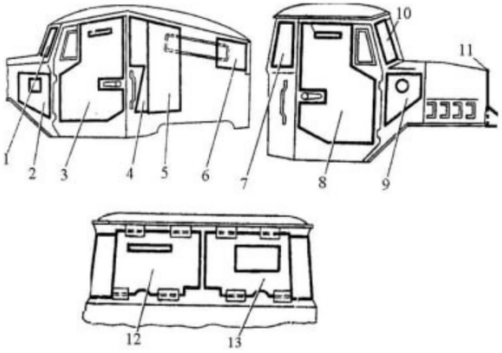


Рис 1. Схема встановлення броньованих екранів на зовнішній частині кабіни пожежного автомобіля на шасі Урал

1 -екран малого вітрового скла, лівий; 2-екран передньої бокової панелі, лівий; 3- екран лівих дверей; 4- екран боковий лівої панелі; 5-екран задньої панелі кабіни, лівий; 6- екран задньої панелі, правий; 7- екран боковий правої панелі; 8 -екран правих дверей кабіни; 9- екран передньої бокової панелі, правий; 10 - екрани лобового скла, лівий, правий; 11- екран радіатора; 12- екран великого вітрового скла, лівий; 13 - екран великого вітрового скла, правий

Наявність бронювання відіграє також важливу роль у психологічному стані особового складу. Упевненість у тому, що техніка забезпечує хоча б

базовий рівень захисту, суттєво знижує рівень тривожності, дозволяє рятувальникам діяти більш злагоджено та ефективно у вкрай небезпечних умовах.

Висновки

Повторні обстріли є однією з головних загроз для пожежно-рятувальних підрозділів у зоні бойових дій. Відсутність стаціонарних укриттів створює нагальну потребу у пошуку мобільних захисних рішень.Локальне бронювання пожежних автомобілів — це технічно та економічно обґрунтована стратегія підвищення захищеності рятувальників без суттєвого зниження маневреності техніки.Найбільш доцільним є використання капотних схем компонування автомобілів, які дозволяють оптимально розташовувати броньовані елементи з максимальним ефектом для захисту екіпажу.Застосування локального бронювання повинно враховувати характер завдань, регіон виконання бойової роботи та наявність сучасних технологій виготовлення броньованих конструкцій.Окрім технічного ефекту, локальне бронювання позитивно впливає на моральний дух рятувальників, підвищуючи їхню бойову стійкість і впевненість у безпеці.

Список літератури

1. Грицюк В.І. Броньований захист пожежної техніки: аналіз сучасних підходів / В.І. Грицюк // *Вісник Національного університету цивільного захисту України*. – 2021. – №1(44). – С. 32–38.
2. Національний університет цивільного захисту України. Методичні рекомендації щодо модернізації пожежно-рятувальної техніки в умовах підвищеного ризику. – Харків: НУЦЗУ, 2022. – 28 с.
3. Кузьменко І.Л. Технічні рішення з локального бронювання оперативної техніки в зоні бойових дій / І.Л. Кузьменко // *Збірник наукових праць ЛДУ БЖД*. – 2021. – №2. – С. 45–51.

УДК 355.02:351.86:327(100)"21"

С.В. Петренко, Д.О. Онищенко, Я.О. Діденко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Роль збройних сил у забезпеченні національної безпеки та міжнародної стабільності у XXI столітті

Збройні сили залишаються основним гарантом національної безпеки та стабільності в міжнародному просторі. У XXI столітті їхня роль розширюється в умовах гібридних загроз, конфліктів нового типу та високотехнологічного протистояння.

У сучасному світі безпекове середовище характеризується підвищеною нестабільністю та появою нових викликів. Збройні сили залишаються ключовим елементом у забезпеченні захисту державних інтересів, особливо в умовах зовнішньої агресії, терористичних загроз і кіберзлочинності. [1] Окрім того, дедалі більшу роль відіграє здатність армії реагувати на асиметричні загрози, які складно передбачити і класифікувати традиційними методами. Саме тому сучасна армія має бути не лише озброєною, а й інтелектуально готовою до гнучкої тактики.

Модернізація армії, впровадження цифрових технологій, підвищення рівня професійної підготовки особового складу – усе це є необхідними умовами для зміцнення обороноздатності країни та ефективної участі у миротворчих операціях. [2] Зокрема, важливим є перехід до цифрового управління військами, автоматизація логістики, розгортання захищених інформаційних мереж і використання геоінформаційних систем для ведення бойових дій. Одним із пріоритетних напрямів є створення ефективної системи управління вогнем артилерії, що базується на реальному часі передачі даних, інтегрованої із засобами розвідки та БПЛА.

Участь українських військових у міжнародних місіях сприяє зміцненню міжнародної безпеки, демонструючи спроможність ЗСУ ефективно функціонувати у складі міжнародних коаліцій та діяти відповідно до стандартів НАТО. [3] Такі операції також сприяють розвитку комунікативних навичок у військовослужбовців, адаптації до багатонаціонального командування, обміну практиками й набуттю досвіду у виконанні нестандартних завдань.

Збройні сили у сучасному світі виконують не лише класичну оборонну функцію, а й дедалі частіше беруть участь у міжнародних операціях з підтримання миру, ліквідації наслідків стихійних лих та гуманітарних катастроф. Їхня діяльність охоплює широкий спектр завдань – від захисту територіальної цілісності до гарантування безпеки громадян у різних куточках світу.[1]

У цьому контексті важливе місце посідає забезпечення цивільно-військової співпраці (CIMIC), яка дозволяє координувати дії з місцевими громадами, організаціями ООН, гуманітарними фондами. Українські військові вже мають

позитивний досвід взаємодії під час природних катастроф на Балканах та у Центральній Африці.

У XXI столітті традиційні загрози доповнилися новими формами воєнного протистояння. Кібербезпека, інформаційна війна, економічні санкції – ці інструменти дедалі активніше використовуються у гібридних конфліктах. Армії мусять змінюватися, щоб відповідати цим викликам. Особлива увага приділяється підготовці фахівців у сферах кіберзахисту, радіоелектронної боротьби та стратегічних комунікацій.[1,2] В Україні вже створено спеціалізовані підрозділи, здатні реагувати на кібератаки у режимі реального часу, проводити протидію фейковим інформаційним кампаніям і забезпечувати кіберзахист військових та критичних об'єктів інфраструктури. Підготовка таких кадрів здійснюється у Військовому інституті телекомунікацій та інформатизації імені героїв Крут та на курсах при Офісі стратегічних комунікацій.

Міжнародна співпраця у військовій сфері дозволяє підвищити сумісність збройних сил різних країн. Україна активно бере участь у спільних навчаннях з країнами НАТО, обмінюється досвідом, запроваджує стандарти Альянсу в повсякденну діяльність армії. Це не лише зміцнює обороноздатність, а й демонструє прагнення країни до інтеграції у європейську систему безпеки. [3]. Зокрема, програми "Партнерство заради миру" та участь у JMTG-U (об'єднана багатонаціональна тренувальна група в Україні) сприяють приведенню українських навчань, інструктажів і бойових стандартів до вимог Альянсу.

Участь у миротворчих місіях сприяє підвищенню міжнародного авторитету держави. Українські військовослужбовці проявили високу професійну підготовку та дисципліну у багатьох регіонах світу, зокрема в Косово, Іраку, Ліберії, ДР Конго. Це не лише підтверджує їхню спроможність діяти в умовах багатонаціонального середовища, а й сприяє розбудові партнерських відносин.[1] Участь у цих місіях також дає змогу ЗСУ отримати доступ до сучасної військової логістики, інфраструктури та нових типів озброєння, що в майбутньому використовується для трансформації національної оборони.

Суттєвим є також соціальний аспект діяльності ЗСУ. В умовах збройного конфлікту на сході України підвищується довіра до армії, зростає її престиж у суспільстві. Збройні сили стають важливою інституцією, що впливає на формування громадянської ідентичності, національної єдності та патріотизму. [2] Особливо помітно це серед молоді: кількість охочих вступити до військових ліцеїв та академій зростає, формується новий прошарок громадян, готових не лише захищати державу, а й брати участь у її стратегічному розвитку.

Модернізація оборонно-промислового комплексу – ще один ключовий фактор забезпечення ефективної діяльності армії. Інвестиції у нові технології, розробка сучасних систем озброєння та засобів захисту, розвиток вітчизняного ВПК є запорукою підвищення бойової спроможності Збройних Сил України.[1] Важливим напрямом є локалізація виробництва критичних компонентів, зменшення залежності від імпорту та розвиток державно-приватного

партнерства у сфері оборони. Сучасні зразки техніки, такі як БПЛА “Фурія”, реактивні системи “Вільха” та “Нептун”, вже стали результатом такої модернізації. Також пріоритетом є розвиток цифрових платформ управління боєм, які дозволяють об’єднати розвідку, артилерію, авіацію та піхоту в єдину мережу командування.

Таким чином, Збройні Сили України виконують багатофункціональну місію, яка охоплює не лише оборону держави, а й участь у формуванні безпечного глобального середовища. Їхній розвиток – це не лише відповідь на сучасні виклики, а й стратегічна інвестиція в майбутнє країни.[2] Формування сильної, сучасної армії – це питання не лише безпеки, але й довгострокової стабільності, міжнародного партнерства та позиціонування України як надійного союзника в системі колективної безпеки. Саме тому розвиток Збройних Сил має залишатися постійним пріоритетом державної політики, академічних досліджень і громадянської підтримки.

Висновки

Збройні сили в умовах XXI століття виконують не лише оборонну функцію, але й стають важливим чинником стабільності та розвитку міжнародної співпраці. Вони мають бути гнучкими, технологічно оснащеними та інтегрованими у глобальні системи безпеки.

Список літератури

1. Ліпкан В.А. Національна безпека України: теоретико-методологічні та прикладні засади. Київ: Видавництво Ліра-К, 2019. 448 с.
2. Воєнна доктрина України. Міністерство оборони України. URL: https://www.mil.gov.ua/doktryny/
3. NATO and Ukraine: Partnership for Peace. NATO Review. URL: https://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_37750.htm

UDC 614.8:355.4:621.039

D.V. Osadchuk, master degree student in environmental sciences,
T.V. Dudar, Dr.Eng.Sc. professor,
(State University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine)

Improving radiation safety in the combat zone

Discussion of problems and risks to radiation safety in the combat zone in modern war. Discussion of potential hazards and their sources, as well as recommendations for minimizing risks and consequences.

Concepts of radiation safety, radiation doses, ionizing radiation

Radiation safety is compliance with the permissible limits of radiation exposure to personnel, the public and the environment established by safety standards and regulations [1]. In general, by the definition of "radiation safety" we mean compliance with recommendations and protection of oneself (in the case of personal safety) or protection of the population (globally) to prevent undesirably high or even lethal radiation doses. Ionizing radiation - a stream of elementary particles, atomic nuclei or ions capable of ionizing and exciting its atoms and molecules when passing through a medium. ionization energy, in chemistry and physics, the amount of energy required to remove an electron from an isolated atom or molecule. There is an ionization energy for each successive electron removed; the ionization energy associated with removal of the first (most loosely held) electron, however, is most commonly used [2]. In case of direct exposure to ionizing radiation (charged particles, atomic nuclei and ions), the radiation itself suffers ionization energy losses due to interaction with the medium, while in case of indirect exposure (uncharged particles, in particular neutrons and gamma quanta), ionization energy losses are caused by secondary charged particles that arise in the process of interaction of this radiation with the medium. [3]. Radiation dose - in radiation safety, physics and radiobiology - is a value used to assess the degree of impact of ionizing radiation on any substance, living organisms and their tissues. The radiation dose is described in three ways: Absorbed dose, equivalent dose and effective dose. Absorbed dose is the amount of ionizing radiation energy transferred to a substance. The substance can be anything: water, rock, air, people, etc. The absorbed dose is expressed in milligray (mGy). The equivalent dose is calculated for individual organs. It is based on the absorbed dose to an organ adjusted for the efficiency of the radiation type. The equivalent dose is expressed in millisieverts (mSv) per organ. The effective dose is calculated for the whole body. This is the addition of equivalent doses to all organs, each of which is adjusted for the sensitivity of the organ to radiation. The effective dose is expressed in millisieverts (mSv). Sievert - (symbol: Sv) - a unit of measurement of equivalent dose of ionizing radiation in the International System of Units (SI), designed to represent the stochastic health risk from ionizing radiation, which is defined as the probability of causing radiation-induced cancer and genetic damage. Gray (symbol: Gy) is a unit of ionizing radiation dose in the SI, defined as the absorption of one joule of radiation energy by a kilogram of substance: 1 Gy = 1 J/kg[4].

Effects of ionizing radiation on the human body

The impact of ionizing radiation on the human body varies and depends on the dose absorbed by a person. Radiation exposure to the body is accompanied by a number of radiobiological consequences, which are divided into genetic and somatic. Genetic radiobiological effects are manifested in descendants, while somatic effects occur in the irradiated organism. In addition, if the severity of harmful effects increases with increasing dose and they appear starting from a certain threshold, they are called deterministic, and if the probability of effects exists starting from the lowest doses, they are called stochastic. Deterministic effects are highly clinically significant and are often observed immediately after exposure. The threshold for such effects often starts from 0.1 Gy to tens of Gy. For example, temporary sterility in men starts at 0.15 Gy, and inevitable sterility starts at 3.5-6 Gy. In women, inevitable sterility starts at 2.5-6 Gy. Stochastic effects, on the other hand, occur randomly and have a long latency period, which can reach decades. Usually, these are carcinogenic effects. Preventive measures: Rational organization of work and compliance with radiation safety standards are required. All types of work should be effectively shielded. When working with sealed radiation sources, the rules for storing and transporting ampoules using containers and manipulators should be followed. Dosimetric monitoring, preliminary and periodic medical examinations, as well as compliance with medical contraindications for persons hired to work with radioactive substances are of great importance.

Radiation hazard in the combat zone: occupation of Chornobyl Exclusion Zone (ChEZ)

This topic is relevant in view of the conduct of hostilities with the use of weapons that can contaminate the territory with radiation pollution, have radioactive elements in them, or hostilities are already taking place in the territory contaminated with radiation, for example, as it was in the exclusion zone and the zone of unconditional (mandatory) resettlement. The occupation of the exclusion zone and the zone of unconditional (mandatory) resettlement began on February 24, 2022 and ended on April 2, 2022 with the complete withdrawal of Russian troops. The course of action was as follows: On February 24, the occupying forces entered the ChEZ from the territory of Belarus. The National Guard guarding the hazardous radioactive waste storage facility put up a fight. In the afternoon, the Ukrainian government announced that one of the goals of the Russian offensive was to seize the ChEZ By the end of the day, Ukrainian authorities announced that it had lost control of Pripyat and Chornobyl. It was also reported that during the fighting, artillery fire damaged radioactive waste storage sites, leading to an increase in radioactivity. On March 9, the Ukrainian State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine (SNRIU) informed the IAEA that the power supply to the Chornobyl NPP, which is used, among other things, to cool spent fuel, had been cut off [5]. The IAEA said that Ukraine had asked the organization for help in ensuring staff rotation at the Chornobyl NPP, as the same shift of 210 people has been working there since the beginning of the war, and they have been in contact with the organization only via email. In March 2022, local fires broke out in the west of the ChEZ On March 31, Ukrainian authorities informed that the occupiers were going to leave the Chornobyl NPP and its satellite town of

Slavutych. They have already moved in two columns toward the Ukrainian border with the Republic of Belarus. The invaders informed the Ukrainian staff of the plant about their intentions to leave the Chornobyl NPP in the morning of the same day. On April 3, according to Energoatom, Russian troops left the territory of the Chornobyl NPP and the nearby town of Pripyat, and the same day the town was returned controll by the Armed Forces of Ukraine. SNRIU recorded a 20-fold increase in gamma radiation levels in the area on February 24: readings from local monitoring stations increased from 3 to 65 microsieverts per hour. Probably, this was most likely caused by military vehicles passing through the ChEZ, which kicked up contaminated dust that had settled on the ground. Experts believe that a major nuclear disaster is extremely unlikely there. It is worth mentioning that the Russian military dug trenches in the contaminated area, which led to their severe exposure. Soils in the exclusion zone are contaminated with radionuclides Cesium-137, Strontium-90, Plutonium-239, and Americium-241. Soil particles were also released into the air during the process of creating trenches. It is also known that Russian soldiers also stayed near Red Forest for quite a long time. Prolonged exposure to radioactive soil of this scale of contamination led to the progression of radiation sickness among soldiers and an increase in the radiation background of the exclusion zone.

Radiation hazard in the combat zone: Depleted uranium and its applications

Depleted uranium is a byproduct of uranium enrichment that has a reduced content of the isotope U-235, which is used as fuel for reactors or in nuclear weapons. It is mainly composed of the U-238 isotope. Although depleted uranium is significantly less radioactive than enriched uranium, it remains toxic and poses a radiological hazard in case of prolonged contact.Uranium is distinguished by the extremely high density of its metallic form: at 19.1 grams per cubic centimeter (0.69 pounds per cubic inch), uranium is 68.4% denser than lead. Depleted uranium, which has about the same density as natural uranium, is used when high density is desired but the high radioactivity of natural uranium is not. Civilian uses include counterweights in airplanes, radiation shielding in medical radiation therapy, research and industrial radiographic equipment, and containers for transporting radioactive materials. Military applications include armor plating and armor-piercing projectiles. Depleted uranium is widely used in the military industry. It is used in the creation of armor for armored vehicles and tanks, being pressed between sheets of steel armor plate. For example, some M1A1 and M1A2 Abrams tanks built after 1998 have depleted uranium modules integrated into Chobham armor as part of the armor plating in the front of the turret, and there is a program to upgrade older tanks. For us, depleted uranium in the military industry has become better known because of the depleted uranium projectiles provided to us by our allies. Depleted uranium is used in kinetic energy penetrators, anti-tank projectiles, such as the 120 mm projectiles fired from the British Challenger 1, Challenger 2, M1A1 and M1A2 Abrams. Kinetic-energy penetrator projectiles consist of a long, relatively thin penetrator surrounded by a frangible part. Steel alloys are metal alloys of depleted uranium with a very small proportion of other metals, usually titanium or molybdenum. One of the formulations has a composition of 99.25% by weight of depleted uranium and 0.75% by weight of

titanium. The steel alloys are about 1.67 times denser than lead and are intended for use in armor-piercing ammunition with penetrating kinetic energy. The US Army uses uranium in an alloy with about 3.5% titanium. Exposure to uranium can disrupt the normal functioning of the kidneys, brain, liver, heart, and many other systems because uranium is a toxic metal, although less toxic than other heavy metals such as arsenic and mercury. It is weakly radioactive and is “persistent” due to its very long half-life. The Agency for Toxic Substances and Disease Registry states that: “to be exposed to radiation from uranium, you must eat, drink, inhale, or get it on your skin.” If depleted uranium particles do enter the human body, the type of hazard—toxic or radiological—and the organ most likely to be affected depend on the solubility of the particles. In military conflicts involving depleted uranium munitions, the primary concern is the inhalation of depleted uranium particles in aerosols that result from the impact of depleted uranium-enhanced shells on their targets. When depleted uranium munitions penetrate armor or burn, they form depleted uranium oxides in the form of dust that can be inhaled or contaminate wounds. The Attica Institute of Nuclear Technology and Radiation Protection in Greece has noted that "aerosols generated during the impact and combustion of depleted uranium munitions can potentially contaminate large areas around impact sites or can be inhaled by civilians and military personnel." The use of depleted uranium in incendiary munitions is controversial due to possible adverse health effects and its release into the environment. It should be noted that the U.S. Department of Defense states that no human cancers have been identified as a result of exposure to natural or depleted uranium. The military has long had risk-mitigation procedures that its troops must follow, and studies clearly agree that veterans who used depleted uranium munitions have not yet suffered from an increased risk of cancer. However, the effects of depleted uranium on civilians are the subject of intense and ongoing controversy.

Improving radiation safety in the combat zone

In today's conditions of increasing risks associated with military operations near nuclear facilities, radioactive material storage facilities or in areas with increased levels of contamination, the issue of ensuring radiation safety for the military, the civilian population and the environment is of particular relevance. In this context, it is necessary to implement comprehensive measures aimed at minimizing the risks of radiation damage. The key recommendations are given below. First of all, Deployment of an operational radiation monitoring system The primary task is to ensure constant monitoring of the radiation background in combat zones, especially near facilities that may contain radioactive materials (nuclear power plants, radioactive waste storage facilities, enterprises with sources of ionizing radiation). It is necessary to use both stationary and mobile measuring devices, as well as unmanned platforms for remote data collection in areas of increased danger. Providing military and rescue units with protective equipment should be mandatory. Personnel should be provided with individual dosimeters, personal protective equipment - respirators, protective suits, as well as instructions on actions in case of detection of radioactive contamination. Special attention should be paid to the training of military medics to provide assistance in case of radiation injury. The civilian population located in the risk zone should be informed about the basic rules of behavior in case of increased

radiation background. It is advisable to conduct evacuation training, teach the basics of radiation protection, and distribute memorabilia with instructions on actions in the event of an accident or the use of nuclear weapons. It is also necessary to take measures to physically protect nuclear energy facilities, radioactive waste storage facilities, and other potentially dangerous facilities from sabotage, shelling, or hostilities. Coordination should be established between the military, the State Emergency Service of Ukraine, facility personnel, and local authorities. It is necessary that we already have response plans in case of leakage of radioactive substances, their release into the environment or the combat use of nuclear weapons. Such plans should include scenarios for localization, evacuation, decontamination, medical support and information support. In areas of increased risk, like Chornobyl area and all territories which are close to them, where risks of impact from possible emergency situation are very hight, reserves of potassium iodide should be created to prevent damage to the thyroid gland. Attention should be paid to controlling the movement of radioactive materials.

Conclusion

The threat of warfare in conditions of radiation hazard exists and has even already occurred during the occupation of the ChEZ and Zaporizhzhia Nuclear Power Plant. To ensure the safety of soldiers and citizens at risk, it is necessary to conduct radiological monitoring, provide military and civilians with access to personal protective equipment and medicines, and conduct the necessary nuclear safety training.

References

1. Law of Ukraine on Nuclear Energy Use and Radiation Safety. Edition dated 01.01.2025.
2. Encyclopaedia Britannica, Erik Gregersen. link: https://www.britannica.com
3. Encyclopedia of Modern Ukraine, Ionizing radiation. Link: https://esu.com.ua
4. Radiology science, Radiation dose. Internet resource. Link: https://radiology-science.com.
5. Об'єкти ДСП «Чорнобильська АЕС», поточна ситуація станом на 13:00 09.03.2022

УДК: 355/359(477):327.5(4-67НАТО)

С.В Петренко, С.С. Єлева
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Трансформація Збройних Сил України у контексті євроатлантичної інтеграції

У статті розглядаються основні етапи трансформації Збройних Сил України у напрямку євроатлантичної інтеграції. Описано процес адаптації військової системи до стандартів НАТО, аналізуються досягнення та проблеми. Увага приділяється впливу міжнародного співробітництва на реформування ЗСУ в умовах російсько-української війни.

У світлі геополітичних змін, спричинених російською агресією, проблема трансформації Збройних Сил України стала одним із пріоритетних напрямів державної політики. ЗСУ, як стрижень національної системи безпеки, відіграють центральну роль у реалізації стратегії євроатлантичної інтеграції, що закріплена в Конституції України з 2019 року. Формування сумісності з арміями країн-членів НАТО, підвищення боєздатності та стійкості до гібридних загроз визначають стратегічну мету трансформаційних процесів у секторі оборони.

З моменту проголошення незалежності Україна поступово рухалася у напрямку військового зближення з Альянсом. Підписання Хартії про особливе партнерство з НАТО у 1997 році стало важливою віхою, яка заклала підґрунтя для практичного співробітництва. Починаючи з 2000-х років, Україна брала участь у миротворчих місіях НАТО, зокрема в Косово та Іраку, а згодом — у Програмі «Партнерство заради миру» [1]. Події 2014 року, анексія Криму та початок війни на сході України продемонстрували неспроможність старої військової системи ефективно протидіяти загрозам. Відтоді розпочався системний процес реформування відповідно до стандартів НАТО, що посилився після повномасштабного вторгнення у 2022 році [3].

Процес реформування охопив декілька ключових напрямів. Зміни у структурі та системі управління передбачали перехід до багаторівневої системи, узгодженої з моделлю НАТО, а також утворення Об'єднаного оперативного штабу ЗСУ, здатного самостійно планувати та проводити операції відповідно до стандартів Альянсу [4]. Також було модернізовано функціонування Генерального штабу, що дозволило відокремити стратегічні, оперативні та адміністративні функції, посилити аналітичну спроможність та забезпечити гнучкість командування в умовах бойових дій.

У межах професіоналізації особового складу Україна запровадила підготовку за контрактом, реформувала сержантський корпус, розширила систему військової освіти. Були створені сучасні навчальні програми з підготовки військових лідерів тактичного рівня за участі іноземних інструкторів, зокрема з Канади, США, Великої Британії [2].

Важливим чинником інтеграції стало впровадження стандартів НАТО — STANAG. На кінець 2023 року понад 300 стандартів було адаптовано в

оперативному, логістичному, медичному, технічному та інформаційному забезпеченні [5]. Сумісність у процесах планування операцій, звітності, системі зв'язку та управління вогнем значно підвищила ефективність взаємодії з силами партнерів.

Після 2022 року міжнародна допомога стала вирішальним фактором модернізації українських збройних сил. Україна отримала широкий спектр озброєння — від протитанкових засобів до систем протиповітряної оборони та танків західного зразка. Таке озброєння, зокрема системи HIMARS, M777, Leopard 2, IRIS-T та Patriot, забезпечило перевагу на окремих ділянках фронту та стимулювало адаптацію тактики ведення бою до стандартів країн НАТО [4].

Водночас військова допомога вимагала від української сторони не лише технічної інтеграції, а й зростання відповідальності у питаннях логістики, навчання та звітності. Формат «Рамштайн», що об'єднує понад 50 країн, став постійною платформою координації постачання, обміну досвідом та довгострокового планування підтримки.

Незважаючи на значний поступ, процес євроатлантичної інтеграції залишається ускладненим низкою чинників. Серед них варто зазначити наявність залишків радянської військової культури, яка тяжіє до жорсткої ієрархії, централізованого управління і непрозорості рішень. Корупційні ризики, зокрема у сфері оборонних закупівель, продовжують впливати на довіру до системи, хоч і значно зменшилися за останні роки завдяки роботі спеціалізованих антикорупційних органів [2].

Технічна модернізація відбувається поступово. Значна частина озброєння, особливо бронетехніка та артилерія, досі є спадщиною радянського зразка. Оновлення військової інфраструктури, адаптація навчальних програм та стандартизація підходів до підготовки потребують часу, фінансів і кадрів. Військова освіта, хоч і активно реформується, досі вимагає інтеграції сучасних принципів воєнної науки, стратегічного мислення та аналізу [3].

Українська армія вже сьогодні виконує роль форпосту східного флангу НАТО. Практична участь у багатьох спільних навчаннях, бойовий досвід, а також високий рівень мобілізації свідчать про здатність ЗСУ діяти в координації з арміями держав-членів Альянсу. Подальша інтеграція можлива через поглиблення інституційної співпраці, створення навчально-тренувальних центрів за участі інструкторів НАТО, розширення обмінів на рівні штабів та оперативного командування [5].

Членство в НАТО, хоча й має виразне політичне забарвлення, дедалі частіше розглядається у контексті безпекової доцільності. Реальна участь України у гарантуванні безпеки Європи дає підстави для перегляду традиційної моделі розширення Альянсу та включення України до системи колективної оборони.

Висновки

Трансформація Збройних Сил України у напрямку євроатлантичної інтеграції є багатогранним і комплексним процесом, який включає численні структурні та організаційні зміни, що сприяють досягненню стратегічної мети

— членства України в НАТО. Однак важливо зазначити, що цей процес не обмежується лише технічними аспектами та приведенням військових стандартів до вимог Альянсу. Він має глибокий внутрішній зміст, охоплюючи відновлення військової культури, розвиток кадрового потенціалу та демократизацію процесів управління. Україна повинна не тільки адаптувати свою армію до сучасних стандартів, а й забезпечити ефективну взаємодію з партнерами на стратегічному рівні, що вимагає розвитку міжвідомчих та міжурядових механізмів співпраці.

Основними етапами трансформації стали реформи управління Збройними Силами, зміни у системі військового навчання та професіоналізації особового складу. Створення Об'єднаного оперативного штабу, інтеграція сучасних стандартів НАТО, посилення логістичних і медичних підготовчих програм стали основою для майбутнього розвитку військової спроможності України. Водночас важливим чинником для успішної інтеграції є поступове набуття досвіду участі у миротворчих місіях та спільних навчаннях з державами НАТО, що дозволяє ЗСУ здобувати досвід ведення операцій за стандартами Альянсу.

Проте, незважаючи на значні досягнення, трансформаційний процес стикається з низкою викликів. По-перше, залишки радянської військової спадщини в культурі та практиці управління все ще є суттєвими бар'єрами для гнучкої адаптації до нових вимог. Необхідність модернізації військової техніки та інфраструктури, наявність проблем з корупцією та адміністративною прозорістю — все це вимагає значних зусиль та часу для досягнення бажаного результату. Водночас, міжнародна підтримка є важливою складовою успішної адаптації Збройних Сил України до стандартів НАТО. Різноманітна військова допомога, яку Україна отримала від партнерів, безумовно стала каталізатором реформ, особливо в питаннях технічного оснащення та тактичної адаптації. Системи HIMARS, танки Leopard 2 та артилерія M777 дозволили значно підвищити бойову спроможність українських військ, однак це також вимагає від українських військових значних зусиль для освоєння та ефективного використання новітнього обладнання.

У той же час важливим аспектом є розвиток національної військової стратегії, що включає як оборонний компонент, так і стратегічну складову в контексті інтеграції до міжнародних структур. Це передбачає удосконалення процесів планування операцій, удосконалення співпраці з НАТО в межах багатонаціональних сил та розвиток спільних інфраструктурних проєктів.

Перспективи повної сумісності ЗСУ з арміями країн Альянсу зумовлюють не тільки технічне удосконалення та відповідність стандартам, але й стратегічне вирішення питання безпеки Європи в цілому. Враховуючи геополітичну ситуацію, членство України в НАТО стає не лише питанням національної безпеки, а й важливою складовою глобальної безпеки. Прогнозується, що Україна може стати важливим елементом в архітектурі колективної оборони НАТО, забезпечуючи стабільність на європейському континенті.

З огляду на ці фактори, трансформація Збройних Сил України в контексті євроатлантичної інтеграції має не тільки стратегічне, але й

цивілізаційне значення, яке є важливим не тільки для України, а й для всього регіону, який бореться за захист демократії, суверенітету та верховенства права в умовах глобальних викликів. Успішна реалізація цього процесу не лише підтвердить прагнення України до євроатлантичної інтеграції, а й стане підтвердженням її здатності долати виклики та гарантувати безпеку в майбутньому.

Список літератури

1. “The Ukraine-NATO Partnership: Challenges and Opportunities in Light of the Ongoing Russia-Ukraine War.” International Journal of Politics & Social Sciences Review (IJPSSR), 2023.
2. Mansur, O., Netreba, O., Bilgin, J., Yardim, I., & Ulusay, N. (2022). Ukraine and NATO: Problems, Challenges, Prospects. Foreign Affairs, 32(3), 14-21. https://doi.org/10.46493/2663-2675.32(3).2022.14-21
3. Pipchenko, N., Makarenko, I., Ryzhkov, M., & Zaitseva, M. (2021). The policy of European and Euro-Atlantic integration as a key factor for Ukraine’s transformation. European Spatial Research and Policy, 28(1), 265–285. https://doi.org/10.18778/1231-1952.28.1.14
4. "Euroatlantic Integration and Military Reform in Ukraine", Wilson Center https://www.wilsoncenter.org/publication/euroatlantic-integration-and-military-reform-ukraine
5. Council Special Initiative on Securing Ukraine’s Future report https://www.cfr.org/report/ukraine-nato-and-war-termination

УДК 614.84:623.42

І.П. Ковалевич, Б.К. Єлізаров, В.В. Сарнавський
(Командування логістики Командування
Повітряних Сил Збройних Сил України, Україна)
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Удосконалення підготовки пожежно-рятувального підрозділів та гасіння пожеж на спеціальних фортифікаційних спорудах та пунктів управління

Вивчення керівних документів щодо утримання спеціальних фортифікаційних споруд та пунктів управління, та розробка пропозицій щодо підготовки пожежників для більш ефективної боротьби з надзвичайними ситуаціями на цих об'єктах.

Вступ

Кожен пожежник пожежно-рятувального підрозділу проходить підготовку за стандартом СТП 20.033.22.45.4.01-2013(01) «Спеціальна підготовка пожежного підрозділу»[1], де недостатньо уваги приділяється підготовці пожежно-рятувальних підрозділів (далі – ПРП) в області гасінні пожеж в підвальних та підземних приміщеннях.

Незважаючи на те, що існують стандарти, які регламентують підготовку пожежників, деякі аспекти залишаються недопрацьованими. Зокрема, це стосується не лише специфіки гасіння пожеж у підземних приміщеннях, а саме на спеціальних фортифікаційних спорудах та пунктів управління, але й ефективного використання західних зразків пожежно-технічного обладнання, що потребує додаткового освоєння для запобігання трагедій у критичних ситуаціях.

У ПРП Збройних Сил України Також існує проблема із використання майна та техніки західного зразку (рис. 2), через що надання першої невідкладної допомоги постраждалим, може призводити до летальних наслідків через бездіяльність ПРП в перші хвилини, коли людину можливо було врятувати.



Рис. 2. Використання апарату ШВЛ «Weinmann Emergency Medumat Standard[2]»

Відповідно до додатку 25 керівництва з утримання пунктів управління Збройних Сил України, у складі рятувального майна пожежно-рятувальних підрозділів обов'язково має бути передбачений апарат гірнорятувальний (ГС-8М) (рис. 3) або його аналоги. Це обладнання відіграє ключову роль у рятуванні людей які зонах задимлення або інших критичних умовах. Саме тому навички використання такого обладнання мають бути важливою частиною спеціальної підготовки пожежників. [2]

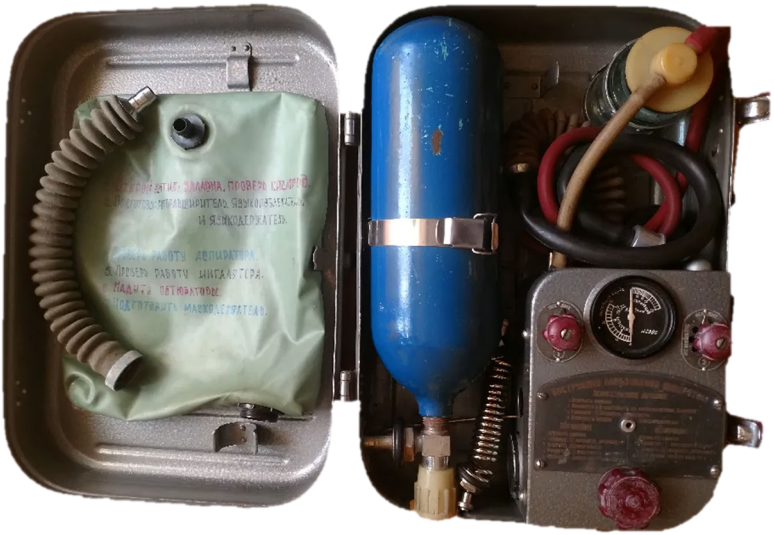


Рис. 3. Апарат гірнорятувальний (ГС-8М)

Також, недостатньо лише наявності апарата, а і його ефективне застосування потребує регулярних тренувань, які мають включати моделювання реальних надзвичайних ситуацій. Наприклад, навчання роботі з апаратом у газодимо теплокамері, з ускладнення у вигляді вузького простору для підвищення стійкості до стресу та орієнтування у складних просторових умовах. (рис. 4, 5)




Рис. 4, 5. Підготовка пожежників в умовах обмеженого простору

Додатково, не менш важливою є медична підготовка рятувальників. Перша невідкладна допомога часто є вирішальним фактором для порятунку постраждалих у перші хвилини після інциденту. Тому програма підготовки пожежників повинна містити курси базової медичної допомоги, зокрема, використання засобів серцево-легеневої реанімації, та практичних тренувань з проведення серцево-легеневої реанімації, накладання пов'язок та заходи для стабілізації стану потерпілих до прибуття медичних працівників з необхідним обладнанням.

Гасіння пожеж в підвальних приміщеннях ускладнюється сильним задимленням, високими температурами, складністю планування, можливістю розповсюдження вогню та диму у вище розташовані приміщення.

Біля входу у підвал виставляти пост безпеки, який має вести персональний облік особового складу, що направляється в споруду, і слідкувати за своєчасним виходом його назовні. До повної ліквідації пожежі ретельно перевіряти всі приміщення першого, за необхідності і вище розташованих поверхів.

Висновки

Отже, комплексний підхід до навчання, що об'єднує роботу з підготовки пожежно-рятувальних підрозділів до гасіння пожеж на спеціальних фортифікаційних спорудах та пунктів управління та покращення навичок застосування обладнанням західного зразка, використання рятувальних апаратів та медичні знання, допоможе підвищити шанс рятування життя людей роботи пожежно-рятувальних підрозділів та зменшити стрес, пов'язаний із втратами людських життів.

Список літератури

1. Стандарт підготовки СТП 20.033.22.45.4.01-2013(01) «Спеціальна підготовка пожежного підрозділу»
2. Керівництво з утримання пунктів управління Збройних Сил України

УДК 355.41:004.9

Б.О. Плужніков, к.е.н., доц., М. В. Ємельянов
(Національний авіаційній університет, Україна)

Сучасні тенденції розвитку логістичного забезпечення військ

Проведено аналіз сучасних тенденцій розвитку логістичного забезпечення військ. Запропоновані рекомендації щодо подальшого удосконалення та підвищення ефективності діючої системи логістичного забезпечення військ з урахуванням досвіду бойових дій та сумісності із країнами-партнерами НАТО. Визначені основні принципи подальшого розвитку логістичної інформаційної системи.

Сучасні тенденції розвитку логістичного забезпечення військ зазнають суттєвих змін під впливом технологічного прогресу та нових викликів у сфері безпеки. Одним з ключових напрямків є впровадження автоматизованих систем управління логістикою, що дозволяє оптимізувати процеси планування, розподілу та контролю ресурсів [1]. Це включає використання передових технологій для прогнозування потреб у постачанні та технічному обслуговуванні, що значно підвищує ефективність логістичних операцій.

Особливістю сьогоднішньої логістики в порівнянні з кінцем минулого століття є стрімкий розвиток технологій, зокрема як штучний інтелект, масштабне впровадження інтернет та GPS зв'язку, окремо можна виділити й появу та активне застосування дронів. Це в свою чергу дозволило збільшити радіус та точність ураження озброєння, що в свою чергу ускладнило тилове забезпечення та транспортування. Саме тому Збройні Сили України в сучасних реаліях зобов'язані впроваджувати сучасні технології та шукати оптимізацію в усіх процесах, включно з базовими принципами адресного зберігання та сучасними ERP, WMS та TMS системами [2].

На думку військових експертів, незважаючи на постійні реформи, система логістичного забезпечення ЗСУ на даний час має певні недоліки. Зокрема, немає необхідного рівня оцінки ресурсів та адекватності системи управління тилом вимогам негайного реагування на мінливі потреби бойових підрозділів та забезпечення своєчасної доставки пріоритетних предметів постачання. Не вирішеним залишається питання щодо точності оцінки забезпеченості ресурсами оперативних планів бойових дій. Крім того, виявлено проблеми у сфері координації та організації ефективної взаємодії з тиловими органами країн-партнерів, а також різних державних невійськових та приватних організацій, які залучаються за контрактами для тилового забезпечення угруповань сил на ТВД. У 2019 році НАТО дозволило Збройним силам України використовувати систему LOGFAS [3]. Проте LOGFAS не забезпечує, зокрема, функції обліку наявності та руху матеріальних ресурсів, оформлення заявок на транспортування та інших документів, що є важливою складовою логістики в Україні. Побудова нової системи розпочато у 2010 році. На даний момент ведеться робота зі створення нового логістичного інформаційного середовища – Logistics Functional Services (LOG FS) на заміну існуючому LOGFAS [4]. На нашу думку, ця програма має охоплювати всі види ЗС та етапи логістичного

забезпечення угруповань сил - від розгортання, постачання під час ведення бойових дій на віддалених ТВД до евакуації сил. Особливої уваги потребує вартісна оптимізація процесів тилового забезпечення, зменшення надмірності та дублювання, а також підвищення оперативної ефективності, надійності та гнучкості системи тилового забезпечення (СТЗ). Враховуючи сучасний характер бойових дій на сході країни, на перший план висуваються завдання тилового забезпечення, що передбачають досягнення поставленої мети за рахунок використання нечисленних угруповань сил; підвищення боєготовності військ (сил) та забезпечення їх дій протягом тривалого часу; збільшення ефективності функціонування ланцюгів постачання, надійності постачання та його адаптивності до потреб бойових підрозділів; скорочення часу ремонту, обслуговування/модернізації ОВТ, зменшення обсягів необхідних запасних частин.

Інша важлива тенденція - розвиток мобільних та модульних систем забезпечення. Сучасні збройні сили потребують гнучких рішень, які можна швидко розгорнути в різних умовах. Це призвело до створення компактних, автономних логістичних модулів, здатних забезпечувати підрозділи всім необхідним у віддалених або складних для доступу районах [5]. Такі системи часто включають власні джерела енергії, системи очищення води та засоби зв'язку, що робить їх незалежними від зовнішньої інфраструктури.

Значна увага приділяється також екологічності та енергоефективності логістичних рішень. Збройні сили багатьох країн впроваджують технології відновлюваної енергетики та електричні транспортні засоби для зменшення залежності від традиційних видів палива. Це не лише знижує екологічний вплив, але й підвищує автономність та стійкість логістичних систем в умовах обмеженого доступу до ресурсів [6].

Важливим аспектом сучасного логістичного забезпечення є інтеграція з цивільними логістичними мережами. Збройні сили все частіше використовують комерційні логістичні послуги та інфраструктуру для підвищення ефективності та зниження витрат. Це вимагає розробки нових підходів до забезпечення безпеки та надійності поставок, а також створення гнучких партнерських відносин між військовими та цивільними структурами [7].

Розвиток технологій адитивного виробництва також має значний вплив на військову логістику. Можливість виготовлення запасних частин та навіть деяких видів обладнання безпосередньо на місці дозволяє значно скоротити час очікування поставок та зменшити залежність від довгих ланцюгів постачання. Це особливо важливо в умовах віддалених або ізольованих операцій, де традиційні методи постачання можуть бути ускладнені або неможливі.

Сучасні тенденції в логістичному забезпеченні військ також включають розвиток систем прогнозного обслуговування техніки. Використання датчиків та аналітичних інструментів дозволяє передбачати потенційні несправності обладнання до їх виникнення, що значно знижує ризик непередбачених поломок та підвищує загальну боєготовність підрозділів. Це особливо актуально для складних систем озброєння та військової техніки, де надійність є критично важливою.

Також зростає роль інформаційної безпеки в логістичних системах. З огляду на все більшу залежність від цифрових технологій, захист даних та комунікаційних каналів стає невід'ємною частиною сучасного логістичного забезпечення. Розробляються спеціалізовані системи шифрування та захисту інформації, які забезпечують безпечний обмін даними між різними ланками логістичного ланцюга.

Важливою тенденцією є розвиток міжнародної співпраці у сфері військової логістики. Це особливо помітно в рамках міжнародних організацій та альянсів, де країни-учасниці прагнуть до стандартизації логістичних процедур та обладнання для підвищення сумісності та ефективності спільних операцій.

Висновки

Отже, можна зробити висновки, що сучасні тенденції розвитку логістичного забезпечення військ спрямовані на підвищення гнучкості, автономності та ефективності. Впровадження передових технологій дозволяє створювати більш адаптивні та стійкі системи забезпечення, здатні відповідати на сучасні виклики та загрози. При цьому особлива увага повинна приділятися інтеграції військових та цивільних логістичних систем, а також екологічності та енергоефективності рішень. Запропоновані принципи вдосконалення існуючої логістичної інформаційної системи шляхом комплексної автоматизації процесів управління на основі територіального моніторингу в ланцюзі управління матеріальними ресурсами дозволить значно підвищити ефективність логістичного забезпечення військ в режимі реального часу і є одним із найважливіших завдань сьогодення.

Список літератури

1. Kress M. Operational Logistics: The Art and Science of Sustaining Military Operations. Cham : Springer International Publishing, 2016. 217 p.
2. Логістика війни: виклики та стратегії офіцера-логіста ЗСУ URL: https://trademaster.ua/articles/313820 (дата звернення: 16.03.2025).
3. LOGFAS Tutorials, https://aktivity.unob.cz/ Logfas/SitePages/Tutorial.
4. PECINA M., HUSAK J. Application of the New NATO Logistics System: Land Forces Academy Review, 2018. Vol. XXIII: No 2(90). - P.121-127
5. Тесніков О., Фурсова В. Напрямки розвитку військової логістики в Україні в умовах воєнного стану як фактору її економічної безпеки. Економіка та суспільство. 2024. № 62. URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-111
6. Pecina M., Dufek R. Military Logistics in the 21st Century. Proceedings of the 25th International Scientific Conference Transport Means 2021. Kaunas : Kaunas University of Technology, 2020. P. 1044-1048.
7. Yoho K. D., Rietjens S., Tatham P. Defence logistics: an important research field in need of researchers. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2013. Vol. 43, No. 2. P. 80-96.

УДК 623.486:614.841.27(043.2)

С.В. Петренко, О.А. Желдак, А.В. Борис
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.).

Проблеми впровадження техніки країн-партнерів у діяльності пожежно-рятувальни підрозділів

Запропоновано: техніка країн-партнерів, пожежно-рятувальні підрозділи, сумісність, стандарти, логістика, підготовка персоналу.

Впровадження сучасної техніки від країн-партнерів у пожежно-рятувальних підрозділах (ПРП) виявило низку технічних та організаційних проблем.

Серед них – несумісність з'єднувальної арматури, неможливість підключення рукавів до пожежних технічних обладнань (ПТО) та відсутність взаємодії з технікою Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС).

Проблема з'єднувальної арматури та підключення рукавів

Одна з ключових проблем – невідповідність стандартів з'єднувальних елементів.

Наприклад, пожежні рукави, поставлені країнами ЄС, часто мають різьблення типу Storz або Guillemin, (рис.1) тоді як українські ПТО традиційно використовують різьблення ГОСТ (рис.2).





Рис.1 - Різьблення типу Storz або Guillemin
Рис.2 - Різьблення ГОСТ

Це ускладнює швидке підключення на місці пожежі, особливо коли потрібно використовувати техніку різних виробників.

1.Реальні приклади

1.Невідповідність різьби на рукавах

У 2023 році під час пожежі на складі в Одесі пожежники отримали нові рукави від європейських партнерів, але не змогли їх підключити до насосів українських пожежних автоцистерн.

Через це довелося витрачати час на пошук переходників або використовувати застаріле обладнання.

2. Різниця у типах кріплень ПТО

– У Київській області під час тушіння лісової пожежі виявилося, що рукави від американських пожежних машин мають швидкоз'ємні муфти NST, які не підходять до стандартних гідрантів ДСНС.

3. Нестандартні розміри напірних рукавів

– У Дніпрі пожежники отримали техніку з Польщі, але виявилося, що діаметри рукавів (наприклад, 45 мм замість стандартних 51 мм) не дозволяють їх підключити до місцевих розгалужувачів

Висновок

Для успішної інтеграції іноземної техніки в систему цивільного захисту України необхідно передбачити низку практичних заходів, що забезпечать ефективну та безперебійну її експлуатацію в реальних умовах. Іноземне обладнання, навіть найвищої якості, без належної адаптації до українських реалій може виявитися тимчасово непридатним до використання в критичний момент. Щоб уникнути подібних ситуацій, варто зосередитися на трьох ключових напрямках:

Уніфікація стандартів з'єднувальної арматури.

Оскільки вітчизняні системи та техніка здебільшого мають відмінні з'єднувальні елементи від тих, що використовуються в іноземних аналогах, важливо створити єдині технічні вимоги або ж стандарти адаптації.

Це дозволить забезпечити повну сумісність приєднання обладнання, зменшити ризики витоку рідин або втрати тиску в магістралях та гарантувати безпечну експлуатацію техніки у надзвичайних ситуаціях.

Забезпечення підрозділів ПРП (пожежно-рятувальних підрозділів) перехідниками.

Комплектування нової техніки наборами перехідників різного типу дасть змогу оперативно підключати іноземне обладнання до існуючої інфраструктури. Це значно скорочує час на розгортання системи гасіння або аварійно-рятувальних робіт.

Проведення попереднього тестування техніки перед її поставкою в підрозділи.

Практичні випробування за участі українських фахівців ще до офіційної передачі техніки дозволять виявити можливі технічні несумісності або недоліки. Це також сприятиме підвищенню рівня підготовки особового складу, який з перших днів буде готовий працювати з новим обладнанням без додаткового навчання "в полі".

Список літератури

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС)
2. Аналітичні доповіді МВС
3. Приклад із Одесою (2023 рік) – деякі ЗМІ описували проблеми з європейською технікою, але без конкретики. Наприклад, [Українська правда](https://www.pravda.com.ua/)
4. Спеціалізовані форуми [Fireman.club](http://fireman.club/)
5. Європейські норми (EN 1028, DIN 14800)
6. Документи NATO (STANAG)

УДК 623.7

В.В. Стрінада, к.т.н., доц., Д.А. Іщенко, к.т.н., доц., В.С. Тучемський
(Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова, Україна)

Аналіз особливостей застосування ударних безпілотних літальних апаратів та їх вплив на характер бойових дій під час широкомасштабної агресії рф проти України

Надано особливості технічних характеристик та класифікації безпілотних літальних апаратів (БпЛА) першого класу зі складу безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), розглядаються вітчизняні безпілотні комплекси та їх значення для обороноздатності України. Аналізуються перспективи розвитку ударних БпЛА (УБпЛА) та їх вплив на характер бойових дій.

Аналіз досвіду застосування БпАК ЗС України в ході операцій (бойових дій) у 2022 – 2025 роках показав, що в умовах кількісних обмежень засобів пілотованої авіації та її вразливості для сучасних засобів боротьби з ними, активного застосування противником ракетних військ та артилерії, щільного суцільного мінування місцевості зростає роль безпілотних систем (БпС), зокрема, ударних БпАК [1].

В умовах сьогодення вогневе ураження противника залишається основним фактором досягнення переваги. УБпЛА стали ефективним засобом нанесення вогневих ударів по військах (силах) та об’єктах противника, що у поєднанні з основними (традиційними) засобами військ, дозволяє нанести вогневе ураження для дезорганізації управління противника, знизити його бойовий потенціал, змінити співвідношення сил і засобів на користь своїх військ (сил), та створити сприятливі умови для виконання ними поставлених бойових завдань і досягнення мети бойових дій (бою) у цілому.

Аналіз особливостей застосування БпАК в період широкомасштабної агресії рф проти України засвідчив, що противник значно наростив власні можливості за кількісними та якісними показниками, активно застосовує різноманітні БпЛА для вирішення завдань розвідки, вогневого ураження воєнних об’єктів, об’єктів критичної інфраструктури та інших спеціальних завдань.

Виконання завдань з вогневого ураження підрозділами УБпЛА набуває форму вогневої підтримки військ (сил) у всіх видах бойових дій (оборона , наступ) і формах застосування військових частин і підрозділів (бій, удар, маневр). Тактика підрозділів (частин) безпілотних систем передбачає застосування УБпЛА у взаємодії з різнорідними силами та засобами для комплексування вогневого ураження противника.

Масоване застосування дешевих УБпЛА у порівнянні із засобами високоточної зброї створило для противника нетипові проблеми, які раніше не так суттєво впливали на його бойову ефективність: ураження техніки під час руху, приховане мінування шляхів висування в тиловій зоні, високоточне ураження приладів спостереження тощо. Надходження у війська УБпЛА створили умови набуття бойових (оперативних, спеціальних) спроможностей, критичних для підвищення бойового потенціалу ЗС України.

Об’єм використання БпЛА мультироторного типу із системою First Person View (далі – FPV-БпЛА) становить, для високорезультативного взводу БпАК, порядку 300-400 одиниць/місяць, при цьому, середньодобова потреба в них становить близько 15-20 одиниць. Результативність FPV-БпЛА складає від 20 до 54 %, що становить 2-5 зразків на одне ураження цілі [2].

Ефективність застосування УБпЛА залежить від таких факторів, як льотно-технічні характеристики, технічний рівень і ступінь справності апарата, рівень навченості пілотів, ступень справності обладнання, правильність вибору позиції для роботи та розуміння максимальної дальності роботи FPV-БпЛА на місцевості, від постійної комунікації з підрозділами/розрахунками РЕБ, забезпечення електромагнітної сумісності і недопущення “friendly fire” в тому числі від засобів РЕБ, постійної комунікації з центром управління польотів БпЛА.

Статистика вогневого ураження є важливим критерієм результативності підрозділів УБпЛА. Також вона демонструє не лише рівень забезпеченості підрозділу засобами, але й ефективність їх застосування.

На рис.1. наведено порівняльну діаграму ефективності застосування FPV-БпЛА підрозділами та частинами ЗС України та ЗС рф за березень 2024 року.

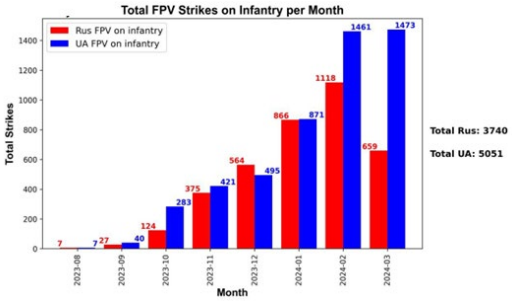


Рис. 1. Порівняльна діаграма застосування FPV-БпЛА підрозділами та частинами ЗС України та ЗС рф

З наведених даних можна спостерігати відсутність суттєвої різниці в дольовій частці ураження між FPV-БпЛА та мультироторного типу зі скидами. Основна відмінність полягає в тому, що FPV-БпЛА використовують як вогневий засіб, який здатний оперативно реагувати на зміну тактичної обстановки на полі бою. Мультироторні ж ударні БпЛА застосовують для знищення планових статичних цілей. Особливістю мультироторного ударного БпЛА є можливість нести боєприпаси з більш потужною бойовою частиною.

Також, в ході ведення наступальних (штурмових) і оборонних дій підрозділи безпілотних систем застосовують БпЛА у такому порядку:

1. Розвідувальні БпЛА літакового та коптерного типів – проводять розвідку в районах особливої уваги;

2. БпЛА ситуаційної обізнаності – ведуть моніторинг дій своїх підрозділів та ситуацію на полі бою;

3. БпЛА корегування вогню – здійснюють дорозвідку та корегування вогню засобів розвідувально-вогневих комплексів;

4. Багаторазові УБпЛА коптерного типу – здійснюють ураження живої сили на передньому краї, виконують завдання щодо заборони ведення спостереження за підрозділами, що висуваються;

5. Разові УБпЛА, FPV-БпЛА – здійснюють ураження озброєння та військової техніки на передньому краю.

До основних тенденції розвитку і застосування УБпЛА у сучасних військових конфліктах віднесемо: значне збільшення кількості та розширення номенклатури мікро, міні та малого БпЛА першого класу, які можуть бути доповненням до ствольної та реактивної артилерії, а також вогневим засобам протиповітряної оборони; використання безпілотних літальних апаратів як носіїв не лише засобів розвідки, а й враження противника; розроблення технологій масового застосування великої кількості ударних та розвідувальних БпЛА одночасно; удосконалення льотно-технічних характеристик БпЛА щодо збільшення часу перебування в повітрі; забезпечення передавання розвідувальних даних у реальному масштабі часу за різними каналами зв'язку; удосконалення системи керування FPV безпілотними літальними апаратами; розроблення відповідних технологій дистанційного керування БпЛА на полі бою з використанням штучного інтелекту; розширення системи підготовки операторів безпілотних літальних апаратів [3].

Використання БпЛА різних типів залежить від поставленого завдання, цілі, встановленого обладнання тощо. Так, БпЛА типу "крило" може бути використаний як ударний, з можливістю несення на борту більшого заряду, а FPV-БпЛА, як розвідувальний, тому що більш маневрений (володіє більшою кількістю ступенів вільності), менш помітний, однак потребує від оператора певного досвіду у керуванні.

Висновок

Революційний прорив у галузі безпілотної авіації не обмежується лише розвідувальними БпЛА тривалого перебування в повітрі. Останніми роками з'явився новий перспективний напрям міні та мікро БпЛА, так званих FPV-БпЛА розвідувально-ударного типу. Перспективним напрямом їх розвитку є удосконалення системи управління такими БпЛА, забезпечення можливості управління декількома БпЛА одночасно одним оператором.

Список літератури

1. Доктрина "Застосування безпілотних систем у силах оборони України", затверджена Головнокомандувачем Збройних Сил України 01.01.2024 року. Об'єднана визначальна військова публікація. К.: Центральне управління безпілотних систем Генерального штабу Збройних Сил України. 2024. 59 с.

2. Армія дронів. URL: https://u24.gov.ua/uk/news (дата звернення: 12.04.2025).

3. Лінія дронів. URL: https://droneline.army.gov.ua/ (дата звернення: 12.04.2025).

УДК: 355.62:004.89:355.4(477)

О.М. Сєченєв, В.А Кабаненко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Інновації в системах ПММ для армії: модернізація логістики та постачання на передовій

У статі розглядаються новітні розробки та технологій у сфері матеріально-технічного забезпечення армії, а також їхнє застосування для підвищення ефективності бойових операцій.

Одним із ключових аспектів забезпечення боєздатності Збройних Сил України (ЗСУ) є ефективне матеріально-технічне забезпечення (ПММ), що включає доставку необхідних ресурсів на передову. ПММ забезпечує армію пальним, боєприпасами, медичними засобами, харчами та іншими важливими матеріалами, без яких військові операції неможливі. Зважаючи на складність та постійну змінність бойових умов, забезпечення ПММ на передовій вимагає не лише стабільних постачань, а й впровадження інноваційних технологій та оптимізаційних рішень для підвищення ефективності логістичних процесів.

1. Виклики сучасної логістики ПММ на передовій:

Логістика на передовій є одним із найбільш складних аспектів ведення бойових дій. Це вимагає високої швидкості постачання, безперервної доставки ресурсів у зону бойових дій та забезпечення надійності і безпеки перевезень. Водночас на сучасному полі бою важливу роль відіграють зміни в природі та характері бойових операцій, які передбачають використання мобільних, маневрених підрозділів, здатних швидко змінювати розташування.

Основні проблеми, з якими стикаються логістичні підрозділи ЗСУ на передовій, це:

Необхідність швидкої адаптації до змінних умов бою;

Проблеми з безперебійним постачанням через активні бойові дії, що пошкоджують або ускладнюють логістичні маршрути;

Обмеженість ресурсів та високі вимоги до їхньої ефективності.

Ці виклики визначають важливість розвитку інноваційних підходів у сфері ПММ, що дозволяють забезпечити армію всім необхідним у найкоротші терміни.

2. Інновації в забезпеченні ПММ: технології та оптимізація процесів

Для того, щоб логістика ПММ була більш ефективною, потрібно впроваджувати новітні технології та розробляти інноваційні рішення, здатні забезпечити безперервне постачання ресурсів у бойових умовах. Ось кілька ключових напрямків модернізації:

Автоматизація та цифровізація процесів постачання:

Використання цифрових технологій для планування та моніторингу постачань стає важливим етапом у модернізації. Наприклад, інтеграція системи GPS для моніторингу транспорту та вантажів, що дозволяє відстежувати місцезнаходження та час доставки матеріалів на передову. Це дає змогу мінімізувати витрати часу та зменшити ймовірність потрапляння вантажів під обстріли.

Безпілотні транспортні засоби та дрони:

Використання безпілотних літальних апаратів (дронів) для доставки легких вантажів є перспективною технологією для доставки матеріалів на передову. Безпілотні авіаційні системи можуть здійснювати постачання в зони, де доступ для наземного транспорту обмежений або небезпечний. Дрони також можуть бути використані для моніторингу стану ресурсів, що зберігаються на складах, та для попереднього планування постачань.

Мобільні резервуари для пального та засоби його транспортування:

Існують нові інноваційні мобільні резервуари та заправні станції, що дозволяють здійснювати поповнення паливом прямо на передовій. Це особливо важливо для техніки, яка перебуває в бойових умовах і потребує швидкого поповнення.

Модульні склади та мобільні бази забезпечення:

Відкриті на передовій мобільні бази, які можуть швидко змінювати своє місцезнаходження, здатні забезпечити техніку і особовий склад всіма необхідними ресурсами в мінімальний час. Ці модульні комплекси оснащені усім необхідним для зберігання та обробки ПММ в умовах нестабільної ситуації.

Інтеграція з міжнародними системами постачання:

З огляду на підтримку з боку міжнародних партнерів, інтеграція української системи ПММ з глобальними логістичними мережами дозволяє забезпечити безперебійне надходження ресурсів. Використання стандартів НАТО та впровадження сучасних технологій зберігання та транспортування ресурсів допомагають Україні оптимізувати власні логістичні процеси.

3. Проблеми та обмеження в реалізації інновацій

Попри те, що інноваційні рішення значно полегшують процес постачання та забезпечення ПММ, є певні обмеження, які треба враховувати:

Фінансові та ресурсні обмеження:

Впровадження новітніх технологій потребує значних інвестицій, яких інколи не вистачає, особливо в умовах обмеженого бюджету.

Технічні складнощі:

Багато інноваційних рішень вимагають високої кваліфікації персоналу, а також технічного забезпечення для інтеграції нових систем у вже існуючу інфраструктуру ЗСУ.

Безпека та надійність:

Використання нових технологій, зокрема дронів чи безпілотних транспортних засобів, потребує підвищеної уваги до безпеки. Ці системи повинні бути надійними, адже у випадку їхнього збої постачання можуть бути зриватися, що негативно впливає на боєздатність підрозділів.

4. Перспективи розвитку та майбутні інновації

Впровадження інноваційних технологій у сферу ПММ продовжить розвиватися, зокрема через використання новітніх матеріалів, автоматизацію всіх етапів постачання та інтеграцію з міжнародними системами забезпечення. Оскільки військові конфлікти постійно еволюціонують, сучасні технології дозволяють максимально швидко адаптуватися до змінних умов бойових дій та значно підвищити ефективність постачання.

Висновки

Модернізація системи ПММ ЗСУ є необхідною умовою для забезпечення ефективності оборонних операцій на передовій. Використання інноваційних технологій, таких як безпілотні системи доставки, автоматизація процесів постачання та мобільні логістичні бази, дозволяє підвищити швидкість і безпеку постачання, зменшити витрати ресурсів і забезпечити безперервну підтримку українських військових у найскладніших умовах. Однак для успішної реалізації цих технологій необхідно вирішити фінансові та технічні проблеми, а також забезпечити навчання та підготовку персоналу для роботи з новітнім обладнанням.

Список літератури

Міністерство оборони України. (2023). Стратегія розвитку матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України на 2023-2025 роки.

Верховна Рада України. (2023). Звіт про виконання військово-технічної політики України в умовах зовнішніх загроз.

"Наука і оборона". (2022). Інноваційні технології в оборонній сфері України: новітні розробки та виклики. Журнал "Наука і оборона", 3(17), 12-25.

Цензор.НЕТ. (2023). Логістика та інновації в умовах війни: досвід української армії.

Український інститут майбутнього. (2023). Майбутнє військових технологій: тенденції та інновації у сфері оборони.

УДК: 355.62:355.4(477)

О.М. Сєченєв, В.А. Кабаненко
(Кафедра військової підготовки
Національний авіаційний університет, Україна)

ПММ як основа для сталості оборони: чи вистачить ресурсів для довгострокових операцій?

В статі розглядається аналіз того, як політика постачання і забезпечення матеріально-технічними ресурсами може впливати на здатність армії витримати тривалі конфлікти та агресію.

Матеріально-технічне забезпечення (ПММ) є однією з найважливіших складових стабільності та боєздатності Збройних Сил України. Без належного постачання пального, боєприпасів, медичних засобів і продовольства навіть найкраще оснащені військові підрозділи не здатні здійснювати ефективну оборону на тривалій дистанції. Однією з головних проблем у сучасних умовах війни є забезпечення ПММ для підтримки сталості оборони, особливо в умовах тривалих військових конфліктів. У цьому контексті важливо задатися питанням: чи вистачить ресурсів для забезпечення ЗСУ впродовж тривалих операцій, і чи здатні національні та міжнародні постачання підтримати високий рівень боєздатності армії на тривалий період?

1. Ключова роль ПММ у забезпеченні оборони

Матеріально-технічне забезпечення армії охоплює не тільки пальне, боєприпаси, техніку, але й різноманітне забезпечення, необхідне для функціонування військових підрозділів: харчування, медикаменти, засоби зв'язку, ремонтні матеріали тощо. Усі ці елементи повинні постійно надходити на передову, забезпечуючи стійкість армії до різних видів загроз і підтримуючи бойову готовність.

Стійкість оборони напряму залежить від того, чи можуть ці ресурси бути надані в достатньому обсязі і вчасно. ПММ забезпечує не тільки фізичні ресурси для техніки, а й психологічну стійкість військовослужбовців, адже без належного харчування, медичної допомоги та комфортних умов служби моральна стійкість особового складу може значно знизитись.

2. Витрати ресурсів на довгострокові операції: проблема забезпечення

Довгострокові військові операції вимагають величезних обсягів матеріально-технічних ресурсів. Це не тільки пальне для техніки та авіації, але й величезні обсяги боєприпасів, медичних засобів, а також відновлення пошкодженого обладнання.

Справжнє питання полягає в тому, чи вистачить цих ресурсів для підтримки бойових дій протягом тривалого часу, особливо якщо операції потребують постійного поповнення запасів та зміни фронтів. Відповідно, виникають кілька основних проблем:

- Обмеження в наявності стратегічних запасів. Україна, хоча й має великі запаси пального та боєприпасів, однак не завжди може гарантувати їх безперебійне постачання в умовах бойових дій.

• Залежність від міжнародної допомоги. Україна активно отримує підтримку від міжнародних партнерів, зокрема через поставки техніки, пального та боєприпасів. Однак наявність цієї допомоги на довгий термін є під питанням, з огляду на політичну ситуацію у світі та економічні труднощі багатьох країн.

3. Рішення для забезпечення сталості оборони

Для підтримки сталості оборони в довгострокових операціях необхідно розглядати кілька ключових напрямків:

• Інвестиції у внутрішнє виробництво та ресурси. Україна повинна посилювати власні виробничі потужності з виробництва боєприпасів, пального та іншого необхідного устаткування. Це дозволить зменшити залежність від зовнішніх поставок і забезпечити стабільність в умовах обмеженого доступу до ресурсів.

• Оптимізація логістичних процесів. Система постачання повинна бути гнучкою та швидко адаптуватися до змін в бойових умовах. Використання новітніх технологій, таких як дрони для доставки вантажів, цифровізація моніторингу запасів і автоматизація планування постачання можуть значно підвищити ефективність логістики.

• Зміцнення міжнародної співпраці. Україна повинна продовжувати зміцнювати зв'язки з міжнародними партнерами для забезпечення надійних каналів постачання критичних ресурсів. Створення стабільних ланцюгів постачання з країнами-членами НАТО або іншими партнерами здатне гарантувати безперервне надходження ресурсів навіть у складних умовах.

• Стратегічні резерви та планування. Важливо також створювати резерви матеріальних ресурсів на випадок надзвичайних ситуацій. Це дозволить мати запас для критичних моментів, коли постачання тимчасово ускладнюється.

4. Перспективи та виклики

На довгострокові операції можуть вплинути кілька факторів. Це і глобальна економічна ситуація, і зміни у відносинах з міжнародними партнерами. Наприклад, у разі зміни політичної ситуації в Європі або у США, постачання важливих ресурсів може стати менш надійним.

Також, в умовах обмеженості ресурсів, українські збройні сили повинні навчитися оптимізувати використання наявних матеріалів, зберігати боєприпаси та паливо, а також посилювати ефективність їхнього використання.

Висновок

ПММ є основою для підтримки сталості оборони ЗСУ, і питання забезпечення армії ресурсами для довгострокових операцій є надзвичайно важливим. Враховуючи поточні виклики, Україні необхідно не тільки покладатися на міжнародну підтримку, але й активно розвивати внутрішні виробничі можливості та логістичні системи. Тільки так можна забезпечити належний рівень обороноздатності та готовності армії до будь-яких викликів на довгостроковій перспективі.

Список літератури

1. Міністерство оборони України. (2023). *Стратегія розвитку системи логістичного забезпечення Збройних Сил України на 2023–2025 роки*.
2. Верховна Рада України. (2023). *Закон України «Про національну безпеку України»*.
3. Наука і оборона. (2022). *Модернізація логістичних процесів ЗСУ в умовах війни: аналітичний огляд*. №3 (17), с. 12–25.
4. International Institute for Strategic Studies (IISS). (2022). *The Military Balance 2022: Key Data on Defense Capabilities Worldwide*. London: IISS.
5. Defense One. (2023). *How Drone Logistics Are Changing Modern Warfare*.
6. Український інститут майбутнього. (2023). *Майбутнє оборонної промисловості України: логістика, інновації, модернізація*.
7. Цензор.НЕТ. (2023). *Як Україна модернізує постачання армії: ПММ, дрони та нові підходи до логістики*.
8. SIPRI – Stockholm International Peace Research Institute. (2023). *Sustaining Ukraine's Defense: International Aid and Long-Term Needs*.

УДК 614.8:621.89(477)

Ю.Б. Добровольський, к.т.н., доцент, с.н.с.,
П.М. Кишка, В.В. Сисак
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Аналіз ефективності високомобільних спецтехніки для реагування на НС в України

Запропоновано: Високомобільна спецтехніка, Повний привід для НС, Броньовані медичні авто. Компактні пожежні машини. Квадроцикли для рятувальників, Швидке реагування в умовах війни.

Оцінити переваги компактних, повнопривідних машин з потужними двигунами для оперативного реагування в умовах України.

Ключові характеристики техніки:

Малі габарити можливість маневрувати в міській забудові та вузьких проїздах.

Повний привід блокування диференціалів прохідність у важкодоступних зонах (бездоріжжя, засніжені/заболочені ділянки).

Потужний двигун низький центр тяжіння швидкість пересування та стійкість на пересіченій місцевості.

Приклади техніки та їх застосування в Україні .

1. Броньовані медичні автомобілі «Козак-2»(рис.1)



Рис.1 – «Козак-2»

Характеристики: Повний привід, блокування міжосьового диференціалу.

Дизельний двигун 240 к.с., кліренс 300 мм.

Використання: Евакуація поранених із прифронтових зон (Донецька, Харківська області) (рис.2).Доставка медиків до місць катастроф під обстрілами



Рис.2 - Евакуація поранених із прифронтових зон

2. Пожежні авто на шасі Land Rover Defender(рис.3)



Рис.3 - Land Rover Defender

Характеристики: Компактність (довжина до 4,7 м), повний привід. Водний бак: зазвичай від 500 до 1500 літрів. Тип насоса: часто використовуються переносні або вбудовані насоси з продуктивністю 500–2000 л/хв. Насос Rosenbauer N25 або Ziegler Ultrajet до 10–12 бар, що дозволяє подавати воду на відстань до 50–70 метрів.

Додаткове обладнання

Пінний устрій (для гасіння ЛЗР).

Генератор піни (якщо передбачено комплектацією).

Рукава та пожежні стволи (напірні та ручні).

Аварійно-рятувальний інструмент (болгарки, домкрати, ножиці).

Освітлення (потужні прожектори).

Можливість роботи у вузьких провулках історичних міст (Львів, Одеса).

Використання: Гасіння локальних пожеж у зонах бойових дій (Миколаїв, Херсон).

3. Рятувальні квадроцикли «Арктик Кет»(рис.4)



Рис.4 - «Арктик Кет»

Характеристики: Прохідність у глибокому снігу та болотах. Вантажопідйомність до 400 кг (для евакуації постраждалих).

Використання: Пошук людей у Карпатах під час сходження лавин (2023 р.).

Висновок

Техніка з високою мобільністю довела свою ефективність в Україні, особливо:

У зонах бойових дій (швидка евакуація, доставка вантажів під обстрілами).В умовах бездоріжжя (рятувальні операції в горах, лісах, зонах повеней).

Рекомендація: Збільшити кількість таких машин у ДСНС та МВС для покриття всієї території України.

Список літератури

1. Офіційний сайт Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) – звіти про використання спецтехніки ([dsns.gov.ua](https://www.dsns.gov.ua))
2. Сайт виробника бронеавтомобілів «Козак» – технічні характеристики моделі «Козак-2» (ukrspetsteh.com
3. Каталог пожежної техніки на шасі Land Rover Defender ([landrover.ua](https://www.landrover.ua))
4. Звіти Міністерства внутрішніх справ України про роботу рятувальників у зонах бойових дій (mvs.gov.ua)
5. Публікації ЗМІ (УНІАН, Suspilne) про використання квадроциклів у Карпатах ([unn.com.ua](https://www.unn.com.ua))

УДК: 355.54:621.43(477)"2022/2025"

О.М. Сєченєв, Б.В. Корчевська
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Енергетична залежність війська: роль пального (бензин/дизель) у бойовій ефективності ЗСУ та ризики забезпечення

У статі розглядається роль пального (бензину та дизеля) у забезпеченні бойової ефективності Збройних Сил України. Пальне є критично важливим ресурсом для функціонування техніки, логістики та енергетичного забезпечення на фронті.

У сучасній війні пальне виступає критично важливим елементом, без якого неможливо уявити ефективну оборону або наступ. Воно стоїть в одному ряду зі зброєю, боєприпасами, засобами зв'язку та медичним забезпеченням. Пальне є тим ресурсом, який забезпечує рух, енергію, логістику та виживання всієї військової машини. Збройні Сили України щодня споживають тисячі літрів дизеля та бензину, аби підтримувати свої підрозділи в бойовій готовності. В умовах повномасштабного вторгнення Російської Федерації на територію України питання енергетичної безпеки, постійного постачання пального та зменшення залежності від зовнішніх джерел стало одним із найгостріших викликів для оборонного сектору.

Пальне необхідне в усіх ланках функціонування армії — від передових штурмових бригад до тилових підрозділів. Танки, бронетранспортери, вантажівки, мобільні медичні евакуаційні комплекси, ремонтні станції — усе це споживає пальне у великих обсягах. Не менш важливу роль відіграють генератори, що забезпечують енергопостачання в польових умовах — на пунктах управління, в медичних закладах, у системах зв'язку. Основним видом пального в армії є дизель — через його більшу безпечність, економічність і потужність. Бензин при цьому теж залишається затребуваним: він використовується для легкової техніки, мотоциклів, певного устаткування та частково в тилових завданнях, де не потрібна надпотужність.

Забезпечення пальним у зоні бойових дій — надзвичайно складна логістична задача. Підвезення пального здійснюється спеціалізованими паливозаправниками або в бочках через небезпечні ділянки, що постійно перебувають під ризиком обстрілів, мінування чи авіаударів. Ворог регулярно завдає ударів по паливних складах, базах зберігання та нафтопереробних підприємствах. Додаткову небезпеку створює зруйнована інфраструктура: мости, дороги, залізничні вузли, що ускладнюють логістику. До цього додаються внутрішні труднощі — недостатня кількість транспорту, людського ресурсу, недосконаліть обліку, зловживання та крадіжки пального, які, на жаль, досі трапляються у деяких підрозділах.

Україна також залишилася практично без власної нафтопереробної промисловості через масовані обстріли. Це спричинило значну залежність від імпорту пального — з країн Європейського Союзу, зокрема Польщі, Румунії, Угорщини, країн Балтії. Коливання цін на світових ринках, логістичні

обмеження на кордоні та дефіцит нафтопродуктів у періоди загострень створюють додаткові ризики для стабільності постачання.

Нестача пального має прямі та критичні наслідки для бойової ефективності. Без нього неможливо здійснювати ротації підрозділів, евакуацію поранених, доставку боєприпасів, продовольства, гуманітарної допомоги. У разі відсутності пального техніка стає малорухомою мішенню, втрачається темп наступу, знижується мобільність, гнучкість та бойовий дух. Армія, позбавлена енергії, змушена зменшувати оберти і переходити до оборони або й до тимчасового відступу.

Попри ці виклики, ЗСУ впроваджують рішення, що покликані мінімізувати залежність та втрати. Наприклад, впроваджуються мобільні резервуари, які можна швидко розгорнути на нових позиціях. Проводиться чітке планування маршрутів і графіків доставки пального, щоб уникати втрат і скорочувати час перебування колон у небезпечних зонах. У багатьох частинах запроваджено електронні системи обліку, які дозволяють точно контролювати витрати пального, запобігати махінаціям і зберігати стратегічні запаси.

Паралельно з цим зростає інтерес до використання альтернативних джерел енергії. У польових умовах усе частіше застосовуються сонячні батареї, портативні гібридні генератори, електричні станції, які дозволяють забезпечити мінімальні енергопотреби без традиційного пального. Це особливо актуально для підрозділів зв'язку, медичних бригад, снайперських груп та розвідки.

Неоціненну роль відіграє міжнародна допомога. Країни-партнери постачають не тільки пальне, а й техніку з високою економічністю: багатофункціональні позашляховики, пікапи, бронемашини типу HMMWV, JLTV, які значно ефективніші за радянську спадщину. Така техніка споживає менше пального, має більший запас ходу та надійніші системи управління.

Отже, пальне — це не просто технічна необхідність, а критичний елемент стратегії та тактики сучасної війни. Його наявність чи відсутність визначає здатність армії вести бойові дії, реагувати на загрози, маневрувати та захищати свої позиції. Забезпечення ЗСУ енергією — один із ключових чинників стійкості й успіху. Українське військо має не лише ефективно використовувати кожен літр пального, а й прагнути до енергетичної незалежності, інновацій та партнерської підтримки. Тільки так можна вистояти і перемогти в умовах затяжної й виснажливої війни.

Висновок

Пальне є стратегічним ресурсом для Збройних Сил України, від якого безпосередньо залежить ефективність бойових дій, мобільність підрозділів та забезпечення життєдіяльності на передовій. Нестача або перебої у постачанні дизеля та бензину здатні паралізувати цілі операції, ускладнити евакуацію, логістику та підвезення боєприпасів. В умовах війни з Росією енергетична стійкість війська є критично важливою.

Для зниження ризиків необхідно вдосконалювати систему обліку та контролю пального, впроваджувати сучасні логістичні рішення, боротися з внутрішніми зловживаннями, а також активно розвивати альтернативні джерела енергії. Важливу роль відіграє міжнародна підтримка — як у вигляді постачання

пального, так і сучасної економічної техніки. Тільки комплексний підхід до енергетичного забезпечення війська дозволить зберігати темп наступу, оперативно реагувати на загрози та наближати перемогу України.

Список літератури

1. Міністерство оборони України. *Біла книга: Збройні Сили України 2022–2023*. — К.: МОУ, 2023.
2. Центр оборонних стратегій. *Паливна логістика ЗСУ в умовах війни*. — Аналітична записка. — Київ, 2023.
3. Держенергоефективності України. *Енергетична безпека та альтернативні джерела енергії у сфері оборони*. — Київ, 2023.
4. Institute for the Study of War (ISW). *Ukrainian Military Logistics Assessment*. — Washington D.C., 2023.
5. Defense Express. *Як ЗСУ вирішують проблему з пальним на фронті*. — defense-ua.com, 2024.
6. Bloomberg. *Ukraine Faces Fuel Supply Challenges as War Continues*. — April 2023.
7. Енергетичне співтовариство ЄС. *Energy Supply to Ukraine During Wartime: Situation Report*. — Brussels, 2023.
8. Таран В.Ю. *Військова логістика в умовах гібридної війни: проблеми та шляхи вирішення*. // Військово-науковий вісник. — 2022. — №2. — С. 45–52.
9. Укренерго. *Аналіз стану енергетичної інфраструктури України в умовах війни*. — Київ, 2023.
10. NATO Energy Security Centre of Excellence. *Operational Energy and Fuel Logistics in Conflict Zones*. — Vilnius, 2022.

УДК 662.7, 004.8

Д.В. Лісафін
(Кафедра військової підготовки івано-франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна)
М.О. Слабінога, к.т.н
(Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна)
К.М. Лутченко,
(10 Хіммотологічний центр Міністерства оборони України, Україна)

Методика визначення показників якості автомобільних бензинів за даними хроматографічного аналізу із застосуванням моделей машинного навчання

У публікації пропонується методологічні основи машинного навчання нейронних мереж з метою отримання моделей для розрахунку показників якості автомобільного бензину на основі даних хроматографічного аналізу.

Одним із завдань органів контролю якості пального є забезпечення якості пального, мастильних матеріалів та спеціальних рідин на всіх етапах логістичного ланцюга. Однак, ланка відділів контролю якості, а також складських лабораторій, як правило комплектується лабораторним обладнанням з розрахунку забезпечення виконання приймально-здавального та контрольного випробування, перелік показників якості за яким для окремих типів пально-мастильних матеріалів визначається Інструкцією з контролю якості пально-мастильних матеріалів та спеціальних рідин у Збройних Силах України, затвердженою наказом Головнокомандувача Збройних Сил України від 04.01.2024 року №7. Повний перелік показників якості, який регламентований вимогами нормативних документів на конкретний тил пального потребує дороговартісного обладнання, кваліфікованого та навченого персоналу, а також потребує багато часу. Для прикладу, для виконання повного випробування за всіма показниками якості для автомобільного бензину потрібно понад 10 год.

Разом з тим, розгорнутий перелік показників якості повного випробування дає можливість значною мірою оцінити його фізико-хімічні та експлуатаційні властивості, визначити його придатність до використання, а також спрогнозувати динаміку їх зміни.

Відомо, що автомобільний бензин являє собою складну суміш бензинових фракцій різних технологічних процесів переробки нафти (прямої перегонки, термічного крекінгу, каталітичного крекінгу, каталітичного риформінгу, ароматизації), газового конденсату або їх сумішей та індивідуальних високооктанових вуглеводневих компонентів і присадок, які покращують окремі експлуатаційні властивості. Компонентний склад такої багатокомпонентної суміші можна визначити методами газової, рідинної хроматографії або флуорисцентно-дисперсійними методами.

Також очевидним фактом є те, що компонентний склад бензину визначає його властивості, і концентрації окремих вуглеводнів у бензинів можуть певним чином корелюватися з окремими показниками якості товарного бензину.

Завданням дослідження було встановлення залежностей між компонентним складом автомобільного бензину та окремими показниками якості та, при підтвердженні гіпотези – встановлення та формування окремих розрахункових (емпіричних) моделей для окремих показників якості автомобільного бензину.

Для експерименту були вибрані 50 результатів повних випробувань, представлених показниками аналізу компонентів бензину на основі хроматограм та відповідних паспортів якості.

394_в_12.02.2024_1-CH1.TXT 1Page

No.	Name	R.T.	Type	C.No	Area	AREA%	WT%	VOL%
3	nC2	6.791	P	2	186	0.001	0.001	0.002
4	C3=	7.180	O	3	380	0.002	0.002	0.002
5	nC3	7.219	P	3	1127	0.005	0.005	0.007
6	iC4	7.707	P	4	195548	0.848	0.882	1.138
8	1C4=	8.000	O	4	40603	0.176	0.177	0.214
11	nC4	8.132	P	4	400389	1.737	1.807	2.246
12	t2C4=	8.283	O	4	44062	0.191	0.192	0.228
13	22DMC3	8.346	P	5	2723	0.012	0.012	0.015
14	c2C4=	8.527	O	4	28658	0.124	0.125	0.144
17	3M1C4=	9.225	O	5	4245	0.018	0.018	0.021

Рисунок 1 – Приклад файлу хроматограми

Оскільки якісні показники бензину є неперервними величинами, значення яких залежить від компонент бензину, задача визначення значень цих показників була виражена через задачу регресії. Входом моделі виступав показник площі піку на хроматограмі, виражений у відсотках, для кожного із можливих компонентів (всього - 598). Виходом моделі виступав один із якісних показників бензину. Тренування здійснювалося на відповідних значеннях, отриманих із паспортів якості.

Початковим етапом була підготовка даних до опрацювання. Типово, регресійна модель приймає тренувальні вхідні дані у вигляді масиву векторів (таблиці), де кожен із векторів є набором показників, пов’язаних із конкретним випробуванням (в даному випадку, площі піку компонента на хроматограмі).

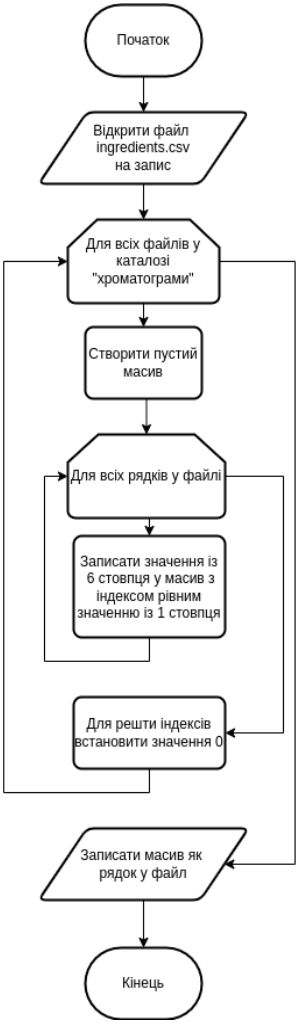


Рисунок 2 – Алгоритм скрипту

Тому, засобами мови програмування Python було реалізовано алгоритм, поданий на рис. 2.

За результатами виконання алгоритму, було сформовано файл ingredients.csv, який містив таблицю з 598 стовпцями (відповідає кількості компонент) та 50 рядками (відповідає кількості випробувань).

Цільовими даними для регресійної моделі є показники, присутні в паспортах якості, а саме:

- густина за температури 15 С, кг/м3
- октанове число за дослідним методом, н/м
- октанове число за моторним методом, н/м
- об'ємна частка випаровування за температури 70 С, %
- об'ємна частка випаровування за температури 100 С, %
- об'ємна частка випаровування за температури 150 С, %
- температура википання кінцева
- об'ємна частка залишку після википання, %
- концентрація фактичних смол, мг на 100 $см^3$ бензину
- тиск насиченої пари , кПа
- вміст сірки, мг/кг.

Для отримання даних із паспорта якості, було реалізовано скрипт мовою Python, який повертав клітинки таблиці із паспорта якості як клітинки рядка таблиці CSV. Результатом став набір файлів формату csv розмірністю 1 стовпець та 50 рядків, які містили значення конкретного показника для всіх 50 випробувань.

Таким чином, для тренування моделі для кожного із показників, використовувався файл з інгредієнтами та файл результатів випробувань для відповідного показника.

Для визначення найкращої моделі для визначення значень показників, дані було перевірено 26 стандартними моделями з інструменту Regression Learner пакету Matlab. Список включав у себе декілька видів лінійної регресії, дерев рішень, машин опорних векторів, регресій гаусівського процесу, штучних нейронних мереж та лісу рішень. Валідація відбувалася шляхом крос-валідації.

Результати навчання моделей, які показали найкращу середньоквадратичну похибку прогнозування, подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати навчання моделей

Показник	Модель з найнижчою похибкою	Середньо-квадратична похибка
густина за температури 15 С, кг/м^3	Rational Quadratic Gaussian process regression	2.049
октанове число за дослідним методом, н/м	Bagged Trees Ensemble	0.29
октанове число за моторним методом, н/м	Bagged Trees Ensemble	0.29
об'ємна частка випаровування за температури 70 С, %	Bagged Trees Ensemble	3.43
об'ємна частка випаровування за температури 100 С, %	Rational Quadratic Gaussian process regression	2.82
об'ємна частка випаровування за температури 150 С, %	Bagged Trees Ensemble	1.86
температура википання кінцева	Bagged Trees Ensemble	4.73
об'ємна частка залишку після википання, %	Medium Tree	0.24
Концентрація фактичних смол, мг на 100 см^3 бензину	Least Square Regression Kernel	0.34
Тиск насиченої пари , кПа	Bagged Trees Ensemble	2.45
Вміст сірки, мг/кг	Bagged Trees Ensemble	0.83

Розглянемо конкретний випадок прогнозування на прикладі показника густини бензину за температури 15 ^{o}С. Вибірку, фактичні значення (сині точки), прогнозовані значення (жовті точки) подано на рис. 3.

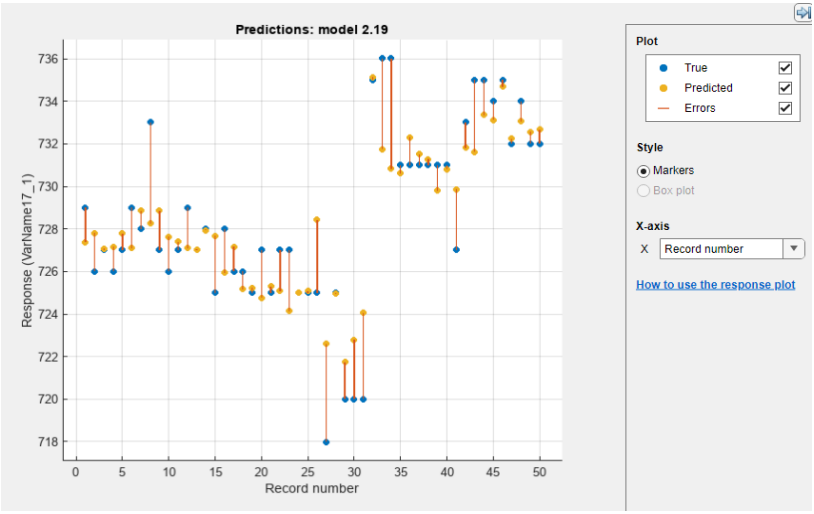


Рисунок 2 – Приклад отриманих результатів за моделями

Як видно з графіка, похибка визначення густини на основі емпіричної моделі для одного значення не перевищувала 5 кг/м^3, при цьому середньоквадратична похибка склала близько 2 кг/м^3.

Виходячи з доволі невеликої вибірки даних, слід припустити, що з більшим навчальним набором (до прикладу, 200 або 500 записів) модель буде давати точніші результати.

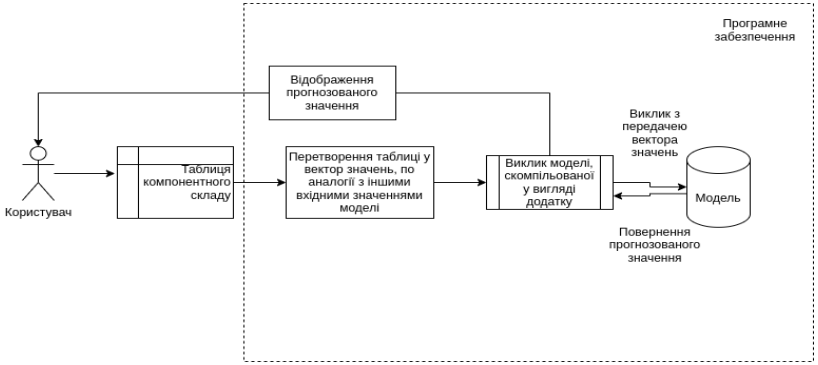


Рисунок 3 – Принципова схема взаємодії

Створена модель може бути перетворена в додаток мовою програмування С, скомпільований під будь-яку платформу. За рахунок системних викликів, програмне забезпечення може подавати на вхід додатка

вектор значень і отримувати прогнозоване значення на основі тренованої моделі. Концепція додатка, який може потенційно використовуватися користувачами, подана на рис 4.

Користувач завантажує у вікно програми файл зі списком компонентів за результатами хроматограми (аналогічний до поданого на рис 1). Програмне забезпечення перетворює файл у вектор значень компонентів і викликає скомпільовану модель, передаючи їй сформований вектор як параметр. Модель повертає прогнозоване значення конкретного параметра. При потребі прогнозування декількох параметрів, програмне забезпечення виконує виклик декількох моделей. Повернене значення відображається у графічному інтерфейсі користувача.

Висновки:

– окремі точки отриманих моделей знаходяться поза межами середньоквадратичної похибки, що може бути наслідком похибки приладів та окремих визначень, проте в цілому, сама ідея отримання широкого переліку показників якості для автомобільних бензинів розрахунковим методом є цілком робочою;

– використання штучних нейронних мереж та лісу рішень (множини дерев рішень) дозволяє отримати систему емпіричних моделей, яка з невисокою похибкою може надати користувачу набагато більше інформації про автомобільний бензин, ніж проста хроматограмма, інтрепретувавши числові показники компонентного складу у певний набір показників якості бензину;

– вбачається, що емпіричні моделі будуть давати високу точність при оцінці показників якості, які напряму корелюються з вмістом вуглеводневих з'єднань, наприклад октанове число та вміст фактичних смол;

– групою дослідників буде продовжуватись робота над навчанням штучних нейромереж, шляхом збільшення масиву даних за конкретними марками автомобільного бензину з метою отримання більшої валідності моделей;

– розглядається можливість порівняння компонентного складу автомобільних бензинів отриманого як хроматографічними методами, так і флуорисцентно-дисперсійними методами;

– для вивчення залежностей та оцінки валідності показників якості отриманих за допомогою хроматографічного аналізу для інших типів палив потрібні окремі серії досліджень за типами палив;

– отримані системи емпіричних моделей можуть дати змогу більш якісно оперативно оцінювати якісний стан автомобільних бензинів у стаціонарних умовах на підставі даних хроматографічного аналізу.

Список літератури

1. Хроматографічні методи аналізу : навч. посіб. / Федорченко Софія Володимирівна, Курта Сергій Андрійович. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2012. – 146 с.

2. Технологічні основи нафто- та газопереробки: навчальний посібник / В.І.Склабінський, О.О.Ляпощенко, А.Є.Артюхов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 186 с.: іл

3. Нейронні мережі : теорія та практика: навч. посіб. / С. О. Субботін. – Житомир : Вид. О. О. Євенок, 2020. – 184 с

4. Використання математичного пакета MATLAB для розв'язування прикладних задач / Б.П.Довгий, Є.С.Вакал, Ю.Є.Вакал, А.В.Попов. – К.:Фітосоціоцентр,2012. – 77 с.

УДК 351.778.5:614.8:628.1

С.В. Петренко, А.В Куйбіда
(Кафедра військової підготовки
Національний авіаційний університет, Україна)

Дії ПРП під час повітряної тривоги при обмеженому доступі до водопостачання

У статті розглянуто особливості дій пожежно-рятувальних підрозділів під час повітряної тривоги в умовах обмеженого доступу до джерел водопостачання. Аналізується тактика гасіння пожеж із застосуванням альтернативних водних ресурсів і мобільних резервуарів. Описано ризики для особового складу під час авіаційної загрози. Висвітлено необхідність адаптації стандартних оперативних планів. Надано рекомендації щодо підвищення ефективності реагування в кризових умовах.

У статті розглянуто особливості дій пожежно-рятувальних підрозділів під час повітряної тривоги в умовах обмеженого доступу до джерел водопостачання. Аналізується тактика гасіння пожеж із застосуванням альтернативних водних ресурсів і мобільних резервуарів. Описано ризики для особового складу під час авіаційної загрози. Висвітлено необхідність адаптації стандартних оперативних планів. Надано рекомендації щодо підвищення ефективності реагування в кризових умовах.

Сучасні виклики, пов’язані із загрозами повітряного нападу, вимагають адаптації всіх служб цивільного захисту, зокрема пожежно-рятувальних підрозділів, до умов бойових дій або високої загрози ураження. Військові конфлікти та масовані повітряні удари створюють багаторівневу небезпеку: окрім безпосередньої загрози життю та інфраструктурі, ускладнюється і процес реагування на вторинні наслідки — зокрема пожежі, що виникають унаслідок вибухів, руйнувань або коротких замикань. Особливо критичними є ситуації, коли дії пожежно-рятувальних підрозділів ускладнюються через обмежений доступ до джерел водопостачання в умовах триваючої або загрозливої повітряної тривоги.

Пожежно-рятувальні підрозділи — це організовані формування в системі Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС), що здійснюють заходи з гасіння пожеж, проведення аварійно-рятувальних робіт, евакуації постраждалих та забезпечення протипожежного захисту в екстремальних умовах. Їхня діяльність регламентується низкою нормативно-правових документів, серед яких ключове місце займають **Кодекс цивільного захисту України**, **Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2021)**, а також **Інструкція з організації служби та гасіння пожеж у підрозділах оперативно-рятувальної служби цивільного захисту**.

В умовах повітряної тривоги ситуація значно ускладнюється через необхідність швидкої оцінки ризиків для особового складу, вибору безпечного маршруту до місця події, а також визначення тактики дій, що дозволяє мінімізувати втрати в умовах можливого повторного ураження. При цьому

одним із головних викликів залишається доступ до водопостачання. Внаслідок руйнування водогонів, пошкодження гідрантів, зниження тиску в системах або повного відключення електроенергії, підрозділи можуть опинитися в ситуації, коли класичні методи гасіння пожежі стають непридатними.

У таких умовах особливої актуальності набуває використання альтернативних джерел води: відкритих водойм, мобільних резервуарів, спеціально облаштованих накопичувальних ємностей. За відсутності таких джерел можуть бути застосовані тактики локалізації пожежі із мінімальним використанням води або ізоляції осередків горіння шляхом створення протипожежних бар'єрів. Застосовується також метод так званого "сухого гасіння", за якого основна увага приділяється стримуванню поширення вогню до моменту прибуття підкріплення з необхідною кількістю води або засобів піноутворення. Водночас ефективне виконання таких дій вимагає наявності відповідної техніки: автоцистерн великої місткості, мобільних насосних станцій, пожежних мотопомп та іншого допоміжного обладнання.

Згідно з методичними рекомендаціями ДСНС України щодо дій рятувальних підрозділів в умовах терористичних актів або збройної агресії, розробленими після 2014 року та актуалізованими у 2022–2023 роках, при проведенні рятувальних заходів у зоні можливих повторних ударів слід дотримуватися принципу "мінімального перебування" особового складу в небезпечній зоні. Це означає, що рішення про гасіння пожежі ухвалюється з урахуванням прогнозу ймовірності повторної атаки, стану повітряної тривоги, безпечних під'їзних шляхів і наявності швидкого способу евакуації.

Обмежений доступ до води також зумовлює необхідність економного її використання. У цьому контексті важливою стає підготовка особового складу до роботи в умовах обмеженого ресурсу. Тактичні навчання з гасіння пожеж за зменшених водяних потоків, впровадження сучасних насадок і розпилювачів, що дозволяють ефективно використовувати навіть невеликі об'єми рідини, можуть значно покращити результати операції. Крім того, застосування сучасних засобів вогнегасіння, таких як високоефективна піна, порошкові системи або аерозольні генератори, здатне компенсувати відсутність традиційного водопостачання.

Важливим напрямом вирішення цієї проблеми є створення системного резерву аварійного водозабезпечення у містах і районах, що перебувають під загрозою ракетних чи авіаційних ударів. До таких резервів належать резервуари з водою, розміщені в укриттях, підземних паркінгах, а також мобільні контейнери, які можуть бути доставлені на місце події за короткий час. Законодавчо це питання має бути закріплене в місцевих програмах цивільного захисту, а також у планах реагування на надзвичайні ситуації.

Сучасні умови також вимагають широкого використання цифрових інструментів. Впровадження геоінформаційних систем, які дозволяють в реальному часі отримувати дані про розташування доступних джерел води, їхній технічний стан та можливість підключення, є перспективним напрямом модернізації служби. В рамках цифрової трансформації ДСНС вже реалізуються проєкти з інтеграції таких систем у диспетчерські пункти та планшети командирів виїзних бригад.

Крім того, особливу роль відіграє міжвідомча координація. В умовах дефіциту водопостачання ефективна взаємодія з комунальними підприємствами, військовими підрозділами, органами місцевого самоврядування та волонтерськими структурами може забезпечити доставку води, ремонт водогонів або облаштування тимчасових джерел. Досвід окремих територіальних громад, зокрема у Харківській, Миколаївській та Запорізькій областях, підтверджує ефективність створення мобільних центрів забезпечення пожежогасіння за участі кількох структур одночасно.

Питання безпеки особового складу залишається пріоритетним у будь-яких обставинах. Під час повітряної тривоги командир підрозділу повинен постійно оцінювати ситуацію, зважаючи на сигнали системи оповіщення, рекомендації військових та загальну обстановку. У разі підвищеної загрози здійснюється евакуація підрозділу або тимчасове призупинення робіт із подальшим відновленням, як тільки ситуація дозволить безпечно продовжити операцію.

Висновки

Таким чином, дії пожежно-рятувальних підрозділів під час повітряної тривоги в умовах обмеженого водопостачання потребують комплексного, гнучкого та стратегічно вивіреного підходу. Складність ситуації зумовлена поєднанням кількох критичних факторів — високого рівня загрози для особового складу, динамічності бойової обстановки, а також руйнуванням критичної інфраструктури. У таких умовах необхідною є адаптація тактики гасіння із урахуванням наявних ресурсів, застосування альтернативних джерел води, використання інноваційних засобів вогнегасіння та ефективне планування логістики. Також важливо впроваджувати цифрові технології для моніторингу ситуації в режимі реального часу, що дозволяє оперативно приймати управлінські рішення.

Вирішення зазначеної проблематики можливе лише за умови налагодження чіткої міжвідомчої взаємодії між пожежно-рятувальними підрозділами, комунальними службами, військовими, органами місцевої влади та волонтерськими організаціями. Такий підхід дозволяє оперативно мобілізувати ресурси, забезпечити підвіз води, відновлення пошкоджених об’єктів інфраструктури, а також підвищити загальний рівень готовності територіальних громад до реагування на надзвичайні ситуації. Одночасно з цим, велике значення має належна підготовка особового складу — зокрема проведення навчань, моделювання кризових ситуацій та вдосконалення навичок роботи в умовах обмеженого ресурсу. Формування локальних стратегічних резервів води, розміщення мобільних резервуарів у потенційно небезпечних районах і систематизація даних про доступні джерела є невід’ємною частиною превентивної роботи.

Тільки завдяки цілісному баченню проблеми, інтеграції сучасних технологій, досвіду та нормативної бази, можна досягти високої ефективності реагування пожежно-рятувальних служб у складних умовах повітряної небезпеки. Забезпечення безперебійного реагування навіть за умов відсутності централізованого водопостачання є не лише технічною, а й організаційною

проблемою, яка має вирішуватись системно. У майбутньому важливо продовжувати дослідження, розробляти інноваційні підходи та впроваджувати кращі світові практики для посилення спроможностей національної системи цивільного захисту в умовах багатовимірних загроз, аби гарантувати безпеку та захист населення незалежно від масштабу надзвичайної ситуації.

Список літератури

1. Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0802-18#Text (дата звернення: 14.03.2025).

2. Скідан В. В., Єфімчук Г. В. Вимоги до рівня безпеки пожежно-рятувальних підрозділів: thesis. 2019. URL: https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/14037 (дата звернення: 14.03.2025).

УДК 614.8:355.58:005.932

О.А. Стрепетова, А.В Куйбіда
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Ліквідація надзвичайної ситуації під час повторних ударів та нестачі ресурсів

У роботі розглядаються особливості ліквідації надзвичайної ситуації в умовах повторних ударів та обмежених ресурсів. Аналізуються ефективні стратегії реагування, координація дій рятувальних служб і волонтерських організацій. Особлива увага приділяється адаптивності системи цивільного захисту. Порушується проблема забезпечення населення критичними ресурсами. Наводяться рекомендації для підвищення стійкості до подібних викликів.

Надзвичайна ситуація — це обстановка на окремій території або об'єкті, що склалася внаслідок аварії, катастрофи, стихійного лиха, епідемії чи іншого небезпечного явища, яка призвела або може призвести до загибелі людей, значних матеріальних втрат, порушення умов життєдіяльності (відповідно до Закону України «Про правовий режим надзвичайного стану»). В умовах збройного конфлікту або гібридної війни, до якої належать ракетні обстріли, масовані авіаудари чи кібератаки, поняття надзвичайної ситуації набуває нового сенсу, оскільки ці явища можуть відбуватися повторно і систематично, а відповідні органи управління повинні реагувати швидко та ефективно в умовах обмежених ресурсів.

Повторні удари, особливо коли вони здійснюються з короткими інтервалами часу, значно ускладнюють процес реагування і ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Ось декілька конкретних прикладів із бойового досвіду: повторні повітряні удари під час виконання заходів ліквідації НСВХ з використанням 5-х БпЛА по об'єкту військової частини з інтервалом 15-20 хв, повторні повітряні удари під час виконання заходів ліквідації НСВХ з використанням 3-х БпЛА по об'єкту військової частини з інтервалом 15-20 хв., радіус влучання складав 150-200м. Основна проблема полягає в тому, що ресурси, які вже були задіяні на первинному етапі реагування, вичерпуються, а нові сили й засоби часто не встигають мобілізуватися. У такій ситуації критично важливою є здатність системи цивільного захисту до швидкого переналаштування, ефективного управління, а також гнучкої логістики.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України (2012), система цивільного захисту включає комплекс організаційних, технічних, медичних та інших заходів, спрямованих на захист населення і територій від загроз природного, техногенного і воєнного характеру. Згідно з цим документом, ліквідація наслідків надзвичайної ситуації передбачає здійснення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт, а також медичну, соціальну та матеріальну допомогу постраждалим. У реальності повторні удари значно ускладнюють координацію між службами, унеможливлюють стабільне

постачання необхідного обладнання та матеріалів, і загрожують безпеці самих рятувальників.

Одним із ключових викликів стає нестача ресурсів — як матеріальних, так і людських. Обмежена кількість техніки, дефіцит пального, нестача медичних препаратів або перевантаження лікарень суттєво знижують ефективність реагування. У таких умовах постає питання пріоритетності: кому першочергово надавати допомогу, які об'єкти рятувати в першу чергу, як забезпечити життєдіяльність критично важливих інфраструктур. При цьому слід дотримуватися принципів міжнародного гуманітарного права та базових стандартів надання першої допомоги, зокрема, визначених у документах Міжнародного комітету Червоного Хреста.

Практика багатьох країн, що переживали аналогічні виклики, свідчить про важливість попереднього стратегічного планування, моделювання сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій, а також створення резервів критичних ресурсів. Наприклад, ізраїльський досвід демонструє ефективність багаторівневої системи оповіщення, мережі укриттів і мобільних рятувальних груп, здатних діяти автономно протягом тривалого часу. В Україні також функціонує Державний резерв, який покликаний забезпечити оперативну підтримку під час криз, але у випадках повторних ударів його обмеження стають очевидними.

Для вирішення проблеми нестачі ресурсів можна розглядати кілька системних підходів. Один із них — це налагодження гнучкої логістичної системи, яка дозволяє перерозподіляти ресурси між регіонами залежно від змін оперативної обстановки. Застосування цифрових технологій і аналітичних платформ може суттєво покращити процес обліку, моніторингу та передислокації ресурсів. Наприклад, впровадження систем електронного обліку гуманітарної допомоги або мобільних додатків для координації волонтерської допомоги довело свою ефективність під час масових евакуацій у 2022–2023 роках.

Іншим напрямом є розвиток місцевих ініціатив і залучення населення до первинного реагування. Навчання громадян навичкам надання першої медичної допомоги, евакуації, базової самозахисту не тільки знижує навантаження на рятувальні служби, але й сприяє збереженню людського потенціалу. Документально це відображено у Національній стратегії з питань цивільного захисту на 2021 рік, де зазначено про важливість розвитку культури безпеки серед населення.

Ще один аспект — це міжнародна співпраця. Підписані Україною угоди з Європейським союзом, НАТО та ООН дозволяють залучати технічну, медичну та експертну допомогу під час надзвичайних ситуацій. Наприклад, Механізм цивільного захисту ЄС уже неодноразово надавав підтримку Україні у вигляді пожежної техніки, польових шпиталів та експертних команд з оцінки наслідків.

Необхідно також звернути увагу на психологічну стійкість як окремий ресурс. Повторні удари спричиняють не тільки фізичні руйнування, але й серйозний стрес серед населення. Тому в системі реагування мають бути передбачені психологічні служби підтримки, кризові телефони та мобільні групи психологів. Це відповідає рекомендаціям Всесвітньої організації охорони

здоров’я, яка наголошує на важливості психосоціальної допомоги в умовах катастроф.

Висновки

Отже, ефективна ліквідація наслідків надзвичайної ситуації під час повторних ударів в умовах дефіциту ресурсів вимагає не лише оперативних дій, але й наявності цілісної, системної стратегії, що поєднує в собі гнучке управління, міжвідомчу координацію, розвиток цифрових інструментів, активну мобілізацію громадськості та широке залучення міжнародної допомоги.

Ключовим чинником стає здатність системи адаптуватися до змінної обстановки, оперативно перерозподіляти обмежені ресурси, приймати обґрунтовані рішення в умовах невизначеності та ефективно використовувати як державні, так і волонтерські або приватні ініціативи. Важливою складовою також є забезпечення стійкості критичної інфраструктури, зокрема об’єктів енергетики, медицини та зв’язку, які мають функціонувати безперервно навіть під час багатократних атак.

Усі вищезазначені елементи повинні бути чітко прописані в стратегічних документах, нормативно-правових актах та адаптовані до умов конкретних територій через локальні та регіональні оперативні плани реагування. Необхідно передбачати сценарії повторного ураження, механізми евакуації, альтернативні маршрути доставки допомоги та забезпечення самозарадності громад. Лише інтегроване, мультисекторальне бачення проблеми, засноване на поєднанні наукового аналізу, практичного досвіду та міжнародних стандартів, дозволить не лише мінімізувати людські та матеріальні втрати, а й забезпечити стійкість суспільства до повторюваних кризових явищ, підтримуючи безпеку, стабільність і надію навіть в умовах найскладніших викликів сучасності.

Список літератури

1. Кодекс цивільного захисту України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/5403-17 (дата звернення: 09.04.2025).
2. Україна З. Цивільний кодекс України : чин. законодавство зі змін. та допов. станом на 1 верес. 2018 р. : (офіц. текст). Київ : ПАЛИВОДА А.В., 2018. 448 с.
3. SICH Р. Б. Правила поведінки під час обстрілів: має знати кожен - Компанія "Січ-Україна". *Компанія "Січ-Україна"*. URL: https://sich.ua/domedychna-dopomoha/pravyla-povedinky-pid-chas-obstriliv-maie-znaty-kozhen/ (дата звернення: 09.04.2025).
4. Slovo і Dilo. Терор «повторних ударів»: росія вдається до інтервальних обстрілів цивільних об’єктів з метою знищення рятувальників.URL: https://www.slovoidilo.ua/2024/04/25/stattja/bezpeka/teror-povtornyx-udariv-rosiya-vdayetsya-intervalnyx-obstriliv-cyvilnyx-obyektiv-metoyu-znyshhennya-ryatuvalnykiv (дата звернення: 09.04.2025).

УДК 614.84:629.734

Ю.Б. Добровольський, к.т.н., доцент, с.н.с., К.В. Кучмій, Д.С. Заріцький
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Впровадження оператора БПЛА у склад пожежного розрахунок

Запропоновано: БПЛА, пожежний розрахунок, оператор безпілотника, розвідка пожежі, надзвичайні ситуації, рятувальні операції, моніторинг пожеж, керування пожежегасінням, безпека рятувальників.

Включення оператора безпілотних літальних апаратів (БПЛА) до складу пожежного розрахунку дозволить: Проводити швидку та безпечну розвідку місця надзвичайної ситуації (НС).

Оцінювати масштаби пожежі, визначати небезпечні зони та прогнозувати її поширення.

Надавати керівнику гасіння пожежі (КГП) актуальні дані для прийняття рішень. Координувати дії рятувальників, виявляти постраждалих та небезпечні об'єкти (наприклад, вибухонебезпечні речовини).

Приклади використання в Україні.

1. Лісові пожежі в Чорнобильській зоні (2020 р.) (рис.1) БПЛА могли б визначати напрямок поширення вогню, радіаційний фон та небезпечні ділянки для рятувальників.



Рис.1 – Пожежа в Чернобильському лісі

2. Пожежа на складі боєприпасів у Балаклії (2017 р.) (рис.2)аналіз з повітря допоміг би уникнути необґрунтованого ризику для пожежних.



Рис.2 – Пожежа в Балаклії

3. Обстріли та пожежі в прифронтових містах (Маріуполь, Сєвєродонецьк) (рис.3) оперативний моніторинг місць пожеж під час бойових дій.



Рис.3 – Пожежа в Маріуполі

Досвід інших країн.

США пожежні служби використовують БПЛА наприклад, DJI Mavic, Matrice (рис.4) для моніторингу лісових пожеж у Каліфорнії.



Рис.4 - DJI Mavic, Matrice

Канада безпілотники застосовуються для оцінки пошкоджень після пожеж у важкодоступних районах.

Ізраїль БПЛА використовують для пошуку постраждалих під час пожеж у міській забудові (рис.5).



Рис.5 - Ізраїльський БПЛА HERO-400EC

Висновок.

Впровадження оператора БПЛА у пожежні розрахунки значно підвищить ефективність роботи рятувальників, зменшить ризики для життя персоналу та дозволить оперативніше реагувати на НС. Досвід інших країн доводить ефективність цього підходу, що особливо актуально для України в умовах воєнного стану та зростання кількості техногенних аварій.

Список літератури

1. Федеральне агентство з надзвичайних ситуацій (FEMA) – звіти про застосування дронів у ліквідації пожеж ([FEMA.gov](https://www.fema.gov))

2. Дослідження Національного інституту стандартів і технологій (NIST) – ефективність БПЛА у пожежній розвідці ([NIST.gov](https://www.nist.gov))

3. Повідомлення канадської пожежної служби (Canadian Wildland Fire Information System) використання дронів у моніторингу лісових пожеж (cwfis.cfs.nrcan.gc.ca)

4. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) – офіційні звіти про ліквідацію пожеж ([dsns.gov.ua](https://www.dsns.gov.ua))

5. Аналітичні матеріали Міністерства внутрішніх справ України щодо наслідків пожеж у зоні бойових дій (mvs.gov.ua)

6. Огляд ринку безпілотників для аварійно-рятувальних операцій (DJI Enterprise, Parrot) (enterprise.dji.com)

7. Досвід ізраїльських служб з використання дронів у надзвичайних ситуаціях (Israel Fire and Rescue Authority) ([102.gov.il](https://www.102.gov.il))

УДК 625.7:623.4:629.34(045)

О.Г. Водчиць, к.т.н., доц., К.Є. Лазебник
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Особливості експлуатації військових автомобільних доріг взимку

У роботі розглянуто вплив зимових погодних умов на стан військових доріг, особливості різних типів покриття, дії інженерних підрозділів та нормативні вимоги. Визначено ключові фактори, що впливають на можливості проїзду і безпечну експлуатацію доріг у зимовий період.

Зимовий період значно ускладнює експлуатацію військових автомобільних доріг. Морози, відлиги, снігопади, ожеледь і крижаний дощ негативно впливають на покриття та безпеку руху. При низьких температурах асфальт і бетон втрачають еластичність, утворюються тріщини, які розширюються при повторному замерзанні води. Відлиги спричиняють просідання та руйнування основи дороги. Крижаний дощ робить поверхню слизькою, знижуючи зчеплення коліс, що особливо небезпечно для важкої техніки. Снігові замети можуть повністю блокувати рух, тому для забезпечення проїзду необхідне постійне втручання інженерних підрозділів.

До автомобільних доріг Міністерства оборони України належать автомобільні дороги спеціального призначення, які були побудовані за рахунок статей витрат кошторису Міністерства Оборони України і з'єднують військові містечка з автомобільними дорогами загального користування, вулицями, дорогами міст та інших населених пунктів, а також автомобільні дороги на територіях навчальних центрів і полігонів.

Автомобільні дороги класифікуються за типом дорожнього покриття: цементобетонні; асфальтобетонні; щебеневі (гравійні), оброблені органічними в'яжучими матеріалами; бруківки; ґрунтові укріплені.

Тип дорожнього покриття безпосередньо впливає на здатність дороги витримувати зимові навантаження. Асфальтобетонні дороги, зазвичай, мають хорошу якість проїзду за нормальних температур, однак узимку стають особливо вразливими до руйнувань. Через зміну температурного режиму, відбувається швидке розшарування верхнього шару, утворення ям та вибоїн, особливо в місцях високого навантаження. Бетонні дороги є більш морозостійкими, але мають менший коефіцієнт тертя, через що на них частіше утворюється лід. Крім того, бетон гірше амортизує удари, тому на ньому швидше з'являються тріщини при проходженні важкої техніки. Ґрунтові та щебеневі дороги - це найслабша ланка в системі транспортного забезпечення взимку. Вони втрачають можливість проїзду під час відлиги, коли перетворюються на суцільну багнюку, а після морозів - стають жорсткими, з глибокими коліями та нерівностями. Техніка на таких дорогах часто буксує або втрачає хід.

У забезпеченні надійної експлуатації доріг в умовах бойових дій особливу роль відіграють інженерні війська. Їхні функції охоплюють широке коло завдань: від будівництва нових доріг та зміцнення існуючих, до оперативного ремонту, очищення від снігу, маскування маршрутів і

розмінування. У зимовий період підрозділи інженерних військ здійснюють організацію проїзду на складних ділянках, використовуючи інженерну техніку - бульдозери, снігоочисники, грейдери. Вони також облаштовують настили з деревини, металевих плит або геотекстилю на болотистих чи промерзлих ділянках, встановлюють тимчасові дорожні знаки, направляючі та інші інженерні споруди. Надзвичайно важливою є їхня участь у мінно-вибуховому забезпеченні доріг - зокрема, у виявленні та знешкодженні мін, що ускладнюють проїзд у зоні бойових дій.

Експлуатація військових доріг регламентується низкою стандартів і нормативних документів. У Збройних Силах України діють бойові статути, настанови з інженерного забезпечення, керівництва з експлуатації автомобільної техніки в особливих умовах. Згідно з цими документами, визначаються допустимі межі снігового покриву для руху різних типів техніки, вимоги до застосування протиожеледних матеріалів, терміни розчищення маршрутів, порядок відновлення дорожнього покриття. Також регламентуються дії щодо евакуації зламаної техніки, організації об'їзних маршрутів, використання дорожніх блокпостів та засобів контролю трафіку в умовах низьких температур і обмеженої видимості.

Взимку важливою проблемою стає не лише збереження проїзності, а й зменшення зносу техніки, яка працює в складних умовах. При значному зниженні температури мастила і технічні рідини густішають, що ускладнює запуск двигунів і знижує ефективність роботи вузлів машин. Військові частини змушені застосовувати підігрівачі, акумуляторні платформи, спеціальні укриття, щоб зберегти техніку у готовому до виїзду стані. На маршрутах також можуть бути облаштовані пункти обігріву, тимчасові ремонтні майданчики та пункти технічної допомоги, що дозволяє швидко реагувати на поломки. [4].

Роботи з експлуатаційного утримання автомобільних доріг направлені на попередження або ліквідацію результатів впливу на дорогу і дорожні споруди різноманітних природних факторів: опадів, поверхневих і ґрунтових вод, вітру, температури тощо, а також на підтримання доріг у чистоті і порядку. Роботи з експлуатаційного утримання автомобільних доріг і дорожніх споруд включають: технічний нагляд за дорогою, дорожніми спорудами та смугою відведення для своєчасного виявлення та усунення дефектів на них, забезпечення роботи елементів дороги і споруд у різні періоди року, утримання їх в експлуатаційному стані згідно з ДСТУ 3587-97 "Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану" (далі – ДСТУ 3587-97), зимове утримання, інженерно-технічні та аварійні роботи.

Окрему увагу приділяють питанням маскування та захисту маршрутів. Узимку, коли лісосмуги розріджені, а сніг створює контрастне фонове середовище, військові колони стають легшими для виявлення з повітря. Тому вживаються заходи для мінімізації теплового випромінювання, використання природного рельєфу та снігових бар'єрів для прикриття доріг. Під час переміщення техніки часто застосовується графік зменшеної світлової активності (рух у сутінках або вночі), а також посилюється радіоелектронна безпека маршруту. Варто згадати і про логістичну складову. В умовах зими забезпечення передових підрозділів пальним, боєприпасами та продовольством ускладнюється через зниження швидкості руху, часті пробуксовування,

потребу в супроводі снігоочисної техніки. Тому планування маршрутів і часових вікон здійснюється з урахуванням метеопрогнозу, запасів ресурсів і можливості створення резервних маршрутів. Особливо актуально це у гірських або лісистих районах, де один напрям може виявитися єдино можливим у разі погіршення погодних умов.

Зимове утримання доріг включає ще одну важливу складову - захист від лавин, снігових зсувів і обмерзання мостів. Інженерні підрозділи здійснюють перевірку мостів, труб та естакад на наявність обмерзання, утворення бурульок або скупчення льоду, які можуть завадити руху або спричинити обвал конструкцій. Особливо уважно проводяться обстеження передових ділянок - там, де навантаження найінтенсивніше, а ремонтна підтримка мінімальна. У зоні бойових дій дороги часто піддаються вогневому впливу або підривам. Зимові умови ускладнюють відновлення таких ділянок, тому використовуються збірні модульні елементи, тимчасові прокладки з деревини або навіть понтонні платформи. Усе це дозволяє швидко відновити проїзд, навіть у найскладніших умовах. Іноді траси змінюються в реальному часі - для цього застосовуються мобільні штаби управління дорожнім рухом.

Оскільки бойові дії можуть тривати місяцями, зимове навантаження на дороги набуває кумулятивного ефекту - щоденне використання, перепади температур, маса техніки, а також вплив хімічних матеріалів і вологи призводять до стрімкого зниження ресурсу покриття. У зв'язку з цим створюються мобільні групи з моніторингу стану дорожньої мережі, які своєчасно передають інформацію про необхідність ремонту або зміни маршруту. Це дозволяє запобігати аваріям і зберігати боєздатність частин, які залежать від логістики.

Ще одним викликом є психологічний та фізичний стан особового складу, що виконує завдання на дорогах. Довге перебування в холоді, обмеженість у русі, підвищена концентрація під час керування технікою в умовах поганої видимості та слизького покриття призводять до швидкого виснаження. Тому в організації експлуатації доріг взимку враховується необхідність чергування, ротації особового складу, а також створення умов для відпочинку і відновлення.

Зимове утримання автомобільних доріг здійснюється згідно з єдиними правилами зимового утримання автомобільних доріг, затвердженими наказом Державної служби автомобільних доріг України від15 листопада 2005 року № 525 (ПГ.1-218-118), Технічними правилами ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів. Уся система заходів із зимового утримання автомобільних доріг повинна забезпечити умови для руху автотранспорту, максимально полегшити та зменшити фінансові витрати на виконання робіт з ліквідації зимової слизькості.

З огляду на всі ці фактори, можна зробити висновок, що експлуатація військових автомобільних доріг узимку є одним із найбільш критичних напрямів у системі тилового і бойового забезпечення. Вона вимагає високого рівня підготовки, чіткої координації між підрозділами, постійного моніторингу ситуації на місцях і гнучкості в прийнятті рішень. Злагоджені дії інженерів, командирів, водіїв та логістів — запорука ефективного функціонування транспортної мережі в найскладніших умовах.

Висновки

Ключову роль у забезпеченні проїзду відіграють інженерні війська, які відповідають за розчищення, ремонт, облаштування настилів та розмінування доріг. Їхня робота є критично важливою для безперервного руху військової техніки. Зимові умови суттєво ускладнюють експлуатацію військових автомобільних доріг, впливаючи на стан покриття та безпеку руху техніки. Морози, снігопади, відлиги та ожеледиця спричиняють руйнування доріг і зниження проїзду, особливо на ґрунтових маршрутах. Поведінка асфальтних, бетонних і ґрунтових покриттів у зимовий період суттєво різниться, що потребує врахування при плануванні маршрутів.

Експлуатація доріг у ЗСУ регламентується відповідними нормативними документами, які визначають вимоги до зимового утримання. Комплексний підхід — врахування погодних умов, типу покриття, дій інженерних підрозділів і дотримання стандартів — є основою ефективного функціонування військових маршрутів у зимовий період.

Список літератури

1. Автомобільні дороги ДБН В.2.3-4:2015
2. Автомобільні дороги ГБН В.2.3-37641918-559:2019
3. Наказ міністерства оборони
4. В.С. Степура - Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів
5. Наказ МОУ 23.09.2020 № 348. Про внесення змін до інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України.

УДК 614.84:614.841.2

О.Г. Водчиць, к.т.н., доц., С.А. Лободенко, Д.О. Доценко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Використання рукавів та стволів високого тиску в пожежогасінні

Запропоновано: Рукави високого тиску, Пожежні стволи високого тиску, Економія вогнегасної речовини, Безпечне пожежогасіння.

1. Економія вогнегасної речовини менший витрата води або піни за рахунок більш ефективного розпилення.

2. Збільшення дальності та точності подачі можливість працювати на відстані без наближення до небезпечної зони.

3. Менша кількість персоналу компактні рукави легше розгортати, що пришвидшує реакцію.

Приклади застосування.

1. Пожежі в обмежених просторах (метро, шахти, підземні парковки)

Техніка: Рукави високого тиску (тиск 40–100 бар) з компактними розгалужувачами.

Результат: Можливість подавати воду через вузькі проходи без втрати потужності струменя.

Випадок в Україні: Гасіння пожежі у київському метро (2020 р.) (рис.1)застосовувалися стволи високого тиску для локалізації вогню без залучення великої кількості води.



Рис.1 – Фото гасіння пожежі в метро.

2. Ліквідація пожеж на промислових об’єктах (нафтобази, хімічні заводи)

Техніка: Пінні стволи високого тиску (наприклад, Akron TurboJet) (рис.2).



Рис.2 - Akron TurboJet

Результат: Швидке утворення щільного пінного покриття для ізоляції вогню.

Випадок в Україні: Пожежа на нафтобазі у Василькові (2015 р.) (рис.3) завдяки стволам високого тиску вдалося уникнути масштабного вибуху.



Рис.3 – пожежа в Василькові

3. Гасіння лісових пожеж (важкодоступні ділянки)

Техніка: Переносні модулі високого тиску (наприклад, Rosenbauer High Pressure).

Результат: Можливість подавати воду на великі відстані з мінімальними витратами.

Випадок в Україні: Лісові пожежі в Чорнобильській зоні (2020 р.) (рис.4)використовувалися мобільні насосні станції для ефективного гасіння.



Рис.4 – Пожежа в Чорнобильському лісі

Актуальність технології

Для ЗСУ: Захист критичної інфраструктури під час обстрілів (ефективне гасіння з мінімальним використанням ресурсів).

Для цивільного сектору: Швидке реагування в умовах обмеженої доступності води (села, віддалені райони).

Висновок

Це сучасне, інноваційне рішення, яке забезпечує ефективне пожежогасіння з мінімальними витратами ресурсів та часу. У сучасних умовах, коли важлива кожна секунда, технології високого тиску відкривають нові можливості для підвищення ефективності роботи пожежно-рятувальних підрозділів.

На відміну від традиційних систем, обладнання високого тиску дозволяє використовувати менший об’єм води для досягнення того ж гасильного ефекту.

Це особливо важливо в умовах обмеженого доступу до джерел водопостачання або під час роботи у важкодоступних місцях, таких як

багатоповерхові будівлі, гірська місцевість або промислові об’єкти зі складною інфраструктурою.

Крім того, стволи високого тиску формують дрібнодисперсну водяну завісу, яка ефективно охолоджує зону горіння та перешкоджає поширенню полум’я. Така технологія дозволяє швидше локалізувати пожежу та зменшити шкоду, завдану як будівлям, так і навколишньому середовищу.

Список літератури

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій (ДСНС). Настанови з пожежогасіння. URL: www.dsns.gov.ua ДСТУ EN 671-1:2019 "Системи пожежогасіння. Рукавні системи. Частина 1: Рукави напівжорсткі з'єднання".
2. Каталог продукції Rosenbauer (2023). Розділ про обладнання високого тиску. URL: www.rosenbauer.com.
3. Технічний паспорт ствола високого тиску Akron TurboJet. URL: www.akronbrass.com .
4. Дослідження НДІ пожежної безпеки України (2021) "Ефективність застосування обладнання високого тиску".
5. Міжнародний журнал "Fire Technology" (2022). Стаття про оптимізацію витрат вогнегасних речовин.
6. Звіт про гасіння пожежі в Київському метро (2020). Архів ДСНС м. Київ.
7. Інтерв'ю з начальником пожежної частини №15 м. Львів (журнал "Пожежна справа", №4, 2023).
8. Навчальні матеріали Академії ДСНС України.

УДК 693.5:699.84

М.О. Ярмольчик, др. філософії (PhD), О.В. Любарська,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Вибір матеріалів для м'якої покрівлі: переваги та недоліки

Тема досліджує різні матеріали для м'якої покрівлі, такі як бітумна черепиця, рулонні матеріали та мембрани. Розглядаються їх переваги, зокрема водонепроникність та довговічність, а також недоліки, включаючи високу вартість монтажу та чутливість до пошкоджень. Аналіз допомагає вибрати оптимальний матеріал для конкретних умов.

М'яка покрівля є популярним рішенням для покриття дахів завдяки своїм технічним характеристикам та естетичним перевагам. Вибір матеріалів для м'якої покрівлі залежить від ряду факторів, таких як кліматичні умови, бюджет, тип будівлі та вимоги до довговічності[1]. Тип будівлі також суттєво впливає на вибір матеріалів для покрівлі. Для приватних будинків, дач або котеджів часто обирають матеріали, які дозволяють створити естетично привабливий вигляд, що відповідає загальному архітектурному стилю будівлі. Водночас для промислових і комерційних об'єктів важливими є не лише естетика, а й технічні характеристики, такі як стійкість до механічних пошкоджень, термічна ізоляція та здатність витримувати інтенсивні навантаження. Найпоширенішими матеріалами є бітумна черепиця, рулонні матеріали та мембранні покрівлі.

Переваги:

- **Бітумна черепиця**, легкість монтажу, різноманітність кольорів і форм, хороша водонепроникність;
- **Рулонні матеріали**, економічність, простота в установці, хороша гнучкість;
- **Мембранні покрівлі**, висока стійкість до механічних пошкоджень, довговічність, стійкість до ультрафіолету, екологічність, легкість монтажу, мінімальний догляд.

Недоліки:

- **Бітумна черепиця**, чутливість до високих температур, короткий термін служби порівняно з іншими матеріалами, схильність до пошкоджень під час сильних вітрів, вимагає регулярного обслуговування, обмежені можливості для установки в холодному кліматі, висока вартість монтажу;
- **Рулонні матеріали**, схильність до механічних пошкоджень, потреба в додатковому захисті від ультрафіолету, короткий термін служби, не підходить для великих ухилів даху, складність монтажу;
- **Мембранні покрівлі**, висока вартість, складність монтажу в порівнянні з іншими матеріалами.

В порівнянні з усіма видами м'якої покрівлі, їх перевагами та недоліками, для казарм найкраще підходять мембранні покрівлі (ПВХ, ТПО).

Вони забезпечують високу довговічність, стійкість до ультрафіолетового випромінювання та механічних пошкоджень, що критично важливо для об'єктів, які піддаються великим навантаженням і різким погодним умовам [2]. Мембранні матеріали також мають відмінні водоізоляційні властивості, що робить їх ідеальними для забезпечення надійного захисту від вологи. Вони легко адаптуються до різних кліматичних умов, що додає їм універсальності.

Попри високу вартість матеріалу та необхідність професійного монтажу, мембранні покрівлі стають найкращим варіантом для казарм завдяки їхній довговічності, стійкості до зовнішніх впливів та низьким витратам на обслуговування в майбутньому. Враховуючи важливість тривалої експлуатації без необхідності частих ремонтів, мембранні покрівлі є оптимальним вибором для таких об'єктів, де надійність і довговічність є пріоритетними.

Монтаж мембранної покрівлі є технічно складним процесом, що вимагає професіоналізму і точності. При правильному виконанні робіт мембранна покрівля забезпечить надійний захист від вологи, тривалий термін експлуатації.

Також важливо, що мембранні покрівлі володіють енергоефективними властивостями, адже багато з них мають відображаючі властивості, що допомагає знижувати енергоспоживання для охолодження будівель. Тому інвестиції в мембранні покрівлі, незважаючи на їх високу вартість на етапі монтажу, є економічно доцільними в довгостроковій перспективі, оскільки вони забезпечують відмінну стійкість, енергоефективність і зменшення витрат на обслуговування.

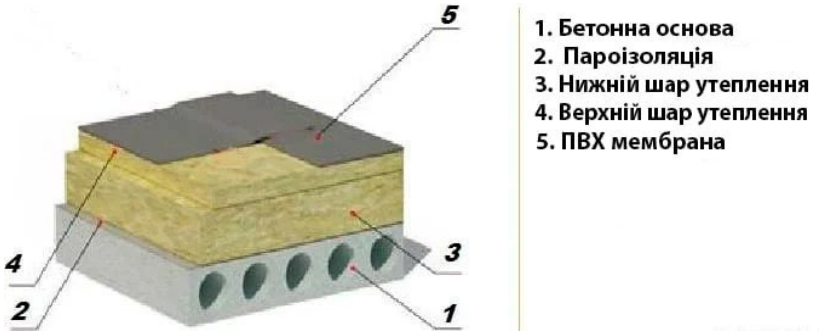


Рис.1. Схема монтажу м'якої покрівлі

Висновок

Вибір матеріалів для м'якої покрівлі залежить від багатьох факторів, таких як кліматичні умови, тип будівлі, бюджет та вимоги до довговічності. Кожен матеріал має свої переваги та недоліки:

– бітумна черепиця - економічна та легка в монтажі, але з обмеженим терміном служби;

– рулонні покрівельні матеріали - дешеві та прості в установці, але потребують регулярного обслуговування та захисту від пошкоджень;
– мембранні покрівлі - довговічні та стійкі до зовнішніх впливів, але дорогі в монтажі.

Для об'єктів, де важлива надійність і тривала експлуатація, такі матеріали, як мембрани, є оптимальним вибором, хоча й потребують значних початкових витрат.

Однак, вибір покрівельного матеріалу також має враховувати конкретні умови експлуатації: наприклад, для дачних будинків або будівель з невисоким навантаженням на дах можуть підійти більш економічні варіанти, такі як бітумна черепиця або рулонні матеріали. В той час, як для комерційних та промислових будівель, де важливі довговічність та мінімальний рівень обслуговування, найбільш доцільними будуть мембранні покрівлі. Тому, вибір матеріалу для покрівлі має бути збалансованим, з урахуванням специфічних вимог до експлуатації, а також довгострокових витрат на обслуговування і ремонт покрівлі.

Список літератури

1. Сидоренко В.М. (2019). *Технічний аналіз покрівельних матеріалів для будівель*. Одеса: ОНПУ.
2. Мельник О.І. (2020). *Покрівельні матеріали: технічні характеристики та застосування*. Львів: ЛНУ.

УДК 355.233:159.922.6-053.9

О.С. Поліщук, І.А. Степанюк, Є.В. Матус,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Спілкування молодого офіцера з підлеглим особовим складом 40+

Розвиток умінь і навичок спілкування молодого офіцера з іншими підлеглими у віці 40+ сьогодні. Це передбачає розвиток лідерських якостей, таких як справедливість і відповідальність, а також підвищення авторитету. Розгляд ефективного способу спілкування з досвідченим персоналом у контексті Збройних Сил України має вирішальне значення для успішного виконання місії, це сприяє успішному виконанню місії.

Сьогодні в Збройних Силах України багато людей похилого віку перебувають у підпорядкуванні молодших офіцерів, що створює велику перешкоду для спілкування молодих офіцерів зі старшими підлеглими. Різниця між поколіннями часто призводить до різних стилів спілкування: старші військовослужбовці віддають перевагу традиційним, офіційним методам спілкування, тоді як молодші офіцери частіше використовують сучасні, менш формальні методи спілкування. Це може призвести до труднощів у взаєморозумінні, тому необхідно розробити продуману стратегію спілкування, яка враховує ці деталі.

Для військовослужбовців старшого покоління досить важливо щоб під час вирішень питань, також враховувалась їхня думка. Для них важливо відчувати свою значущість і визнання досвіду, так як недооцінка їх знань може викликати супротив, зниження мотивації та прихований саботаж наказів.

Молодий командир повинен володіти багатим словниковим запасом, уникати молодіжного сленгу, використовувати конкретно та стисло викладені думки.

Підлеглі старшого віку чутливі до проявів неповаги або зверхності у поведінці.

Ефективне спілкування не залежить від однієї особи. Отриманий зворотній зв’язок від підлеглих допоможе коригувати стиль управління та адаптуватись до потреб підрозділу.

Потрібно завойовувати авторитет, він не дається за призначенням на посаду чи отриманням вищого звання, він формується часом та діями.

Військовослужбовці старшого покоління мають великий досвід, тому виявити слабкі місця у підготовці молодого командира для них не складе великої проблеми. Молодий командир має постійно самовдосконалюватись, бути зразком у володінні різними видами озброєння та техніки, знати статут Збройних Сил України, використовувати нові тактичні прийоми.

Молодий офіцер повинен залишатися об'єктивним у ставленні до всього особового складу, не дозволяючи віку чи іншим чинникам впливати на прийняття рішень.

Молодий командир має стати не лише «командиром», а і лідером, який буде прикладом для своїх підлеглих, та не вимагатиме того що не зможе зробити сам.

Таблиця 1.

Вікові відмінності у військовій комунікації: виклики і підходи

Обставина	Проблема	Вирішення проблеми
Вікові відмінності	Різний життєвий досвід, ставлення до авторитетів	Поважне ставлення, визнання досвіду старших військових
Стиль керівництва	Молодий офіцер може бути менш формальним, використовує новітні технології	Збалансований стиль: поєднання авторитету та відкритості
Комунікація	Можливі бар'єри через різне сприйняття форм спілкування	Використання зрозумілої мови, уникнення надмірної неформальності
Довіра та взаєморозуміння	Недовіра з боку старших підлеглих до молодшого командира	Послідовність, компетентність, справедливе ставлення
Мотивація підлеглих	Старші військовослужбовці можуть мати іншу мотивацію (стабільність, повага)	Індивідуальний підхід, врахування особистих цінностей
Конфліктність	Можливе виникнення напруги через відмінності у поглядах чи досвіді	Вирішення конфліктів через діалог, слухання та компроміси
Впровадження змін	Старші можуть бути менш відкритими до нововведень	Поступове впровадження змін, пояснення переваг
Психологічна сумісність	Різне сприйняття авторитету та підпорядкування	Розвиток емоційного інтелекту, толерантність, повага

Висновок

У сучасних умовах служби в Збройних Силах України важливою складовою ефективного управління підрозділом є налагодження конструктивної комунікації між молодими офіцерами та підлеглими старшого віку. Вікові, культурні та професійні відмінності можуть створювати бар'єри у взаєморозумінні, проте саме розумна стратегія спілкування, заснована на

повазі, визнанні досвіду та справедливості, є ключем до подолання цих труднощів.

Молодий командир має не лише демонструвати високий рівень професіоналізму, але й постійно працювати над розвитком лідерських якостей. Авторитет у військовому колективі здобувається не посадою, а щоденними діями, рішучістю, компетентністю та здатністю до самовдосконалення. Тільки такий підхід дозволить об'єднати зусилля досвідчених військовослужбовців і нових командирів задля спільного досягнення мети та забезпечення ефективності бойових завдань.

Список літератури

1. https://document.kdu.edu.ua/info_zab/053_1659.pdf
2. Бочарова В.Г. Основи військової психології та педагогіки. – Харків: Університет внутрішніх справ, 2005.
3. Сидоренко О.М. Лідерство в Збройних Силах: теорія і практика. – Київ: НАОУ, 2018.
4. Ситник І.Г. Соціальна психологія у військових колективах. – Одеса: МОН України, 2020.
5. Чорнобай Ю.М. Культура управління військовим підрозділом. – Хмельницький: НУОУ, 2016.
6. Мельник В.П. Психологічна підготовка офіцера до управління особовим складом. – Львів: Академія сухопутних військ, 2019.
7. Kovalenko O.V. Features of communication between young commanders and experienced military personnel // Military Science Review. – 2021. – №4.

УДК 656.7.073:355.4(045)

О.С. Поліщук, А.О. Міняйло
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Використання військово-транспортної авіації для забезпечення логістики тилу в умовах бойових дій

Особливу увагу приділено ефективності використання авіаційних засобів для оперативного переміщення особового складу, озброєння, техніки та матеріально-технічних засобів у зону бойових дій та з неї. Аналізуються сучасні можливості авіаційного транспорту, фактори, що впливають на планування та проведення логістичних операцій з використанням повітряних суден, а також приклади успішного застосування авіації в умовах бойового протистояння.

В умовах інтенсивних бойових дій ефективне забезпечення логістики тилу набуває критично важливого значення для підтримання боєздатності військ, забезпечення їхніх нагальних потреб та успішного виконання бойових завдань. Серед різноманітних транспортних засобів військово-транспортна авіація (ВТА) відіграє особливу роль, надаючи унікальні можливості для швидкої доставки вантажів, евакуації поранених та перекидання особового складу в критично важливі райони. Її використання в логістичній системі тилу має ряд незаперечних переваг. По-перше, це висока швидкість доставки, адже літаки військово-транспортна авіація здатна долати значні відстані за короткий проміжок часу, що дозволяє оперативно транспортувати боєприпаси, паливо, медикаменти та інші критично важливі вантажі до районів, де наземні шляхи є зруйнованими або заблокованими. По-друге, це можливість доступу до важкодоступних територій, адже авіація може здійснювати посадку на непідготовлені майданчики, аеродроми з пошкодженою інфраструктурою або ж виконувати десантування вантажів і особового складу, забезпечуючи підтримку ізольованих чи оточених підрозділів. Крім того, гнучкість і оперативність ВТА дозволяють швидко реагувати на зміни в оперативній обстановці, перекидаючи ресурси туди, де виникає нагальна потреба, що робить логістичну систему більш адаптивною та живучою. Ще однією перевагою є можливість швидкої евакуації поранених і хворих із зони бойових дій до спеціалізованих медичних закладів, що підвищує їхні шанси на виживання. Оперативне перекидання резервів та підкріплень також є важливою функцією, що дозволяє зміцнювати бойові позиції в найуразливіших точках. Крім цього, військово-транспортна авіація забезпечує доставку спеціального обладнання та озброєння, які необхідні для успішного виконання бойових завдань.

Варто зазначити, що Збройні Сили України у сучасних умовах активно використовують наявні типи військово-транспортної авіації, зокрема літаки Ан-26, Ан-32, Ан-70 та Іл-76. Літак Ан-26 є багатоцільовим транспортним засобом, який використовується для доставки вантажів, десантування особового складу та евакуації. Ан-32, завдяки своїй потужній силовій установці, добре підходить для роботи в складних умовах і на високогірних аеродромах. Іл-76 має велику вантажопідйомність і здатен перевозити великогабаритну техніку та значні обсяги вантажів. Також частково застосовуються модернізовані версії літаків та

окремі зразки авіаційної техніки, отримані як допомога від партнерів. У перспективі розглядається можливість ширшого впровадження безпілотних транспортних систем для забезпечення тилових операцій в умовах високого ризику.

Разом із цим, використання військово-транспортної авіації має й певні недоліки. Насамперед, це висока вартість експлуатації, адже польоти вимагають значних витрат на паливо, технічне обслуговування, підготовку персоналу тощо. Значну роль відіграє й залежність від погодних умов — туман, опади, сильний вітер можуть унеможливити польоти. Також є вразливою до вогню засобів протиповітряної оборони противника, особливо під час зльоту та посадки. Вантажопідйомність літаків обмежена порівняно з можливостями наземного або залізничного транспорту, що впливає на обсяг вантажу, який може бути доставлений за один рейс. Для більшості типів літаків необхідна наявність підготовлених аеродромів, хоча частково цю проблему вирішують новітні модифікації авіатехніки. Необхідність забезпечення безпеки польотів вимагає додаткових заходів, таких як прикриття винищувальною авіацією або придушення ворожої ППО.

Щоб забезпечити ефективне використання військово-транспортної авіації в тиловій логістиці, необхідно дотримуватися низки ключових підходів. Ретельне планування та координація дій між підрозділами дозволяють уникнути неузгодженостей та втрат часу. Важливо встановлювати пріоритети в доставці вантажів, зосереджуючи зусилля на критично важливих матеріалах і евакуації поранених. Оптимізація маршрутів польотів і завантаження літаків дозволяє знизити витрати та підвищити ефективність місій. Паралельно слід приділяти увагу живучості авіації, впроваджуючи системи РЕБ, бронювання та засоби захисту, а також забезпечуючи прикриття з повітря. Підготовка льотного й технічного персоналу до дій в умовах бойових дій має вирішальне значення. Також ВТА повинна бути інтегрована в єдину систему логістики, що включає наземний і морський транспорт, для досягнення максимальної ефективності. Використання сучасних технологій - навігації, зв’язку, автоматизованих систем управління і розвантаження - також істотно підвищує якість логістичного забезпечення.

Перспективи розвитку військово-транспортної авіації передбачають створення нових типів літаків з покращеними характеристиками, зокрема підвищеною вантажопідйомністю, маневреністю та живучістю, вдосконалення авіаційного обладнання, розвиток важких вантажних безпілотників, здатних діяти в умовах підвищеного ризику, а також будівництво інфраструктури подвійного призначення. Впровадження сучасних інформаційно-логістичних систем дозволить оперативно координувати постачання, контролювати запаси та ресурси, підвищуючи загальну ефективність логістики.

Таким чином, військово-транспортна авіація залишається невід’ємною складовою тилового забезпечення в умовах сучасної війни. Її ефективне застосування дозволяє підтримувати боєздатність військ, знижувати ризики втрат та швидко адаптуватися до змін у бойовій обстановці. Подальший розвиток ВТА, спрямований на інновації та інтеграцію в сучасну логістичну

систему, відкриває нові можливості для забезпечення успішного ведення бойових дій.

Висновки

Військово-транспортна авіація в сучасних умовах є не просто засобом перевезення, а важливим інструментом стратегічного значення, що забезпечує гнучкість, мобільність і стійкість тилової логістики. З огляду на складність оперативної обстановки, динамічні зміни на лінії фронту та загрозу постійного вогневого впливу противника, використання ВТА дозволяє Збройним Силам України забезпечити безперервне постачання боєприпасів, пального, техніки та медичних засобів, поранених навіть у найбільш ізольовані або небезпечні райони. Застосування літаків демонструє здатність України адаптуватися до викликів війни та нарощувати авіаційний потенціал навіть у складних умовах. Розвиток вітчизняної авіаційної промисловості, впровадження сучасних технологій і збільшення номенклатури доступних повітряних платформ, включаючи безпілотні рішення, мають стати пріоритетами для країни в оборонному секторі.

Таким чином, військово-транспортна авіація вже сьогодні доводить свою стратегічну важливість для забезпечення обороноздатності держави. Успішне її використання в тиловій логістиці не лише покращує постачання військ, а й формує підґрунтя для подальших наступальних і оборонних дій. Системний підхід до її розвитку, модернізації та інтеграції з іншими компонентами логістичного забезпечення дозволить створити ефективну, адаптивну й живучу систему тилу, спроможну витримати тиск сучасної війни та забезпечити перемогу на полі бою.

Список літератури

1. Гришко С. В. (2018). Організація логістичного забезпечення Збройних Сил України. – К.: НаУОА.
2. Дорошенко В.І. (2020). Військова авіація: стратегічні аспекти використання в умовах сучасної війни. – Харків: ХНУПС.
3. Бекетов І.Г., Бутко М.М. (2021). Застосування авіаційного транспорту в системі військової логістики: сучасні виклики та тенденції. – Військово-науковий вісник, №2.
4. Бедрій Я., Тарнавський Є. "Військова логістика"
5. Залізнюк В. П., Платонов О. І., Яценко В. А., Григорак М. Ю., Габрієлова Т. Ю., Литвиненко С. Л. "Логістичні технології міжнародних перевезень та експедирування вантажів авіатранспортом: навчальний посібник"
6. Попов С.Е., Пуховий О.В., Жидкомлінов М.О. "Модель системи логістичного забезпечення радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України та її загальна характеристика"

УДК: 621.791.6:621.89:656.7

О.В. Сєченєв, М.С. Муромець, Д.О. Міщенко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Вибір зварювального обладнання для ремонту технічних засобів служби пального в польових умовах

Зварювальна майстерня МС-А, яка входять до складу ПРМ-СГ, призначена для виконання в польових умовах ручного дугового та газового (ацетилено-кисневого) зварювання і різання, напівавтоматичного дугового зварювання та наплавлення дротами різних металів, включаючи алюміній і його сплави, у середовищі захисних газів аргону, вуглекислого газу. Нажаль, майстерня МС-А розроблена і виготовлена в сімдесятих роках минулого століття і на сьогодні не відповідає сучасним вимогам.

Майстерня мобільна за рахунок власного транспортного засобу, достатня для перевезення особового складу, обладнання та майна проте технічне оснащення не відповідають вимогам сьогодення та має недоліки, а саме: базове шасі майстерні застаріло, зварювальне обладнання має велику вагу та великі габаритні розміри тощо.

Тому на сьогодні виникає необхідність вибору та укомплектування майстерні універсальним зварювальним обладнанням для здійснення зварювання, як звичайних вуглецевих так і нержавіючих сталей, алюмінію та його сплавів, оскільки ремонт пошкоджених технічних засобів служби пального є одним з джерел поповнення втрат під час ведення бойових дій.

Для наукового обґрунтування щодо вибору універсального зварювального обладнання використаний порівняльний метод, а саме: аналіз доступних джерел (наукових статей, інструкцій з експлуатації на дану тему та вимог до зварювальних майстерень країн НАТО і України) та порівняння них з новими зразками українського та закордонного виробництва.

Для забезпечення аргоно-дугової зварки і зварки покритими електродами необхідні джерела зварювальної дуги - зварні генератори з визначеними зовнішніми характеристиками ($V=f(I)$, де V- напруга, I- сила струму).

Так, для здійснення аргоно-дугової зварки алюмінію та його сплавів вольфрамовими електродами і електродугової зварки сталі, покритими електродами потрібен зварний генератор з падучої зовнішній характеристикою, а для здійснення полу автоматичної аргоно-дугової зварки алюмінію і його сплавів електродами, які плавляться – генератор з жорсткої характеристикою (рис.1).

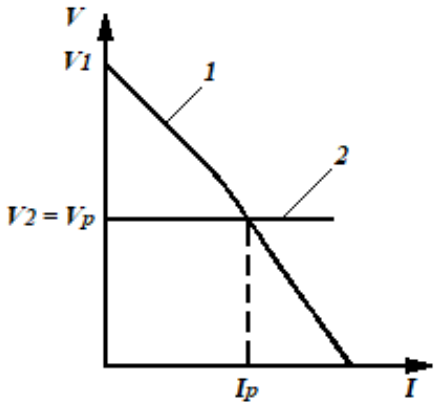


Рис.1. Зовнішні характеристики джерела живлення дуги:
1-падуюча характеристика; 2-жорстка характеристика;
V_1, V_2- напруга холостого ходу; V_p, I_p- робоча напруга та струм

Крім того, зварювальне обладнання повинне мати мінімальну вагу і розміри для зручності розміщення його в майстерні і використання в польових умовах.

На сьогодні широко застосовується переносний зварювальний апарат типу EDON- 200 для ручного електродугового зварювання, різання, наплавлення чорних та кольорових металів електродами змінного (AC) або постійного (DC) струму, з можливістю аргонової зварки неплавким вольфрамовим електродом. Зовнішній вигляд апарату наведено на рис. 2.



Рис. 2. Зварювальний апарат типу EDON- 200

Технічна характеристика зварювального апарату EDON-200 наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Технічна характеристика зварювального апарату EDON- 200

Показник	EDON- 200
Напруга,В	220
Частота струму, Гц	50

Сила зварювального струму, А	20 - 200
Потужність, Вт	7100
Робочий електрод, мм	1.6 - 4
Робочий цикл, %	35
ККД, %	85
Номінально вихідна напруга на зварювальної дузі, В	28
Коефіцієнт потужності	0,93
Напруга холостого ходу, В	60
Габаритні розміри, мм	460x240x345
Вага нетто, кг	7,7
Вага брутто, кг	9,8

Для збільшення можливості зі зварювання в комплект майстерні доцільно включити електролізну газову установку типу “Ліга-02/22” для зварки, паяння і різання сталі та кольорових металів, що не потребує застосування обладнання з вогненебезпечним газом, окрім електричної мережі 220В/50 Гц та дистильований води. Зовнішній вигляд установки наведено на рис. 3.



Рис. 3. Електролізна газова установка типу “Ліга-02/22”

Використання установки “Ліга-02/22” робить простим зварювання, пайку і різання сталі і кольорових металів, при наявності тільки електричної мережі і дистильованої води. Не потрібно ніяких важких балонів з вогненебезпечним газом. Зварювальна установка типу “Ліга-02/22” працює з чистим полум'ям температурою до 2600 °С, отриманим при згорянні водню і кисню, вироблених шляхом електролізу води. Дуже легкий контроль продуктивності робить зварювальний апарат легкодоступним для виконання різних завдань.

Вбудована система контролю тиску і рівня подає сигнал у разі підвищення тиску і рівня над оптимальними і може вимкнути електричне живлення, забезпечуючи подвійну безпеку.

Технічна характеристика газової установки типу “Ліга-02/22” наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Технічна характеристика газової установки типу “Ліга-02/22”

Показник	Значення
Живлення	220В, 50 Гц
Споживана потужність, кВт	3,5
Максимальне діюче значення струму, А	18
Тиск газу, атм.	до 0,4
Максимальна температура полум’я,°С	2600
Продуктивність газової суміші, л/хв	до 12
Середня витрата палива (води), $см^3$/год	350
Час безперервної роботи, годин	4
Максимальна товщина зварювальної сталі, мм	4,5
Маса, кг	40

Висновок

Заміна старого зварювального обладнання сучасним обладнанням дає можливість збільшити продуктивність та якість зварювальних ремонтних робіт.

Вибране обладнання забезпечує заміну одного виду зварки іншим видом у випадку перебоїв в забезпеченні витратними матеріалами в польових умовах.

Крім того, запропоноване рішення дозволить покращити умови праці особового складу майстерені, а технічні характеристики пришвидшать процес ремонту та безпеки під час його виконання.

Список літератури

1. Технічні засоби транспортування та заправки пальним. О.Г. Водчиць, К.В. Ніконов, С.С. Дровнін. Ж.: ЖВІ НАУ, 2013.
2. Настанова з експлуатації ПРМС-СГ.
3. Тези та наукові статті на тему розробки сучасних рухомих засобів ремонту.
4. Аналіз результатів виконання завдань з відновлення технічного стану АЗЗТП пересувними майстернями в визначених районах у 2023 році, №370/6/2/2/25 тлг від 15.02.24

УДК 355.5:358.4

М.В. Гудков, к.т.н,
А.І. Невеський
(Харківський національний університет
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Україна)

Підвищення якості процесу підготовки передових авіаційних навідників

Проведений порівняльний аналіз систем підготовки передових авіаційних навідників (ПАН) в Україні та офіцерів JTAC (англ. joint terminal attack controller) збройних сил Франції дозволив запропонувати шлях підвищення показників якості їх підготовки. Пропозиція полягає у зміні порядку та форми проведення презентаційного заняття на тренажері.

Аналіз досвіду ведення бойових дій, що поводяться частинами і підрозділами Збройних Сил (ЗС) України та іншими військовими формуваннями в ході відбиття збройної агресії російської федерації показує, що переважна кількість бойових завдань виконується із залученням авіаційного компоненту. Засобами цього компоненту виступають, як безпілотні, так і пілотовані літальні апарати (відповідно БПЛА та ЛА) [1]. Наведення на ціль (об'єкт удару, або розвідки) БПЛА здійснюють їх оператори, а наведення пілотованих ЛА (літаків, вертольотів) здійснюють передові авіаційні навідники (ПАН). Від рівня професійної майстерності (підготовки) особового складу операторів БПЛА, або ПАН у багатьох випадках залежала принципова можливість реалізації визначених місій та якість виконання поставлених для їх досягнення бойових задач. Як показав проведений аналіз застосування БПЛА та пілотованих ЛА в ході виконання бойових місій в переважній кількості випадків при нанесенні авіаційних ударів по особливо важливих цілях (тих, що мали оперативне значення), або їх розвідки виконувались пілотованими ЛА. Отже, для підвищення якості виконання бойових місій, що мають оперативне значення та виконуються із застосуванням авіаційної компоненти війська потребують покращення якості підготовки ПАН. З іншого боку, аналіз сучасної економічної ситуації в якій опинилась Україна змушує керівництво держави значну кількість матеріально-фінансових ресурсів спрямовувати на реалізацію заходів, що безпосередньо стосуються відбиттю збройної агресії, тому традиційний підхід підвищення якості підготовки ПАН шляхом збільшення ресурсів на її досягнення стає неприйнятним.

В умовах введення воєнного стану в Україні [2] підготовка військового АП здійснюється за прискореними програмами [3]. Сутність прискорення полягає у підвищенні інтенсивності навчального процесу проведення підготовки при цьому обсяг навчального матеріалу залишається незмінним. Як показує аналіз [4] інтенсивність навчального процесу проведення підготовки підвищується за рахунок:

– зменшення термінів, що відводяться на проведення підготовки;
– збільшення кількості занять, що проводяться у навчальний день;

– зменшення кількості вихідних днів, що припадають на період проведення підготовки;

– збільшення кількості часу що відводиться на проведення занять з 8 аудиторних годин до 10 аудиторних годин у навчальний день.

За таких умов збільшення навантаження на слухачів для навчання застосуванню новим тактичним прийомам та освоєнням набутого військами бойового досвіду поряд із опануванням визначеного обсягу навчального матеріалу, що встановлений в план-програмах проведення підготовки, перенавчання або курсів підвищення кваліфікації ПАН стає складним, нетривіальним завданням.

Таким чином, спостерігається існування об'єктивного протиріччя між потребою військ у підготовлених на завданому рівні ПАН та можливостями системи їх підготовки, що функціонує в умовах значного обмеження часових, матеріальних і фінансових ресурсів.

У 2023 році фахівці кафедри 1002 ФППКАП ХНУПС проходили стажування у авіаційній школі підготовки JTAC, що знаходиться на авіабазі міста Ош департаменту Жер, Франція. Набутий ними досвід показав, що програми підготовки JTAC та ПАН мають модульну структуру та їх умовно можна уявити п'ятьма основними етапами, що наведені на рис. 1.



Рисунок 1 – Структура програм підготовки ПАН в Україні та JTAC Збройних Сил Франції

На першому (підготовчому) етапі проводиться самостійне вивчення встановленого мінімуму інформації, що потрібен кандидату на навчання для вступу на відповідні курси (школу, центр). Весь обсяг визначеної інформації подрібнено на модулі на при-кінці вивчення яких розміщуються відповідні тестові завдання. Як правило, перший етап проводиться дистанційно. При успішному проходженні підготовчого етапу кандидатів на навчання

запрошують до навчального закладу для проходження другого етапу підготовки – складання вступних іспитів та виконання тестів з фізичної підготовки.

За результатами виконання завдань другого етапу підготовки проводиться зарахування на курс підготовки та починається третій етап підготовки – теоретичне навчання, програма проведення якого наведена на рис. 2.

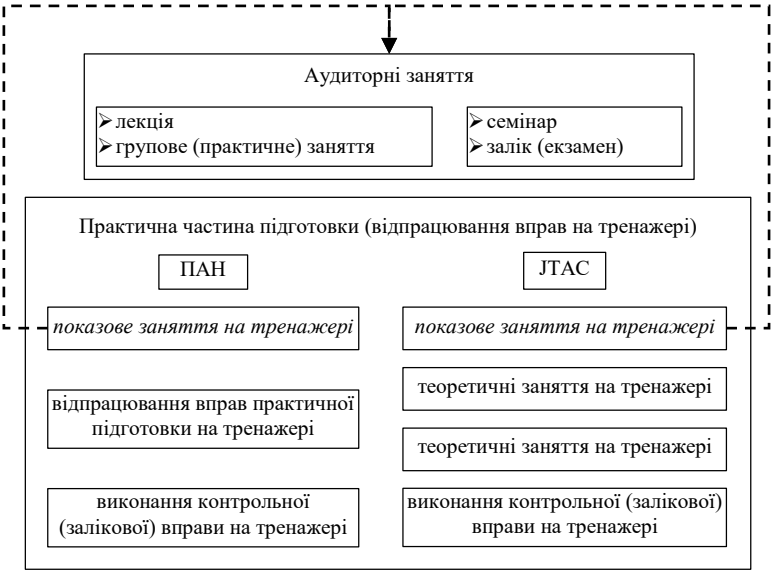


Рисунок 2 – Програма проведення теоретичної та практичної частин підготовки

На третьому етапі здійснюється вивчення теоретичного матеріалу та формування практичних навичок з:

- основ організації та управління повітряним рухом повітряних суден (ПС);
- управління ПС;
- орієнтування на місцевості;
- тактико-технічних характеристик ПС, їх авіаційних засобів ураження (АЗУ) та елементів спорядження ЛТАС (ПАН);
- поводження з елементами спорядження ЛТАС (ПАН);
- ведення радіоміну з екіпажами ПС;
- маскування;
- ведення розвідки;
- тощо.

Третій етап завершується складанням комплексного екзамену. Слухачі, які успішно склали комплексний екзамен приступають до четвертого етапу – практична підготовка на тренажері.

Четвертий етап підготовки починається з презентаційного заняття на якому слухачам демонструють можливості тренажерів, щодо створення умов виконання місій та роботу з їх виконання особами ЛТАС (ПАН). Саме практична підготовка на тренажері проводиться шляхом виконання навчальних вправ у порядку та за правилами, що визначені нормативними документами. Слухачі, які успішно пройшли етап підготовки на тренажері приступають до п'ятого (завершального) етапу – полігонна підготовка.

На п'ятому етапі підготовки ЛТАС (ПАН) відбувається практичне відпрацювання навчальних вправ на полігонах із залученням різноманітних засобів вогневої підтримки та використанням реальних авіаційних, артилерійських, мінометних та ракетних засобів ураження. На відміну від проведення п'ятого етапу підготовки ЛТАС при підготовці ПАН на цьому етапі відбувається практичне використання тільки засобів авіаційної підтримки із застосування АЗУ. Після демонстрації набутих спроможностей інструкторам в ході виконання залікових вправ слухачі отримують відповідний документ про проходження навчання.

Наведений порядок організації та проведення підготовки ЛТАС (ПАН) дозволяє слухачам отримувати завданий рівень необхідних спроможностей, а науково-педагогічному та інструкторському персоналу проводити всебічну оцінку набутих слухачами компетенцій, рівень яких для ЛТАС визначається [5-7].

Як показав проведений аналіз досвіду проведення третього етапу підготовки він відбувається за класичною схемою: лекція – практичне (групове) заняття – семінар (рис 2). Тобто, у переважна кількість занять проводяться у пасивній формі [8]. Такий порядок призводить до ситуації коли, на початку надання матеріалу чергової дисципліни слухачі не завжди розуміють її значення при формування необхідних професійних спроможності. Тому при опануванні наданого матеріалу у слухачів виникає ефект "потрібно так потрібно" без розуміння "для чого це потрібно", що в свою чергу приводить до формування поверхневих знань, які швидко з часом зникають, або забуваються.

Для парирування вказаної ситуації пропонується презентаційне заняття, що проводиться на початку четвертого етапу перепідготовки "Практична підготовка на тренажері" проводити на-початку третього етапу "Теоретичне навчання" (на рис. 2 це показано пунктирною стрілкою). На цьому занятті пропонується демонструвати слухачам навчальної групи порядок виконання різноманітних місій з ретельним поясненням дій ЛТАС (ПАН) із наголосом чому він так поступив за даних обставин і знання матеріалу яких дисциплін навчання змусили його обрати відповідне рішення та порядок дій, щодо його втілення.

За запропонованими змінами в програмі підготовки ПАН було проведено педагогічний експеримент на базі кафедри (підготовки фахівців бойового забезпечення авіації) (каф. №1002) факультету перепідготовки та підвищення кваліфікації авіаційного персоналу (ФПКАП) Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (ХНУПС).

Показником якості процесу перепідготовки ПАН було обрано загальну оцінку [9], що отримували слухачі за результатами складання комплексного екзамену, проведення практичної підготовки на тренажері та полігонної частин підготовки.

Для участі у експерименті була обрана експериментальна група слухачів, які проходили підготовку на курсах перепідготовки ПАН у період з 13.05.2024 по 07.06.2024 року. Кількість навчальної групи складала 6 осіб. Фаховий досвід виконання професійних обов'язків осіб авіаційного персоналу слухачів навчальної групи складав від 0,5 року до 3 років. Слухачі перед проведенням експерименту дали згоду на участь у ньому.

Методологія проведення педагогічного експерименту полягала в наступному. За запропонованим підходом до підвищення якості процесу перепідготовки ПАН третій етап підготовки "Теоретичне навчання" почався ввідним заняттям. В ході якого слухачам доводилась інформація про тривалість, курсу перепідготовки ПАН, його складові етапи, заходи безпеки, проводилось ознайомлення з навчально-матеріальною базою, тощо. Під час проведення ознайомлення з навчально-матеріальною базою, слухачам було продемонстровано роботу тренажера ПАН шляхом проведення презентаційного заняття на тренажері. Ролі осіб, які імітують дії екіпажу приданого засобу авіаційної підтримки (ЗАП) та особи, яка відпрацьовує навчальну місію ПАН виконували інструктори-викладачі каф. №1002 ФПКАП ХНУПС. Місія складалась з послідовного виконання наступних двох задач:

а) задача №1 "Виявлення, визначення та наведення на ціль приданого ЗАП з нанесенням їй поразки за ступенем А". Ціль – міномета батарея, місцевість – лісова, пора доби – ранок, пора року – літо, некомбатантів – нема, свої сили – відсутні, засоби протиповітряної оборони (ППО) – батарея зенітно-ракетного комплексу "Бук М1", придані ЗАП – вертоліт Ми-24, АЗУ – 2 підвісних контейнери некерованих авіаційних ракет (НАР) типу С-8; вітер – слабкий напрямок північ, атмосферний тиск 760 мм, можливість застосування транспортних засобів – ні. Послідовність роботи ПАН:

1) висування в район знаходження завданої цілі № 1;
2) пошук та дорозвідка цілі № 1 (виявлення місцезнаходження засобів ППО, своїх сил і сил противника та цивільних (некомбатантів), тощо);
3) визначення свого робочого місця в районі цілі № 1 (топогеодезичні координати, перевищення місцевості (цілі) над рівнем моря, тощо);
4) визначення опорних та характерних орієнтирів (стислий опис, геодезичні та прямокутні координати, перевищення орієнтиру над рівнем моря);
5) визначення метеорологічних умов виконання місії (сила та напрямок вітру, хмарність, пора року та доби, температура, повітряний тиск, тощо);
6) визначення безпечних коридорів виходу на ціль № 1 та відходу від неї;

7) налагодження зв'язку з екіпажем приданого ЗАП та прийом управління;

8) управління екіпажем вертольоту Ми-24 при виході на ціль, роботі по неї та відході;

9) доповідь по результатах роботи;

б) задача №2 "Виявлення, визначення та наведення на ціль приданого ЗАП з нанесенням їй поразки за ступенем Б". Ціль – ротний командний пункт, місцевість – лісо-степова, пора доби – вечір, пора року – літо, некомбатанти – присутні 2 групи, свої сили – відділення особового складу на броньованій машині "Бредлі", засоби ППО – 2 машини зенітно-ракетних гарматних комплексів "Тунгуска" та 1 самохідний зенітно-ракетний гарматний комплекс "Панцир-С1", ЗАП – штурмовик Су-25, АЗУ – 2 підвісних контейнери НАР типу С-8, та 2 осколкове-фугасні авіаційні бомби ОФАБ-250; вітер – поривчастий, напрямок північно-східний, атмосферний тиск 740 мм, можливість застосування транспортних засобів – так. Послідовність роботи ПАН:

1) висування в район знаходження завданої цілі № 2;

2) пошук та дорозвідка цілі № 2 (засоби ППО, місця знаходження своїх сил, сил противника та некомбатантів, тощо);

3) визначення свого робочого місця в районі цілі № 2;

4) визначення опорних та характерних орієнтирів;

5) визначення метеорологічних умов виконання місії (сила та напрямок вітру, хмарність, пора року та доби, температура, повітряний тиск, тощо);

6) визначення безпечних маршрутів заходу на ціль № 1 та відходу від неї;

7) налагодження зв'язку з екіпажем ЗАП та прийом управління;

8) управління льотчиком Су-25 при заході на ціль, роботі по неї та відході;

9) визначення результатів роботи, доповідь та передача управління екіпажем.

При виконанні другого завдання в зоні поразки АЗУ (осколкове-фугасна авіаційна бомба ОФАБ-250) ЗАП знаходились некомбатанти (група цивільних осіб). Інструктор, який виконував роль ПАН заборонив екіпажу ЗАП виконання завдання.

Протягом виконання обох завдань місії на тренажері інструктор-викладач кафедри № 1002 коментував дії, які виконував ПАН наголошуючи на причини та обставини з яких приймалось те чи інше рішення та в рамках якої дисципліни необхідний матеріал буде розглядатись на протязі проходження етапу теоретичного навчання.

Завершилось ввідне заняття доведенням інформації про зміст та порядок проходження програми проведення курсу перепідготовки ПАН і доведено розклад занять.

Після проведення етапу теоретичного навчання слухачі складали комплексний екзамен за третій етап курсу перепідготовки ПАН. Надалі порядок проходження курсу перепідготовки ПАН не відрізнявся від встановленого порядку його проходження.

Отримані результати проведення педагогічного екперименту наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Загальні оцінки та їх складові, що отримали слухачі експериментальної навчальної групи ПАН

Назва складової	№ слухача						Оцінка за групу
	1	2	3	4	5	6	
Комплексний екзамен	4	4	5	3	4	5	4,16
Підготовка на тренажері	4	4	5	4	5	5	4,50
Полігонна підготовка	4	4	4	4	5	5	4,33
Загальна оцінка	4,0	4,0	4,23	3,77	4,77	5,0	4,30

Джерело розроблене авторами

Для порівняння в табл. 2 наведено середня загальна оцінка, що отримана слухачами навчальних груп за результатами проходження курсу перепідготовки ПАН у період з 2020 по 2023 роки

Таблиця 2

Середня загальна оцінка, що отримана слухачами навчальних груп за результатами проходження курсу перепідготовки ПАН у період з 2020 по 2023 роки

Назва складової	Рік навчання				Усереднена оцінка
	2020	2021	2022	2023	
Комплексний екзамен	4,11	3,74	4,04	3,82	3,93
Підготовка на тренажері	3,84	4,12	3,78	4,16	3,98
Полігонна підготовка	4,14	3,48	3,82	4,16	3,90
Загальна оцінка	4,05	3,71	3,86	4,08	3,92

Джерело розроблене авторами

Висновки

Проведений педагогічний експеримент довів, що застосування запропонованого підходу до підвищення якості та ефективності проведення курсів перепідготовки ПАН приводить до переведення окремих складових процесу перепідготовки з пасивної до активної форми. При цьому спостерігається підвищення значення усередненого показника опанування визначених компетенцій, що представлений середньою загальною оцінкою за проходження курсу перепідготовки ПАН. Таке підвищення відбувається до рівня 4,3 бали для експериментальної навчальної групи, що на 5,53% вище ніж значення цього показника отриманого при традиційному підході до порядку проведення занять програми підготовки.

За результатами проведення педагогічного експерименту встановлено, що при запровадженні запропонованого підходу підвищення якості проведення курсів перепідготовки ПАН ресурси, які витрачаються на загальний процес їх проведення не потерпають змін у порівнянні з традиційним порядком проведення занять. Тому, можна стверджувати, що ефективність [10] процесу проведення курсів перепідготовки ПАН при застосуванні запропонованого

підходу збільшується на величину збільшення отриманого значення показника якості. Тобто, ефективність процесу проведення курсів перепідготовки ПАН збільшується також на 5,53%.

Запропонований шлях підвищення показників якості та ефективності проведення курсів перенавчання ПАН може бути використано при підготовці авіаційного персоналу за іншими авіаційними фахами в процесі якого використовуються тренажні засоби.

Список літератури

1. Lubiejewsky, S. Conclusions from the use of aviation in the first half of the first year of the Ukrainian-Russian war. *Security and defence quarterly*, 2023. Vol. 42(2), pp. 68-104. https://doi.org/10.35467/sdq/161959.
2. Питання запровадження та забезпечення здійснення заходів правового режиму воєнного стану в Україні: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2022 р. № 181-р. URL: https://www.kmu.gov.ua/npas/pitannya-zaprovadzhennya-ta-zabezpechennya-zdijsnennya-zahodiv-pravovogo-rezhimu-voyennogo-stanu-v-Ukraini-181-r.htm (дата звернення 14.02.2025).
3. Сендлер А.А. Інтенсифікація професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у закладах вищої освіти. *Духовність особистості: методологія і практика*, 2020. Vol. 9, № 6. С. 121-130. URL: https://doi.org/10.33216/2220-6310-2020-99-6-121-130 (дата звернення 15.03.2025).
4. Концепція підготовки Збройних Сил України. URL: https://www.ukrmilitary.com/2016/02/concept-of-the-armed-forces-of-ukraine.html (дата звернення: 15.03.2025).
5. Close Air Support. (JP 3-09.3). Joint Chiefs of Staff, 2019. https://www.jcs.mil/doctrine/joint_doctrine_pubs/jp_3-09.pdf
6. Joint Air Operations. (JP 3-30). Joint Chiefs of Staff, 2022. https://www.jcs.mil/doctrine/joint_doctrine_pubs/jp_3-30.pdf
7. Joint Campaigns and Operations. (JP 3.0). Joint Chiefs of Staff, 2022. https://www.jcs.mil/doctrine/joint_doctrine_pubs/jp_3-0.pdf
8. Хома Т.В. Активні методи навчання в педагогіці вищої школи. *Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах*, 2020. Т. 3. № 69. С. 149-152. https://doi.org/10.32840/1992-5786.2020.69-3.30. (дата звернення 15.03.2025).
9. Гудков. М.В., Джебженяк П.Я., Дуров В.В. Оцінка якості та ефективності процесу підготовки авіаційного персоналу. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, 2023. Вип. 2(51). С. 21-30. https://doi.org/10.30748/NTPS.2023.51.03.
10. ДСТУ ISO 9000:2015. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2015, IDT). [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016. 45 с.

УДК 614.841:46.669.721

О.А. Стрепетова, молодший науковий співробітник, І.І. Чуп, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Технологія гасіння магнієвих сплавів

У статті розглянуто проблему гасіння пожеж, спричинених горінням магнію, алюмінію та їх сплавів, які широко використовуються у військовій техніці, боєприпасах та обладнанні.

Вступ

Сфера застосування магнію, алюмінію та їх сплавів в промисловості, будівництві та побуті з часом суттєво розширюється, що підтверджується їхньою високою практичністю та універсальністю. Однак, при цьому зростає і ризик виникнення пожеж класу D, які пов'язані з горінням легких металів, таких як магній, алюміній та їх сплави. Як правило, чистих пожеж такого типу не буває, що особливо помітно під час пожеж на військових складах та інших об'єктах, де вони швидко поширюються на навколишні матеріали й обладнання.

Температура горіння магнію та його сплавів може перевищувати 2200 °С, що значно ускладнює їх гасіння. Магній здатний горіти навіть в атмосфері азоту або вуглекислого газу, що робить стандартні методи пожежогасіння неефективними. Більше того, при контакті з водою магній та інші легкі метали лише підсилюють своє горіння, спричиняючи збільшення площі пожежі та швидке розповсюдження вогню на прилегле устаткування, техніку і конструкції.

Такі пожежі є надзвичайно складними для ліквідації і вимагають використання спеціальних засобів пожежогасіння, таких як порошкові склади або інертні матеріали. Крім того, для зменшення ризику їх виникнення необхідно дотримуватися ретельних заходів пожежної безпеки при поводженні з легкими металами та їх сплавами. Удосконалення таких заходів стане важливою складовою підвищення безпеки об'єктів, де використовуються ці матеріали.

Результати

Пожежі класу D протікають при високих температурах, можуть призводити до вибухів. Сценарії розвитку пожеж можуть бути різноманітні: на початку пожежа легких металів, а потім пожежі класу A, B (пожежа легкозаймистих рідин (ЛЗР) або твердих горючих речовин), а потім пожежі легких металів, які потребують комбінованих способів гасіння. Розроблена рецептура порошку для гасіння пожеж класу D та A,B і електроустановок під напругою до складу якої входить: хлорид натрію, доменний шлак, амофос, аеросил. Випробування цього порошку проводилось в лабораторних умовах з використанням стружки сплавів магнію та алюмінію. Оцінку якості порошку проводили за показником інтенсивності гасіння пожежі класу D та за часом гасіння пожежі класу B. Запропонований, в результаті лабораторних випробувань, порошок КМ-2, випробуваний на гасінні модельних вогнищ , та

при горінні стружки магнієвих сплавів. Дослідження з комбінованого гасіння проведено на пожежах D і A в польових умовах, на макетних пожежах. Запропонований комбінований спосіб гасіння порошком з наступним покриванням всієї площі горіння піною середньої кратності дозволив локалізувати та ліквідувати пожежу на загальній площі 2.5 м² за 45с. Проведено успішне гасіння порошком КМ-2 вогнищ пожеж класу D і В, що свідчить про ефективність розробленого порошку. Макетна пожежа складається з горіння магнію, дерев'яних ящиків та бензину див. рис.1. За легендою горить запалювальна граната начинена магнієм біля складів з боєприпасами, або горить магнієва стружка в цеху, горіння розповсюдилось на дерев'яні та картонні ящики з запчастинами. Подаємо вогнегасний порошок та гасимо магній і горючі матеріали біля магнію, а потім накриваємо піною середньої кратності можливу поверхню горіння рис.1.



Рисунок 1. Гасіння комбінованої пожежі деревини і магнію після подавання порошку

Висновки

Гасіння макетної пожежі пройшло успішно. Порошок накрив магнієву стружку, на верхньому шарі утворилась кірка. Піна, яка потрапила на цей шар не зруйнувалась. Вибухів від потрапляння піни на частинки магнію від розкладання води, яка є в піні, не спостерігалось Крім того піною накрили вогнище класу А, горіння дерев'яних брусків, ящиків, паркету. Горіння було ліквідовано на площі 2.5 м² стволом ГПС -8 за 45 секунд.

Список літератури

1. Improvement of a discharge nozzle damping attachment to suppress fires of class D / V. V. Kovalyshyn, V. M. Marych, Y. M. Novitskyi, B. M. Gusar, V. V. Chernetskiy, O. L. Mirus. Efst-ern-European Journal of Enterprise Technogies. 2018. Vol. 5, Issue 5 (95). P. 68–76. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144874

2.Аналіз методів випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності / С.Ю. Огурцов, І.Г.Стилик, А.В. Антонов // науковий вісник УкрНДІПБ, 2013, - № 1 (27). – С. 86-91.

3. Теплотехнічні властивості вогнегасного порошку при гасінні стружкових матеріалів на основі сплавів магнію / Б. М. Гусар, В. В. Ковалишин, С. В. Поздєєв, Вол. В. Ковалишин, О. М. Землянський, К. І. Мигаленко / С. 46–53. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.201748

УДК 614.84 (4-672ЕУ)

О.А. Стрепетова, молодший науковий співробітник, І.І. Чуп, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Європейський досвід контролю пожежної безпеки

Нещодавно в Україні запрацював пілотний модуль єдиної системи перевірок бізнесу (ІАС), розроблений Державною регуляторною службою та Офісом ефективного регулювання (BRDO), з урахуванням запозиченого європейського досвіду. Мета цього модуля – надання інформації про плани щорічних перевірок державними наглядовими органами, адреси і назви суб'єктів господарювання щодо їх контролю, звіти за результатами контролю.

Вступ

Аналіз європейських практик у сфері пожежної безпеки свідчить, що держави – члени ЄС спрямовують основні зусилля для збереження життя людей. Різні підходи в організації системи пожежної безпеки європейських країн є результатом особливостей їх державного управління. Так, в Австрії повноваження щодо проведення пожежних перевірок надано муніципальним органам. У Швеції періодичність та перелік об'єктів, які підлягають перевіркам, визначає Агентство з надзвичайних ситуацій, а повноваження щодо здійснення перевірок делеговані місцевим пожежним підрозділам. У Фінляндії та інших скандинавських країнах контроль пожежної безпеки належить до повноважень місцевих рятувальних служб. У прибалтійських країнах інспекційна система щодо контролю пожежної безпеки подібна до України.

Результати

У процесі здійснення державного нагляду важливе значення має рівень втручання контролюючих органів у господарську діяльність підприємств. Одним із ключових аспектів таких перевірок є фізична присутність уповноваженої посадової особи на території об'єкта, що підлягає контролю. Саме ця форма втручання часто викликає занепокоєння бізнесу, оскільки пов'язана з ризиками зупинки виробництва, адміністративним тиском або непередбачуваними наслідками для підприємця.

У той же час, альтернативні (невиїзні) форми нагляду, такі як аналіз документації, дистанційний моніторинг, використання інформаційних систем і оцінка звітності, є значно менш обтяжливими для суб'єктів господарювання. Вони сприяють формуванню сприятливішого бізнес-клімату, особливо для малого та середнього бізнесу, знижуючи адміністративне навантаження без втрати контролю над дотриманням вимог пожежної безпеки.

У країнах Європейського Союзу дистанційні форми контролю є поширеною практикою. Вони активно застосовуються як ефективний інструмент попередження порушень, особливо в поєднанні з ризик-орієнтованим підходом до планування перевірок. Моніторинг пожежної безпеки здебільшого здійснюється за допомогою сучасних цифрових платформ,

баз даних, обміну інформацією з іншими службами, що дозволяє своєчасно виявляти потенційно небезпечні об’єкти без фізичної перевірки кожного з них.

На відміну від європейської практики, чинне законодавство України, зокрема Закон «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», наразі не передбачає можливості реалізації дистанційних форм контролю у сфері пожежної безпеки. Це істотно обмежує гнучкість системи нагляду та зменшує ефективність попереджувальних заходів. Водночас в ЄС перевірки на місці зазвичай здійснюються лише у випадках, коли попередні оцінки та результати моніторингу вказують на наявність високого ризику.

Особливої уваги потребує ситуація з об'єктами, які належать до категорії підвищеної пожежної небезпеки. У таких випадках у міжнародній практиці не існує обмежень для частоти чи форми перевірок. Інспекторам надається достатній рівень автономії для оперативного реагування, включаючи позапланові перевірки, якщо ситуація цього вимагає.

Головна мета державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки полягає не лише у виявленні порушень, а насамперед у перевірці того, наскільки ефективно на підприємстві реалізована система управління ризиками. У разі виявлення недоліків чи загроз органи контролю повинні не просто фіксувати порушення, а й сприяти усуненню виявлених проблем через надання рекомендацій, впровадження коригувальних дій і проведення повторної оцінки.

Такий підхід, орієнтований на профілактику, партнерство з бізнесом і мінімізацію втручання при збереженні ефективності, є основоположним у системах пожежного нагляду більшості країн ЄС. Його імплементація в Україні могла б суттєво покращити якість контролю, одночасно підтримуючи розвиток підприємництва.

Висновки

Проведене дослідження свідчить про необхідність адаптації підходів державного нагляду у сфері пожежної безпеки в Україні до сучасних європейських практик. Впровадження пілотного модуля єдиної системи перевірок бізнесу (ІАС) є важливим кроком у напрямку прозорості та ефективності перевірок. Аналіз досвіду країн ЄС доводить доцільність впровадження дистанційних форм контролю та гнучких інструментів оцінювання ризиків для оптимізації державного нагляду. Успішне функціонування систем пожежної безпеки в державах-членах ЄС базується на ризик-орієнтованому підході, активному залученні муніципального рівня та наданні інспекторам достатніх повноважень. Водночас в Україні необхідним є удосконалення нормативно-правової бази, що дозволить реалізовувати подібні підходи, не порушуючи принципів державного контролю. Застосування кращих європейських практик сприятиме створенню ефективної, прозорої та бізнес-орієнтованої системи пожежного нагляду.

Список літератури

1. Закон України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» №877-V від 05.04.2007 р.
2. Закон України «Про пожежну безпеку» №3745-XII від 17.12.1993 р.
3. Державна регуляторна служба України. Єдина система перевірок (ІАС). [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ias.brdo.com.ua
4. BRDO (Офіс ефективного регулювання). Аналітичний звіт: Реформа державного нагляду в Україні – 2023.
5. Fire Safety Management in the European Union. European Commission Report. – Brussels, 2020.
6. National Fire Safety Frameworks in Nordic Countries. Nordic Fire and Rescue Services Council. – Helsinki, 2021.
7. ДСНС України. Методичні рекомендації щодо здійснення заходів державного нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки. – Київ, 2021.
8. Савченко О.Ю., Коваль В.М. Сучасні проблеми організації протипожежного нагляду в Україні. – Вісник цивільного захисту, 2022, №1.
9. Пожежна безпека в ЄС: ризик-орієнтовані підходи. Аналітична записка Центру адаптації держслужби до стандартів ЄС. – Київ, 2020.
10. Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council on personal protective equipment. – Official Journal of the EU.

УДК 355/359:327

С.В. Петренко, К.В. Омельченко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Роль сучасних збройних сил у забезпеченні глобальної та національної безпеки

У сучасному світі збройні сили відіграють ключову роль у забезпеченні національної та глобальної безпеки. Вони є гарантом суверенітету та територіальної цілісності держави, а також важливим інструментом у протидії численним сучасним загрозам. Збройні сили не обмежуються лише традиційною роллю в конфліктах, але активно взаємодіють у миротворчих місіях, кібербезпеці та боротьбі з новітніми викликами.

Національна безпека – фундамент стабільності будь-якої країни, а збройні сили – ключовий елемент її забезпечення. Сучасні військові мусять бути готовими не лише до оборони від звичної збройної агресії, але й до протидії нетрадиційним викликам, як-от тероризм, кіберзлочинність, екологічні лиха або гібридні війни. В умовах загострення глобальних конфліктів і регіональних криз, армія здатна оперативно та результативно відповідати на зовнішні та внутрішні загрози. До того ж, військові активно підтримують лад у разі надзвичайних ситуацій, як-от стихійні лиха чи суспільні заворушення, зберігаючи внутрішню стабільність держави. Одним з головних аспектів функціонування збройних сил є постійне оновлення озброєння, технологій та організаційних структур, що дозволяє гарантувати високу ефективність виконання завдань за будь-яких обставин. Сучасні збройні сили значно підвищили свою здатність до швидкої мобілізації та застосування передових технологій, як-от безпілотники, роботизовані системи й інші інноваційні рішення.

Збройні сили не тільки боронять національну безпеку, а й беруть активну участь у глобальних миротворчих операціях. У випадках, коли держави зіштовхуються з серйозними внутрішніми чи міжнародними конфліктами, миротворчі місії військових, особливо під егідою Організації Об'єднаних Націй, допомагають стабілізувати становище і забезпечити гуманітарну допомогу. Міжнародна співпраця у військовій сфері сприяє ефективній боротьбі з тероризмом, протидії екстремізму та створенню механізмів колективної безпеки, що дають змогу зменшити ризик великих конфліктів.

Особливо важливу роль відіграють міжнародні військові союзи, як-от НАТО, що забезпечують взаємодопомогу в разі зовнішньої агресії. Спільні навчання, обмін розвідувальною інформацією, а також спільна розробка та застосування новітніх технологій дають змогу створювати потужні системи безпеки, здатні ефективно протистояти глобальним викликам, таким як кіберзагрози, збройні конфлікти чи стихійні лиха. Сучасний світ характеризується швидким розвитком технологій, що значно впливає на способи ведення бойових дій і на роль збройних сил. Однією з найбільших змін є поява нових типів загроз, таких як кібернапади та інформаційні війни. Кібербезпека стає важливим елементом національної і глобальної безпеки, і збройні сили повинні бути готовими до боротьби з кібератаками, які можуть

паралізувати державні структури або вивести з ладу критичну інфраструктуру [4].

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), автономні системи, штучний інтелект і високоточні зброї стають важливими складовими сучасних збройних сил. Вони дозволяють знижувати ризик людських втрат, підвищувати точність ударів і оперативність реагування на загрози. Системи автоматизації допомагають в розвідці та управлінні військовими силами, а також у визначенні та ліквідації ворожих об'єктів без прямої участі людини. Водночас, ці технології вимагають від збройних сил нових підходів до навчання та підготовки персоналу. Військові повинні бути не лише фізично підготовленими, але й володіти знаннями у сфері новітніх технологій і кібербезпеки, щоб ефективно справлятися з новими видами загроз.

Сучасні збройні сили активно співпрацюють на міжнародному рівні для вирішення глобальних загроз. Зростання міжнародної злочинності, поширення тероризму, екологічні катастрофи та гуманітарні кризи вимагають швидкої та злагодженої реакції світової спільноти. Міжнародна координація зусиль, спільне використання розвідувальних даних, спільні навчання і оперативні заходи дозволяють досягти значних успіхів у боротьбі з цими проблемами. Тероризм та організована злочинність є одними з найбільших загроз сучасності, і їх не можна ефективно подолати без міжнародної співпраці. Спільні антитерористичні операції, обмін розвідувальною інформацією та підтримка правопорядку є важливими аспектами боротьби з тероризмом на глобальному рівні.

У сучасному світі екологічні та гуманітарні кризи стають все більш значущими факторами, що впливають на безпеку на національному та міжнародному рівнях. Катастрофи, викликані зміною клімату, наприклад, повені, засухи, лісові пожежі або землетруси, можуть створювати умови для виникнення конфліктів через брак ресурсів або зростання соціальної напруги в регіонах. Відповідно, збройні сили все частіше залучаються до надання гуманітарної допомоги та ліквідації наслідків природних катастроф.

Збройні сили мають необхідний досвід у логістиці, координації великих сил і ресурсів, а також здатні оперативно розгорнути допомогу в постраждалих районах. Наприклад, під час кризових ситуацій збройні сили можуть забезпечити перевезення гуманітарних вантажів, надання медичної допомоги, будівництво тимчасових укриттів для біженців, а також здійснювати пошуково-рятувальні операції. Така діяльність збройних сил є важливою складовою їхньої ролі в підтримці не тільки національної, а й глобальної безпеки, оскільки часто саме внаслідок природних катастроф зростає ймовірність виникнення політичної нестабільності.

Сучасні загрози зобов'язують збройні сили активно включатися у гарантування кібербезпеки. Кібератаки здатні завдавати шкоди не менше, а подеколи й відчутніше, ніж звичні військові конфлікти. Зловмисники можуть атакувати критичну інфраструктуру, зокрема енергетичні системи, водоканали, фінансові установи або військові об'єкти, що наражає на ризик не лише державну безпеку, але й міжнародну стабільність. Збройні сили в умовах таких загроз повинні мати можливість захисту своєї цифрової інфраструктури та здатність відслідковувати і нейтралізувати кібератаки. Наприклад, військові кіберпідрозділи вживають заходів для запобігання доступу до державних

інформаційних систем та інших важливих об'єктів.

У ряді випадків військові кіберпідрозділи можуть бути залучені до відсічення ворожих кібероперацій та навіть здійснення контрзаходів у кіберпросторі, що забезпечує стратегічну перевагу. Збройні сили також активно працюють над розвитком нових кіберзасобів захисту, розробляють нормативно-правові документи, що визначають правові межі застосування кіберзброї, а також активно співпрацюють з іншими країнами та міжнародними організаціями, створюючи спільні платформи для обміну розвідувальною інформацією та технологіями в сфері кібербезпеки [1], [2].

Криза, спричинена глобальними пандеміями, також висуває нові вимоги до збройних сил. Враховуючи масштабні виклики, пов'язані з поширенням інфекційних захворювань, збройні сили повинні бути готовими до швидкої мобілізації в разі пандемії або біологічної загрози. Вони можуть бути залучені до ізоляції і карантинних заходів, розгортання лікарень, забезпечення охорони, а також до транспортування медичних засобів і персоналу. Військові медичні служби можуть відігравати важливу роль у наданні медичної допомоги під час пандемій або біологічних атак, а також у підтримці національної економіки через забезпечення безперервної роботи стратегічно важливих підприємств. Збройні сили можуть створювати спеціалізовані підрозділи, здатні оперативно реагувати на біологічні загрози, включаючи розробку і застосування засобів захисту, організацію ізоляції заражених територій та проведення масштабних профілактичних заходів. Такі заходи з урахуванням надзвичайних ситуацій дозволяють збройним силам не лише зберігати стабільність в країні, але й забезпечувати глобальну безпеку, оскільки пандемії мають міжнародні масштаби і можуть швидко поширюватися через державні кордони [3].

Враховуючи швидкий розвиток технологій і нові глобальні загрози, можна стверджувати, що збройні сили повинні адаптуватися до нових умов. Це включає не лише використання новітніх військових технологій, але й розвиток нових стратегій і тактик для боротьби з гібридними війнами, кібератаками, тероризмом і навіть екологічними чи біологічними загрозами. Збройні сили майбутнього будуть все більше інтегрувати новітні технології, такі як штучний інтелект, робототехніка, кіберзахист, а також зосереджуватимуться на комплексному підході до безпеки, який включає як військові, так і гуманітарні аспекти.

Зрозуміло, що ефективна боротьба з глобальними загрозами потребує злагоджених дій між різними державами та міжнародними організаціями. Роль збройних сил у цьому контексті буде полягати не лише в обороні та захисті, але й у миротворчій діяльності, ліквідації наслідків катастроф і глобальному співробітництві для підтримки безпеки та стабільності в світі.

Висновки

Сучасні Збройні Сили — це не лише бронетехніка та піхота, а й високотехнологічні підрозділи, кібервійська, аналітичні служби, інженерні та гуманітарні компоненти. Їхня діяльність охоплює не тільки військову сферу, а й безпосередньо впливає на економічну, соціальну, екологічну та інформаційну стабільність держави. Армія бере участь у ліквідації наслідків стихійних лих, підтримує громадський порядок, сприяє формуванню патріотичного світогляду громадян. Збройні Сили — це дзеркало держави: їхня боєздатність, моральний

дух та технічна оснащеність свідчать про рівень розвитку країни.

Зінтеграція новітніх технологій та забезпечення цивільного контролю над Збройними Силами — це не лише питання оборони, а й стратегія довготривалої безпеки й процвітання держави. У підсумку, роль Збройних Сил у сучасному світі є визначальною. Вони не просто захищають державу — вони формують її силу, авторитет і стійкість перед викликами сьогодення та майбутнього.

Список літератури

1. Сюндюков І. Безпека і оборона в XXI столітті : монографія. – Київ : Наукова думка, 2021. – 248 с.
2. Біленкий П. Збройні сили і геополітика : навч. посіб. – Львів : Видавництво ЛНУ, 2020. – 192 с.
3. Гриценко А.А. Збройні Сили України в умовах гібридної війни. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. — 196 с.
4. Бєлкін В.І. Національна безпека України: теоретичні та прикладні аспекти. — Київ: НІСД, 2021. — 248 с.

УДК 351.74:629.7

С.В. Петренко, М.М. Панюта
(Кафедри військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Особливості гасіння пожеж і захисту особового складу в умовах артилерійських та балістичних обстрілів

Тези розглядають роль пожежно-рятувальних підрозділів (далі - ПРП) у забезпеченні безпеки аеродромів в умовах авіаційної загрози. Основна увага приділяється аналізу ризиків, захисту екіпіровки, оптимізації дій ПРП та використанню сучасних технологій для ефективної реакції на надзвичайні ситуації.

Авіаційна безпека є критично важливим аспектом функціонування аеродромів, оскільки зростання обсягів авіаційних перевезень супроводжується збільшенням ризиків, пов'язаних з терористичними актами, техногенними катастрофами та іншими надзвичайними ситуаціями [1]. Пожежно-рятувальні підрозділи (ПРП) відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки на аеродромах, оскільки вони відповідають за швидку реакцію на надзвичайні ситуації, які можуть виникнути через аварії, пожежі чи загрози з боку третіх осіб [2]. Зважаючи на це, оптимізація дій ПРП та захист їх екіпіровки є важливими завданнями, що потребують системного підходу та постійного вдосконалення.

Аналіз ризиків є першим етапом у забезпеченні безпеки аеродромів. Оцінка потенційних загроз включає в себе аварії літаків, які можуть статися під час злету, посадки або під час наземних маневрів [3]. Згідно зі статистикою, найбільша ймовірність аварій спостерігається під час критичних фаз польоту, таких як зліт і посадка, коли літак зазнає найбільшого навантаження. Пожежі можуть виникати як в результаті технічних несправностей, так і через зовнішні фактори, такі як підпал або випадкове займання пального [4]. Це також включає в себе ризики, пов’язані з авіаційним паливом, яке є дуже горючим і небезпечним. Загрози з боку терористичних актів можуть включати використання вибухових пристроїв, захоплення літаків або напади на інфраструктуру аеродрому. Такі акти можуть призвести до масових жертв і серйозних пошкоджень інфраструктури [5].

Необхідно також ідентифікувати вразливі місця на аеродромі, визначити критичні об'єкти, які потребують підвищеної охорони, такі як літаки, паливозаправники, склади з матеріалами, що горять, і контрольні пункти. Ці об'єкти повинні бути під пильним контролем та захищені від можливих загроз. Визначення погодних умов, які можуть призвести до загроз, є критично важливим для безпеки на аеродромах [6]. Важливо також враховувати людський фактор, включаючи можливі помилки персоналу, які можуть призвести до аварій.

Забезпечення захисту екіпіровки та персоналу є ключовим аспектом у діяльності ПРП. Використання сучасного спеціального одягу та захисних

засобів для захисту пожежників від термічних, хімічних та механічних впливів є необхідним [7]. Цей одяг повинен відповідати стандартам безпеки і бути виготовлений з матеріалів, що витримують високі температури. Регулярні навчання та тренування для підвищення кваліфікації співробітників, що включають тактику реагування на надзвичайні ситуації, техніку безпеки та використання нового обладнання, також є критично важливими. Важливо проводити навчання з реагування на специфічні загрози, такі як терористичні акти чи техногенні аварії [8].

Захист техніки та обладнання передбачає розробку планів збереження техніки під час надзвичайних ситуацій, включаючи швидку евакуацію техніки в безпечні зони. Це також включає в себе розробку процедур для швидкого обслуговування та ремонту техніки після інцидентів. Встановлення систем відеоспостереження та сигналізації для своєчасного виявлення загроз дозволяє моніторити ситуацію в режимі реального часу та оперативно реагувати на загрози.

Оптимізація дій ПРП під час надзвичайних ситуацій є критично важливою для ефективного реагування на загрози. Розробка чітких інструкцій та алгоритмів дій у разі виникнення загроз, щоб уникнути плутанини та підвищити швидкість реагування, є необхідною. Це включає в себе план дій для різних сценаріїв, таких як пожежа на літаку, терористичний акт чи техногенна аварія. Налагодження взаємодії з іншими службами аеродрому, такими як поліція та медичні служби, для координації дій у разі надзвичайних ситуацій допомагає всім службам краще взаємодіяти під час реальних інцидентів [9].

Використання сучасних технологій, таких як інтеграція систем моніторингу та управління, дозволяє виявляти загрози в режимі реального часу та координувати дії ПРП. Ці системи можуть включати в себе використання сенсорів, камер відеоспостереження та програмного забезпечення для аналізу даних. Застосування дронів для оцінки ситуації та моніторингу ризиків з повітря дозволяє отримувати актуальну інформацію про обстановку та реагувати на загрози. Дрони можуть бути оснащені термальними камерами для виявлення теплових джерел, що є особливо корисним під час пожеж [10].

Пожежно-рятувальні підрозділи мають бути готовими до дій у умовах авіаційної загрози, забезпечуючи не тільки захист свого обладнання, а й швидку та ефективну реакцію на надзвичайні ситуації. Оптимізація дій ПРП, разом із захистом екіпіровки, є ключовими аспектами забезпечення безпеки на аеродромах. Важливо постійно вдосконалювати підходи та технології, щоб забезпечити максимальний рівень готовності до будь-яких загроз. Це включає в себе регулярне оновлення знань та навичок персоналу, інвестування в нові технології, а також зміцнення співпраці між різними службами безпеки для забезпечення комплексного підходу до авіаційної безпеки [11].

Висновок

Пожежно-рятувальні підрозділи (ПРП) є ключовими ланками в системі забезпечення безпеки аеродромів в умовах авіаційної загрози. Вони повинні бути готовими до швидкої та ефективної реакції на надзвичайні ситуації, що вимагає постійного вдосконалення їхньої підготовки та навчання. Захист

екіпіровки та техніки, а також оптимізація оперативних дій є критично важливими аспектами, які забезпечують успішне виконання завдань у кризових ситуаціях. Впровадження сучасних технологій, таких як системи моніторингу та дрони, дозволяє покращити виявлення загроз і координувати дії підрозділів у реальному часі. Крім того, важливо налагоджувати ефективну співпрацю з іншими службами безпеки та медичними службами для забезпечення комплексного підходу до реагування на надзвичайні ситуації. Лише шляхом інтеграції знань, новітніх технологій і злагодженої роботи всіх служб можна досягти високого рівня готовності та забезпечити максимальний захист на аеродромах.

Список літератури

1. Законодавство України про авіаційну безпеку. – Київ, 2023. – 25 с.
2. Головко В.І. Пожежна безпека в аеропортах. – Журнал "Авіація та час", 2021. – № 3. – С. 45-50.
3. Міжнародна організація цивільної авіації. Система управління безпекою авіаційного транспорту. – Монографія. – 2022. – 150 с.
4. Коваленко Н.І. Оптимізація дій пожежно-рятувальних підрозділів у надзвичайних ситуаціях. – Збірник наукових праць "Техногенна безпека", 2020. – С. 123-130.
5. Литвиненко О.Ю. Використання дронів у сфері пожежної безпеки. – Журнал "Пожежна безпека та охорона праці", 2022. – № 5. – С. 78-82.
6. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Методичні рекомендації з реагування на надзвичайні ситуації на аеродромах. – Київ, 2023. – 40 с.
7. Звіти Європейського агентства з авіаційної безпеки (EASA). Аналіз аварійності в цивільній авіації. – 2023.
8. Чумак Д.Р. Пожежна безпека в аеропортах: сучасні підходи та технології. – Вісник Київського національного університету цивільного захисту України, 2019. – № 2. – С. 34-39.

УДК 614.84:355.48:355.02

С.В. Петренко, М.М. Панюта
(Кафедри військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Особливості гасіння пожеж і захисту особового складу в умовах артобстрілів

У тезі розглянуто особливості гасіння пожеж та захисту особового складу в умовах обстрілів. Визначено основні проблеми та запропоновано шляхи їх вирішення шляхом підвищення рівня підготовки, використання захищеної техніки й впровадження спеціальних тактик дій у бойових умовах.

Гасіння пожеж в умовах артилерійських та балістичних обстрілів — це один із найнебезпечніших напрямів діяльності в умовах бойових дій. Ці дії супроводжуються значним ризиком для життя рятувальників та особового складу, тому вимагають не лише технічної підготовки, але й спеціальних навичок поведінки в бойових умовах [1;4].

У таких умовах часто відсутня чітка інформація про масштаби загоряння, що потребує імпровізації та прийняття рішень у стресовій ситуації. Надзвичайно важливим є аналіз обстановки у динаміці: навіть незначне зволікання або невірна оцінка можуть призвести до численних втрат.

Ключовим аспектом є оперативна оцінка ситуації, адже обстріли часто супроводжуються вторинними вибухами, руйнуваннями та новими осередками займання. Особовий склад повинен діяти максимально швидко, уникати відкритих ділянок, працювати парами або групами з прикриттям, а також обов'язково використовувати індивідуальні засоби захисту [7]. Успіх місії значною мірою залежить від дисципліни, чіткої комунікації та попередньої розвідки. Наприклад, злагоджені дії у секторі, де ворог застосовує касетні боєприпаси, вимагають не лише вправності, але й тактичної гнучкості.

Використання термозахисного одягу з додатковим кевларовим шаром стає необхідним для зниження ризику ураження осколками та термічними агентами.

В умовах бойових дій навіть легкі ураження можуть призвести до фатальних наслідків, якщо не надати своєчасну допомогу, тому індивідуальні комплекти захисту повинні також включати елементи для самодопомоги.

Серед основних технічних засобів, які можуть бути використані — це мобільні вогнегасні установки, дистанційні засоби гасіння, захищені броньовані машини з обладнанням для пожежогасіння. Доцільним є також використання безпілотних літальних апаратів для дистанційного моніторингу осередків пожеж і визначення найбільш безпечних маршрутів просування особового складу.

Такі БПЛА також можуть виступати носіями камер тепловізійного спостереження, що дозволяє виявляти приховані осередки горіння навіть у складних погодних умовах.

Розгортання пунктів укриття поруч із зонами ризику дозволяє забезпечити екстрене укриття для рятувальників [8]. Важливо, щоб ці укриття були обладнані мінімальним запасом засобів зв'язку, медикаментів та фільтраційної вентиляції, адже вони можуть стати єдиним безпечним притулком у випадку повторного обстрілу або застосування зброї масового ураження. У деяких випадках доцільно залучати інженерні підрозділи для швидкого облаштування захисних бар'єрів навколо вогнищ займання, особливо в міській забудові.

Такі бар'єри можуть стримати розповсюдження полум'я, знизити ймовірність обвалу конструкцій і створити тимчасові шляхи евакуації для постраждалих.

Не менш важливою є психологічна готовність рятувальників до роботи в екстремальних умовах. Часті обстріли, постійне відчуття небезпеки, втрати серед колег — усе це може викликати професійне вигорання та стресові розлади [5,6]. Психологічні тренінги повинні бути не епізодичними, а системними, інтегрованими в щотижневі заняття підрозділів.

Регулярні тренування, психологічна підтримка, відпрацювання сценаріїв дій у бойових умовах мають стати складовою професійної підготовки [3]. Наприклад, під час моделювання ситуацій залучаються елементи раптовості, шумові ефекти та імітація вогню — це дозволяє максимально наблизити умови до реальних.

Доцільно створювати спеціальні реабілітаційні програми для рятувальників, які пройшли через інтенсивні бойові завдання, з можливістю психологічної та медичної допомоги в умовах санаторного лікування. Окремої уваги заслуговує адаптація бійців, що повертаються з гарячих точок — їм необхідне тривале відновлення, супровід фахівців і підтримка родин.

Захист особового складу базується на принципах організованості, чіткості команд, комунікації між підрозділами. В умовах нестабільної обстановки важливою є координація з військовими підрозділами, які можуть надати розвіддані про загрози або тимчасове припинення обстрілів [2]. Подібна взаємодія вже довела свою ефективність у прифронтових зонах, де ДСНС та ЗСУ діють спільно.

Особливо важливою є наявність єдиної цифрової платформи взаємодії між ДСНС, військовими та медичними структурами, яка дозволяє оперативно обмінюватися даними щодо ризиків та маршрутів. В таких системах можна реалізувати функцію "розумного маршруту", що враховує поточну загрозу, погодні умови, тип місцевості та наявні ресурси.

У деяких регіонах вже впроваджено пілотні системи штучного інтелекту для прогнозування напрямку поширення пожеж у бойових умовах. Вони дозволяють будувати цифрові моделі загорянь, формувати пріоритети реагування та автоматично генерувати тривожні повідомлення на мобільні пристрої рятувальників.

Під час гасіння пожеж необхідно враховувати не лише зовнішні загрози, але і зміну метеоумов, наявність вибухонебезпечних об'єктів, потенційне використання ворожих БПЛА. Це вимагає гнучкості у прийнятті рішень, вміння

швидко адаптувати тактику дій до реальної ситуації. Необхідно постійно оновлювати карти загроз, в тому числі шляхом фотозйомки з дронів.

Важливим чинником є ведення постійного зв'язку з командуванням та іншими підрозділами, що дозволяє зменшити втрати та уникнути непередбачуваних ситуацій[8]. Зв'язок має бути багаторівневим: від короткохвильових радіостанцій до супутникових комунікацій, які не піддаються перешкодам.

Наявність резервного плану дій та маршруту відходу є критично важливою, особливо у випадках раптового повторного обстрілу або зміни лінії фронту. Такі плани мають бути продумані заздалегідь, з урахуванням кількох варіантів на випадок руйнування об'єктів інфраструктури.

Крім того, підготовка особового складу має бути орієнтована не лише на стандартні пожежогасіння, а й на поведінку під час активної фази обстрілів. Необхідно впроваджувати тренування з евакуації поранених, дій у разі хімічної або радіаційної небезпеки, надання першої медичної допомоги в бойових умовах[4].

Варто також включати навички з деактивації або ідентифікації мін і розтяжок.

Особовий склад має знати основи роботи з протигазами, засобами хімічного захисту та алгоритми дій у разі потрапляння в зону ураження отруйними речовинами. Симуляційні тренування мають супроводжуватись аналізом помилок після кожного етапу, що дозволяє постійно вдосконалювати навички.

В сучасних умовах доцільно створювати мобільні рятувальні групи, що швидко переміщуються та забезпечені всім необхідним — зв'язком, паливом, медичними засобами, засобами гасіння. Такий підхід дозволяє мінімізувати втрати і зменшити час реагування на пожежі в умовах бойових дій [7].

Оперативна логістика забезпечення таких груп є одним із ключових викликів, і потребує централізованого управління ресурсами в режимі реального часу. Це передбачає створення окремих диспетчерських центрів, що працюють цілодобово, з інтегрованими каналами зв'язку.

У перспективі доцільно створити спеціальні навчальні центри для командирів мобільних груп, де будуть відпрацьовані всі можливі бойові сценарії та координація в складних умовах. Ці центри можуть діяти як платформи обміну досвідом між регіонами та навіть країнами-партнерами.

Подальший розвиток системи пожежної безпеки в зоні бойових дій повинен ґрунтуватися на аналізі реального бойового досвіду та впровадженні інноваційних технологій. Водночас важливо забезпечити належне фінансування та нормативну підтримку для інтеграції рятувальних служб до загальної системи національної безпеки.

Висновок

Ефективне гасіння пожеж в умовах артилерійських та балістичних обстрілів можливе лише за умови високого рівня технічної, тактичної та психологічної підготовки особового складу. Захист рятувальників має базуватися на чітко визначеній тактиці дій, використанні укриттів, спеціального обладнання та засобів індивідуального захисту. Не менш важливою є

психологічна готовність до дій у надзвичайно небезпечних умовах, що передбачає наявність стресостійкості, здатності до швидкої адаптації та збереження працездатності в екстремальних ситуаціях. Впровадження спільних навчань із військовими підрозділами, розвиток систем комунікації та мобільних рятувальних засобів значно підвищують ефективність і безпечність виконання завдань. Формування нових навчальних програм, орієнтованих на специфіку бойових умов, дозволить створити підрозділи, які можуть діяти злагоджено, оперативно і безпечно навіть у найскладніших ситуаціях.

Список літератури

1. Бітехтіна Л.Д. *Готовність до дій в екстремальних ситуаціях військових* // Питання психології. — 2005. — №11. — С. 41–47.
2. Бодров В.А. *Психологія професійної діяльності: навчальний посібник*. — М. : Інститут психології РАН, 2006. — 623 с.
3. Гуревич П.С. *Психологія надзвичайних ситуацій: навчальний посібник*. — М. : ЮНІТ-Дана, 2007. — 494 с.
4. Куликов Л.В. *Психогігієна особистості: питання психологічної стійкості і психопрофілактики*. — СПб. : Нева, 2004. — 218 с.
5. Куликов Л.В. *Теорія стресу і психофізіологічні дослідження: емоційний стрес*. — Л. : Наука, 1989. — 241 с.
6. Сучасні засоби пожежогасіння в умовах бойових дій: методичні рекомендації / ДСНС України. — Київ, 2022. — 38 с.
7. Ковальчук В.С. *Тактика дій пожежно-рятувальних підрозділів у зонах активних бойових дій* // Вісник цивільного захисту. — 2023. — №1. — С. 25–31.

УДК 621.396.6 (035)

С.В. Петренко, О.І. Романцова
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Моніторинг повітряного простору та інформування ПРП про повітряну загрозу

Оперативне відстеження повітряної обстановки є важливим для безпеки пожежних підрозділів у бойових умовах. Радіолокаційні, супутникові та оптичні засоби допомагають вчасно виявляти загрози, зокрема ракети й БПЛА. Системи попередження й автоматизований аналіз забезпечують швидке реагування та координацію дій.

Оперативне відстеження повітряної обстановки та передача даних про потенційні загрози є основою для побудови ефективної системи моніторингу, яка забезпечує безпеку не тільки військових об'єктів, але й критичних інфраструктурних об'єктів, таких як пожежні підрозділи [1]. У реальних умовах, коли характер загроз постійно змінюється, особливо в умовах обстрілів або під час повітряної тривоги, важливо мати здатність швидко виявляти і нейтралізувати небезпечні об'єкти, такі як ворожі ракети, БПЛА (зокрема шахеди), а також виявляти загрози на ранніх етапах їхнього приближення [2]. Чим раніше виявлена загроза, тим більше часу є для проведення ефективних заходів, таких як евакуація персоналу, захист важливих об'єктів, або здійснення заходів безпеки під час виконання рятувальних операцій [3].

Оперативний моніторинг повітряного простору для пожежних підрозділів важливий не тільки для відстеження звичних повітряних атак, але й для запобігання пошкодженням або загибелі від падіння уламків ракет чи обстрілів, а також для раннього виявлення таких загроз, як шахеди [4]. Це дає можливість забезпечити безпеку пожежників і максимально захистити критичні об'єкти, на яких вони працюють, в тому числі житлові будинки, інфраструктуру або об'єкти, що можуть бути піддані ризику під час пожежі [5].

Моніторинг повітряного простору для пожежних підрозділів здійснюється за допомогою багатофункціональних систем, що поєднують різні технічні засоби для забезпечення безперервного контролю за ситуацією в небі. Сучасні радіолокаційні станції, супутникові системи та електронно-оптичні засоби спостереження здатні виявляти повітряні загрози на значній відстані, навіть в умовах поганої видимості або радіолокаційних перешкод, таких як шахеди або балістичні ракети, і своєчасно передавати інформацію до відповідних підрозділів [6]. Це дозволяє не тільки своєчасно виявити загрози, але й оперативно координувати заходи для забезпечення безпеки рятувальних операцій [7].

Важливим є також забезпечення системи раннього попередження, що дозволяє своєчасно інформувати пожежні підрозділи про можливі загрози, такі як ракети чи шахеди, що наближаються до зони проведення робіт [8]. Завдяки інтеграції радіолокаційних систем, супутників та інших джерел даних в єдину

мережу, є можливість здійснювати повний моніторинг ситуації в реальному часі, що дозволяє реагувати на загрози, як тільки вони з'являються [5]. Це особливо важливо для забезпечення безпеки людей, які працюють у небезпечних умовах під час обстрілів або в умовах повітряної тривоги [1].

Автоматизовані системи аналізу загроз, що впроваджуються в сучасні технічні комплекси, дозволяють класифікувати повітряні цілі, визначати їх тип, рівень загрози та координувати відповідні заходи для забезпечення безпеки пожежних підрозділів [1]. Важливим етапом є також прогнозування та автоматичне визначення загроз, особливо в умовах бойових дій, коли рішення повинні прийматися в короткий термін. Врахування таких факторів, як наближення шахедів або балістичних ракет, допомагає пожежним підрозділам забезпечити захист від потенційних ударів, а також від уламків чи розлітаються частин, що можуть бути небезпечними для життя та здоров'я персоналу [2].

Загроза, що виникає від шахедів чи балістичних ракет, потребує ефективної координації між підрозділами моніторингу та пожежними службами для мінімізації ризиків і своєчасного реагування на загрози [3]. Завдяки інтегрованим системам моніторингу, що включають супутникові канали та радіолокаційні станції, вдається не лише вчасно виявляти загрози, але й отримувати точні дані про відстань до небезпечних об'єктів і можливі наслідки для рятувальних операцій [4].

Організаційні заходи, які включають чітке регламентування дій під час обстрілів та повітряних тривог, дозволяють забезпечити високий рівень готовності пожежних підрозділів до оперативного реагування на надзвичайні ситуації, зокрема до атак з повітря [5]. Взаємодія між підрозділами моніторингу та пожежними службами повинна бути організована так, щоб забезпечити швидку передачу даних про загрози і дозволити координувати заходи захисту та ліквідації наслідків атаки в реальному часі [6].

Таким чином, поєднання передових технологій моніторингу повітряного простору, автоматизованих систем для аналізу загроз та організаційних заходів дає змогу максимально ефективно забезпечити безпеку пожежних підрозділів, забезпечуючи готовність до швидкої реакції в умовах постійно змінюваних загроз [7].

Висновки

Поєднання сучасних технологій моніторингу, таких як радіолокація, супутникові системи, електронно-оптичні комплекси та автоматизовані системи аналізу загроз, істотно підвищує ефективність захисту пожежних підрозділів в умовах бойових дій та екстремальних ситуацій. Це дозволяє оперативно виявляти потенційні загрози з повітря, включаючи ракети, БПЛА (шахеди), а також балістичні загрози, що наближаються до об'єктів, на яких працюють рятувальники. Застосування інтегрованих систем моніторингу забезпечує безперервний контроль над повітряною обстановкою, що дає змогу своєчасно передавати дані до командних пунктів та забезпечувати координацію дій у реальному часі.

Системи раннього попередження та автоматизовані алгоритми для аналізу загроз дозволяють не тільки класифікувати загрози, але й оцінити рівень

їх небезпеки, що є критичним для швидкого реагування та зниження ризиків. Важливою частиною цієї стратегії є належна організація взаємодії між різними підрозділами моніторингу і рятувальними службами, що дає змогу ефективно планувати та виконувати заходи щодо захисту персоналу та критичної інфраструктури.

Оскільки загрози, такі як шахеди або балістичні ракети, можуть становити серйозну небезпеку для життя та здоров'я рятувальників, своєчасна реакція на ці загрози, завдяки інтегрованим системам моніторингу, є необхідною для мінімізації можливих втрат. Технічне оснащення та організаційна підготовка, зокрема у вигляді регламентованих процедур і навчань, дозволяють забезпечити високий рівень готовності пожежних підрозділів до реагування на надзвичайні ситуації, що можуть виникати в умовах постійно змінюваних загроз. Таким чином, інтеграція передових технологій моніторингу, автоматизованих систем для аналізу загроз та ефективне управління ризиками є ключовими елементами для забезпечення безпеки пожежних підрозділів в умовах бойових дій та екстремальних ситуацій.

Список літератури

1. Наказ МОУ №450 від 10.06.2021 "Про організацію моніторингу повітряного простору у ЗСУ".
2. Бойовий статут Повітряних сил ЗСУ. Частина ІІ. Протиповітряна оборона. – К.: МОУ, 2022.
3. NATO STANAG 5500 – Standard Procedures for Airspace Surveillance.
4. Смирнов Ю.П. "Системи виявлення повітряних загроз". Військово-технічний збірник, №3, 2023.
5. Огляд технологій: "Сучасні засоби моніторингу повітряного простору". Defense Express, 2023.
6. Захаренко В.В. "Автоматизовані системи сповіщення у військовій авіації", Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2022.
7. Інструкція з організації радіозв’язку в підрозділах ППО, затверджена Генштабом ЗСУ у 2021 році.

УДК 355.48:614.84:623.4

С.В. Петренко, О.І. Романцова
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Технічні й організаційні рішення щодо захисту особового складу та автоцистерн під час виконання бойових завдань

Безпека особового складу та захист автоцистерн під час виконання бойових завдань є одним із ключових аспектів військової логістики та тактичного планування. В умовах сучасних бойових дій ризики, пов'язані з використанням автоцистерн, включають обстріли з ворожої стрілецької зброї, удари артилерії, ракетні атаки, удари безпілотних літальних апаратів (БПЛА), мінну небезпеку та можливість підриву на саморобних вибухових пристроях. Для ефективного виконання бойових завдань необхідне впровадження комплексних технічних рішень та продумана організація бойового застосування. У даній тезі розглядаються основні методи підвищення рівня безпеки особового складу та автоцистерн у бойових умовах.

Захист особового складу та пожежних автоцистерн під час виконання бойових завдань досягається завдяки комплексному поєднанню технічних і організаційних заходів [1]. Автоцистерни, що використовуються для пожежогасіння, є критично важливими для забезпечення оперативного реагування на займання техніки та об'єктів інфраструктури в зоні бойових дій. Водночас вони є вразливими до обстрілів, вибухів та термічного впливу, що вимагає застосування спеціальних заходів безпеки [2].

До технічних рішень належить бронювання кабін водіїв та резервуарів з водою і піноутворювачем, що забезпечує їхню стійкість до ураження осколками, стрілецькою зброєю та вибуховою хвилею [3]. Додатково встановлюються протиуламкові екрани та термостійке покриття на цистернах, яке запобігає перегріванню та можливому вибуху при попаданні снарядів. Важливим аспектом є інтеграція автоматичних систем пожежогасіння, які дозволяють миттєво реагувати на займання та мінімізувати ризик поширення вогню на суміжну техніку [4].

Ефективними засобами безпеки є також активні та пасивні системи захисту від підриву, зокрема посилене днище кузова, застосування спеціальних захисних екранів, що відхиляють вибухову хвилю, та датчиків мінної небезпеки [5]. Сучасні системи димового маскування значно зменшують ймовірність точного наведення противника на автоцистерну, що є критично важливим у зонах підвищеного ризику. Додатково впроваджуються тепловізійні та оптичні системи моніторингу обстановки, які дозволяють виявити загрозу на ранніх стадіях [5].

Важливим аспектом є збереження та захист пожежного обладнання, адже в умовах бойових дій воно має бути у справному стані та готовим до негайного використання. Для цього впроваджуються спеціальні герметичні відсіки для зберігання насосів, рукавів та іншого оснащення, що запобігає їхньому пошкодженню від ударних хвиль, високих температур та уламків [2].

Використання термостійких матеріалів та автоматичних систем герметизації допомагає мінімізувати втрати обладнання навіть у випадку потрапляння снарядів.

З організаційного боку підвищенню безпеки сприяє ретельне планування маршрутів пересування з урахуванням розвідувальних даних та мінної обстановки [6]. Використання принципу ешелонованого руху, коли автоцистерни супроводжуються бронетехнікою та забезпечуються авіаційним прикриттям, дозволяє значно підвищити рівень їхнього захисту. Також важливим елементом є дотримання заходів радіодисципліни та маскування, щоб уникнути розкриття маршрутів пересування противником [7]. Військовослужбовці, відповідальні за транспортування, повинні проходити спеціальну підготовку з відпрацюванням сценаріїв дій у разі нападу або підриву [1].

Удосконалення системи комунікації та координації між підрозділами дозволяє оперативно реагувати на зміну бойової обстановки, а також отримувати необхідну підтримку у разі нападу. Впровадження нових технологій, зокрема інтелектуальних систем моніторингу загроз, дистанційного керування пожежогасінням та використання вдосконалених броньованих матеріалів, дозволяє суттєво зменшити ризики та підвищити ефективність виконання бойових завдань навіть в умовах інтенсивного бойового контакту [8].

Висновки

Захист особового складу та пожежних автоцистерн у бойових умовах є одним із ключових викликів сучасної військової логістики та тактичного планування. Автоцистерни відіграють критично важливу роль у забезпеченні підрозділів водою, піноутворювачем та іншими засобами пожежогасіння, що робить їх важливим елементом бойової підтримки. Однак їхня вразливість до обстрілів, вибухових загроз та термічного ураження потребує впровадження комплексних заходів безпеки, які охоплюють технічні, організаційні та тактичні аспекти.

До технічних заходів належать бронювання кабін екіпажу та резервуарів, використання термостійких матеріалів, автоматизовані системи пожежогасіння та інтеграція датчиків мінної небезпеки. Це дозволяє значно підвищити рівень захисту техніки від стрілецької зброї, уламків артилерійських снарядів, ракетних атак та ударів БПЛА. Застосування спеціальних протиуламкових екранів і засобів димового маскування додатково знижує ймовірність влучення та ураження техніки. Важливим аспектом є також збереження пожежного обладнання, адже воно має залишатися у справному стані навіть за умов ворожого обстрілу та високих температур.

З організаційної точки зору ключову роль відіграє грамотне планування маршрутів переміщення автоцистерн, використання броньованого супроводу, застосування ешелонованої побудови колон та залучення авіаційної підтримки у випадках підвищеного ризику. Системи моніторингу обстановки, супутникова навігація та радіолокаційний контроль дозволяють знизити загрози та підвищити виживаність особового складу й техніки.

Крім того, важливою складовою підвищення безпеки є навчання екіпажів та

персоналу, які відповідають за транспортування й експлуатацію пожежних автоцистерн. Підготовка до дій у надзвичайних ситуаціях, відпрацювання алгоритмів поведінки під час обстрілів, ударів БПЛА та ракетних атак сприяє підвищенню загальної стійкості та ефективності виконання завдань.

Отже, захист пожежних автоцистерн та особового складу в бойових умовах вимагає комплексного підходу, що поєднує сучасні технічні засоби з ефективною організацією та тактикою їхнього застосування. Подальші дослідження в цій сфері, вдосконалення бронювання, автоматизації та засобів моніторингу сприятимуть зниженню втрат і забезпеченню стабільного функціонування пожежних підрозділів навіть у складних умовах ведення бойових дій.

Список літератури

1. Наказ МОУ №355 від 05.08.2016 "Про затвердження Правил пожежної безпеки у Збройних Силах України".
2. Бойовий статут Сухопутних військ ЗСУ. Частина ІІІ. Логістичне забезпечення. – К.: МОУ, 2020.
3. Посібник з організації бойової підготовки особового складу ЗСУ. – К.: НУОУ, 2021.
4. Романенко А.І. Технічний захист військової техніки у зоні бойових дій. – Харків: ХНТУ, 2022.
5. NATO STANAG 4569 – Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armored Vehicles.
6. Захаренко В.В. «Системи автоматичного пожежогасіння в умовах бойових дій», *Військово-технічний збірник*, №2, 2023.
7. Смирнов Ю.П. «Підвищення живучості автомобільної техніки шляхом активного захисту», *Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ ЗСУ*, 2021.
8. Інструкція з організації радіозв'язку в підрозділах ЗСУ, затверджена Генштабом ЗСУ у 2021 році.
9. Огляд технологій: «Сучасні засоби захисту та моніторингу для військової техніки», *Defense Express*, 2023.

УДК 614.84:623.4

М.Є. Пилипенко, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Удосконалення маскування пожежно-рятувальної техніки

Аналіз наявних проблем з маскування пожежно-рятувальної техніки, вдосконалення бойового досвіду з маскування. Усунення демаскуючих ознак пожежно-рятувальної техніки.

Вступ

У сучасних умовах зростання загроз, зокрема у збройних конфліктах та при виконанні спеціальних завдань у надзвичайних ситуаціях, особливої актуальності набуває питання ефективного маскування пожежно-рятувальних підрозділів. Удосконалення системи маскування техніки є важливою складовою забезпечення безпеки, зниження ризиків ураження та збереження оперативних можливостей підрозділів у складних умовах. Це вимагає як технічного переоснащення, так і вдосконалення організаційно-тактичних підходів.

Матеріали і методи

У сучасних умовах виконання завдань у зоні бойових дій або в умовах підвищеної небезпеки питання маскування пожежної техніки набуває особливої актуальності. Демаскуючі ознаки, які притаманні більшості пожежно-рятувальних машин, можуть стати серйозною загрозою для безпеки особового складу та ефективного виконання рятувальних операцій. Основна проблема полягає в тому, що стандартне обладнання пожежної техніки розраховане на швидке реагування в умовах мирного часу, а не на дії у бойовій обстановці, де виявлення техніки супротивником може мати критичні наслідки.

Пожежні автомобілі мають низку зовнішніх і технічних ознак, які легко виявити неозброєним оком або за допомогою технічних засобів розвідки. Яскраве червоне забарвлення, наявність світлових проблискових маячків, великі розміри кузова — усе це робить техніку помітною на значній відстані, як удень, так і вночі (рис.1). Під час руху пожежний автомобіль створює характерний звук двигуна, що також може виявити його місце розташування. Крім того, працююче насосне обладнання та генератори створюють додатковий шум, а вихлопи двигуна — теплове випромінювання, яке легко виявляється сучасними засобами тепловізійної розвідки.



Рис.1. Приклад стандартного кольору пожежної автоцистерни

Окрему небезпеку становлять сліди на ґрунті, які залишають пожежні машини, особливо важка техніка. Вони дозволяють встановити маршрут руху і навіть передбачити напрямок подальших дій підрозділу. У поєднанні з іншими демаскуючими факторами це дає супротивнику перевагу у плануванні атак чи засідок.

Усі ці фактори свідчать про необхідність комплексного підходу до удосконалення системи маскування. Йдеться не лише про зміну кольору техніки, застосування камуфляжних покриттів або термоізоляційних матеріалів, але й про зміну тактики використання техніки, зокрема обмеження використання сирен, уникнення прямих маршрутів та активне використання природного або штучного укриття.

Усунення або мінімізація демаскуючих ознак пожежної техніки є ключовим елементом забезпечення безпеки підрозділів у складних умовах, особливо в зоні бойових дій або при виконанні завдань в умовах підвищеного ризику. Цей процес потребує системного підходу, що охоплює як технічні, так і організаційно-тактичні заходи.

Результати

Насамперед варто змінити зовнішній вигляд техніки. Стандартне яскраво-червоне забарвлення необхідно замінити на камуфляжне або інші непримітні кольори (рис.2), які відповідають характеру місцевості — зелені, сірі, пісочні або комбіновані схеми. Окрім цього, доцільно використовувати спеціальні маскувальні сітки, які швидко монтуються на техніку під час зупинок, що дозволяє зменшити її помітність з повітря та землі.



Рис.2. Приклад маскування пожежної автоцистерни

Другим важливим аспектом є зменшення теплової і звукової помітності. Для цього необхідно обладнати техніку теплоізоляційними екранами або матеріалами, які знижують рівень інфрачервоного випромінювання. З метою зменшення шуму слід проводити технічне обслуговування двигунів і насосного обладнання, забезпечуючи їхню роботу у більш тихому режимі або із використанням шумопоглинаючих матеріалів.

Також варто звернути увагу на оптимізацію використання світлових і звукових сигналів. У бойових або ризикованих умовах вони повинні вмикатися виключно у випадках крайньої необхідності. Особовий склад має бути ознайомлений із цим регламентом та суворо його дотримуватися.

Не менш важливим є підвищення рівня навчання особового складу. Рятувальники повинні володіти знаннями та навичками з основ маскування, вміти швидко оцінювати ситуацію, вибирати укриття, правильно розгортати техніку та виконувати завдання, не розкриваючи позиції підрозділу.

Висновки

У підсумку, для ефективного усунення демаскуючих ознак потрібно поєднати інженерні, технічні та тактичні заходи, а також постійно підвищувати рівень підготовки персоналу. Лише такий комплексний підхід дозволить знизити ризики і забезпечити безперебійну роботу пожежно-рятувальних підрозділів в екстремальних умовах.

Список літератури

1. Довідник керівника гасіння пожежі. Науково-виробниче видання. Київ: ТОВ “Київська книжково-журнальна фабрика”, 2017. 320 с.
2. Методичні рекомендації “Щодо заходів пожежної безпеки на об’єктах Збройних Сил України при застосуванні противником запалювальної зброї”. Командування сухопутних військ, 2016. 250 с.

УДК 614.84.085.3

М.Є. Пилипенко, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Удосконалення комплектування пожежних автомобілів переносними лафетними стволами

Вивчення проблематики недоукомплектованості пожежних автомобілів. Покращення мір безпеки щодо гасіння пожеж пожежно-рятувальними підрозділами. Переваги використання переносних стволів лафетних комбінованих.

Вступ

Сучасні виклики у сфері пожежогасіння вимагають постійного вдосконалення технічного оснащення пожежно-рятувальних підрозділів. Одним із важливих напрямів є підвищення ефективності комплектування пожежних автомобілів, зокрема шляхом оснащення їх переносними лафетними стволами. Таке обладнання дозволяє забезпечити потужну подачу води або піноутворювача, особливо у складних умовах гасіння великих пожеж, де стандартні засоби можуть бути недостатніми.

Матеріали і методи

Недоукомплектованість пожежного автомобіля є серйозною проблемою, яка безпосередньо впливає на оперативність і ефективність дій пожежно-рятувального підрозділу. Коли на автомобілі відсутні важливі елементи оснащення, це призводить до затримок під час гасіння пожежі, оскільки рятувальники змушені або шукати альтернативні рішення, або чекати на прибуття додаткових сил і засобів. Це не лише втрата дорогоцінного часу, а й реальний ризик збільшення шкоди — як матеріальної, так і потенційної загрози життю людей.

Тому для поліпшення комплектування автомобіля, пропонується доукомплектовувати пожежні автомобілі допоміжними засобами пожежогасіння, зокрема переносними лафетними стволами (рис.1). Цей пристрій відіграє ключову роль у боротьбі з великими або складними пожежами, адже забезпечує подачу потужного водяного струменя або піни на значну відстань і з високою інтенсивністю. Відсутність такої техніки серйозно обмежує тактичні можливості пожежних. Вони не можуть ефективно діяти в умовах, де стаціонарне обладнання не забезпечує необхідного охоплення або тиску.



Рис.1. Переносний ствол лафетний комбінований СЛК-П20

Крім того, переносний лафетний ствол дозволяє забезпечити безпеку особового складу. Завдяки можливості встановити його на відстані від осередку горіння, рятувальники можуть здійснювати подачу води чи піноутворювача без необхідності перебувати у небезпечній зоні, що особливо важливо при загрозі обвалу конструкцій, вибухів чи високої температури. Відсутність такого обладнання змушує працювати у безпосередній близькості до полум'я, що підвищує ризик травм або навіть загибелі.

У разі виникнення великої пожежі, наприклад, на промислових об'єктах або нафтобазах, без переносного лафетного ствола стає практично неможливо забезпечити ефективну боротьбу з вогнем. Стандартні ручні стволи не здатні створити потрібний обсяг подачі речовини для локалізації чи повного гасіння пожежі, що затягує ліквідацію та підвищує втрати.

Таким чином, недоукомплектованість пожежних автомобілів, зокрема відсутність переносного лафетного ствола, негативно впливає на всю систему реагування. Це створює не лише технічні труднощі, а й безпосередню загрозу для безпеки як самих рятувальників, так і громадян, майна та довкілля.

Результати

Переваги переносного лафетного комбінованого ствола полягають у його багатофункціональності, мобільності та високій ефективності при ліквідації пожеж різної складності. Насамперед, головною перевагою такого обладнання є його універсальність. Комбінований ствол дає змогу змінювати режим подачі вогнегасної речовини — води або повітряно-механічної піни — залежно від типу та масштабу пожежі. Це дозволяє оперативно адаптуватися до змінних умов на місці події без необхідності заміни обладнання.

Іншою важливою перевагою є мобільність. Завдяки тому, що ствол є переносним, його можна легко встановити у будь-якій зручній точці пожежної ділянки. Це особливо актуально, коли автомобіль не може підійти

безпосередньо до осередку пожежі через завали, вузькі проїзди або інші перешкоди.

Ще одна сильна сторона такого типу обладнання — висока продуктивність. Комбінований лафетний ствол здатен подавати значний обсяг вогнегасної речовини під великим тиском, що дозволяє ефективно збивати полум'я на великих площах і навіть на висоті. Це особливо важливо при гасінні промислових об'єктів, складів, нафтобаз або інших стратегічних об'єктів.

Крім того, переносний лафетний комбінований ствол забезпечує підвищену безпеку рятувальників. Оскільки його можна встановити на відстані від осередку пожежі, зменшується потреба у перебуванні особового складу в зоні підвищеної температури або біля потенційно небезпечних об'єктів. Це знижує ризики травм і дозволяє працювати більш ефективно.

Висновки

У підсумку, переносний лафетний комбінований ствол — це потужний, універсальний і ефективний інструмент, який значно підвищує можливості пожежно-рятувального підрозділу, особливо в складних умовах та при великих пожежах.

Список літератури

1. ДСТУ 2802-94 (ГОСТ 9029-95) Стволи пожежні лафетні комбіновані технічні умови.
2. Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 26.04.2018 № 340 "Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж", зареєстрований у Міністерстві юстиції України 10.07.2018 за № 801/32253.

УДК 623.4:623.7:358.4

Д.А. Осташко, С.О. Петриченко
(Державний Університет «Київський Авіаційний Інститут», Україна)

Мультикоптери проти танків: як дрони змінюють концепцію бронетехніки

У статті розглядається трансформація ролі бронетехніки на полі бою внаслідок широкого використання мультикоптерів — дронів, здатних не лише здійснювати розвідку, але й ефективно уражати броньовані цілі. Оцінюються тактичні, технічні та концептуальні наслідки цих змін для майбутнього розвитку танкових військ.

Сучасна війна — це не лише змагання технологій, а й конкуренція концепцій. Танки, які впродовж більш як століття були основною ударною силою сухопутних військ, нині опинилися в центрі глибокої трансформації. З одного боку, їх значення як платформ для прориву оборони та вогневої підтримки залишається. З іншого — поява мультикоптерів, особливо FPV-дронів з бойовим навантаженням, почала підривати основи такої ролі.

FPV-дрони дозволяють вести війну "дешево проти дорого". В умовах, коли дрон вартістю до $500 здатен вивести з ладу бойову машину вартістю мільйони доларів, ми маємо справу з новим явищем — так званою тактичною асиметрією. Це не просто економічне питання. Це стратегічний зсув, який змушує армії світу переглядати пріоритети: чи варто вкладати в одну потужну платформу, якщо вона несе високий ризик бути знищеною одним-єдиним дроном?



Рис 1. Момент ураження танку дроном.

Однією з ключових причин вразливості танків є геометрія їх конструкції. Верхня проєкція традиційно є найменш захищеною, адже історично загрозу з неба становили лише авіація або артилерія з високою траєкторією польоту. Але дрони атакують майже вертикально, точно в люк командира, моторно-трансмісійну частину або інші критично важливі зони. Раніше для цього потрібно було високоточне кероване озброєння, тепер — невеликий дрон із вибухівкою.

Додатково слід врахувати можливість роботи мультикоптерів у тандемі. Зв'язки "розвідник-ударник", рої FPV-дронів або їх використання для змушування екіпажу полишити техніку перед остаточним ударом — усе це нові тактики, що постійно вдосконалюються в умовах бойових дій. Наприклад, у ЗСУ активно використовуються FPV-дрони з тепловізійними камерами, що дозволяє вести полювання на бронетехніку навіть уночі, під час туману або при обмеженій видимості.

Змінилися й підходи до ведення бою. Тепер танк не може діяти автономно або навіть у складі танкового підрозділу без належного прикриття з боку засобів РЕБ, дронів-розвідників, зенітних комплексів ближнього радіуса та піхоти, яка має бути підготовлена до боротьби з безпілотниками. Саме поєднання засобів захисту та взаємодія між підрозділами стали вирішальними факторами виживання техніки.

Показовим є досвід України. Танки ЗСУ та противника дедалі частіше доукомплектовуються саморобними екранами, клітками, навіть "парасольками" з арматури — усе це спроби захистити верхню проєкцію машини. Хоча такі рішення не є ідеальними, вони демонструють критичну потребу в адаптації. Паралельно тривають розробки активних систем захисту нового покоління, які можуть не лише виявити дрон, а й придушити його сигнал або знищити його на підльоті.



Рис 2. Приклад саморобної броні на українському танку.

Однак, навіть технічний захист — не панацея. Проблема полягає у швидкому темпі еволюції FPV-дронів. У майстернях по всій країні волонтери й військові інженери створюють усе новіші моделі — з більшим зарядом, кращим захистом від РЕБ, можливістю автономного польоту по заданих координатах без прямого зв'язку. Водночас танки — це заводський продукт, процес модернізації якого значно повільніший і дорожчий.

Згідно з аналізом бойових дій 2022–2024 років, основними чинниками, що підвищують вразливість бронетехніки до мультикоптерів, є наступні: відсутність постійного повітряного прикриття на тактичному рівні, слабке насичення засобами РЕБ у бойових порядках, відсутність розосередження техніки в умовах, коли її місцезнаходження може бути оперативно виявлено дронами-розвідниками. Таким чином, навіть добре захищений танк стає мішенню для недорогого й доступного противника.

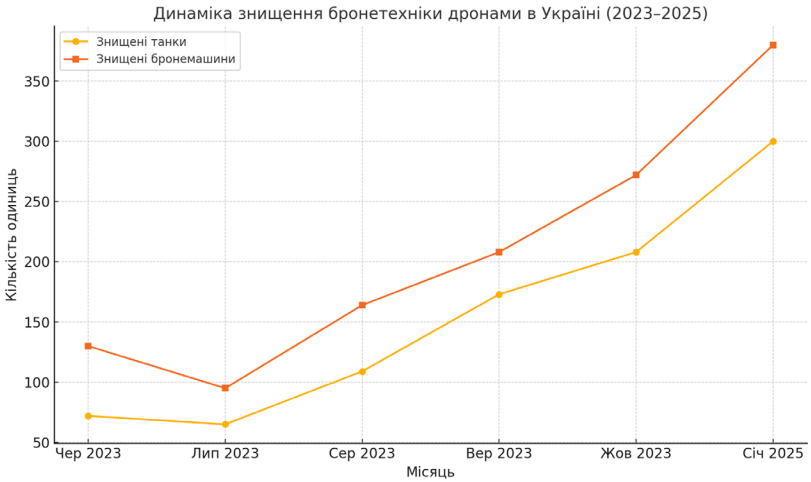


Рис 3. Динаміка знищення бронетехніки дронами в Україні в період з 2023 року по 2025 рік.

У цьому контексті зростає значення концепції "мережевої війни", де бронетехніка — лише один із вузлів в єдиній системі бойового управління, що включає дрони, РЕБ, супутникові системи спостереження, наземну піхоту, логістику та ШІ-аналітику. Успішне застосування танків у таких умовах можливе лише за наявності повного цифрового середовища — з актуальною ситуаційною обізнаністю, здатністю швидко реагувати на загрози та обмінюватися даними з іншими підрозділами в реальному часі.

Висновок

Отже, ключовий висновок полягає в тому, що мультикоптери як фактор бойового середовища спричинили не просто зсув у тактиці — вони змусили

поставити під сумнів саме існування класичних бронетанкових підходів. Виживання танка на полі бою сьогодні — це вже не питання товщини броні, а питання інтеграції в цифрову, дронову і радіоелектронну екосистему сучасної армії.

Список літератури

1. Мультикоптери: вибір сучасного війська ч.1 [Електронний ресурс] / Defense Express. — Режим доступу: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/multikopteri_vibir_suchasnogo_vijska_ch1-529.html
2. Аналіз тактико-технічних характеристик та тактики застосування існуючих ударних FPV-дронів [Електронний ресурс] / ResearchGate. — Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/384210335_ANALIZ_TAKTIKO-TEHNICNIH_HARAKTERISTIK_TA_TAKTIKI_ZASTOSUVANNA_ISNUUCIH_UDARNIH_FPV-DRONIV
3. Найбільша загроза: як війна дронів впливає на нові розробки бронетехніки [Електронний ресурс] / УНІАН. — Режим доступу: https://www.unian.ua/war/droni-fpv-naybilsha-nebezpeka-dlya-bronetehniki-na-viyni-12663105.html
4. Combat use of FPV drones by the enemy [Електронний ресурс] / Boryviter. — Режим доступу: https://boryviter.org.ua/articles/combat-use-of-fpv-drones-by-the-enemy
5. Дрони-приманки. Історія, функціонал, застосування [Електронний ресурс] / Мілітарний. — Режим доступу: https://mil.in.ua/uk/articles/drony-prymanky-istoriya-funktsional-zastosuvannya/
6. Top-attack [Електронний ресурс] / Вікіпедія. — Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Top-attack
7. Військові безпілотники. Що про них треба знати? [Електронний ресурс] / Модельістам. — Режим доступу: https://modelistam.com.ua/ua/voennye-bespilotniki-chto-nih-nujno-znati-sovety-podboru-elektroniki-a-280/

УДК 621.642

О.М. Сеченєв, Є.В. Пилипенко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Застосування сучасних резервуарів на складах пального

Для зберігання пального, олив, і спеціальних рідин на складах пального використовуються різні резервуари. Найбільш широко на стаціонарних складах пального застосовуються сталеві наземні вертикальні резервуари. Виготовляються резервуари за типовими проектами з маловуглецевої сталі місткістю від 100 до 5000 м^3 та більше.

Резервуари для зберігання пального – досить відповідальні інженерні спорудження, які експлуатуються в різних кліматичних умовах, проте продукти які в них зберігаються в багато разів дорожчі самих споруджень.

Під час експлуатації приходить порушення міцності резервуарів, яка настає з різних причин (хрупкість металу при низьких температурах, наявність дефектів в зварних швах, порушення технології монтажу, корозії металу тощо). В більшості випадків вони з'являються у сукупності різних несприятливих дій на їх конструкцію.

Також слід зазначити те, що вертикальні резервуари у більшості випадків побудовані в 50-60 роках минулого століття, тому граничний термін експлуатації вертикальних резервуарів практично вичерпан.

Крім того у зв'язку з повномасштабної агресії росії проти України та масованим застосуванням ракет і БПЛА по об'єктам військової інфраструктури, є значна руйнація військових аеродромів, складів пального з пожежами та великими витоками нафтопродуктів внаслідок пошкодження ємностей для їх зберігання (рис.1).



Рис.1. Зруйновані резервуари

Це свідчить проте, що стан резервуарного парку складів пального військових частин знаходиться на дуже низькому рівні, що змушує замислитись над актуальністю даної проблеми та шляхами її вирішення.

Для наукового обґрунтування щодо вибору та застосування сучасних резервуарів для складів пального використаний порівняльний метод, а саме:

аналіз доступних джерел (наукових статей, інструкцій з експлуатації на дану тему та вимог до резервуарів країн НАТО і України) та порівняння них з новими зразками українського та закордонного виробництва.

На сьогодні активно вводяться в експлуатацію гібридні резервуари (рис.2).



Рис.2. Гібридний резервуар

Гібридні резервуари поєднують в себе міцність традиційних сталевих резервуарів типу РВС, при найменшій товщині стінки та маси резервуару з мобільністю і надійністю еластичних резервуарів.

Гібридний резервуар виготовляється в формі розкритого з торців вертикального резервуара, який зібране з вигнутих дугою гофрованих оцинкованих стальних листів товщиною 0,7-1,2 мм, з'єднаних між собою болтами. Резервуар встановлюється на кільцевому стрічковому бетонному фундаменті або на кільцевому сталевому кутнику, який закріплене в ґрунті гвинтоподібними палями. Гофрований циліндр гібридного резервуара відповідає за механічну міцність та стабільність конструкції до навколишнього впливу і оснащено тремо видами вкладишів.

Перший вкладиш встановлюється безпосередньо на внутрішню (сталеву) стінку циліндра резервуара. Він виготовлено з міцного нетканого полотна типу Дорнит, який гарантує захист від механічних пошкоджень наступних вкладишів.

Другій – непроникний вкладиш-стакан, який виготовлено з синтетичної тканини з двостороннім покриттям ПВХ або ТПУ і призначений

для герметичності залитого продукту або додаткового захисту від течі при встановленні третього внутрішнього вкладишу у випадку його пошкодження.

Третій внутрішній вкладиш закритого типу може встановлюватися у виключних ситуаціях, вимагаючого повного захисту і герметизації.

Після встановлення та підключення вкладишів на резервуар встановлюється кровля, яка виконується з оцинкованого листа або гнучкої ПВХ мембрани.

Переваги гібридних резервуарів:

- мали втрати під час великого та малого дихання;
- вибухобезпека;
- великий термін експлуатації;
- швидкість монтажу і демонтажу конструкції.

Висновок

Застосування гібридних резервуарів для зберігання пального дає можливість зменшити втрати пального при прийманні, зберіганні та видачі пального.

Крім того, запропоноване рішення дозволить підвищити вибухобезпеку, збільшити терміни експлуатації резервуарного парку складів пального, можливість швидкого монтажу і демонтажу конструкції резервуара.

Список літератури

1. Столінець С.Л., Ніконов К.В., Дровнін С.С. та ін. “Військові склади пального і пункти заправки техніки” Навчальний посібник. - Ж.: ЖВІ НАУ, 2013.

2. Коновальчук Г.Я., Столінець С.Л. Технічне діагностування та контроль технічного стану резервуарів (устаткування), що знаходяться в експлуатації. Збірник тез науково-практичного круглого столу м. Київ 25-29 листопада 2020 року. Одеса: Видавничий дім “Гельветика”.

3. Тези та наукові статті на тему будівництва та експлуатації сучасних резервуарів..

4. Полімерні вставки. URL:https://flexsoltank.com/inserts.

УДК 355/359 (477) "1991/..."

В.Б. Ільчишин,
(Кафедра військової підготовки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна)
С.О. Редько, слухач
(Кафедра військової підготовки Національного авіаційного університету, Україна)

Становлення Збройних Сил України в умовах незалежності, економічних та політичних викликів

Збройні Сили України пройшли шлях від формування після незалежності у 1991 році через скорочення та роззброєння в 90-х, свідоме послаблення після 2010 року, до відновлення боєздатності після російської агресії 2014 року. Наразі, у стані повномасштабної війни з росією, Збройні Сили України набули бойового досвіду, зміцнили оборону завдяки міжнародній підтримці та активно розвивають новітні технології, залишаючись головним захисником України.

Вступ

Після здобуття незалежності у тисяча дев'ятсот дев'яносто першому році Україна розпочала формування власних Збройних Сил, підпорядкувавши військові частини українському парламенту та створивши Міністерство оборони. Була затверджена Концепція оборони держави та будівництва Збройних Сил України, яка визначила без'ядерний та позаблоковий статус держави. У дев'яностих роках Україна успадкувала значний військовий потенціал від Радянського Союзу, але в умовах економічної кризи та під впливом міжнародних домовленостей відбулося масштабне роззброєння, включаючи відмову від третього за величиною ядерного арсеналу у світі в обмін на гарантії безпеки, закріплені Будапештським меморандумом. Паралельно відбувалося скорочення чисельності Збройних Сил України та їхнього озброєння, що ускладнювало процес їхньої повноцінної модернізації, попри періодичні спроби військово-політичного керівництва.

Результати

Історію будівництва Збройних Сил України можна поділити на ряд основних етапів: перший етап — формування основ Збройних Сил України (1991–1996 рр.); другий етап — подальше будівництво Збройних Сил України (1997–2000 рр.); третій етап — реформування Збройних Сил України (2001–2005 рр.); четвертий етап — розвиток Збройних Сил України (2006–2011 рр.). З 2012 по 2017 роки планувалося здійснити новий етап військової реформи — реформування і розвитку Збройних Сил України. Однак у зв’язку з агресією російської федерації виконання заходів даного етапу було зупинено.

Переломним моментом стала російська військова агресія у 2014 році, яка розпочалася з анексії Криму та підтримки сепаратистських рухів на сході України. У цих складних умовах, попри значні втрати на початковому етапі,

українське суспільство та військове керівництво продемонстрували рішучість у відновленні боєздатності Збройних Сил України. Було проведено кілька хвиль мобілізації, створено добровольчі батальйони, започатковано реформування армії та налагоджено співпрацю з міжнародними партнерами щодо військової допомоги. У 2015 році росію було офіційно визнано головною стратегічною загрозою національній безпеці України, а курс на євроатлантичну інтеграцію став одним із ключових пріоритетів.

Станом на квітень 2025 року Збройні Сили України перебувають у стані повномасштабної війни з російською федерацією, яка триває вже понад три роки. За цей час ЗСУ набули безцінного бойового досвіду, адаптувалися до сучасних методів ведення війни та значно зміцнили свою обороноздатність завдяки потужній міжнародній підтримці, що включає постачання сучасного озброєння та військової техніки, а також навчання за стандартами НАТО. Продовжується процес переходу на західні зразки озброєння. Активно розвивається власний військово-промисловий комплекс, особливо у сфері безпілотних технологій та засобів радіоелектронної боротьби. Активне використання дронів у сучасній війні стало фактором, що кардинально змінює характер бойових дій. Вони забезпечують перевагу в розвідці, підвищують точність та ефективність вогневого ураження, а також створюють нові можливості для логістики та психологічного впливу. Розвиток технологій дронів та засобів протидії їм є однією з ключових тенденцій сучасного військового протистояння. Попри значні втрати та виклики, пов'язані з інтенсивними бойовими діями та перевагою противника в деяких видах озброєння, Збройні Сили України демонструють високий рівень мотивації, патріотизму та професіоналізму, залишаючись головним гарантом суверенітету та територіальної цілісності України. Водночас, забезпечення достатньої кількості боєприпасів, ротація особового складу, психологічна підтримка військовослужбовців та подальша модернізація залишаються ключовими завданнями для зміцнення обороноздатності країни в умовах триваючої війни.

Висновки

Підсумовуючи, шлях становлення Збройних Сил України був складним і багатоетапним, позначеним як періодами розбудови та адаптації, так і кризовими явищами, що суттєво послабили їхню боєздатність. Однак, повномасштабна російська агресія стала каталізатором якісних змін, продемонструвавши незламність українського війська та суспільства. Набутий у боях безцінний досвід, потужна міжнародна підтримка та активний розвиток власного військово-промислового комплексу, особливо у сфері безпілотних технологій, значно зміцнили обороноздатність країни. Попри триваючу війну та пов'язані з нею виклики, Збройні Сили України залишаються ключовим гарантом незалежності та територіальної цілісності держави, демонструючи високий рівень професіоналізму, патріотизму та рішучості у боротьбі за

майбутнє України. Подальша підтримка, модернізація та забезпечення потреб війська є критично важливими для перемоги та зміцнення національної безпеки.

Список літератури

1. Міністерство оборони України офіційний веб сайт URL: https://www.mil.gov.ua/ministry/istoriya.html/

УДК 621.59:623.048.4:614.841

В.Б. Ільчишин,
(Кафедра військової підготовки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна)
С.О. Редько, слухач
(Кафедра військової підготовки Національного авіаційного університету, Україна)

Застосування кріогенних технологій для охолодження сховищ боєприпасів з метою підвищення пожежної безпеки

У статті розглянуто проблему забезпечення пожежної безпеки сховищ боєприпасів та запропоновано концепцію застосування кріогенних технологій, зокрема системи охолодження на основі рідкого азоту, як інноваційного підходу до мінімізації ризиків детонації у випадку пожежі.

Вступ

Забезпечення безпечного зберігання боєприпасів є критично важливим завданням для національної безпеки та запобігання техногенним катастрофам. Пожежі на складах боєприпасів несуть значний ризик детонації, що може призвести до масштабних руйнувань, людських жертв та довготривалих екологічних наслідків. Традиційні системи пожежогасіння, хоча й необхідні, можуть виявитися недостатньо ефективними для швидкого зниження температури боєприпасів до безпечного рівня, особливо на початкових стадіях пожежі. У зв'язку з цим, дослідження та впровадження інноваційних технологій, спрямованих на запобігання детонації, є актуальним науково-практичним завданням.

Результати

Аналіз ризиків та існуючих методів пожежної безпеки сховищ боєприпасів показує, що існуючі методи забезпечення пожежної безпеки сховищ боєприпасів включають комплекс організаційних та технічних заходів, таких як суворе дотримання правил зберігання та поводження з боєприпасами, розділення сховищ на секції з обмеженою кількістю боєприпасів, облаштування систем пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння (водяні, пінні), створення протипожежних розривів між будівлями, а також підготовка особового складу та проведення навчань. Однак, у випадку інтенсивної пожежі, ефективність водяних та пінних систем може бути обмежена швидкістю нагрівання боєприпасів, особливо якщо вони вже досягли високих температур, і час до потенційної детонації може бути недостатнім для ефективних дій пожежно-рятувального підрозділу, особливо на великих об'єктах. У зв'язку з цим, запропонована концепція застосування кріогенних технологій, зокрема інтеграція в систему пожежної безпеки сховища автоматизованої системи швидкого розпилення рідкого азоту у випадку виявлення пожежі, розглядається як інноваційний підхід. Рідкий азот, завдяки своїй наднизькій температурі кипіння (-196 °C) та високій теплоті випаровування, має потенціал для

швидкого та ефективного охолодження навколишнього середовища та поверхні боєприпасів, що є однією з потенційних переваг системи охолодження на основі рідкого азоту, оскільки миттєве випаровування рідкого азоту забезпечує інтенсивне відведення тепла, значно уповільнюючи нагрівання боєприпасів. Іншою перевагою є створення інертного середовища, адже випаровуючись, азот витісняє кисень, необхідний для горіння, що може сприяти локалізації, а також збільшення часу реагування, оскільки уповільнення процесу нагрівання боєприпасів надає особовому складу пожежно-рятувального підрозділу додатковий час для безпечного прибуття, оцінки ситуації та розгортання сил та засобів для охолодження, і запобігає ланцюговій реакції, оскільки швидке та ефективне охолодження ураженої секції може запобігти поширенню пожежі на сусідні секції та уникнути масштабної детонації. Проте, впровадження системи охолодження на основі рідкого азоту пов'язане з певними технічними викликами, які потребують детального опрацювання, включаючи забезпечення необхідної кількості азоту для ефективного охолодження великих сховищ, що вимагає створення надійних систем зберігання та подачі, швидкість та рівномірність розподілу, адже система розпилення повинна забезпечувати швидке та рівномірне покриття азотом усього об'єму ураженої секції, безпеку особового складу, оскільки необхідно розробити чіткі протоколи безпеки для запобігання впливу низьких температур та нестачі кисню у випадку спрацювання системи, де автоматизація процесу є ключовою, стійкість системи до пожежі, адже елементи системи (трубопроводи, розпилювачі) повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до високих температур хоча б на початковому етапі пожежі, та економічна доцільність, оскільки вартість впровадження та експлуатації такої системи повинна бути обґрунтована рівнем потенційних збитків від детонації. Можливі рішення для подолання викликів включають створення модульних систем зберігання азоту, розташованих безпосередньо біля сховищ, розробку високошвидкісних та ефективних систем розпилення з використанням спеціальних форсунок, впровадження багаторівневих систем безпеки з автоматичним контролем рівня кисню та попередженням особового складу, використання термостійких матеріалів для важливих елементів системи, а також проведення детального техніко-економічного обґрунтування з урахуванням усіх потенційних ризиків та переваг.

Висновки

Застосування кріогенних технологій, зокрема системи охолодження на основі рідкого азоту, представляє перспективний напрямок у підвищенні пожежної безпеки сховищ боєприпасів. Швидке та ефективне зниження температури та створення інертного середовища можуть значно уповільнити процес термічного розкладання вибухових речовин, збільшити час для реагування пожежно-рятувального підрозділу та потенційно запобігти масштабним детонаціям. Подальші науково-дослідні роботи, спрямовані на розробку та оптимізацію таких систем з урахуванням усіх технічних, економічних та безпекових аспектів, є важливим кроком у забезпеченні надійної безпеки об'єктів зберігання боєприпасів.

Список літератури

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. - К.: НУХТ, 2010. - 194 с.

2. Вікіпедія, стаття про хімічні властивості азоту URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D1%82

УДК 614.84:629.7(477)

С.В. Петренко, Д.В. Саміленко, Д.В. Попова
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Особливості гасіння пожеж на літальних апаратах іноземного виробництва в Збройних силах України

У статті розглянуто конструктивні особливості літальних апаратів, складність доступу до осередків займання, а також наявність авіаційного пального, що значно ускладнює гасіння. Проаналізовано основні ризики для здоров'я пожежників, зокрема вплив токсичних продуктів горіння на органи дихання.

З початком повномасштабної збройної агресії проти України, Збройні Сили України значно розширили спектр використовуваної авіаційної техніки, у тому числі за рахунок надходження літальних апаратів іноземного виробництва. Це, зокрема, літаки тактичної авіації, які відіграють ключову роль у бойових операціях — виконанні ударів по цілях, прикритті наземних військ, розвідці та інших завданнях. Кожен тип іноземного літака має свою специфічну конструкцію, відмінне розташування паливних баків, електричних систем, озброєння та матеріалів корпусу.

Зараз Повітряні сили ЗСУ одночасно використовують відразу чотири типи бойових літаків. Це бомбардувальні літаки Су-24 та Су-24М; штурмові літаки Су-25; розвідувальні Су-24 МР, Ан-30; винищувальні літаки F-16, Mirage 2000-5F, Су-27 та МіГ-29. [1].

Гасіння пожеж на таких апаратах має низку особливостей, що відрізняють його від роботи з радянською або українською технікою. Дизайн паливної системи літака, системи охолодження та засоби захисту ретельно розраховані для мінімізації ризиків несанкціонованого загоряння. На авіаційних базах і в підрозділах бойової авіації діють стаціонарні та мобільні системи пожежогасіння. В ангарах встановлені автоматичні пінні системи, які активуються при виявленні диму чи підвищення температури. Також застосовуються сенсори витоку пального, вентиляційні установки, пожежні машини з турелями і тепловізорами, а на вертолітних майданчиках — переносні пінні та порошкові засоби гасіння.

Першим важливим аспектом є захист особового складу. Умови гасіння пожеж на авіаційній техніці передбачають вплив високих температур, задимлення та токсичних викидів.

По-друге, у зоні пожежі можуть бути присутні залишки пального з високою температурою займання, а також елементи озброєння (ракети, боєприпаси).

По-третє, кожен тип іноземного літака має свою специфічну конструкцію, відмінне розташування паливних баків, електричних систем, озброєння та матеріалів корпусу.

Особливу увагу при роботі з сучасною авіаційною технікою слід приділяти не лише конструктивним відмінностям, а й використанню небезпечних технологічних рідин, серед яких гідразин (N_2H_4) .У винищувачі F-16 Fighting Falcon гідразин застосовується в системі аварійного енергоживлення — Emergency Power Unit (EPU)**.** Це хімічна речовина, яка забезпечує живлення критичних систем літака у разі втрати основних джерел енергії. При розкладанні гідразин виділяє велику кількість тепла й газів, що приводить у дію генератор та гідравлічну систему.

Гідразин є високотоксичною, леткою, вибухонебезпечною та самозаймистою речовиною, яка може спонтанно займатися при контакті з деякими матеріалами та окисниками, а його пари можуть накопичуватися в низинах через вищу щільність, ніж у повітря. Потрапляння гідразину в організм, особливо при вдиханні його парів, спричиняє серйозні отруєння — головний біль, слабкість, подразнення слизових оболонок, а за тривалої дії — ушкодження печінки, центральної нервової системи та ризик розвитку онкологічних захворювань. Це робить захист персоналу під час роботи з гідразином першочерговим завданням.[2,3]. Гідразин легко випаровується і навіть у незначних концентраціях становить серйозну загрозу для органів дихання, центральної нервової системи, печінки та інших внутрішніх органів. В умовах контакту з цією речовиною звичайні фільтрувальні респіратори не гарантують повного захисту, тому застосування ізолюючих засобів індивідуального захисту органів дихання на стисненому повітрі SCBA, які повністю ізолюють користувача від зовнішнього середовища, є обов'язковим. Це найнадійніший тип респіраторного захисту, який забезпечує користувача чистим повітрям незалежно від якості навколишнього середовища. Вони складаються з повнолицевої маски, редуктора тиску, легеневого автомата, системи кріплення та балона зі стисненим повітрям [4].

У минулому SCBA здебільшого використовували лише в закритих приміщеннях — у сховищах, цехах, резервуарах або тунелях, де була очевидна загроза дефіциту кисню або отруєння парами. Вважалося, що на відкритому повітрі природна вентиляція здатна розсіювати шкідливі речовини. Однак, згідно з даними з відкритих джерел про роботу з гідразином — зокрема на авіабазах НАТО, у рятувальних підрозділах та при обслуговуванні літальних апаратів — його пари можуть досягати небезпечних концентрацій навіть на відкритому повітрі, особливо за високих температур або у безвітряну погоду. [5].

Гасіння пожеж, пов'язаних з гідразином (Н-70), вимагає спеціальних заходів через високу токсичність і самозаймання цієї речовини. Для гасіння слід використовувати піноутворювачі або мікродисперсну воду. Забороняється застосовувати вуглекислотні (CO_2) або порошкові вогнегасники, оскільки вони неефективні і можуть погіршити ситуацію. Зона навколо палаючого гідразину має бути ізольована на відстань не менше 30 метрів, а всі роботи повинні проводитися з використанням ізолюючих дихальних апаратів (SCBA) та хімічно стійкого захисту. Важливо після ліквідації загоряння провести нейтралізацію гідразину спеціальними розчинами, а також провести детальну перевірку на наявність залишкових токсичних парів. [6.7].

На жаль, наразі відсутні відкриті офіційні нормативні документи України, які б безпосередньо регламентували роботу з гідразином у літальних апаратах та процедури гасіння пожеж, пов'язаних із цією речовиною. Проте, існують загальні нормативні акти та методичні матеріали, що стосуються безпеки при роботі з небезпечними хімічними речовинами, які можуть бути корисними у цьому контексті.

Висновки

Особливої уваги потребує підготовка пожежно-рятувальних підрозділів: знання конструктивних особливостей конкретних типів іноземних літаків, тренування в умовах максимально наближених до реальних, координація з технічним персоналом авіаційних частин.

Таким чином, гасіння пожеж на літальних апаратах іноземного виробництва у ЗСУ вимагає глибокого розуміння специфіки авіаційної техніки, високого рівня підготовки особового складу та забезпечення сучасними засобами захисту. Це один із ключових елементів безпеки авіаційних підрозділів Збройних Сил України в умовах сучасної війни.

У висновку можна зазначити, що для безпечної роботи з гідразином у літальних апаратах необхідно розробити спеціалізовані інструктажі та процедури, враховуючи досвід міжнародних стандартів і практик. Якщо в Україні ще немає відповідних нормативних документів, варто орієнтуватися на рекомендації НАТО та виробників авіаційної техніки. Також важливо налагодити співпрацю з науково-дослідними установами та навчальними закладами для створення ефективних заходів безпеки при роботі з цією небезпечною речовиною.

Список літератури

1. Повітряні сили Збройних сил України // Wikipedia : вільна енциклопедія [Електронний ресурс].
2. Бурдіченко Л. А. Пожежна безпека в аеропортах та на повітряних суднах. Охорона праці в авіації - - 16.6.
3. Курта С. А. Загальна та хімічна екологія [Електронний ресурс] / С. А. Курта ; Прикарпат. нац. ун-т ім. В. Стефаника. – Івано-Франківськ, 2021.
4. . 51FWI21-113 — інструкція ВПС США: https://static.epublishing.af.mi
5. 354FWI21-125 — інструкція ВПС США:https://static.epublishing.af.mil
6. Технічні інструкції США для ВПС (USAF Tech Orders).
7. Hazardous Materials Emergency Response Guidebook

УДК 355.23:656.71

Ю.Б. Добровольський, к.т.н., доц., с.н.с, К.О. Сарапин
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Організація авіаційних військових перевезень в умовах воєнного стану: виклики та шляхи їх покращення

Аналіз організації авіаційних військових перевезень в умовах воєнного стану, зосереджуючись на забезпеченні безпечного та ефективного постачання військових технологій для Збройних Сил України. Розгляд ключових викликів та шляхів, спрямованих на оптимізацію логістичних процесів, захист вантажів та забезпечення своєчасного надходження необхідних ресурсів для підвищення боєздатності української армії.

Україна — держава з важливим транзитним потенціалом у сфері авіації. До початку повномасштабного вторгнення росії, авіаційна галузь щороку обслуговувала мільйони пасажирів. Проте у воєнний час повітряний простір став зоною ризику. Україна бореться — на землі, на воді, в небі. І, навіть, коли авіаперевезення призупинені, український повітряний простір продовжує жити.

З початку повномасштабного вторгнення авіатранспортна галузь зазнала колосальних збитків: руйнування аеропортів, знищення літаків та обладнання, а також повне припинення цивільного авіасполучення завдали непоправної шкоди. За даними KSE Institute, станом на початок 2024 року, прямі збитки авіаційної галузі України оцінюються близько в 2,04 мільярда доларів США. Руйнування інфраструктури нараховує пошкодження 19 аеропортів та цивільних аеродромів, серед яких: аеропорт «Антонов» у Гостомелі, де було знищено легендарний літак Ан-225 «Мрія», аеропорти «Харків», «Миколаїв» та «Донецьк». Також, знищення або пошкодження значної кількості літаків та авіаційного обладнання [1].

Авіаційні вантажні перевезення в умовах воєнного стану стикаються з низкою серйозних викликів, які істотно ускладнюють логістику та знижують ефективність транспортування. Передусім, це постійна загроза ракетних та безпілотних ударів, що ставить під ризик вантаж, техніку й персонал.

У зв’язку з воєнною загрозою введено повну заборону на цивільні авіаційні перевезення, що обмежує можливості використання традиційних маршрутів і змушує переорієнтовуватися на аеродроми в сусідніх країнах. Доставка гуманітарної допомоги (медичного та військового забезпечення) від країн-партнерів теж здійснюється до найближчих аеродромів, що теж спричиняє затримку у постачанні військових вантажів для України з-за кордону через складні бюрократичні процедури, такі як отримання експортних ліцензій та митне оформлення і можуть займати багато часу. Навіть при наявності необхідних документів ці бюрократичні та логістичні перешкоди можуть суттєво затримувати постачання, оскільки вимагають злагодженої роботи багатьох сторін та подолання численних технічних труднощів [3].

Це також істотно ускладнює логістику, знижує ефективність транспортування

Таблиця 1

Виклик авіаційних вантажних перевезень в умовах воєнного стану

Категорія виклику	Проблеми
Загроза повітряних атак	- Загроза дронових і ракетних ударів
Закриття повітряного простору	- Заборона цивільних перельотів - Використання аеродромів в сусідніх країнах
Руйнування інфраструктури	- Пошкодження/зруйнування аеродромів та злітно-посадкових смуг - Необхідність швидкого ремонту та відновлення
Логістичні перешкоди	- Неможливість швидкого перевезення вантажів на довгі маршрути (доставка на схід чи південь країни, які вимагають більш точного планування) - Ворожа розвідка - Пошук безпечних та альтернативних маршрутів
Безпека вантажу	- Розкрадання майна, забезпечення - Необхідність супроводу та охорони - Забезпечення конфіденційної інформації
Обмежені ресурси	- Нестача палива, зношеність або втрата авіаційного транспорту. - Потреба в кваліфікаційному персоналі

Бомбардування та обстріли залишили на тілі авіаційної інфраструктури глибокі шрами — багато злітно-посадкових смуг і аеродромів перетворилися на руїни. Їхнє відновлення потребує часу й ресурсів, яких часто бракує щоб налагодити стабільну доставку вантажів на великі відстані, особливо в напрямках, де тривають активні бойові дії чи на евакуацію тяжко поранених. Кожне транспортування вимагає точності, безпечного супроводу й чіткого логістичного розрахунку.

Додатковою складністю є діяльність ворожої розвідки, яка може виявляти маршрути перевезень, а також необхідність збереження конфіденційності логістичної інформації. З огляду на це, постає потреба в належному супроводі та охороні вантажів. Тому пошук безпечних та альтернативних маршрутів є невід'ємною частиною, особливо з урахуванням ризиків мародерства, розкрадання майна чи ресурсів. Окремо слід зазначити про нестачу пального, втрату або зношеність авіаційного транспорту, а також дефіцит кваліфікованого персоналу, здатного працювати в умовах підвищеної небезпеки.

У сукупності всі ці фактори вимагають гнучкого, стратегічно продуманого підходу до організації вантажних авіаперевезень під час воєнного стану.

Таблиця 2

Шляхи покращення авіаційних військових перевезень в умовах воєнного стану

Категорія виклику	Шляхи покращення
Загроза повітряних атак	- Маскування аеродромів та маршрутів - Використання сучасних мобільних систем ППО
Закриття повітряного простору	- Пошук альтернативних маршрутів - Використання аеродромів у сусідніх країнах
Руйнування інфраструктури	- Використання тимчасових аеродромів - Використання аеродромів з короткою злітно-посадковою смугою
Логістичні перешкоди	- Створення малих, мобільних складів, маскування - Використання сучасних інформаційних систем, рух у темний час доби, зміна маршрутів - Залучення міжнародних логістичних компаній
Безпека вантажу	- Боротьба з корупцією; - Використання броньованих контейнерів - Застосування GPS-відстеження та відеоспостереження - Залучення кваліфікованого персоналу для охорони
Обмежені ресурси	- Використання паливно-ефективних літаків, БПЛА - Залучення міжнародної допомоги
Радіоелектронна боротьба	- Застосування засобів РЕБ для протидії атакам дронів та ракет - Створення радіоелектронних перешкод для запобігання перехопленню даних
Міжнародна співпраця	- Залучення міжнародних партнерів для надання технічної та фінансової допомоги - Обмін досвідом та найкращими практиками - Спільне навчання та тренування фахівців

У контексті забезпечення ефективного функціонування авіаційних вантажних перевезень в умовах воєнного стану актуальним є впровадження комплексу адаптаційних заходів: маскування маршрутів, аеродромів, що значно знижує ризики виявлення їх ворожою розвідкою. Важливо також забезпечити інтеграцію сучасних мобільних систем протиповітряної оборони та засобів радіоелектронної боротьби для протидії безпілотним і ракетним атакам.

До альтернативних рішень належить використання тимчасових аеродромів, у тому числі з короткими злітно-посадковими смугами, а також залучення інфраструктури сусідніх країн. Розвиток малих мобільних логістичних складів із засобами маскування сприяє зменшенню уразливості вантажів. Тож, одним із ключових напрямів є діджиталізація логістики: використання інформаційних систем, GPS-відстеження, відеоспостереження, а також організація переміщення у темний час доби з регулярною зміною маршрутів.

Для підвищення безпеки транспортування застосовуються броньовані контейнери, залучається кваліфікований охоронний персонал, впроваджуються паливно-ефективні літаки та БПЛА. Важливу роль відіграє залучення міжнародних логістичних компаній, партнерів та донорів задля технічної, фінансової й експертної підтримки. Особливу увагу варто приділити боротьбі з корупцією, обміну досвідом та організації спільного навчання фахівців.

Співпраця між різними країнами та організаціями, дозволяє уникнути повторних помилок при організації транспортування та розподілу вантажів, а також, забезпечити ефективне використання ресурсів, що є вирішальним фактором для успішного забезпечення військових потреб.

Невід'ємною частиною є також, підготовка транспорту загального користування для забезпечення військових перевезень, що передбачає не лише технічну готовність транспортних засобів, але й їхню адаптацію до специфічних вимог військових перевезень. Задля безперебійного та оперативного постачання військових вантажів необхідно налагодити ефективну співпрацю між основними структурами держави: Міністерством оборони України, Генеральним штабом ЗС України, Міністерством інфраструктури та підприємствами транспортної галузі, що забезпечить координацію дій та чітку організацію перевезень [2].

Висновки

Організація військових перевезень в умовах воєнного стану вимагає надзвичайної адаптивності та ефективності. Головними викликами яких є постійна загроза повітряних атак, руйнування інфраструктури та обмежені ресурси. Щодо створення більш гнучкої та захищеної системи постачання, потрібно покращувати використання сучасних технологій, оптимізацію маршрутів та вдосконалювати навички особового складу для забезпечення безпеки та ефективності логістичних процесів, що насамперед мінімізує ризики, а також забезпечить оперативне надходження необхідних ресурсів у зону бойових дій.

Список літератури

1. Андрієнко Д. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України станом на листопад 2024 року. Київська школа економіки, м. Київ, лютий 2025 р., 1-28 ст., URL: https://shorturl.at/8ito6 (дата звернення 07.04.2025)

2. Січкар Д. Нові та старі виклики. Як тримається українська інфраструктура під час війни. 03 грудня 2022 р. м. Київ, URL: https://shorturl.at/halDT (дата звернення 08.04.2025)

3. Доктрина « З організації переміщень та перевезень (транспортувань) у Збройних Силах України». – Київ, 2020 1– 30 с. URL: https://shorturl.at/Ry6cY (дата звернення 08.03.2025)

УДК 355.48:623.4(477)“2022/…”

С.В. Петренко, М.В. Сітніченко
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Винаходи українських військових у війні проти росії: інновації на фронті

У статті розглядається стрімкий розвиток українських військових технологій. Україна почала активно використовувати дрони, програмне забезпечення для артилерії та системи радіоелектронної боротьби, що значно підвищило ефективність ЗСУ на полі бою.

Повномасштабне вторгнення росії в Україну у 2022 році не лише змінило реалії війни, а й стало поштовхом до справжнього технологічного прориву. Українські військові, інженери та волонтери почали масово впроваджувати новітні розробки, які раніше були лише в проєктах або доступні лише великим державам. Завдяки нестандартному підходу та потребі в ефективних рішеннях, війна перетворилася на полігон для тестування унікальних інновацій.

1. Дрони — нова зброя на полі бою

Одним із найпомітніших винаходів стали FPV-дрони (дрони з прямим керуванням) та дрони-камікадзе. Їх використовують як високоточну та дешеву альтернативу ракетному озброєнню. Такі дрони оснащені вибухівкою та камерою, що дозволяє оператору в реальному часі наводити їх на ціль. Українські дрони вразили не лише технікою, а й креативністю — наприклад, деякі моделі друкують на 3D-принтерах, а деякі адаптують з побутової техніки.

Такі пристрої завдали значних втрат російській техніці, знищуючи танки, БМП, склади боєприпасів і навіть командні пункти. FPV-дрони стали головною зброєю піхоти, дозволяючи вражати ворога навіть у складних умовах.

2. Морські дрони — новий рівень у морській війні

Україна стала першою країною у світі, яка успішно застосувала морські дрони в бойових умовах. Ці безекіпажні катери з дистанційним управлінням провели низку результативних атак на кораблі Чорноморського флоту РФ та навіть на Кримський міст.

Морські дрони здатні непомітно наближатися до цілі, нести вибухівку та точно вражати об’єкти, змінюючи правила морської війни. Ворог змушений змінювати логістику, базування та стратегію.

3. Програмне забезпечення для артилерії

У війні 21 століття перемагає не той, хто має більше гармат, а той, хто краще ними керує. Українські розробники створили унікальні програми для керування артилерійським вогнем: GIS Арта, Кропива, Delta та інші. Вони дозволяють об’єднувати розвіддані з дронів, супутників і наземних

спостерігачів в єдину мережу. Завдяки цьому час від виявлення цілі до її ураження скоротився з годин до кількох хвилин.

Ці платформи дозволили зробити артилерію ЗСУ точнішою, швидшою та смертоноснішою, що дало перевагу над ворогом, навіть попри його кількісну перевагу.

4. Радіоелектронна боротьба (РЕБ)

Ще один напрям — системи радіоелектронної боротьби, які пригнічують зв'язок, GPS та нейтралізують ворожі дрони. Українські фахівці розробили мобільні РЕБ-комплекси, які можуть швидко переміщуватись, маскуватися та ефективно працювати навіть поблизу фронту.

Завдяки цим системам вдалося зірвати багато атак, «глушити» ворожу техніку та забезпечити захист своїх позицій. Такі рішення стали незамінними у сучасній війні дронів і радіозалежного озброєння.

5. Співпраця армії, науки та волонтерів

Особливістю українських інновацій є те, що їх створюють не лише державні заводи, а й волонтери, стартапи та ентузіасти. Тисячі небайдужих людей об'єдналися, щоб допомогти фронту технологіями. Це дозволило оперативно тестувати й запускати розробки прямо на полі бою, без довгої бюрократії.

Висновки

Українська війна за незалежність стала прикладом того, як навіть за відсутності достатнього фінансування можна досягати проривів у військових технологіях. Гнучкість, швидкість прийняття рішень, горизонтальні зв'язки між армією та цивільними фахівцями створили унікальне середовище для розвитку сучасного оборонного потенціалу.

Винаходи, створені під тиском фронту, вже сьогодні впливають не лише на перебіг війни, але й на глобальні тренди військової інженерії. Україна стала полігоном інновацій, які можуть бути застосовані у збройних силах країн НАТО та інших держав.

Список літератури

1. Міністерство оборони України. Біла книга: Збройні Сили України 2022–2023. — К.: МОУ, 2023.
2. Defense Express. Дрони та інновації українського війська: як змінюються правила ведення бою. — defense-ua.com, 2023.
3. Центр стратегічних комунікацій. GIS Арта, "Кропива" та інші: як програмне забезпечення допомагає ЗСУ бити ворога. — Київ, 2023.
4. Forbes Україна. Морські дрони України: як вони змінили війну на морі. — forbes.ua, 2023.
5. BBC News Україна. Українські FPV-дрони: як працює нова «зброя піхоти». — bbc.com/ukrainian, 2024.

6. Liga.Tech. Війна технологій: як стартапи і волонтери змінюють ЗСУ. — tech.liga.net, 2023.

7. АрміяInform. Розвиток радіоелектронної боротьби в умовах війни. — armyinform.com.ua, 2023.

8. The New York Times. Ukraine’s Drone Innovation Pushes Military Boundaries. — NYT, 2023.

УДК 614.84:355.48

О.Г. Водчиць, к.т.н., доц, А.Ю. Сотніченко, А.О. Родак
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Розосередження особового складу під час гасіння пожежі в умовах обстрілів

У статті досліджено актуальні підходи до організації пожежогасіння військовими підрозділами в умовах вогневого впливу противника. Розглянуто тактичні шляхи розосередження особового складу для забезпечення живучості та ефективності дій у зоні бойових дій.

Сучасна війна вимагає нових підходів до організації пожежогасіння, особливо в умовах активного вогневого впливу. Бойові дії в Україні показали, що пожежі можуть виникати не лише в тилових районах, а й безпосередньо на передовій або в зоні ураження противника. Пожежні підрозділи мають діяти в умовах обстрілів артилерією, безпілотниками-камікадзе, мінометним вогнем, що робить традиційну тактику гасіння неефективною та небезпечною. У цих умовах тактичне розосередження є вимушеним і життєво необхідним заходом. [2,4].

Окрім фізичної небезпеки, ці умови створюють значний психологічний тиск на рятувальників, які змушені ухвалювати рішення в умовах невизначеності та загрози повторних атак. У таких ситуаціях велике значення має попередня підготовка та відпрацювання сценаріїв роботи в бойовій зоні.

Мета розосередження — зниження ймовірності одночасного ураження всього особового складу або критичних засобів пожежогасіння. В умовах обстрілів, коли ворог цілеспрямовано вражає рятувальні служби, зосередження техніки та людей в одному місці створює критичну вразливість. [4,6].

На практиці це означає, що кожен бойовий підрозділ мусить мати запасні шляхи відходу, незалежну систему зв'язку та автономне джерело водопостачання. Успішне застосування тактики розосередження потребує координованих дій, які часто базуються на попередній розвідці та точному картографуванні місцевості.

Основні шляхи розосередження включають:

1. Тактичне зонування ділянки пожежі — територія навколо осередку пожежі умовно ділиться на кілька секторів, до кожного з яких призначається окрема бойова одиниця. Це дозволяє уникнути скупчення особового складу в одному напрямку та вести гасіння з різних боків, підвищуючи ефективність [3,5];

2. Ротаційний підхід до гасіння: гасіння організовується ротаційно — невеликими групами з чергуванням часу перебування в епіцентрі. Решта особового складу перебуває на безпечній відстані, готова до негайної заміни або евакуації. [2]. Цей метод дозволяє зберегти ресурсність особового складу та зменшити вплив диму, високої температури і психологічного тиску. Особливо актуально це в умовах тривалих боїв, коли пожежа триває кілька годин або навіть діб.

3. Дистанційне гасіння — застосування подовжених рукавних ліній, мобільних установок типу СПРУТ, дистанційних лафетних стволів або навіть пожежних роботів дозволяє гасити осередки без безпосередньої присутності людей в зоні ризику. [2,7]. У перспективі доцільним є впровадження систем автоматизованого пожежогасіння, які активуються за температурними або димовими сенсорами, що дозволить зменшити час реакції та виключити людський фактор.

4. Використання природного укриття та маскування. Вогневі розрахунки розміщуються з урахуванням рельєфу, інженерних споруд, природних укриттів. Також застосовується маскування техніки та засобів подачі води для уникнення виявлення. [6]. До засобів маскування можуть входити камуфляжні сітки, димові завіси, а також спеціальні теплові пастки, які відволікають ворожі системи наведення.

5. Розділення командного й тактичного управління. Командир пожежного підрозділу організовує управління не з місця події, а з укритого пункту управління, здійснюючи координацію через радіозв'язок або польові засоби передачі даних. [2]. Це зменшує ризик втрати управління у випадку ураження передових підрозділів. Також варто створювати дублюючі пункти управління, які при знищенні основного зможуть швидко взяти на себе командування.

6. Використання безпілотників для розвідки дозволяє оцінити масштаби пожежі, наявність боєприпасів або інших загроз без ризику для життя особового складу. [4].ьКрім візуальної розвідки, сучасні дрони можуть нести тепловізори, хімічні сенсори та навіть ретранслятори зв'язку, що особливо важливо в умовах порушеної інфраструктури.

7. Дублювання критичних ланок системи. Розміщення резервної техніки та засобів на відстані з окремими під'їздами дозволяє продовжити гасіння навіть у разі ураження частини підрозділу. [5,7]. Це також дає змогу забезпечити безперервність водопостачання та зв'язку. У деяких випадках резервні пункти забезпечення створюються на значній відстані від вогнища займання, що унеможливлює їх виявлення ворогом.

Реальні приклади таких дій спостерігалися під час гасіння пожеж на складах боєприпасів у Донецькій та Харківській областях, де лише завдяки розосередженню вдалось уникнути загибелі рятувальників. Крім того, при ударах по позиціях техніки, що зайнялась, розділення пожежних команд дозволяло одночасно вести гасіння і евакуацію, не переривaючи дії. [4,6].

У цих випадках велике значення мало завчасне планування розосередження, наявність карт ризику та чіткий розподіл обов'язків між групами. Досвід таких операцій вже лягає в основу нових інструкцій та навчальних програм для рятувальників, які діють в умовах бойових дій.

Також важливо враховувати морально-психологічну стійкість особового складу. Робота під обстрілами вимагає не лише фізичної витривалості, а й емоційної витримки, тому в підрозділах впроваджуються регулярні тренінги зі стрес-менеджменту, підтримки бойового духу та евакуації з "червоної зони".

У перспективі необхідно створити спеціальні мобільні команди швидкого реагування з підвищеною автономністю, які зможуть виконувати

пожежно-рятувальні операції в умовах активної фази бойових дій. До їх складу мають входити не лише рятувальники, а й інженери, медики, фахівці з розмінування.

Висновок

Тактика розосередження особового складу при гасінні пожеж в умовах бойових дій є важливою складовою сучасного бойового порядку військових пожежних підрозділів. Вона дозволяє: зменшити ризик одночасного знищення ключових сил і засобів; підвищити живучість та адаптивність підрозділу в умовах змінної бойової обстановки; зберегти оперативну ефективність навіть у випадку часткових втрат; забезпечити психологічну стійкість особового складу через прогнозовану, чітко сплановану тактику дій. [1,2].

В умовах гібридної війни, де ворог цілеспрямовано вражає служби забезпечення, застосування принципу розосередження повинно бути не лише тактичним заходом, а стандартною процедурою бойового розрахунку. Необхідно інтегрувати ці принципи в навчальні програми, бойові статути та регламенти дій військових пожежних частин [5], [7].

Список літератури

1. STANAG 2879 — NATO Doctrine for Fire Protection in Combat Operations.
2. Наказ Генерального штабу ЗСУ № 123/2023 «Про затвердження Тимчасового порядку дій пожежних підрозділів в зоні бойових дій».
3. ДСНС України. Методичні рекомендації з гасіння пожеж в умовах бойових дій. Київ, 2023.
4. Звіт Генерального штабу ЗСУ «Аналіз дій логістичних і пожежних підрозділів у ході бойових дій 2022–2023 років».
5. Матеріали Національного університету оборони України ім. І. Черняховського: Збірник наукових праць. Серія: Тактика військових підрозділів, 2023, №4.
6. Центр досліджень трофейної техніки ЗСУ. Аналітична довідка щодо ураження пожежних підрозділів в умовах обстрілів. 2023.
7. Міністерство оборони України. "Доктрина комплексного реагування в умовах асиметричної загрози", 2022.

УДК 623.6

А.І. Станецький, к.т.н.,
Р.Є. Романів, В.В. Ніщук,
(Кафедра військової підготовки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна)

Заходи розосередження запасів пально-мастильних матеріалів, технічних засобів та майна служби пального

У статті розглянуті заходи, які сприяють зменшенню вразливості центрів забезпечення пальним в системі логістичного забезпечення, забезпечуючи безперебійне постачання військ у умовах сучасних загроз

В ніч на 24 лютого 2022 року Україна зазнала широкомасштабної агресії російської федерації. Окупаційні війська одночасно завдали авіаційно-бомбових ударів, ракетних ударів з носіїв наземного, повітряного та морського базування а також розпочали сухопутне вторгнення майже по всій протяжності українсько-російського кордону, а також в окремих місцях з республіки білорусь.

З перших хвилин і протягом перших днів противником було завдано ракетних, авіаційних та артилерійських ударів по місцях базування наших військ, командних пунктах, аеродромах, транспортній інфраструктурі та місцях зберігання матеріально-технічних засобів. В тому числі ударів було завдано по складах та базах зберігання пального Командування Сил Логістики, військових складах пального, нафтобазах державного резерву, резервуарних парках з пальним комерційних структур та транспортних підприємств, нафтопереробних заводах, залізничних ешелонах з пальним. Під удар противника потрапили Центри забезпечення пальним (ЦЗП) в Харкові, Нікополі, Одесі, Білій Церкві та інших, склади пального авіаційних частин, Кременчуцький нафтопереробний завод та інші об’єкти цивільної та військової інфраструктури пов’язаної зі зберіганням запасів пального.

Таким чином ворог, у відповідності до класики воєнного мистецтва, прагнув знищити стратегічні запаси пального держави та Збройних Сил України. Тому збереження запасів пально-мастильних матеріалів (ПММ) є важливою задачею від виконання якої залежить можливість організації оборони та подальшого ведення бойових дій.

Максимальне збереження запасів ПММ досягається розосередженим зберіганням запасів пального, скритого та захищеного зберігання а також завчасним виведенням його з під удару противника.

Основними завданнями ЦЗП є планування та виконання заходів щодо забезпечення ПММ і технічними засобами служби пального (ТЗСП) військових частин, що знаходяться на їх забезпеченні, здійснення приймання, обліку, зберігання і видачі пально-мастильних матеріалів і технічних засобів служби пального, їх своєчасне поновлення (освіження)[2].

В умовах сучасного ведення інтенсивних бойових дій, питання стійкості системи логістичного забезпечення військ набуває першочергового значення.

Одним із ключових аспектів забезпечення безперебійного постачання є ефективне розосередження запасів ПММ, ТЗСП та іншого майна служби пального на ЦЗП та складах пального об'єднаних центрів забезпечення (ОЦЗ).

Висока концентрація значних обсягів матеріальних засобів на одному об'єкті робить його привабливою ціллю для противника, значно підвищуючи ризик одночасного виведення з ладу значної частини критично важливих ресурсів. Руйнування або вихід з ладу одного великого складу може призвести до порушення стабільності системи логістичного забезпечення на значній ділянці фронту або в цілому оперативному угрупованні. Значне зосередження запасів ускладнює їх оперативне переміщення та розподіл між частинами у випадку різкої зміни обстановки або виникнення невідкладних завдань з забезпечення військ ПММ та ТЗСП.

Розосередження запасів являє собою стратегічно важливий комплекс заходів, спрямованих на розподіл наявних ресурсів між різними об'єктами логістичної інфраструктури з метою мінімізації потенційних втрат від одночасного ураження, підвищення живучості системи забезпечення та забезпечення гнучкості у маневруванні запасами відповідно до потреб військ

Оскільки Україна була частиною Радянського Союзу, ворог володіє детальною інформацією про розташування великої кількості військових та стратегічних об'єктів, включаючи склади зберігання пально-мастильних матеріалів, ще з тих часів.

Географічна диверсифікація об'єктів зберігання значно ускладнює завдання противника щодо одночасного виведення з ладу значної кількості запасів.

Визначення оптимальної кількості та номенклатури запасів для кожного об'єкта зберігання здійснюється на основі аналізу потреб військ, прогнозування витрат ПММ та інших матеріальних засобів, оцінки пропускної здатності транспортних комунікацій та рівня загроз. Науково обґрунтоване визначення оптимальних рівнів запасів є ключовим для уникнення як надмірного накопичення, що підвищує ризики та витрати на зберігання, так і недостатнього забезпечення, що може призвести до зриву виконання бойових завдань.

Наявність заздалегідь розроблених та відпрацьованих планів евакуації та переміщення запасів на випадок надзвичайних ситуацій дозволяє оперативно реагувати на загрози та мінімізувати втрати матеріальних засобів.

Зміцнення обороноздатності Сил Оборони шляхом цифрової трансформації управління оборонними ресурсами дозволить будувати ефективні та прозорі процеси планування, виконання і аналізу. Наявність точної та своєчасної інформації про залишки ПММ, ТЗСП та майна служби пального на кожному об'єкті зберігання є необхідною умовою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо перерозподілу ресурсів та поповнення запасів.

Враховуючи досвід операційної діяльності ЦЗП в умовах сучасної війни, з метою уникнення, мінімізації втрат МТЗ на складах, вважаємо за доцільне вживати наступні заходи:

– заборонити зберігання ПММ у наземних резервуарах і тарі, в сховищах (будівлях) на технічній території складів пального;

– зберігання ПММ організовувати виключно у захищених (заглиблених) резервуарах. Для цього додатково обладнати групи горизонтальних резервуарів, переважно закуплених з народної економіки, у тому числі переобладнані котли залізничних цистерн. При облаштуванні нових груп передбачати питання їх максимального розосередження з урахуванням маскувальних властивостей місцевості;
– зберігання тарних нафтопродуктів у бочкотарі організовувати тільки в обладнаних (заглиблених) для укриття морських контейнерах (в два яруси) або капонірах. Крім того, максимально використовувати списані резервуари в якості заглиблених сховищ для тарних нафтопродуктів, технічних засобів та майна;
– виключати зберігання ТЗСП під навісами або на відкритій місцевості, на територіях складів пального, за межами облаштовувати капоніри для їх укриття;
– використовувати можливість зберігання ПММ та ТЗСП в інших військових частинах та підприємствах, у яких наявні заглиблені резервуари та укриття (за взаємодією з органами місцевого самоврядування).
– створювати хибні місця зберігання МТЗ з імітацією життєдіяльності, при цьому використовувати непридатні для використання резервуари, порожня тара, ін. Накопичувати автомобільні покришки, легкозаймисті суміші, димові засоби для імітації результатів вогневого ураження (знищення) хибних місць зберігання;
– постійно здійснювати додаткове інженерне обладнання місць зберігання МТЗ, усувати демаскуючі ознаки;
– передбачати можливість прокладання польового трубопроводу для видачі ПММ в автомобільний транспорт зі складів пального за межами відділів зберігання;
– проводити вантажно-розвантажувальних робіт з ПММ і ТЗСП у сприятливий час доби (погодні умови) з суворим дотримуванням заходів маскування. Злив ПММ з залізничних цистерн здійснювати переважно у темну пору доби, шляхом роз'єднання цистерн по 1-2 шт. на під'їзній колії на відстань не менше 50 м.;
– передбачати можливість використання запасних залізничних станцій з прийому-відвантаження вантажів на відстані 3-5 км. від складів пального;
– встановлювати часові показники отримання МТЗ з метою недопущення скупчення автомобільної техніки на підступах до складів пального та дотримання заходів маскування;
– обмежувати доступ посадових осіб до відомостей щодо переміщення, накопичення МТЗ (маршрутів руху, часових показників, номенклатури вантажів);
– організовувати взаємодію з управліннями військової контррозвідки Служби безпеки України щодо вжиття контррозвідувальних заходів з недопущення витоку інформації.

Висновки. Важливість розосередження та укриття запасів ПММ, ТЗСП та майна служби пального на ЦЗП та складах пального ОЦЗ є ключовим елементом живучості та стійкості системи забезпечення ПММ та ТЗСП в загальній системі логістичного забезпечення військ, мінімізації потенційних втрат, підвищення оперативності реагування на зміни обстановки та забезпечення безперебійного постачання необхідними матеріальними засобами для успішного виконання бойових завдань. Подальші наукові дослідження в цій галузі повинні бути спрямовані на розробку більш досконалих методів оптимізації розміщення запасів, впровадження новітніх інформаційних технологій та розробку ефективних стратегій управління ризиками в умовах ведення сучасних інтенсивних бойових дій.

Список літератури

1. Керівництво з організації роботи центрів забезпечення пальним, баз, складів пального, затверджене наказом Генерального штабу Збройних Сил України від 30.12.2016 року № 509.

2. Настанова центр (база, склад) забезпечення пальним, затверджена наказом Командування Сил логістики Збройних Сил України від 21.12.2020 року № 655.

3. Зберігання технічних засобів служби пального. Керівництво. Київ, Варта, 2000, 71с.

УДК: 355.4:355.7:621.436

О.М Сєченєв, К.А Супрун
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Збройні сили у сучасному світі: ПММ на війні та як забезпечується мобільність ЗСУ

У статті розглядається критична роль пально-мастильних матеріалів (ПММ) у забезпеченні мобільності сучасних збройних сил (ЗСУ). Детально описуються функції ПММ, організація їхнього забезпечення (планування, заготівля, транспортування, контроль), а також сучасні виклики та тенденції у цій сфері.

У сучасному світі, де війни набувають динамічного та високотехнологічного характеру, забезпечення мобільності збройних сил (ЗСУ) є критично важливим фактором для досягнення успіху на полі бою. Однією з ключових складових цієї мобільності є безперебійне постачання пально-мастильних матеріалів (ПММ). ПММ є "кров'ю війни", адже без них неможливе функціонування військової техніки – від танків та бронетранспортерів до автомобілів, літаків та кораблів.

Роль ПММ у забезпеченні мобільності ЗСУ

ПММ виконують ряд життєво важливих функцій для забезпечення мобільності ЗСУ:

Забезпечення руху техніки: Паливо є основним джерелом енергії для двигунів внутрішнього згоряння, які використовуються в більшості видів військової техніки. Без достатньої кількості палива техніка стає нерухомою та вразливою.

Змащення та охолодження механізмів: Мастильні матеріали зменшують тертя між рухомими частинами механізмів, запобігаючи їхньому зносу та перегріву. Охолоджуючі рідини підтримують оптимальну температуру двигунів та інших систем, забезпечуючи їхню надійну роботу.

Функціонування спеціальних систем: Різноманітні спеціальні рідини використовуються в гідравлічних системах, гальмівних системах, системах передачі тощо, забезпечуючи їхню ефективну роботу.

Таким чином, наявність якісних та в достатній кількості ПММ є запорукою оперативності, маневреності та боєздатності ЗСУ. Будь-які перебої в постачанні ПММ можуть призвести до паралізації військових операцій, втрати ініціативи та значних втрат техніки й особового складу.

Організація забезпечення ПММ у ЗСУ

Забезпечення ЗСУ ПММ є складним та багаторівневим процесом, який включає:

Планування та прогнозування потреб: На стратегічному та оперативному рівнях здійснюється постійний аналіз потреб у ПММ для різних

видів військ та операцій. Враховуються фактори, такі як кількість техніки, інтенсивність бойових дій, протяжність комунікацій, кліматичні умови тощо.

Заготівля та зберігання запасів: Створюються стратегічні, оперативні та тактичні запаси ПММ на спеціалізованих складах та пунктах зберігання. Важливим є розосередження цих запасів для мінімізації ризиків їхнього одночасного знищення.

Транспортування та розподіл: Доставка ПММ до військ у районах виконання завдань здійснюється різними видами транспорту:

Автомобільним транспортом: Бензовози різної вантажопідйомності є основним засобом доставки ПММ безпосередньо до підрозділів.

Залізничним транспортом: Використовується для перевезення великих обсягів ПММ на значні відстані.

Трубопровідним транспортом: У стратегічних масштабах можуть розгортатися польові магістральні трубопроводи для безперебійного постачання палива на великі відстані.

Авіаційним транспортом: Вертольоти та літаки можуть використовуватися для доставки ПММ у важкодоступні райони або в умовах швидкого маневру військ.

Контроль якості та облік: На всіх етапах постачання здійснюється суворий контроль якості ПММ та їхній облік. Це необхідно для запобігання втратам, зловживанням та забезпечення військ якісними матеріалами.

Технічне обслуговування засобів забезпечення ПММ: Спеціалізовані підрозділи займаються обслуговуванням та ремонтом бензовозів, насосних станцій, трубопроводів та іншого обладнання, необхідного для забезпечення ПММ.

Сучасні виклики та тенденції у забезпеченні ПММ

Сучасні війни характеризуються високою динамікою та непередбачуваністю, що ставить перед службами забезпечення ПММ нові виклики:

Висока інтенсивність споживання: Швидкі маневри великих мас техніки, використання високотехнологічних систем озброєння призводять до значного зростання споживання ПММ.

Загроза логістичним шляхам: Противник може активно намагатися перервати шляхи постачання ПММ, завдаючи ударів по складах, транспортних колонах та трубопроводах.

Необхідність швидкого реагування: Служби забезпечення повинні бути гнучкими та здатними оперативно реагувати на зміни обстановки, забезпечуючи ПММ війська у нових районах розгортання.

Вплив нових технологій: Розвиток безпілотних літальних апаратів, роботизованих систем та альтернативних джерел енергії може в майбутньому змінити підходи до забезпечення мобільності військ.

Для подолання цих викликів та підвищення ефективності системи забезпечення ПММ у ЗСУ впроваджуються сучасні технології та підходи:

Використання GPS та інших навігаційних систем: Для оптимізації маршрутів доставки та контролю за рухом транспортних засобів.

Створення мобільних пунктів заправки: Для забезпечення швидкого дозаправлення техніки в польових умовах.

Впровадження автоматизованих систем обліку та контролю: Для підвищення прозорості та ефективності управління запасами ПММ.

Диверсифікація джерел постачання: Для зменшення залежності від одного постачальника та забезпечення стабільності поставок.

Розвиток альтернативних видів палива та енергії: Дослідження та впровадження нових технологій, які можуть зменшити залежність від традиційних нафтопродуктів.

Висновок

Забезпечення мобільності ЗСУ є одним з найважливіших завдань військової логістики. Безперебійне постачання ПММ є критично важливим елементом цієї мобільності, що безпосередньо впливає на боєздатність та успіх військових операцій. У сучасному світі, з його динамічними та високотехнологічними війнами, ефективна система забезпечення ПММ вимагає постійного розвитку, впровадження новітніх технологій та гнучкого реагування на нові виклики. Якісне та своєчасне забезпечення військ "кров'ю війни" залишатиметься запорукою їхньої сили та маневреності на полі бою.

Список літератури

1. Міністерство оборони України. *Біла книга Збройних Сил України*. – Київ: МОУ, 2023.
2. Генеральний штаб ЗСУ. *Методичні рекомендації з логістичного забезпечення військ у зоні бойових дій*. – Київ, 2022.
3. Пархоменко О.О. *Логістичне забезпечення Збройних Сил України в умовах сучасної війни*. // Військово-науковий вісник. – 2023. – № 2(45). – С. 41–49.
4. Білан С. *Роль ПММ у забезпеченні мобільності військ: виклики та рішення*. // Аналітика оборони. – 2023. – № 1. – С. 21–26.
5. NATO Logistics Handbook. – NATO Standardization Office, 2021.
6. Institute for the Study of War (ISW). *Ukraine Conflict Update Reports*. – 2022–2024
7. Міністерство енергетики України. *Аналітика щодо постачання ПММ в умовах війни*. – Київ: 2023.
8. Defense Express. *Логістика в сучасній війні: досвід України*. 2024.
9. Український мілітарний портал. *Мобільність і логістика ЗСУ: сучасний стан і перспективи розвитку*, 2024.
10. Закон України «Про Збройні Сили України» (із змінами та доповненнями). – Відомості Верховної Ради України.

УДК 614.84:355.4

О.А. Стрепетова, молодший науковий співробітник, Д.В. Тищук, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Розробка заходів з підвищення пожежної безпеки в умовах російської агресії у військовій частині

У статті розглянуто актуальні проблеми пожежної безпеки у військових частинах в умовах збройної агресії російської федерації проти України. Визначено основні загрози та чинники ризику, а також запропоновано практичні заходи, спрямовані на підвищення рівня протипожежного захисту особового складу, об'єктів інфраструктури та матеріально-технічних засобів у бойовій обстановці.

Вступ

З початком широкомасштабної збройної агресії Російської Федерації проти України у 2022 році питання безпеки військових об'єктів набуло особливої актуальності. Військові частини стали об'єктами регулярних обстрілів, ударів безпілотників та диверсій. У цих умовах суттєво зросла кількість пожеж, спричинених не лише влучанням боєприпасів, а й порушенням правил зберігання пально-мастильних матеріалів (ПММ), боєприпасів, порушенням техніки безпеки при роботі з технікою, а також внаслідок недбалості особового складу.

Пожежі у військових частинах є надзвичайно небезпечними через наявність вибухонебезпечних об'єктів, скупчення техніки, озброєння, а також високої концентрації особового складу. Навіть незначне займання може призвести до катастрофічних наслідків — масової детонації боєприпасів, руйнування інфраструктури, втрат серед особового складу. У цих умовах виникає потреба в удосконаленні заходів протипожежної безпеки, з урахуванням специфіки військових дій, обмежених ресурсів та високого рівня ризиків.

Результати

Проведений аналіз свідчить, що традиційні заходи пожежної безпеки, які застосовуються у мирний час, не забезпечують належного рівня захисту в умовах воєнного конфлікту. Основними чинниками ризику у військових частинах є безпосередні бойові дії — ворожі обстріли, застосування запалювальних засобів, артилерії, дронів-камікадзе та ракет. Не менш важливими є внутрішні фактори — відсутність систем раннього виявлення загорянь, зношена або відсутня техніка гасіння, недотримання регламентів безпечного зберігання небезпечних речовин, низький рівень підготовки персоналу.

З метою підвищення рівня пожежної безпеки у військовій частині, доцільно впровадити такі заходи:

По-перше, необхідно провести повну інвентаризацію об'єктів підвищеної пожежної небезпеки: склади ПММ, боєприпасів, технічні парки, електрощитові тощо. Для кожного з таких об'єктів повинні бути розроблені індивідуальні протипожежні плани, що передбачають алгоритм дій при надзвичайній ситуації, евакуаційні маршрути, схеми подачі вогнегасних речовин.

По-друге, слід створити в кожній частині підрозділ внутрішнього пожежного реагування з числа особового складу, пройти навчання та регулярну підготовку. Цей підрозділ повинен мати у своєму розпорядженні первинні засоби пожежогасіння, термозахисне спорядження, радіозв'язок, пересувні ємності з водою або піноутворювачами.

По-третє, важливо забезпечити об'єкти військової інфраструктури системами раннього виявлення та локального гасіння пожеж. Це можуть бути переносні датчики диму, тепловізійні камери, автономні модулі виявлення температурних аномалій. Їх слід інтегрувати у систему бойового управління частини для оперативного реагування.

По-четверте, має бути посилено інженерне облаштування території частини: створення протипожежних розривів між об'єктами, обладнання бункерів і складів термостійкими матеріалами, захист електромереж та трансформаторів вогнестійкими бар'єрами. В умовах високої ймовірності влучань критично важливим є забезпечення розосередженого зберігання ПММ і боєприпасів.

Також слід налагодити систему регулярних інструктажів з пожежної безпеки, особливо для новоприбулих військовослужбовців. Моделювання пожежних ситуацій під час навчань дозволяє сформувати стійкі навички реагування. Ефективною є взаємодія з підрозділами ДСНС, які можуть долучатись до спільних тренувань.

У перспективі доцільно розробити мобільні пожежні установки, призначені спеціально для умов бойових дій — легкі, захищені від осколків, здатні діяти автономно. Окремо варто розглянути застосування безпілотних літальних апаратів (дронів) для моніторингу стану території та оперативного виявлення загорянь. Така система дозволить отримувати інформацію у реальному часі без залучення особового складу в небезпечні зони.

Висновки

Забезпечення пожежної безпеки у військовій частині під час воєнних дій вимагає принципово нового підходу до організації протипожежного захисту. Необхідно враховувати специфіку загроз, обмеженість ресурсів, бойову обстановку та високий ризик втрат. Запропоновані заходи — інвентаризація об'єктів, створення внутрішніх пожежних підрозділів, застосування новітніх засобів виявлення пожеж, інженерне облаштування території та регулярне навчання особового складу — здатні суттєво підвищити рівень безпеки. У довгостроковій перспективі інтеграція інноваційних рішень, зокрема мобільних пожежних модулів, дронів-розвідників, автоматизованих систем пожежогасіння та цифрових карт ризиків, дозволить зробити систему протипожежного захисту більш гнучкою, ефективною та боєздатною. Окрім

технічних рішень, критично важливим є формування стійкої культури безпеки у військовому середовищі, коли кожен військовослужбовець усвідомлює свою роль у запобіганні пожежам. Таким чином, протипожежна безпека в умовах війни — це не лише технічне, а й стратегічне питання, що безпосередньо впливає на обороноздатність, збереження бойових ресурсів і життя військовослужбовців. Впровадження сучасних заходів і підходів повинно стати невід'ємною частиною системи підготовки та життєдіяльності військових частин.

Список літератури

1. ДСНС України. Дії підрозділів у воєнний час. URL: https://dsns.gov.ua/upload/1/9/2/4/3/5/9/diyi-dsns-objednana-kniga-compressed.pdf
2. Про затвердження Положення про пожежну безпеку в системі Міністерства оборони України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z1537-14
3. Безпека і здоров'я на військовій службі в умовах бойових дій. МОП. URL: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@europe/@ro

УДК 614.84:621.89:623

О.А. Стрепетова, молодший науковий співробітник, Д.В. Тищук, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Впровадження переобладнаного Mercedes-Benz Sprinter у війська для підвищення ефективності пожежогасіння та обгрунтування його доцільності

У статті розглянуто питання покращення мобільності та ефективності пожежно-рятувальних підрозділів військових частин за рахунок використання спеціалізованого пожежного автомобіля на базі Mercedes-Benz Sprinter. Запропоновано концепцію переобладнання даного транспортного засобу у пожежну установку з можливістю реагування на займання в умовах розосередження частин.

Вступ

Проблема пожежної безпеки у військах залишається надзвичайно актуальною, особливо з огляду на зростання кількості надзвичайних ситуацій у зоні розосереджених частин, наметових містечках та на військових базах. Традиційні пожежні підрозділи мають обмежені можливості щодо швидкого реагування через відстані між підрозділами в умовах розосередження, відсутність сучасної техніки та логістичні труднощі. У багатьох випадках локальні пожежі можуть призводити до значних втрат матеріальних ресурсів і створювати загрозу життю особового складу, якщо не будуть ліквідовані в перші хвилини. У зв'язку з цим актуальним є питання створення мобільних пожежних засобів, здатних оперативно прибувати на місце загоряння та виконувати завдання автономно. Одним з ефективних рішень може стати переобладнання серійного автомобіля Mercedes-Benz Sprinter у багатофункціональний пожежний комплекс, що поєднує маневреність, потужність та технологічність.

Результати

Проведений аналіз свідчить, що Mercedes-Benz Sprinter (рис. 1) має низку характеристик, які роблять його придатним для трансформації у пожежний автомобіль. Зокрема, до переваг можна віднести місткість, можливість модульного обладнання, достатню прохідність, простоту обслуговування, а також наявність великої кількості готових технічних рішень для інтеграції спеціалізованих систем. У процесі переобладнання пропонується встановити водяний бак об'ємом 1000 літрів, насос високого тиску або мотопомпу, комплект стволів для подачі води або піни, а також систему освітлення та засоби зв'язку. Комплектація може бути доповнена системами виявлення джерел займання за допомогою тепловізійних датчиків. Основною перевагою такого комплексу є здатність швидко діяти на початковій стадії пожежі, коли звичайна техніка ще не встигла прибути або не має змоги дістатися до місця загоряння. Крім того, Sprinter може бути використаний для

патрулювання технічної території, супроводу конвоїв або забезпечення безпеки під час зберігання вибухонебезпечних речовин. Важливим аспектом є й економічна доцільність.



Рис. 1. Mercedes-Benz Sprinter

Порівняно з класичними пожежними автомобілями, вартість виготовлення мобільного комплексу на базі Mercedes-Benz Sprinter є значно нижчою. Витрати на обслуговування та заправку також менші, що дозволяє використовувати такі машини у більших кількостях без надмірного фінансового навантаження. Однак, впровадження вимагає вирішення низки технічних завдань. Необхідно адаптувати шасі до підвищеного навантаження, забезпечити термозахист основних вузлів, інтегрувати систему пожежогасіння так, щоб вона не перешкоджала маневруванню машини. Також важливо організувати навчання особового складу, що працюватиме з цією технікою. За відповідного підходу такі системи можуть бути використані не лише у військах, а й у підрозділах ДСНС, у зонах, де потрібна мобільність та швидкість.

Висновки

Використання модифікованого Mercedes-Benz Sprinter як мобільного пожежного комплексу у військових підрозділах є доцільним і відповідає сучасним вимогам до ефективного реагування на пожежі. Такий підхід дозволяє поєднати мобільність, швидкодію та функціональність в одному рішенні. Вартість впровадження виправдовується з огляду на потенційні втрати від пожеж у військовій сфері. Окрім цього, переобладнаний Sprinter здатен виконувати не лише функцію пожежогасіння, а й може використовуватись як інженерна машина підтримки, оперативна одиниця для евакуації техніки або людей із зони загоряння, платформа для доставки спеціального обладнання. Успішне застосування цієї концепції можливе за умови дотримання технічних стандартів, розробки відповідної нормативної документації та належної

підготовки персоналу. Застосування Mercedes-Benz Sprinter у такому форматі дозволяє підвищити оперативність дій, зменшити навантаження на основні сили та створити більш гнучку структуру пожежного забезпечення. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення конструктивних рішень, створення спеціальних модулів та автоматизованих систем пожежогасіння, адаптованих під бойові умови, а також на розробку програмного забезпечення для дистанційного моніторингу пожежної ситуації в зоні відповідальності. Такий комплексний підхід дозволить не лише запобігти масштабним надзвичайним ситуаціям, а й створить базу для формування сучасної доктрини пожежної безпеки у військових формуваннях.

Список літератури

1. Масліков, М. М. Кріогенна техніка і технологія : навч. посіб. / М. М. Масліков. — К.: НУХТ, 2010. — 194 с.;
2. С. В. Ігнатенко. Системи пожежогасіння військових об’єктів: проблеми і перспективи. — Вісник оборонних технологій, 2022, №2;
3. Офіційний сайт Mercedes-Benz Sprinter: Технічні характеристики. URL: https://www.mercedes-benz.ua;
4. Пожежна техніка для збройних сил: аналітика / Центр безпеки і оборони. — 2021.
5. Сучасні рішення у сфері мобільного пожежогасіння. — Журнал «Цивільний захист», 2023.

УДК 697.12:692.5

М.О. Ярмольчик ННДЛ., др. філософії (PhD), С.І. Юрченко,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Модернізація системи навчання та підвищення кваліфікації особового складу пожежно-рятувальних підрозділів

У даній роботі досліджуються напрями модернізації системи підготовки та підвищення кваліфікації пожежно-рятувального персоналу в умовах сучасних викликів. Розглядаються актуальні проблеми застарілих навчальних методик, недостатнього впровадження інноваційних технологій та потреби у постійному професійному розвитку фахівців. Висвітлено шляхи інтеграції новітніх освітніх технологій, зокрема симуляційних навчань, дистанційної освіти та компетентнісного підходу у формуванні фахових навичок. Наголошено на важливості створення гнучкої та адаптивної системи підготовки, здатної реагувати на зміни оперативного середовища та технологічного розвитку галузі

Матеріали і методи

Модернізація системи навчання та підвищення кваліфікації особового складу пожежно-рятувальних підрозділів включає використання інтерактивних методів, таких як віртуальна реальність і симуляції для тренувань у безпечних умовах.

Застосування моделювання реальних надзвичайних ситуацій та мультимедійних ресурсів, як відеоуроки та онлайн-курси, допомагає підвищити ефективність навчання.

Окрім того, важливо створювати індивідуальні програми підвищення кваліфікації, що враховують специфіку завдань кожного підрозділу. Для цього використовуються оновлені методичні матеріали та тренувальні платформи.

Результати

Модернізація системи навчання та підвищення кваліфікації особового складу пожежно-рятувальних підрозділів призводить до значних покращень в ефективності їх роботи та безпеці. Впровадження новітніх технологій, таких як віртуальна реальність (VR) та симулятори, дає змогу створювати реалістичні тренувальні умови, де рятувальники можуть практикувати свої навички без реальних загроз. Це дозволяє знижувати ризики травм або помилок під час справжніх операцій.

Моделювання реальних надзвичайних ситуацій в тренувальних центрах дозволяє підрозділам набувати практичного досвіду у вирішенні різних кризових ситуацій, що є важливим для швидкого й ефективного реагування під час реальних викликів. Використання мультимедійних ресурсів, таких як онлайн-курси та відеоуроки, забезпечує доступ до теоретичних знань та нових методик без необхідності присутності на традиційних заняттях. Це особливо корисно для постійного вдосконалення навичок у зручний час, не відриваючи від виконання оперативних завдань.

Індивідуалізація навчальних програм дозволяє максимально врахувати потреби конкретних підрозділів, що робить їх підготовку більш ефективною. Це дає змогу спеціалізувати навчання за різними напрямками, такими як ліквідація пожеж, надання першої допомоги, рятування з води або з висоти, в залежності від завдань, які стоять перед кожним підрозділом.

Результатом таких змін є підвищення професійного рівня рятувальників, поліпшення їх здатності до прийняття швидких рішень в критичних ситуаціях, що зменшує кількість помилок під час реальних операцій. Крім того, більш ефективна підготовка сприяє зниженню травматизму серед особового складу та підвищенню безпеки на місці пожеж або інших надзвичайних ситуацій. Оновлені методичні матеріали та постійне вдосконалення тренувальних програм дозволяють рятувальникам бути готовими до будь-яких викликів, що виникають у їхній професійній діяльності.

Особливе місце у процесі модернізації системи навчання та підвищення кваліфікації особового складу пожежно-рятувальних підрозділів займає запровадження нових стандартів безпеки та тактичної підготовки відповідно до сучасних викликів. З огляду на загрози, які виникають у зв'язку зі зростанням кількості техногенних катастроф, хімічних та біологічних небезпек, дедалі більшої актуальності набувають спеціалізовані навчальні курси з ліквідації аварій, що пов'язані з вибухонебезпечними речовинами, токсичними викидами та наслідками стихійних лих.

В рамках удосконалення навчального процесу впроваджено інтерактивні методики підготовки, серед яких моделювання надзвичайних ситуацій, командно-штабні навчання, віртуальні тренажери. Це дозволяє формувати в рятувальників уміння швидко орієнтуватися в складній оперативній обстановці, оперативно приймати рішення та ефективно діяти в екстремальних умовах. Окрім цього, такі навчання сприяють розвитку командної взаємодії, що є запорукою успішного виконання завдань у реальних умовах.

Суттєво оновлено підходи до відбору та підготовки молодих фахівців, які лише розпочинають службу в пожежно-рятувальних підрозділах. Значна увага приділяється первинній підготовці, де майбутні рятувальники проходять курс основ пожежогасіння, аварійно-рятувальних робіт, основ безпеки життєдіяльності, медичної допомоги. Паралельно з цим вони ознайомлюються з сучасними засобами захисту, аварійно-рятувальним обладнанням та спеціальною технікою.

У межах реформи системи підвищення кваліфікації передбачено обов'язкове проходження рятувальниками щорічних навчально-тренувальних зборів, під час яких перевіряється їхня готовність до дій за призначенням. Такі збори включають не лише практичні вправи та тактичні заняття, а й обов'язкові курси з нових правил пожежної безпеки, оновлених стандартів гасіння пожеж та рятування людей.

Ще одним важливим напрямом є інтеграція інформаційних технологій у роботу пожежно-рятувальних підрозділів. Створюються електронні системи оперативного управління, бази даних про об'єкти підвищеної небезпеки, автоматизовані системи моніторингу надзвичайних подій. Для підготовки

особового складу до роботи з цими ресурсами організовуються спеціальні тренінги та навчальні курси.

Таким чином, сучасна система підготовки рятувальників — це багатофункціональна структура, яка забезпечує не лише навчання та перевірку знань, а й формування лідерських якостей, здатності діяти в умовах невизначеності та підвищеної загрози. Усі ці заходи спрямовані на забезпечення високого професійного рівня особового складу та ефективного виконання завдань із захисту населення та територій.

Однією з ключових складових модернізації стало впровадження спеціальних навчальних програм з реагування на надзвичайні ситуації воєнного характеру. У зв'язку з актуальними подіями та загрозами для цивільного населення, рятувальники повинні бути готовими до ліквідації наслідків обстрілів, руйнувань будівель, масових пожеж, евакуації населення та надання першої медичної допомоги в умовах бойових дій. Відповідно до цих потреб розроблено спеціалізовані курси з тактичної медицини, роботи зі зруйнованими конструкціями та пошуково-рятувальних робіт у зонах підвищеної небезпеки.

Також значно розширено напрям роботи з формування культури безпеки серед населення. Особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів бере участь у просвітницьких заходах, лекціях, відкритих тренуваннях та навчальних евакуаціях у школах, закладах охорони здоров'я, на підприємствах та в громадських місцях. Ця діяльність допомагає не лише підвищити обізнаність громадян про правила поведінки в надзвичайних ситуаціях, а й налагодити ефективну взаємодію між населенням та службами порятунку.

Ще одним важливим аспектом стало посилення міжнародної співпраці в сфері професійної підготовки. Українські рятувальники активно беруть участь у спільних міжнародних навчаннях, програмах обміну та проєктах підвищення кваліфікації, які організовуються за підтримки Європейського Союзу, НАТО та гуманітарних організацій. Це дозволяє впроваджувати в практику роботи українських підрозділів передові методики та технології, а також забезпечувати їхню сумісність із міжнародними стандартами реагування.

Окрім технічного та тактичного навчання, вагоме місце займає підготовка рятувальників до роботи з постраждалими, які перебувають у стресовому чи шоковому стані. В рамках оновлених програм проводяться заняття з кризової психології, де особовий склад вчиться правильно надавати психологічну допомогу потерпілим, підтримувати їх моральний стан та забезпечувати психологічну стійкість власної команди під час виконання завдань у надзвичайно напружених умовах.

Висновок

У результаті модернізації системи навчання та підвищення кваліфікації особового складу пожежно-рятувальних підрозділів досягається значне покращення рівня підготовки, оперативності та безпеки під час виконання завдань. Впровадження сучасних технологій, інтерактивних методів навчання та індивідуалізованих програм дозволяє рятувальникам бути краще підготовленими до реальних надзвичайних ситуацій. Це сприяє підвищенню

ефективності їх роботи, зменшенню помилок та травм, а також покращенню загальної безпеки як для рятувальників, так і для цивільного населення. Врахування специфіки кожного підрозділу та постійне оновлення навчальних матеріалів забезпечують високий рівень кваліфікації та готовності до будь-яких викликів.

Список літератури

1. Р.В. Пархоменко, Д.О. Чалий, Д.П. Войтович Пожежна тактика.
2. Курс лекцій. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. – 368 с.

УДК 697.12:692.5

М.О. Ярмольчик, др. філософії (PhD), С.І. Юрченко,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Розробка та удосконалення засобів навчання і підготовки особового складу пожежної безпеки (пожежно-рятувальних підрозділів)

У статті розглядаються сучасні підходи до розробки та вдосконалення засобів навчання і підготовки особового складу пожежно-рятувальних підрозділів. Акцент зроблено на необхідності адаптації освітніх технологій до реальних умов роботи рятувальників, впровадженні інтерактивних тренажерів, віртуальної реальності та автоматизованих систем оцінювання. Аналізуються ефективні методики підвищення професійної підготовки, формування стійких навичок реагування в екстремальних ситуаціях, а також розвиток психофізіологічної витривалості. Особлива увага приділена інтеграції новітніх інформаційних технологій у навчальний процес та постійному вдосконаленню навчальних програм відповідно до змін нормативної бази та вимог безпеки.

Матеріали і методи

Під час проведення дослідження використані загальнонаукові методи:

1.Проведення занять з підрозділами. Виїзди на пожежні тривоги та проведення теоретичних занять.

2.Вивчення реальних ситуацій щодо пожеж різних видів та аналіз успішних дій при пожежі

Ці методи допомагають збільшити повноту та об'єктивність дослідження з покращення гасіння пожеж в умовах застосування противником безпілотних літальних апаратів.

Приготування і розливання запалювальних сумішей здійснюються на спеціально призначених та обладнаних майданчиках, забезпечених засобами пожежогасіння.

Результат

Розробка та удосконалення засобів навчання і підготовки особового складу пожежної безпеки, зокрема пожежно-рятувальних підрозділів, є ключовим аспектом забезпечення ефективності їхньої роботи. В сучасних умовах, коли пожежі та надзвичайні ситуації стають дедалі складнішими, виникає необхідність у впровадженні інноваційних методів навчання, які відповідають реальним викликам, що постають перед рятувальниками.

Підготовка особового складу повинна базуватися на передових технологіях, що дозволяють імітувати реальні умови надзвичайних ситуацій. Використання віртуальних тренажерів, симуляторів, інтерактивних навчальних платформ і реалістичних полігонів дозволяє не лише покращити рівень знань та навичок, а й забезпечити безпечне відпрацювання дій у критичних ситуаціях. Впровадження цифрових технологій, таких як доповнена реальність та спеціалізовані програмні комплекси, сприяє більш глибокому засвоєнню матеріалу та швидкому реагуванню на різні сценарії розвитку подій.

Окрім технологічних аспектів, важливим є вдосконалення методології навчання. Системний підхід, що включає практичні заняття, психологічну підготовку, аналіз реальних випадків та відпрацювання дій у складі команд, підвищує боєздатність підрозділів. Особлива увага приділяється роботі в екстремальних умовах, розвитку фізичної витривалості та навичок координації.

Розробка навчальних матеріалів, що враховують сучасні ризики, технологічні новації та міжнародний досвід, є невід'ємною частиною вдосконалення системи підготовки. Постійна адаптація програм навчання до нових загроз і змін у тактиці пожежогасіння дозволяє підтримувати високий рівень професійної компетентності рятувальників.

Таким чином, інноваційний підхід до розробки та вдосконалення засобів навчання сприяє не лише підвищенню ефективності дій особового складу, а й загалом покращує рівень пожежної безпеки. Це важливий крок на шляху до створення сучасної, технологічно оснащеної та підготовленої системи реагування на надзвичайні ситуації.

Особливого значення у процесі підготовки пожежно-рятувальних підрозділів набуває удосконалення системи оцінювання професійних знань і навичок. Для цього запроваджено систему тестування та практичних заліків, які дозволяють об'єктивно визначити рівень підготовки рятувальників. Результати таких перевірок враховуються під час прийняття рішень щодо атестації, присвоєння кваліфікаційних категорій та подальшого професійного зростання особового складу.

Важливою складовою сучасного навчального процесу стало запровадження міжвідомчих навчань та тренувань. У межах таких заходів рятувальники взаємодіють із представниками поліції, медичних служб, військових підрозділів та органів місцевого самоврядування. Це дозволяє виробляти єдиний алгоритм дій при ліквідації складних надзвичайних ситуацій, підвищує рівень взаєморозуміння між службами та забезпечує ефективність спільних операцій.

Не менш важливим напрямом є удосконалення матеріально-технічного забезпечення навчального процесу. Заклади, які здійснюють підготовку пожежно-рятувального персоналу, отримують сучасні тренувальні комплекси, аварійно-рятувальне обладнання, сучасні засоби захисту органів дихання та зору, а також пожежно-технічне озброєння. Це дозволяє рятувальникам не лише теоретично вивчати будову та принципи роботи техніки, а й набувати практичних навичок роботи з нею.

Окрему увагу приділено формуванню психологічної стійкості особового складу. В рамках підготовки проводяться заняття з кризової психології, навчання методам подолання стресу та управління емоціями в умовах екстремальних ситуацій. Рятувальники вчаться підтримувати моральний стан як потерпілих, так і членів своєї команди. Такий підхід значно підвищує ефективність виконання завдань у надзвичайно небезпечних умовах та знижує ризики професійного вигорання.

Таким чином, сучасна система навчання особового складу пожежно-рятувальних підрозділів охоплює як технічні, так і психологічні, тактичні та інформаційні компоненти. Вона постійно вдосконалюється, відповідаючи

вимогам часу та особливостям оперативної обстановки, що дозволяє ефективно забезпечувати безпеку населення та територій.

Важливим етапом удосконалення системи підготовки стало впровадження спеціалізованих навчальних програм для керівного складу пожежно-рятувальних підрозділів. Керівники несуть особливу відповідальність за організацію робіт, прийняття оперативних рішень та координацію дій особового складу під час ліквідації надзвичайних ситуацій. Тому для них розроблено окремі курси з тактики управління силами та засобами, кризового менеджменту, організації евакуації та надання першої допомоги постраждалим. Такі навчання передбачають як теоретичну, так і практичну частину, включаючи моделювання кризових сценаріїв.

Крім того, суттєво оновлюються програми навчання з урахуванням сучасних викликів, зокрема ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій воєнного характеру. Особовий склад проходить додаткову підготовку з виявлення та знешкодження вибухонебезпечних предметів, організації укриттів для населення, проведення рятувальних робіт у зонах, що зазнали обстрілів або руйнувань. Важливе місце посідає відпрацювання алгоритмів дій у випадку хімічної або радіаційної загрози.

Ще одним актуальним напрямом є навчання рятувальників роботі з безпілотними літальними апаратами та дистанційними засобами моніторингу. Ці технології активно впроваджуються для виявлення осередків пожежі, обстеження важкодоступних територій, моніторингу наслідків надзвичайних ситуацій. У рамках підготовки особовий склад опановує навички керування сучасними дронами, обробки відео та фото-даних для оперативного прийняття рішень. Це дозволяє значно підвищити ефективність дій пожежно-рятувальних підрозділів у складних умовах.

Висновок

Отже, розробка та удосконалення засобів навчання особового складу пожежно-рятувальних підрозділів є необхідною умовою підвищення ефективності їхньої роботи. Використання сучасних технологій, вдосконалення методології підготовки та адаптація навчальних програм до реальних викликів сприяють зміцненню професійних навичок рятувальників. Інноваційний підхід у навчанні не лише підвищує рівень пожежної безпеки, а й забезпечує оперативне та професійне реагування на надзвичайні ситуації.

Список літератури

1. Наказ Міністерства Оборони України Про затвердження Правил забезпечення пожежної безпеки в системі Міністерства оборони України 02.04.2019. №143: зареєстровано в Міністерстві юстиції України 11 липня 2019р. за №764/33735. С.135-136

УДК 355.23:159.923.2-057.875

І.В. Мороз, Б.В. Швець
(Державний університет «Київський авіаційний інститут», України)

Формування лідерських якостей майбутніх офіцерів

У статті розкривається сутність лідерства офіцера як важливого елементу не лише формального, а й неформального управління у військовому підрозділі. Наголошено на відмінності між лідерськими якостями та керівними здібностями, а також підкреслено значення особистого авторитету, професіоналізму та міжособистісних навичок у формуванні справжнього лідера. На основі ідей К. Бланшара визначено три ключові навички, необхідні для ефективного лідерства: діагностика, гнучкість і партнерство. Окрему увагу приділено п'яти джерелам влади, якими має володіти майбутній офіцер Національної гвардії України. Матеріал є корисним для вдосконалення системи підготовки військових керівників та розвитку їхнього лідерського потенціалу.

Лідерство – це явище, що виникає в процесі розвитку соціальної групи, яке відображає неформальні взаємини, взаємодії, систему домінування і підпорядкування між її членами. Воно є результатом складної дії багатьох чинників і життєвих ситуацій, що впливають на міжособистісні стосунки в колективі. Лідерство офіцера — це професійно важлива якість, яка проявляється комплексно: у поведінці, спілкуванні та виконанні службових обов'язків, як у формальних, так і в неформальних взаєминах між військовослужбовцями. Офіцер набуває статусу лідера лише тоді, коли має чітке бачення мети, глибоко розуміє завдання, вміє визначити шляхи їх досягнення та реалізовує їх на рівні, що перевищує дії інших у підрозділі.

Мати лідерські риси ще не означає бути ефективним керівником, так само як бути хорошим керівником не гарантує наявності лідерського впливу. Наявність лідерських якостей не є автоматичним підтвердженням лідерського статусу. У словниках зазначається, що лідер (від англійського *leader* – той, хто веде) — це людина, яка має найбільший авторитет і вплив у колективі, займаючи провідну позицію серед інших.

Щоб краще зрозуміти сучасну суть феномена «лідерства», варто звернутися до концепції американського вченого Кена Бланшара, який виділяє три ключові навички, необхідні для ефективного лідера: вміння діагностувати рівень розвитку підлеглих, бути гнучким у взаємодії з ними та будувати партнерські відносини. Ці навички можуть бути поступово сформовані в майбутнього військового керівника шляхом постійної практики.

Перша з них — це діагностика, тобто здатність аналізувати ступінь сформованості компетентності й зацікавленості підлеглих. Під компетентністю мається на увазі сукупність знань і практичних навичок, які майбутній офіцер застосовує для досягнення цілей або вирішення поставлених завдань. Найкращий спосіб оцінити компетентність підлеглого — проаналізувати результати його діяльності. При цьому важливо звертати увагу на такі аспекти, як вміння планувати, організовувати роботу, знаходити ефективні рішення, комунікувати, а також здатність досягати поставлених цілей точно і в задані

строки. Компетентність формується в процесі навчання, професійної діяльності та набуття досвіду, а також може вдосконалюватися за підтримки командира чи наставника.

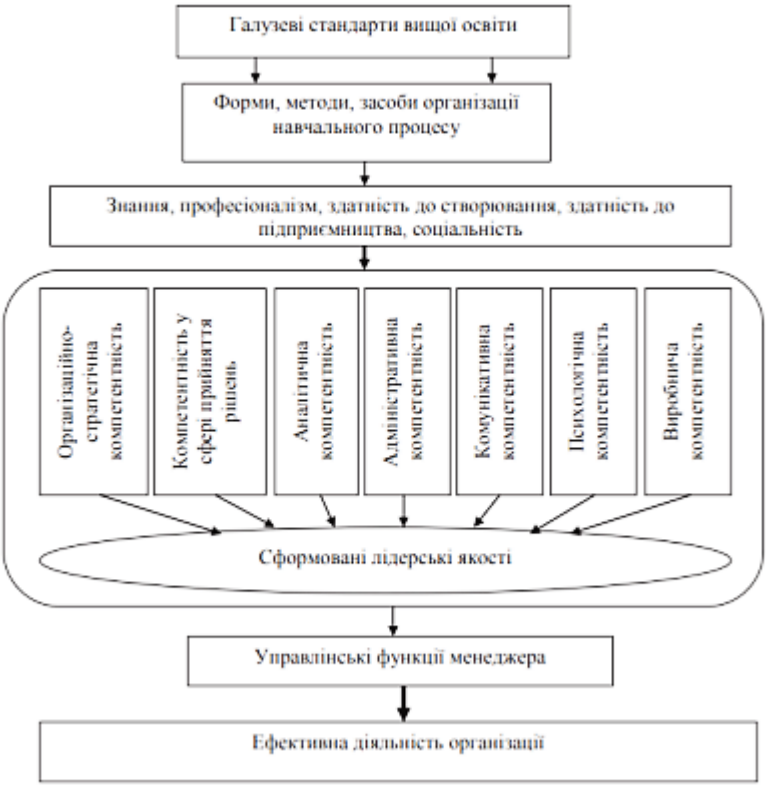


Рис.1 Модель взаємозалежності ефективної діяльності організації від сформованих основних компетентностей та лідерських якостей майбутніх менеджерів

Другою важливою навичкою лідера є гнучкість — вона проявляється тоді, коли військовий керівник здатен без труднощів застосовувати різні стилі лідерства залежно від ситуації. Це свідчить про високий рівень володіння цією навичкою. У процесі професійного становлення майбутній офіцер, адаптуючись до змін у розвитку підлеглих, повинен змінювати і власний стиль керівництва. Для досягнення максимальної ефективності необхідно вміти застосовувати всі чотири стилі лідерства.

Партнерство — це третя ключова навичка, яка відкриває можливості для поглибленого й якісного спілкування між командиром і підлеглими. Воно сприяє кращому порозумінню, зростанню довіри та зміцненню командної взаємодії.

Подальшим кроком у розвитку лідерських якостей у майбутніх офіцерів Національної гвардії України є формування готовності до керівництва військовим підрозділом як єдиною командою. Керування командою складніше, ніж окремими індивідами, оскільки воно вимагає не лише професіоналізму, а й високого рівня довіри до колективу та його спільної роботи.

Майбутній офіцер повинен також навчитися розрізняти п’ять основних джерел влади, а саме:

- Влада положення (посади) — найбільш загальновизнаний тип, що базується на займаній посаді та пов’язаний з можливістю віддавати накази чи розпоряджатися ресурсами;
- Особиста влада — формується на основі індивідуальних якостей: харизми, впевненості, натхнення, мудрості, а також навичок ефективної комунікації та вміння впливати на інших. Якщо підлеглі прагнуть бути поруч із таким керівником — це свідчить про його особисту владу;
- Влада завдання — пов’язана з конкретними обов’язками, які виконує керівник, його правом підтримувати чи припиняти виконання тих чи інших завдань;
- Влада знання — виникає завдяки наявності в офіцера спеціальних знань, досвіду, професійної підготовки, академічних звань або кваліфікацій;
- Влада відносин — базується на налагоджених стосунках із колегами, атмосфері взаємоповаги, підтримки й довіри, що особливо ефективно, коли поєднується з іншими видами влади.

Щоб стати справжнім лідером і результативним військовим керівником, майбутній офіцер повинен опанувати мистецтво формування партнерських відносин, що забезпечить ефективну комунікацію з підлеглими та сприятиме високим результатам у спільній діяльності.

Висновок: Лідерство офіцера у складі військового підрозділу є ключовим елементом успішного управління, яке значно перевищує рамки формальних обов’язків. Справжній лідер у війську — це не просто особа, яка займає керівну посаду, а той, хто завдяки особистому авторитету, професійним знанням і розвиненим комунікативним навичкам здатен впливати на колектив. Підготовка майбутніх офіцерів Національної гвардії України до лідерства включає засвоєння трьох основних умінь: здатності до діагностики підлеглих, гнучкого застосування лідерських стилів і налагодження партнерських взаємин. Крім того, ефективне керівництво передбачає вміння використовувати п’ять джерел влади: посадову, особистісну, пов’язану з виконанням завдань, знаннями та міжособистісними зв’язками. Лише гармонійне поєднання цих чинників дає змогу офіцеру досягати результативності, підтримувати

ефективну взаємодію з особовим складом і забезпечувати злагоджену роботу підрозділу в реаліях військової служби.

Список літератури

1. Бланшар К. Лидерство: к вершинам успеха / К. Бланшар. – СПб.: Питер. – 2008. – С. 368
2. **https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/a7f11e5c-b9cf-4457-9f3b-e839f2692ed5/content**
3. Бойко О.В. Педагогічні умови впровадження у навчально-виховний процес вищих військових закладів освіти методики формування лідерської компетентності майбутніх офіцерів. Вісник Житомирського державного університету імені Івана Франка. Педагогічні науки. 2018. Вип. 4. С. 32–40.
4. Видай А. Ю. Формування лідерської спрямованості особистості майбутнього офіцера ЗС України / А. Ю. Видай // дис. ... канд. психол. наук:19.00.05. – Київ. – 2002. – С. 196
5. **http://pedagogy-journal.kpu.zp.ua/archive/2021/77/part_1/7.pdf**

УДК 355:316.46.(043.2)

О.О. Кулибаба, І.В. Мороз
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Поняття феномену військового лідерства

Досліджено феномен військового лідерства як поліаспектне соціально-психологічне явище, що охоплює особистісні якості, вплив на групові процеси та здатність до ефективного прийняття рішень в умовах невизначеності. Проаналізовано характеристики справжнього командира-лідера та визначено ключові моральні якості, необхідні для досягнення успіху у військовій сфері.

У сучасних умовах соціально-економічних трансформацій в Україні набуває особливої ваги питання формування соціально активної особистості. Сучасна молодь виявляє одну з основних властивостей, демонструючи лідерські якості, що спрямована активність, здатність змінювати навколишню дійсність і саморозвиватися. У цьому сенсі лідерство розглядається як головний аспект суспільства, в якому індивід має можливість збирати однодумців для досягнення суспільно важливих цілей.

Історичний досвід свідчить про зростання ролі молоді в лідерських процесах. Їхній інноваційний потенціал вкрай необхідний у період глобалізації, незалежно від трансформації політичних та економічних систем, їхніх функцій та зв'язків. Суспільству потрібні непересічні особистості, які мають бажання розвивати організаторські здібності, внутрішню мотивацію до активної участі в суспільному житті, а також готовність до тривалої інтелектуальної, емоційної, вольової та фізичної праці для досягнення мети; такі люди також повинні мати здатність створювати нестандартні ідеї та надихати інших людей на спільні дії.

Лідерство виступає універсальним соціальним феноменом, притаманним усім сферам суспільного життя. Воно проявляється на різних рівнях організаційної структури — у великих та малих підприємствах, релігійних об'єднаннях, бізнес-середовищі, навчальних закладах, неформальних групах і під час масових соціальних подій. Наявність лідерських фігур та їхніх послідовників є необхідною умовою функціонування будь-якої соціальної системи, що потребує координації, управління або впливу.

Попри значну кількість досліджень (понад десять тисяч), присвячених проблематиці лідерства, на сьогодні не сформовано єдиного трактування сутності цього явища, а також не існує загальновизнаного підходу до його комплексного наукового аналізу.

В енциклопедичному соціологічному словнику термін «лідерство» має два значення: керівне становище особи чи соціальної групи, яке визначається найбільш ефективними результатами її діяльності (економічної, політичної, наукової, спортивної тощо); процеси внутрішньої самоорганізації та самоуправління групи за рахунок індивідуальної ініціативи її членів.

Укладачі широкого тлумачного психологічного словника не згодні з розкриттям сутності терміна «лідерство» як сукупності окремих якостей, що

відображають якості лідерства, оскільки, на їхню думку, у цьому випадку нехтується роллю, яку відіграють конкретні ситуації у визначенні лідерської поведінки. У цьому словнику лідерство визначається як «здійснення влади або впливу в соціальній групі».

Образ справжнього командира-лідера, який здатен не лише очолити особовий склад, а й слідувати за іншими, приймати відповідальні рішення, що впливають на життя та безпеку військових, ефективно діяти в умовах небезпеки й викликів, чітко та зрозуміло доносити свої думки, надихати підлеглих на реалізацію задумів і героїчні вчинки, а також підтримувати їхню психологічну стійкість, сьогодні втілює довіру, впевненість і прагнення до перемоги. Як пише підполковник Валерій Дворнік у своїй роботі «Особистість лідера в аналізі викликів і загроз», керівник повинен не тільки ефективно вирішувати завдання, але й знати, як мотивувати підлеглих і переконати їх у своїх надзвичайних здібностях і цінностях [1, с. 16]. Капітан 3-го рангу Олександр Сидоренко, пишучи у статті «Справжній командир-лідер – яка це людина?», характеризує його як людину, яка вміє вести за собою, захоплювати, генерувати передові ідеї та може захоплювати цими ідеями інших, людину, яка вміє об'єднувати інших, людину, якій люди довіряють, людину, яку вважають розумнішою та здібнішою, людину, співробітники якої підуть за нею і навіть пожертвують нею, якщо буде потрібно. Офіцери також відзначали вміння полководця виявляти милосердя та карати лише поглядом чи голосом, його запал, відданість ідеї та напружену спрямованість на досягнення цієї ідеї [2, с. 75]. Все це допомагає офіцерам, солдатам і сержантам виконувати бойові завдання, долати страх, формувати впевненість, підтримувати надію і віру в перемогу.

Справжній командир-лідер володіє незаперечними лідерськими якостями. Адже саме вони дозволяють йому ефективно керувати підрозділами, реагувати на виклики та загрози, приймати рішення в умовах невизначеності, діяти в умовах ризику, керувати людьми, викликати беззаперечну довіру, мотивувати підлеглих, досягати успіху. Крім відомих лідерських якостей, полковник Олег Гемеляр також наголошував на тому, що воїнам необхідно мати мужність, ініціативність, високу вимогливість, ризикованість, впевненість у собі, самоорганізованість, перфекціонізм, відмова від сумнівів, постійних змін і навчання, стресостійкість, вірність своїм життєвим принципам, ідеалам і переконанням [8, с. 127].

Довідково

Експерти здійснили ранжування моральних якостей, якими має бути наділений сучасний військовий лідер, наступним чином:

взірцевість у виконанні обов'язків;
мужність;
патріотизм;
чесність, здатність завжди говорити правду;
вірність;
честь;
героїзм;
доброчесність;
впевненість у собі;
стійкість;

толерантність;
цілеспрямованість;
рішучість;
наполегливість;
розсудливість;
самовладання і витримка;
ініціативність;
аполітичність.

Порівняння ціннісних орієнтирів сучасного військового лідера з положеннями доктринальних документів України, США та Великої Британії щодо розвитку військового лідерства свідчить про спільність підходів науковців і військових експертів до цього питання [3–7].

Справжній полководець і лідер - це воїн, який весь час бою перебуває в тісному контакті зі своїми солдатами. Так оцінюють підлеглі та командний склад Героя України полковника Валерія Ґудзя. Повернувшись на службу в ЗСУ із запасу у 2014 році, заслужив непохитний авторитет серед особового складу, передусім успішним керівництвом та лідерством на бойовому терені. Своїм прикладом українські герої надихали воїнів та зміцнювали їх психологічну стійкість.

Справжні полководці та керівники постійно реагують на нові виклики та вміють працювати в невизначених умовах, особливо в умовах бойових дій. Деякі проблеми для нього передбачувані, і він може їх вирішити, спираючись на свій досвід і знання, а інші проблеми непередбачувані і виникають внаслідок несподіваних змін бойової обстановки або зміни позиції солдата [2, с. 201].

Звідси видно, що немає конкретного визначення лідерства для різних ситуацій, що також пояснює багатогранність лідерства та різні способи аналізу його сутності. Тому пропонується поміркувати про сутність поняття лідерства з таких аспектів:

1) мати послідовників;

2) мати належні лідерські якості;

3) Ситуаційна складова.

Усі ці аспекти разом розкривають природу багатогранного поняття «лідерство».

Тому при визначенні феномену «лідерство» необхідно враховувати такі ключові аспекти лідерства: лідерство як центр групових процесів; лідерство як прояв особистісних якостей; лідерство як мистецтво переконання; лідерство як дія та поведінка; лідерство як інструмент досягнення цілей чи результатів; лідерство як взаємодія; лідерство як уміння керувати; лідерство як вплив; лідерство як влада; лідерство як розрізнення ролей.

Висновок

Розкрито поліаспектну природу феномену військового лідерства, визначено ключові якості та характеристики, якими має володіти справжній командир-лідер. Наголошено на необхідності врахування особистісних рис, наявності послідовників та ситуаційної складової для повного розуміння сутності лідерства в умовах сучасних викликів.

Список літератури

1. Есе. Військове лідерство. Критичне мислення / за ред. О. Ф. Хміляра. Київ : НУОУ, 2020. 103 с.
2. Концепція лідерства за стандартами армій країн НАТО (ConceptionofleadershipinaccordancewiththearmiesstandardsofNATOcountries) 33 : навч. посіб. / О. Ф. Хміляр та ін. Київ : НУОУ ім. Івана Черняховського, 2018. 252 с.
3. Хміляр О. Ф. Психічна стійкість солдата. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Психологія. 2022. № 6. С. 71–79. DOI: https://doi.org/10.32782/psy-visnyk/2022.6.13.
4. FM 6-22 ArmyLeadership.Competent, Confident, andAgile.DepartmentoftheArmy.Washington, DC, 12 October 2006. 216 p. URL: www.us.army.mil (датазвернення: 10.01.2023).
5. ADP 6-22 Armyleadershipandtheprofession. DepartmentoftheArmy. Washington, DC, 25 November 2019. 132 p. URL: https://armypubs.army.mil/(датазвернення: 12.02.2023).
6. ADP 6-22 ArmyLeadership. DepartmentoftheArmy. Washington, DC, 1 August 2012. 26 p. URL: https://armypubs.us.army.mil/doctrine/index.html(датазвернення:12.02.2023).
7. AC 72021 TheArmyLeadershipCode. AnIntroductoryGuide. FirstEdition. TheCentreforArmyLeadership, TheRoyalMilitaryAcademy. 32 p. URL: https://www.army.mod.uk/media/2698/ac72021_the_army_leadership_code_an_introductory_guide.pdf(датазвернення: 12.02.2023).
8. Хміляр О. Ф. Психологія бойової мотивації воїна. Вісник Національного університету оборони України. 2022. № 2 (66). С. 121–131. https://doi.org/10.33099/2617-6858-2022-66-2-121-131.

УДК 356.1:130:355.23

І.В. Мороз, В.К. Тястов
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Мотиви військового лідера до навчання військовослужбовців

Дані тези аналізуються ключовими мотивами військового лідера до навчання підлеглих. Визначено вплив професійної відповідальності, бойової готовності, кар'єрного зростання та особистого прикладу на ефективність підготовки військовослужбовців. Розглянуто методи стимулювання навчання, які сприяють формуванню компетентного та згуртованого військового колективу.

Професійні, природні лідери необхідні армії, щоб справлятися із викликами у небезпечних і складних середовищах, з якими ми стикаємось. Лідери повинні бути віддані ідеї навчання тривалістю у все життя, для того щоб залишатись необхідними і готовими під час служби нації. Військові лідери повинні встановлювати приклад, бути наставниками і вчителями.

Мотиви військового лідера до навчання військовослужбовців можна поділити на кілька ключових аспектів:

1. Професійна відповідальність – командир усвідомлює свою роль у забезпеченні високого рівня підготовки особового складу для успішного виконання бойових завдань.
2. Підвищення бойової готовності – якісне навчання безпосередньо впливає на ефективність виконання бойових операцій, знижує ризики та втрати.
3. Кар'єрне зростання – успішне навчання підлеглих зміцнює авторитет лідера, відкриває можливості для просування по службі.
4. Мотивація через особистий приклад – військовий лідер демонструє власну компетентність, дисципліну та відповідальність, що стимулює підлеглих до саморозвитку.
5. Зміцнення морального духу та згуртованості підрозділу – навчання сприяє підвищенню взаємодовіри та впевненості серед військовослужбовців.
6. Адаптація до сучасних викликів – нові методи ведення бойових дій, впровадження технологій вимагають постійного вдосконалення знань і навичок.
7. Ефективне управління ресурсами – добре навчений підрозділ працює більш злагоджено, що зменшує втрати та підвищує ефективність виконання завдань.

Методи стимулювання навчання військовослужбовців

Для забезпечення високого рівня підготовки військовослужбовців військовий лідер застосовує різні методи стимулювання навчання, які можна розділити на кілька основних напрямків:

1. Інноваційні методи підготовки

Сучасні військові навчання дедалі більше орієнтуються на використання технологій, що дозволяють реалістично моделювати бойові ситуації. До таких методів належать:

- Використання симуляторів та віртуальної реальності для відпрацювання тактичних і бойових сценаріїв.
- Застосування електронних навчальних платформ для самостійного освоєння теоретичних знань.
- Використання аналітичних програм для оцінки ефективності підготовки.

2. Практичні заняття та імітація бойових ситуацій

Найефективніше навчання відбувається в умовах, наближених до реальних бойових дій. Лідери активно впроваджують:

- Тактичні тренування на місцевості з реалістичним сценарієм.
- Стрес-тестування військовослужбовців у складних умовах.
- Командні навчання, що покращують злагодженість підрозділу.

3. Заохочення та стимулювання військовослужбовців

Мотивація особового складу є ключовим аспектом навчального процесу. До методів заохочення належать:

- Відзначення найкращих військовослужбовців грамотами, нагородами та похвальними відгуками.
- Матеріальне стимулювання, премії та додаткові відпустки за досягнення у навчанні.
- Кар'єрне просування для тих, хто проявив високу компетентність.

4. Роль досвідчених військових наставників

Обмін досвідом з ветеранами та досвідченими офіцерами дозволяє особовому складу засвоїти практичні навички, які важко отримати лише в теоретичних заняттях. До таких заходів належать:

- Лекції та майстер-класи від ветеранів бойових дій.
- Аналіз реальних бойових операцій із розбором тактичних рішень.
- Наставництво в межах підрозділу, коли досвідчені військові допомагають молодшим товаришам.

5. Психологічна підтримка та моральна підготовка

Окрім фізичної та інтелектуальної підготовки, важливим аспектом є психологічна готовність військовослужбовців. Військовий лідер забезпечує:

- Регулярні індивідуальні та групові психологічні тренінги.
- Формування культури взаємопідтримки в підрозділі.
- Навчання методам самоконтролю в умовах стресу та небезпеки.

Роль військового лідера у формуванні ефективної системи навчання

Ефективність навчального процесу значною мірою залежить від самого військового лідера, його методів роботи з особовим складом та підходів до організації навчання. Лідер, який прагне до високого рівня підготовки підлеглих, повинен враховувати такі аспекти:

1. Індивідуальний підхід до навчання

Кожен військовослужбовець має унікальні здібності, рівень підготовки та психологічні особливості. Військовий лідер повинен:

- Виявляти сильні та слабкі сторони своїх підлеглих.
- Коригувати навчальні програми відповідно до їхніх індивідуальних потреб.
- Використовувати різні методи навчання для забезпечення максимального ефекту.

2. Використання адаптивних методик навчання

Зміни у військовій тактиці та стратегії потребують гнучкого підходу до навчання. Сучасний військовий лідер має:

- Постійно оновлювати навчальні програми відповідно до нових викликів та загроз.
- Враховувати досвід реальних бойових дій при розробці навчальних сценаріїв.
- Акцентувати увагу на розвитку нестандартного мислення та креативного підходу до вирішення тактичних завдань.

3. Формування культури безперервного навчання

Військовий лідер повинен створювати умови для постійного вдосконалення знань і навичок підлеглих. Це включає:

- Організацію регулярних навчань та тренувань.
- Впровадження системи самостійного навчання, де кожен військовослужбовець може отримувати додаткову інформацію та вдосконалювати свої компетенції.
- Підтримку ініціативи серед підлеглих щодо підвищення їхньої кваліфікації.

Висновки

Мотиви військового лідера до навчання військовослужбовців базуються на прагненні до ефективного виконання бойових завдань, збереження життя особового складу та підвищення загальної боєздатності підрозділу. Для досягнення високих результатів необхідно застосовувати комплексний підхід, що поєднує традиційні та сучасні методи підготовки, створюючи умови для всебічного розвитку військовослужбовців.

Ефективний військовий лідер не лише виконує роль наставника, а й мотивує своїх підлеглих до постійного вдосконалення навичок і підготовки до реальних бойових ситуацій. Військовий лідер відіграє ключову роль у навчанні підлеглих, забезпечуючи їхню бойову готовність, фізичну та психологічну стійкість, технічні навички та дисципліну. Використання сучасних методик навчання та адаптація до нових викликів сприяють формуванню високопрофесійних військовослужбовців, здатних ефективно діяти у будь-яких умовах.

Таким чином, мотиви військового лідера до навчання особового складу є не лише професійним обов’язком, а й стратегічним чинником забезпечення боєздатності та успіху військових операцій.

Список літератури

1. Білак В. М. Психологія військового лідерства. – Київ: Військове видавництво, 2020. – 320 с.
2. Гриценко І. С. Методологія підготовки військовослужбовців в умовах сучасних бойових дій // *Збірник наукових праць Національної академії оборони України*. – 2021. – № 2. – С. 45–58.
3. Завадський О. П. Роль командира у формуванні професійних компетенцій військовослужбовців. – Львів: Видавництво ЛА НАОУ, 2019. – 280с.
4. Коваленко П. Г. Стратегії ефективного військового навчання: міжнародний досвід. – Харків: Університет внутрішніх справ, 2022. – 240 с.
5. Офіційний сайт Міністерства оборони України. Методичні рекомендації з організації бойової підготовки військових підрозділів. – URL: www.mil.gov.ua (дата звернення: 30.03.2025).
6. Сидоренко І. Ю. Мотиваційні аспекти військової служби // *Науковий вісник стратегічних досліджень*. – 2020. – № 3. – С. 110–123.
7. Ткаченко В. О. Військове навчання у XXI столітті: виклики та перспективи. – Одеса: Видавництво Одеської військової академії, 2023. – 290 с.

УДК 355.48:623.618:623.74

О.К. Луценко, О.М. Коротенко,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Роль захисних укриттів у збереженні боєздатності авіаційних частин: досвід та перспективи

У статті досліджено значення захисних укриттів на військових аеродромах як ключового елементу забезпечення живучості авіаційної техніки та інфраструктури в умовах сучасних бойових дій. Проведено аналіз досвіду застосування укриттів у збройних конфліктах, розглянуто сучасні вимоги до їх проектування, матеріалів та мобільності. Окреслено перспективні напрями розвитку захисних споруд з урахуванням новітніх загроз, зокрема ударів високоточної зброї та БПЛА.

Авіація відіграє вирішальну роль у сучасних воєнних конфліктах, забезпечуючи оперативне реагування, підтримку наземних сил та виконання стратегічних завдань. Збереження боєздатності авіаційних частин напряму залежить від безпеки базування літальних апаратів, що значною мірою забезпечується наявністю ефективних захисних укриттів на військових аеродромах. Враховуючи зростаючу точність засобів ураження, питання захисту авіаційної інфраструктури набуває особливої актуальності.

Історичний та сучасний досвід використання укриттів

У різні періоди військової історії застосовувалися різноманітні типи укриттів — від земляних валів до залізобетонних ангарів. Зокрема, під час Холодної війни країни НАТО та Варшавського договору активно розвивали мережі бункерів та сховищ для авіації. У конфліктах на Близькому Сході, а також під час бойових дій в Україні з 2014 року спостерігається зростаюча потреба в мобільних та адаптивних укриттях, які можуть швидко монтуватися та демонтуватися в умовах змінної тактичної обстановки.Також слід зазначити, що в деяких країнах були реалізовані проєкти автоматизованих систем укриттів з вбудованими системами життєзабезпечення, вентиляції та відеоспостереження. У США широко застосовуються бункери з армованих геополімерів, а Ізраїль активно використовує мобільні залізобетонні капсули для захисту авіатехніки на оперативних майданчиках поблизу лінії фронту.

Класифікація та технічні характеристики захисних укриттів

Захисні укриття поділяються на: Стаціонарні (бетонні, з армозалізного бетону); Напівмобільні (комбіновані конструкції зі збірних блоків); Мобільні (тентові конструкції з кулестійкими або термостійкими покриттями). Ключовими характеристиками є: Стійкість до вибухової хвилі, Здатність до розсіювання теплового та електромагнітного випромінювання, Можливість маскування в оптичному та інфрачервоному діапазонах. Особливу увагу слід звернути на поєднання конструкцій укриттів із підземними

комунікаціями, системами електроживлення та забезпеченням захисту персоналу. У деяких випадках сучасні укриття обладнуються інфрачервоними пастками та системами активного подавлення теплового випромінювання для зменшення помітності в інфрачервоному діапазоні.

Загрози та виклики для авіаційної інфраструктури

Сучасні загрози включають: Удари високоточної зброї (наприклад, балістичні та крилаті ракети типу «Іскандер», «Калібр», «Х-101» і т.д.); Бомбардування керованими боєприпасами; Масовані атаки дронів-камікадзе (Shahed-136); Радіоелекторонні засоби та засоби спостереження, що ускладнюють маскування.

Крім того, існує постійна загроза кібератак на системи управління інфраструктурою аеродромів, що може спричинити порушення координації польотів та функціонування систем ППО. БПЛА нового покоління оснащуються електронною розвідкою та штучним інтелектом, що дозволяє їм обходити традиційні системи ППО та ідентифікувати вразливі елементи авіаційної інфраструктури.

Перспективи розвитку захисних укриттів

До перспективних напрямів належать: використання сучасних композитних матеріалів; інтеграція елементів маскування та РЕБ-захисту; Модульність конструкцій – швидке розгортання та переміщення укриттів у польових умовах; використання штучного інтелекту та сенсорних систем для моніторингу стану укриттів.

Надзвичайно перспективним напрямом є використання адаптивних матеріалів, здатних змінювати свої властивості залежно від зовнішнього середовища. «Розумні» бетонні суміші, що змінюють щільність або теплопровідність, дозволяють підвищити ефективність маскування та захисту. Впровадження енергетично автономних систем — сонячних батарей, міні-генераторів — підвищує життєздатність укриттів у відриві від централізованих мереж постачання.

Висновок

Захисні укриття залишаються критичним компонентом системи забезпечення боєздатності авіаційних частин. В умовах сучасної війни, що характеризується високоточною зброєю та безпілотними технологіями, необхідне переосмислення підходів до їх проектування та розгортання. Подальший розвиток повинен базуватися на гнучких, інноваційних рішеннях, здатних забезпечити ефективний захист у динамічному середовищі. Крім того, важливо забезпечити комплексний підхід до захисту — поєднання активних та пасивних заходів. Інженерне облаштування військових аеродромів має бути тісно пов'язане з оперативним плануванням та логістичним забезпеченням.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція будівель». – Київ: Мінрегіон України, 2021.
2. Трегубова Т.М., Білик Р.І. Матеріали та конструкції для енергозберігаючого будівництва. – Львів: ЛНУ, 2020.
3. Дудюк Н.В., Лисенко М.В. Енергоефективність будівель та споруд. – Київ: НАУ, 2019.
4. Лопатюк Л.М. Енергозберігаючі технології в будівництві. – Вінниця: ВНТУ, 2021.

УДК 621.396.68

О.К. Луценко, В.Ф. Нестеренко,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна.)

Концепція лабораторії ACN PCN на аеродромах Збройних Сил України

У процесі модернізації авіаційної інфраструктури Збройних Сил України все більше уваги приділяється впровадженню сучасних методик оцінки технічного стану аеродромних покриттів, з урахуванням новітніх підходів, рекомендованих Міжнародною організацією цивільної авіації . Впровадження лабораторії ACR-PCR у ЗСУ забезпечить точний контроль стану злітно-посадкових смуг та дозволить ефективно управляти експлуатаційними ресурсами аеродромів.

Аеродромна інфраструктура Збройних Сил України відіграє ключову роль у забезпеченні мобільності та боєздатності авіаційних підрозділів. Особливої актуальності набуває питання оперативної та достовірної оцінки технічного стану злітно-посадкових смуг у контексті ведення бойових дій, залучення іноземної допомоги, а також поступової інтеграції України до стандартів НАТО. У зв'язку з цим важливою складовою модернізації військової авіаційної інфраструктури стає впровадження системи ACR-PCR — Aircraft Classification Rating / Pavement Classification Rating — яка приходить на заміну традиційній ACN-PCN, запропонованій Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO).

На відміну від попередньої системи, ACR-PCR дозволяє більш гнучко і точно враховувати сучасні умови експлуатації авіаційної техніки та стан аеродромного покриття. Система базується на використанні реальних експлуатаційних даних і новітніх методів діагностики, що дозволяє краще моделювати навантаження, яке створює конкретний літальний апарат, і відповідно — оцінювати здатність покриття витримати це навантаження без пошкодження. Такий підхід особливо важливий у військових умовах, де типи літальних апаратів можуть суттєво відрізнятися від цивільної авіації, а самі покриття часто зазнають пошкоджень, швидких відновлень або експлуатуються у надзвичайних режимах.

Створення лабораторії для роботи за системою ACR-PCR у структурі Збройних Сил України відкриває можливості для якісно нового рівня контролю та управління аеродромною мережею. Така лабораторія має бути оснащена високоточним вимірювальним обладнанням, здатним у польових умовах визначати фізико-механічні характеристики покриття, а також сучасним програмним забезпеченням, що дає змогу інтерпретувати результати відповідно до вимог ICAO. Оперативність отримання результатів, наочність даних та можливість їхньої інтеграції у цифрові карти аеродромів значно підвищують ефективність прийняття рішень на рівні командування.

Функціонування такої лабораторії є критично важливим не лише для постійних військових аеродромів, а й для тимчасових та відновлених злітно-посадкових смуг, які з'являються у зонах бойових дій або поблизу лінії фронту.

У таких умовах питання часу та точності мають першочергове значення. Відсутність достовірної інформації про стан покриття може призвести до неправильних управлінських рішень, що в свою чергу створює ризики як для самої інфраструктури, так і для техніки та особового складу.

Окрему увагу слід приділити технічному та функціональному оснащенню лабораторії, яка має реалізовувати методологію ACR-PCR в умовах військової інфраструктури. Лабораторія повинна бути мобільною, швидко розгортатися в польових умовах і забезпечувати високу точність вимірювань. Її базою може виступати спеціалізований автомобіль або модуль-контейнер з автономним живленням і можливістю транспортування авіаційною або наземною технікою.

Основу обладнання лабораторії становлять прилади для визначення несучої здатності покриттів. Зокрема, ключовим є легкий падальний дефлектометр (Light Weight Deflectometer, LWD), який дозволяє швидко та без руйнування конструкції оцінити модуль пружності верхніх шарів покриття. Для глибшого аналізу конструкції потрібен динамічний падальний дефлектометр (Falling Weight Deflectometer, FWD), який імітує навантаження від шасі літака й дозволяє побудувати модель напружено-деформованого стану аеродрому.

Для лабораторних досліджень фізико-механічних характеристик зразків покриття або ґрунтів необхідна портативна установка для визначення щільності, вологості та гранулометричного складу, а також польовий пенетрометр, який дозволяє визначити опір ґрунту на проникнення, що є критично важливим для необладнаних аеродромних майданчиків. Крім цього, використовуються прилади для відбору кернів із бетонних та асфальтобетонних покриттів, що дозволяють оцінити їхню товщину, тріщиностійкість та міцність.

Для георадарного зондування рекомендується застосовувати GPR-системи (Ground Penetrating Radar), які дають змогу створювати тривимірні моделі шарів покриття та виявляти внутрішні дефекти. Також важливою складовою є GPS/ГЛОНАСС-система високої точності, що дозволяє наносити результати обстеження на цифрову карту місцевості з прив'язкою до координат.

З точки зору аналітики та обробки даних, лабораторія повинна бути обладнана мобільною обчислювальною станцією з відповідним програмним забезпеченням, яке підтримує алгоритми обчислення значень PCR та дозволяє будувати моделі навантаження для літаків із конкретними параметрами шасі. Програми мають інтегруватися з базами даних ICAO/NATO щодо класифікацій літальних апаратів (ACR), що забезпечує повну сумісність з міжнародними стандартами.

Окрім технічних засобів, лабораторія має бути забезпечена комплектом засобів безпеки, освітленням для роботи в нічних умовах, захистом від вологи та пилу відповідно до стандартів IP65+, а також мати резервні джерела живлення — генератори або акумуляторні системи.

У довгостроковій перспективі така лабораторія може стати не лише практичним інструментом, а й центром підготовки інженерного персоналу, наукових досліджень та технічного супроводу розвитку аеродромної інфраструктури. Поєднання наукового підходу, сучасних технологій та

практичного досвіду дозволить ЗСУ ефективно реагувати на нові виклики та забезпечити стабільну роботу аеродромів у найскладніших умовах.

Висновок

Запровадження концепції лабораторії ACR-PCR на аеродромах Збройних Сил України є важливим етапом у підвищенні ефективності та безпеки використання авіаційної інфраструктури. Це рішення відкриває нові можливості для гнучкого управління авіаційними ресурсами, забезпечення бойової готовності та інтеграції у міжнародні безпекові структури. Упровадження лабораторій ACR-PCR забезпечить суттєвий прогрес у сфері військової інженерії, оптимізує процес ухвалення рішень щодо експлуатації інфраструктури та підвищить загальний рівень технічної готовності аеродромної мережі. Це не просто технологічне оновлення — це крок до формування нової парадигми ведення військових операцій, де точність, швидкість і надійність стають критичними елементами перемоги.

Список літератури

1. "Comparison between ACN–PCN and ACR–PCR for Rigid Airport Pavements" – Construction Materials, 2024
2. EASA Guidance for ACR-PCR Implementation (Revision 1, 2024)
3. FAA Advisory Circular 150/5335-5D – Standardized Method of Reporting Airport Pavement Strength – PCR (2025)

УДК 699.81:624.012.45:620.1

О.М. Дубик, доцент, к.т.н.,
Б.В. Макуха, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Сучасні матеріали з підвищеною стійкістю до ударних навантажень для будівництва захисних споруд аеродромів

У роботі розглянуто сучасні матеріали з підвищеною стійкістю до ударних навантажень для захисту аеродромної інфраструктури. Особливу увагу приділено фібробетонам, геополімерам, багатошаровим композитам і металевим пінним структурам. Окреслено новітні підходи до проєктування, тестування та впровадження захисних систем.

Вступ

У сучасних умовах ведення бойових дій захист критично важливих об'єктів авіаційної інфраструктури набуває особливого значення. Авіабази, укриття для літаків, командні пункти, сховища пального та боєприпасів стають об’єктами першочергового ураження, зокрема з боку високоточних засобів атаки. Використання традиційних будівельних матеріалів, таких як звичайний залізобетон, сталь або земляні укриття, вже не забезпечує належного рівня захисту від сучасної зброї: бункерних бомб, кумулятивних боєприпасів, гіперзвукових ракет. У зв’язку з цим зростає потреба у впровадженні новітніх високоефективних матеріалів, здатних не лише витримувати ударне навантаження, але й залишатися функціонально стійкими в екстремальних умовах.

Одним із найперспективніших напрямів захисту є використання фібробетонів – композитних цементних матеріалів, армованих полімерними, металевими або комбінованими волокнами. Завдяки мікро- і макроволокнам, що рівномірно розподілені в об'ємі бетону, фібробетон демонструє підвищену тріщиностійкість, енергоємність руйнування та здатність до самоконсолідації. Найбільш сучасні модифікації включають реактивні порошкові бетони (RPC) із міцністю до 200 МПа та гібридні склади на основі металевих і полімерних волокон. Такі матеріали застосовуються для виготовлення збірних модульних укриттів, захисних оболонок та елементів обшивки. Їх ключовою перевагою є здатність до контрольованого руйнування з ефективним поглинанням кінетичної енергії, що зменшує ризики обвалення та забезпечує виживання персоналу в критичні моменти.

Геополімерні матеріали є ще одним важливим компонентом новітніх захисних систем. Вони створюються шляхом лужної активації алюмосилікатних компонентів і мають низький вуглецевий слід, оскільки можуть виготовлятися з промислових відходів. Геополімери демонструють високу міцність (до 100 МПа), термостійкість (до 1200°C), хімічну інертність і здатність витримувати повторні імпульсні навантаження. Ці характеристики роблять їх придатними для використання в умовах пожеж, вибухів, хімічного

ураження. Також важливо, що геополімери можуть бути використані у 3D-друці великогабаритних елементів без необхідності опалубки.

Багатошарові композитні матеріали є фундаментом для створення високоефективних систем захисту, які реалізують принцип послідовного поглинання удару. Зазвичай такі матеріали складаються з зовнішнього шару високої твердості (метал або кераміка), проміжного амортизуючого шару (в'язкопружний полімер) та внутрішнього армуючого елемента. Результатом такого підходу є поступове розсіювання енергії, зменшення хвильового тиску та збереження загальної цілісності структури. Деякі варіанти включають використання вуглецевих волокон із програмованими характеристиками або CerMet-композитів (кераміка + метал), що поєднують легкість і надміцність. Багатошарові системи також забезпечують високий рівень захисту від вторинних факторів ураження – осколків, теплового випромінювання та токсичних речовин.

Металеві піни та стільникові структури, що виготовляються з алюмінію або титану, є ефективними поглиначами енергії. Завдяки своїй пористій структурі та високому співвідношенню міцності до ваги, вони застосовуються як проміжні шари у багатокомпонентних системах або як самостійні конструктивні елементи. Високий рівень деформаційної здатності дозволяє металевим пінам зберігати форму конструкції навіть після багаторазових імпульсів, що особливо цінно для споруд багаторазового використання.

Крім матеріалів, важливою частиною сучасного підходу є впровадження технологій структурного моніторингу, систем самовідновлення та роботизованого 3D-друку. Високоточне моделювання, балістичні випробування та сенсорні системи дозволяють в режимі реального часу визначати стан конструкцій і прогнозувати ризики руйнування. Інтелектуальні матеріали, які змінюють свої властивості під дією динамічних навантажень, є наступним кроком у розвитку оборонного будівництва.

У роботі систематизовано перспективні напрямки розробки матеріалів з підвищеною стійкістю до ударних навантажень. Запропоновано концепцію фібробетонів із контрольованою кінетикою руйнування, що забезпечує поступове поглинання енергії. Розглянуто потенціал геополімерних складів із наномодифікаторами для підвищення в'язкості та стійкості. Запропоновано модель багатошарової композитної системи з градієнтною структурою для ефективного демпфування імпульсних навантажень. Обґрунтовано доцільність впровадження інтелектуальних матеріалів у системи активного захисту.

Висновки

Розробка та впровадження сучасних матеріалів для авіаційної інфраструктури є необхідною відповіддю на виклики сучасної війни. Найбільш перспективними напрямками залишаються фібробетони, геополімери, композити та металеві піни. Вони дозволяють створювати надійні, легкі, мобільні та ефективні системи захисту. Інтеграція таких матеріалів із цифровими технологіями виготовлення і моніторингу підвищує ефективність

оборонного будівництва в цілому. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку адаптивних багатофункціональних матеріалів з високим ступенем самовідновлення, термостійкості та хімічної інертності.

Матеріал	Міцність на стиск (МПа)	Ударостійкість	Вогнестійкість	Вага	Придатність до 3D-друку
Фібробетон	100–200	Висока	Середня	Середня	Так
Геополімер	60–100	Висока	Дуже висока	Середня	Так
Металева піна	10–30	Дуже висока	Середня	Низька	Обмежено
Керамо-металевий композит	150–250	Висока	Висока	Середня	Ні

Таблиця 1. Порівняльна характеристика сучасних захисних матеріалів

Список літератури

1. Грінберг А.С. *Ударостійкі будівельні матеріали: властивості та застосування.* — Київ: Наук. думка, 2020. — 248 с.
2. Bazant, Z. P., & Planas, J. (1997). *Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials.* CRC Press.
3. Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete.* 2nd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
4. Li, V.C. (2003). “On Engineered Cementitious Composites (ECC): A Review of the Material and Its Applications.” *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(3), 215–230.
5. Provis, J.L., & van Deventer, J.S.J. (Eds.) (2014). *Alkali Activated Materials: State-of-the-Art Report, RILEM TC 224-AAM.* Springer.
6. Малишевський Ю.Ф., Савенко І.М. *Високоміцні бетони з армуванням: теорія і практика.* — Харків: ХНУБА, 2018. — 212 с.
7. Ashby, M. F., Evans, A. G., Fleck, N. A., et al. (2000). *Metal Foams: A Design Guide.* Elsevier.
8. Трушевський В.П. *Композитні матеріали в оборонному будівництві.* — Львів: Видавництво ЛНУ, 2022. — 180 с.
9. Wu, H.C. (2018). *Advanced Composite Materials for Aerospace Engineering.* Woodhead Publishing.

УДК 625.7:623.4.022.3:355.48

Б.В. Макуха, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Інноваційні технології швидкого відновлення злітно-посадкових смуг в умовах активних бойових дій

Дослідження присвячене відновленню злітно-посадкових смуг військових аеродромів під час бойових дій. Розглянуто сучасні матеріали, технології та роботизовані системи ремонту. Запропоновано методику вибору оптимального способу ремонту з урахуванням пошкоджень, ресурсів і обстановки для збереження бойової спроможності авіації.

Вступ

З початку повномасштабного вторгнення російської федерації в Україну 24 лютого 2022 року, військові аеродроми стали пріоритетними цілями для ударів балістичними та крилатими ракетами. Постійні атаки на аеродромну інфраструктуру, зокрема на злітно-посадкові смуги, призвели до суттєвого обмеження використання авіації та зменшення її бойового потенціалу. Досвід протидії таким атакам продемонстрував важливість здатності швидко відновлювати пошкоджену інфраструктуру для забезпечення безперервності виконання бойових завдань авіаційними підрозділами.

Традиційні методи ремонту злітно-посадкових смуг, що передбачають використання бетонних сумішей з тривалим терміном твердіння, стали неефективними в умовах потреби швидкого відновлення боєздатності авіації. У країнах НАТО протягом останніх десятиліть розроблено численні технології та матеріали, спрямовані на забезпечення оперативного ремонту аеродромного покриття. При цьому важливо відзначити, що методи, які були ефективними в мирний час або в умовах локальних конфліктів низької інтенсивності, виявилися недостатніми для відповіді на виклики сучасної війни високої інтенсивності.

Проблематика швидкого відновлення ЗПС ускладнюється необхідністю забезпечення не лише швидкості ремонту, але й належної якості відновленого покриття, здатного витримати навантаження від зльоту та посадки військових літаків. Окрім того, відновлювальні роботи часто необхідно проводити в умовах загрози повторних ударів противника, що вимагає розробки нових підходів до організації робіт та використання спеціальної техніки.

У цьому контексті, вивчення та аналіз новітніх технологій швидкого відновлення ЗПС, а також міжнародного досвіду в цій сфері, є нагальною потребою для підвищення живучості військової авіаційної інфраструктури України. Особливої уваги заслуговують інноваційні матеріали, модульні системи та роботизовані комплекси, які можуть забезпечити мінімальний час простою авіації при збереженні належної якості відновленого покриття.

Одним із найбільш перспективних напрямків у сфері швидкого відновлення ЗПС є використання новітніх швидкотвердіючих композитних

матеріалів. Серед таких матеріалів особливої уваги заслуговують:

Поліуретанові композиції типу Rapid Set та FastTrack– забезпечують набір 80% міцності протягом 60-90 хвилин після нанесення, що дозволяє відновити експлуатацію ЗПС у надзвичайно стислі терміни. Ці матеріали характеризуються високою адгезією до існуючого бетонного покриття та здатністю витримувати значні динамічні навантаження.

Метакрилатні компаунди– двокомпонентні системи, що забезпечують твердіння протягом 15-30 хвилин незалежно від температури навколишнього середовища. Особливо ефективні для ремонту дрібних пошкоджень та тріщин у бетонному покритті.

Модифіковані магнезіальні цементи – забезпечують набір міцності протягом 2-3 годин і характеризуються високою стійкістю до впливу паливно-мастильних матеріалів, що особливо важливо для експлуатації військових аеродромів.

Порівняльний аналіз цих матеріалів показав, що їх вибір має здійснюватися залежно від характеру пошкоджень, кліматичних умов та наявного часу для відновлення. За даними випробувань, проведених у польових умовах, поліуретанові композиції показали найкраще співвідношення між швидкістю твердіння та міцнісними характеристиками, проте їх вартість залишається суттєво вищою порівняно з іншими матеріалами.

Для швидкого відновлення ЗПС, особливо при значних пошкодженнях, ефективним рішенням є використання модульних систем перекриття. До найбільш перспективних можна віднести:

Алюмінієві модульні мати АМ-2 – розроблені для використання військовими США, ці легкі, але міцні модулі можуть бути встановлені безпосередньо над воронками та іншими пошкодженнями. Система забезпечує можливість експлуатації ЗПС літаками масою до 70 тонн.

Сталеві панельні системи FRP (Folded Fiberglass Mat) – характеризуються підвищеною стійкістю до динамічних навантажень і можуть бути встановлені силами 4-6 осіб протягом 30-45 хвилин.

Композитні перекриття типу FAAS (Foldable Airfield Aluminum Structure) – інноваційні легкі конструкції, що поєднують переваги металевих систем із зниженою вагою та покращеними характеристиками монтажу.

Практика застосування цих систем в умовах локальних конфліктів показала їх високу ефективність при необхідності швидкого відновлення боєздатності авіації. Проте, в умовах активних бойових дій високої інтенсивності, важливо забезпечити не лише швидке встановлення, але й стійкість таких систем до повторних ударів.

Використання роботизованих систем для виконання відновлювальних робіт в умовах загрози повторних ударів є інноваційним підходом, що набуває особливої актуальності в сучасних конфліктах:

Дистанційно керовані екскаватори та бульдозери – дозволяють проводити підготовчі роботи без ризику для персоналу.

Автоматизовані системи нанесення ремонтних сумішей – забезпечують високу точність та швидкість нанесення матеріалів при мінімальній присутності людей у зоні ризику.

Безпілотні літальні апарати для моніторингу та оцінки пошкоджень– дозволяють оперативно визначати об'єм та характер необхідних ремонтних робіт.

Досвід застосування таких систем армією США в операціях в Афганістані та Іраку показав зниження ризиків для персоналу на 70-80% при збереженні ефективності відновлювальних робіт.

На основі аналізу міжнародного досвіду та практики відновлення ЗПС в умовах бойових дій в Україні, запропоновано комплексну методику вибору оптимальних технологій відновлення залежно від наступних факторів: Характер та масштаб пошкоджень - класифікація від мінімальних (тріщини та відколи) до критичних (глибокі воронки від авіабомб та балістичних ракет). Оперативна обстановка – оцінка ймовірності повторних ударів та доступного часу на відновлення.

Розроблена методика швидкого відновлення злітно-посадкових смуг військових аеродромів ґрунтується на комплексному урахуванні різних чинників, які прямо впливають на ефективність ремонтних робіт в умовах ведення бойових дій. Одним із ключових елементів є наявні матеріальні та людські ресурси – це стосується передусім доступності необхідної техніки, запасів ремонтних матеріалів, логістичних можливостей та рівня підготовки інженерно-технічного персоналу. Від цих факторів залежить не лише швидкість, а й якість проведених робіт.

Також важливо враховувати **кліматичні умови**, зокрема температуру, вологість повітря, рівень опадів та інші погодні показники, які можуть впливати на технологічні процеси, такі як твердіння матеріалів або робота техніки. В умовах несприятливої погоди застосування окремих матеріалів або технологій може виявитися неефективним або навіть небезпечним, тому адаптація методики до поточних кліматичних умов є необхідною.

З огляду на це, методика передбачає застосування **матриці рішень**, яка дозволяє командуванню або інженерним підрозділам оперативно визначати оптимальні дії у конкретних обставинах. Це включає вибір відповідної техніки, матеріалів, тактик проведення робіт, а також оцінку доцільності застосування роботизованих або дистанційно керованих систем. У реальних умовах бойових дій така адаптивність критично важлива.

Ефективність даного підходу була підтверджена в ході практичного застосування методики на одному з військових аеродромів у Східній Україні. Після впровадження нової системи прийняття рішень час на ухвалення інженерно-технічних рішень скоротився на 40%, а загальна ефективність відновлювальних робіт зросла на 25–30%. Це дало змогу значно швидше відновити боєздатність аеродрому та забезпечити виконання бойових завдань авіаційною технікою.

Висновоки

Розроблена комплексна методика оцінки оптимальних шляхів відновлення злітно-посадкових смуг забезпечує можливість прийняття обґрунтованих та оперативних рішень, що враховують реальні умови бойової обстановки, обсяг та характер пошкоджень, доступні ресурси та кліматичні

фактори. Це дозволяє не лише скоротити час простою авіаційної техніки, а й зберегти бойову спроможність повітряних сил в умовах активних бойових дій.

Список літератури

1. Авер'янов В.С., Костенко О.В., Соловйов І.І. Технології швидкого відновлення аеродромних покриттів у бойових умовах. Київ: НАУ, 2023. 286 с.
2. Борисов А.М., Ковальчук С.П., Мельник В.В. Сучасні композитні матеріали для ремонту злітно-посадкових смуг. Харків: ХПІ, 2022. 198 с.
3. Гаврилов П.О., Іванченко Д.М. Роботизовані комплекси в системі відновлення військової інфраструктури. Київ: НУОУ, 2023. 215 с.
4. Давиденко В.В., Сидоров О.К. Методи оцінки пошкоджень аеродромних покриттів внаслідок бойових дій. Львів: НУ "Львівська політехніка", 2022. 242 с.
5. Ткаченко О.Ф., Романенко В.П. Міжнародний досвід відновлення військових аеродромів в умовах збройних конфліктів. Київ: ЦВО, 2023. 178 с.
6. Brown K.T., Mitchell P.R. Rapid Runway Repair Technologies: NATO Experience. Brussels: NATO Publications, 2022. 267 p.
7. Ferguson L.M., Reynolds K.A. Modern Materials for Airfield Recovery Operations. London: Military Engineering Press, 2023. 312 p.
8. Jenkins D.P., Anderson S.R. Combat Engineering in Modern Warfare: Airfield Damage Repair. Washington: Pentagon Press, 2022. 296 p.
9. NATO Standard AEP-95. Allied Engineering Publication — Airfield Damage Repair Operations. Brussels: NATO Standardization Office, 2023. 214 p.
10. Williams J.R., Harris M.K. Robotic Systems for Military Infrastructure Repair. Boston: MIT Defense Studies, 2023. 245 p.

УДК 623.74: 517.9

А.В. Шульга
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна)

Проблематика виявлення та знищення цілей ПС ЗСУ

Бойова авіація – авіація пов'язана з фізикою та математикою своїми численними обрахунками траєкторії, дальності. Авіація – це не тільки нищівна сила, але й мрія для багатьох, хто колись закохався в небо, це підтримка піхоти, яка приходить в момент, коли здавалося все втрачено.

На 2025 рік в українських Повітряних силах на озброєні є декілька варіантів як радянських літаків (МіГ-29, Су-27, Су-25, Су-24), так і літальних комплексів західного виробництва (F-16, Mirage 2000-5F). Втім, основний тягар війни на собі тягнуть МіГ-29 (рис. 1.) різних модифікацій, найпоширенішою з яких є МіГ-29 9-13. Основною проблемою цього літака є виявлення та ураження цілей – як наземних, так і повітряних – через застарілі комплекси виявлення та ураження. На ці типи літаків встановлювали РЛС Н019, яка має дальність виявлення 65 км.



Рис. 1. МіГ-29 [1]

Однак протягом років незалежності Україна розробила свою модифікацію літака МіГ-29 – МіГ-29 МУ1. Ця модернізація значно покращила бойові характеристики: дальність виявлення повітряних цілей збільшено до 100 км в передню півсферу огляду засобів виявлення та до 45 км – у задню. Встановлено сучаснішу систему супутникової навігації, яка забезпечує вищу точність навіть в умовах суцільної хмарності. До того ж замінено застарілу радіолокаційну станцію на українську, яка має витримувати від 10 до 20 тис. льотних годин.

Комплекси озброєння, порівняно з модифікацією 9-13, залишились незмінними, а саме ракети Р-73 малого радіусу дії (20-40 км) та Р-27 середнього радіусу дії (50-90 км). Основними недоліками цих ракет – слабка захищеність від радіоелектронної боротьби (РЕБ) та хибних цілей ворога. Розглянемо характеристики ракет окремо.

Р-73 – ракета із середнім показником ураження цілі 0,6, що означає 6 знищених цілей із 10. Вона розрахована на перевантаження до 40G (G – перевантаження, що означає кількість одночасних мас тіла, що впливають на тіло), щоб витримувати опір повітря при маневруванні. Маса ракети становить 4400 кг, а кут цілевказання – ± 90 °. Завдяки цим характеристикам, ми отримуємо те, що відразу після «сходу» ракети з пілону вона, завдяки здатності витримувати високі перевантаження та широким кутам огляду, може миттєво змінити траєкторію на 90 ° від курсу літака-носія та вразити ціль.

Щодо ракети Р-27, вона має менші маневрові властивості, проте більшу швидкість і дальність ураження цілі. Дана ракета уражає свою ціль з імовірністю 100%, якщо літак не втратить захоплення цілі або ж не закінчиться час керованого польоту, який становить 60 с. Швидкість ракети становить 4,5 М (число Маха – це безрозмірна величина, що показує відношення швидкості літака до швидкості звуку в тому ж середовищі), що в перерахунку становить 5513 км/год (обчислення проводиться за формулою $X \times 1225.044$, де X – число Маха).

Відносно перевантаження, то даний тип озброєння може витримувати перевантаження в 8G, що в перерахунку на кілограми становить 2024 кг. Такий параметр, як кут цілевказання, до даного типу ракети не застосовується, оскільки наведення здійснюється за допомогою бортової радіолокаційної станції (РЛС) літака-носія. Також для знищення повітряних цілей може використовуватись гармата типу ГШ-30-1.

Розрахунок дистанції для ураження цілі здійснюється бортовим комплексом балістичного обчислення, який визначає точку перехоплення за допомогою формули. Якщо виключити силу опору, то, згідно другим законом Ньютона, тіло рухається з прискоренням, рівним прискоренню вільного падіння; проєкції прискорення на координатні осі рівні:

$$ax = 0;$$
$$ay = -g.$$

Проєкції швидкості тіла, змінюються з часом наступним чином:

$$V_x = V_{x0} = V_0 \cdot \cos\alpha\,;$$
$$V_y = V_{y0} - g \cdot t = V_0 \cdot \sin\alpha - g \cdot t,$$

де V_0 – початкова швидкість; α – кут кидання.

Далі, координати тіла змінюються наступним чином:

$$x = x_0 + V_0 \cdot t \cdot \cos\alpha\,;$$
$$y = y_0 + V_0 \cdot t \cdot \sin\alpha - 0{,}5 \cdot g \cdot t^2.$$

Якщо за точку відліку беруться координати $x_0 = y_0 = 0$, то:

$$x = V_0 \cdot t \cdot \cos\alpha\,;$$
$$y = V_0 \cdot t \cdot \sin\alpha - 0{,}5 \cdot g \cdot t^2.$$

Подальші обчислення здійснюються з урахуванням змінних: дальності польоту та часу, формуючи остаточне рівняння траєкторії. Виглядає воно наступним чином:

$$y = x \cdot \mathrm{tg}\,\alpha - g \cdot \frac{x^2}{2} \cdot {V_0}^2 \cos^2\alpha.\ [3]$$

Тепер перейдемо до озброєння типу «повітря-земля», яке відіграє критичну роль у нанесенні високоточних ударів літальними апаратами по наземних цілях (ZUNI, C-8, C-13, X-25, SCALP, HUMMER, JDAM).

Окрім керованих ракет, також застосовуються некеровані реактивні снаряди та авіабомби (як керовані, так і не керовані). У будь-якому випадку використання вищевказаного озброєння типу «повітря-земля» вимагає виконання пускових маневрів з кабрування (у положенні, коли ніс літального апарату дивиться вгору) задля забезпечення меншої помітності літака. Однак цей спосіб застосування озброєння має ряд особливостей, які знижують точність застосування озброєння непідготовленими екіпажами.

Як приклад кабрування наведено зображення українського МіГ-29 під час виконання такого маневру (червоною стрілкою на рис. 2. позначено засіб ураження, який було «спущено» з пілону).



Рис. 2. МіГ-29 під час виконання маневру

Слід зазначити, що цей маневр вимагає високого рівня майстерності від офіцера, який керує літальним комплексом, а також злагодженої роботи інженерно-авіаційної служби, що обслуговує цей комплекс, оскільки під час виконання цього маневру виникає значне навантаження на планер – близько 1,5-2G. Враховуючи бойове навантаження літака від 14 до 23 тонн (залежно від типу), планер повинен витримувати вагу, що в 1,5-2 рази перевищує бойову масу. Однак не слід забувати про цінність життя пілота, яке є безцінним для збереження оборонного потенціалу нашої неньки України, тому виконання маневру «відходу» від зони пуску після кабрування є особливо небезпечним. На зображенні (рис. 2.) видно, як літак виконує оберт у напрямку до землі, що призводить до підвищеного навантаження на крило.

Перед більш детальним описом цього способу слід зрозуміти, що кабрування – це спеціальний маневр літака, під час якого він з гранично малої висоти піднімає ніс на відповідний кут і здійснює пуски, не встановлюючи візуального контакту. Прикладом може слугувати зображення українського Су-25 разом із керованою авіабомбою, яка наводиться за допомогою GPS сигналу (рис. 3.).



Рис. 3. Су-25 з AASM Hammer на пілоні [6]

На зображенні чітко видно, наскільки ніс літака піднятий відносно лінії горизонту. Для кращого розуміння перейдемо до більш точного математичного визначення кабрування.

Розрахунок кута кабрування (підйому), необхідного для виконання маневру, обчислюють за формулою:

$$\lambda_{i+1} = \lambda_i - \frac{g \cdot \cos \lambda_i}{V_i} \Delta t,$$

де λ_i – кут кабрування на поточному(і-му) кроці; λ_{i+1} – кут кабрування на наступному (і+1-му) кроці; g – прискорення вільного падіння; V_i - швидкість на і-му кроці; Δt - крок інтегрування за часом (наприклад, 0.05 с).

Для наочної демонстрації використаємо графік (рис. 4.), що ілюструє траєкторію руху літака під час виконання маневру кабрування. Точка 0 на графіку відповідає зоні пуску ракет і початку виконання протиракетного маневру літаком-носієм (позначено зеленою стрілкою на рис. 4.). Цей графік спеціально складений з урахуванням застосування некерованої авіаційної ракети (НАР).

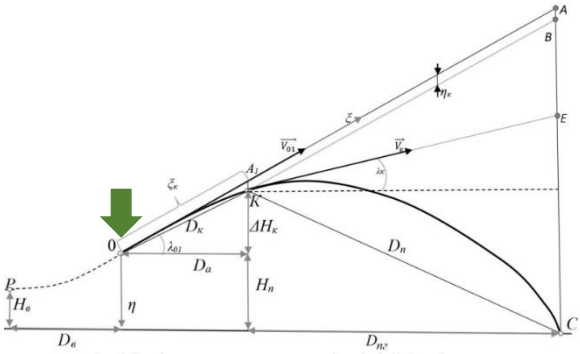


Рис. 4. Розрахунковий графік для виконання кабрування [7]

Завдяки щоденній праці наших асів та їхніх вірних помічників – інженерно-авіаційної служби – ми отримали новіші, хоча вже також дещо застарілі літальні комплекси F-16 та Mirage 2000-5F. На жаль, відкритої інформації про те, чим саме обладнані ці літаки, дуже мало, але основна їх

перевага над «старенькими» МіГ-29 – це новіші та точніші радіолокаційні станції (РЛС).

До прикладу, Mirage 2000-5F – також далеко не нова модифікація літака, втім на ньому встановлено РЛС RDY (Radar Doppler Multitarget) від компанії Thomson-CSF (наразі – Thales). У першій версії вона мала дальність виявлення повітряних цілей до 110 км, дозволяла супроводжувати 8 цілей одночасно та обстрілювати 4 з них, що значно перевищує можливості радіолокаційної станції (РЛС) МіГ-29, у якої схожа дальність виявлення, але дальність ураження та кількість одночасно захоплених цілей набагато вище у РЛС RDY. За даними з відкритих джерел, усі літаки підлягали модифікацій спеціально для України, однак не зазначено, що саме підлягало модифікації.

Те саме ж стосується й F-16, переданих Україні різними країнами, а отже, з самого початку мають різні модифікації. Попри це, у публічному просторі було помічено, що на певній кількості бортів встановлені комплекси радіоелектронної боротьби (РЕБ) (позначено синьою стрілкою на рис. 5.), які створюють перешкоди, як для засобів виявлення, так і для засобів ураження ворожого літального комплексу. Однак слід пам’ятати, що кількість таких бортів наразі дуже обмежена.



Рис. 5. F-16 з РЕБ на пілоні [8]

Висновок

Слід зазначити, що в умовах сьогодення українська авіація існує лише завдяки особовому складу Повітряних Сил Збройних Сил України. Вони роблять усе можливе й неможливе для того, щоб виконувати бойові завдання там і тоді, коли це необхідно.

Якщо звернути увагу на те, наскільки тісно математика та фізика пов’язані з авіацією, стає зрозуміло, що саме ці науки є основними для людини, яка хоче долучитися до світу авіації. Адже розрахункам підлягає все: від кількості палива, необхідного для виконання завдання, до обчислення траєкторії польоту снаряда, щоб він потрапив точно в ціль.

Список літератури

1. МіГ-29 Повітряних Сил України перехопив літак Ан-2 контрабандистів [Електронний ресурс] // Сайт Defense Exspress– Режим доступу: МіГ-29 Повітряних Сил України перехопив літак Ан-2 контрабандистів | Defense Express
2. Фізика (рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтєва В. М.) : підруч. для 10 кл. закл. загал. серед. освіти / [В. Г. Бар'яхтар, С. О. Дов гий, Ф. Я. Божинова, О. О. Кірюхіна] ; за ред. В. Г. Бар'яхтара, С. О. Довгого. — Харків : Вид-во «Ранок», 2018. — 272 с. : іл.
3. Балістичний рух — характеристика, формули, рівняння [Електронний ресурс] // Сайт Наукозавр – Режим доступу: Балістичний рух — характеристика, формули, рівняння
4. Основи теорії польоту і конструкції ракет : навчальний посібник / П. І. Гайда, П. Є. Трофименко, М. М. Ляпа. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 248с.
5. Аеродинаміка літальних апаратів [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Літаки і вертольоти» спец. 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: П. В. Лук'янов. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 188 с.
6. Модернізація Су-25 - літаки скидають французькі керовані авіабомби AASM Hammer [Електронний ресурс] // Сайт 24 каналу – Режим доступу: Модернізація Су-25 - літаки скидають французькі керовані авіабомби AASM Hammer - відео - 24 Канал
7. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПО РОЗРАХУНКУ УМОВ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НЕКЕРОВАНИХ РЕАКТИВНИХ БОЄПРИПАСІВ ПРИ ПУСКАХ З КАБРУВАННЯ: наукова робота / Б.В. Карпенко, С.В. Журавльов, Р.П. Козирев, О.В. Федоров, 2022. – 7 с.
8. США модернізували системи РЕБ на українських F-16 [Електронний ресурс] // Сайт Militarnyi– Режим доступу: США модернізували системи РЕБ на українських F-16

УДК 355.40 (043.2)

Г.Є. Чугуй, к.в.н., доцент, А.А. Гроссу
Кафедра військової підготовки
Національний авіаційній університет, Київ)

Основи слідопитства

Запропоновано аналіз методів та технологій слідопитства, що забезпечують підвищення точності визначення слідів людини та тварин у природних умовах. Розглянуто класичні підходи до ідентифікації слідів, їх аналітичну обробку та сучасні технологічні засоби, що використовуються у криміналістиці, військовій справі та рятувальних операціях.

Для аналізу слідів використовуються різноманітні методи, що залежать від умов місцевості, типу поверхні та погодних факторів. Дослідження включає класифікацію слідів за фізичними параметрами, їх збереження та вплив зовнішніх факторів.

Основні методи слідопитства

Слідопитство ґрунтується на низці методів, серед яких виділяють:

- Візуальний аналіз – оцінка форми, глибини та чіткості сліду.
- Геометричний метод – визначення напрямку руху та динаміки пересування.
- Хімічні аналізи – дослідження складу ґрунту для виявлення залишкових речовин.
- Цифрові технології – використання лазерного сканування та дронів для збору даних.

Виявлення та класифікація слідів

Сліди класифікуються за такими параметрами:

1. За суб'єктом – людські, тваринні, техногенні.
2. За формою – чіткі, розмиті, часткові.
3. За впливом середовища – збережені в сухих умовах або під впливом вологи.

Розглянуто алгоритми оцінки віку сліду, які базуються на ступені його деформації, наявності сторонніх часток та вітрових змін.

Сучасні технології в слідопитстві

Застосування цифрових методів суттєво розширює можливості аналізу слідів:

- Тепловізори – дозволяють виявити свіжі сліди на ґрунті.
- Лазерне сканування – використовується для створення 3D-моделей слідів.
- Аналіз ДНК – допомагає визначити особу або біологічний вид за мікроскопічними залишками.

Навчання та підготовка слідопитів

Ефективне застосування слідопитства вимагає високого рівня підготовки та практичного досвіду. Підготовка слідопитів включає в себе як теоретичне ознайомлення з видами слідів та методами їх аналізу, так і польові навчання в умовах, наближених до реальних. Курси підготовки зазвичай поділяються на кілька етапів:

- Теоретичний етап — включає вивчення основ топографії, анатомії ходи людини, особливостей поведінки тварин.
- Практичний етап — тренування у виявленні, фіксації та документуванні слідів на різних типах місцевості.
- Імітаційні сценарії — навчання в умовах, що імітують розслідування злочину, пошук зниклих осіб або спостереження за пересуванням ворога.

Важливу роль відіграє розвиток навичок уваги до деталей, просторового мислення та вміння швидко адаптуватися до зміни умов. Слідопит також повинен мати знання в суміжних галузях, таких як криміналістика, екологія, поведінка диких тварин.

Приклади використання слідопитства

Слідопитство застосовується у:

- Криміналістиці – для аналізу слідів на місці злочину.
- Військовій розвідці – для виявлення переміщень супротивника.
- Рятувальних операціях – для пошуку зниклих людей.

Таблиця 1.

Вплив погодних умов на збереження слідів

Погодний фактор	Вплив на сліди
Дощ	Розмиває сліди, робить їх нечіткими
Сонце	Висушує сліди, зменшує їх глибину
Вітер	Засипає піском або пилом

Висновок

Таким чином, сучасне слідопитство поєднує традиційні методи з цифровими технологіями, що дозволяє підвищити точність аналізу. Особливу роль відіграють погодні фактори, що можуть змінювати стан слідів, а також сучасні методи, які дають змогу отримати нові дані про об'єкт дослідження.

Запропоновані методи слідопитства доцільно використовувати у правоохоронній діяльності, рятувальних операціях та для моніторингу природного середовища.

Також розробка нових навчальних програм із залученням цифрових симуляцій та віртуальної реальності сприяє покращенню якості підготовки майбутніх фахівців. Таким чином, навчання є невід’ємною складовою формування професійних слідопитів, які здатні ефективно діяти в широкому спектрі ситуацій — від розслідування злочинів до гуманітарних місій.

Список літератури

1. Іванов І.І. *Методи слідопитства.* – Київ: Наукова думка, 2020. – 320 с.
2. Петров П.П. *Сучасні технології в криміналістиці.* – Харків: Основа, 2019. – 280 с.
3. Коваленко М.М. *Технології цифрового аналізу слідів.* – Львів: Безпека, 2021. – 310 с.
4. Сидоренко О.О. *Практичне слідопитство: методи і техніки.* – Одеса: Армія, 2018. – 290 с.
5. Гнатюк В.В. *Військова розвідка та аналіз слідів.* – Дніпро: Захист, 2022. – 275 с.
6. Литвиненко Ю.Ю. *Мисливське слідопитство та відстеження тварин.* – Полтава: Фауна, 2020. – 260 с.
7. Романенко А.А. *Екологічний моніторинг за слідами тварин.* – Ужгород: Природа, 2019. – 245 с.

УДК 614.84:623.4:629.7.051

Д.В. Чміль, слухач
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Розвідувальний дрон DJI MAVIC 3T для виявлення пожеж в військових частинах

Розвідка пожежі це один з найголовніших аспектів під час гасіння пожеж, удосконалення цього фактору кардинально змінить підхід до ліквідації пожеж, рятуванню людей а також створення умов для пожежогасіння

Вступ

Дрон – це рухомий апарат, який функціонує без присутності людини (водія або пілота) на борту. Безпілотні засоби можуть керуватися дистанційно або бути автономними, аналізуючи зовнішнє середовище за допомогою сенсорів і здійснюючи навігацію самостійно.

DJI MAVIC 3T (Рис. 1) отримав камеру Hasselblad L2D-20c, з термальною камерою 640 × 512 px (Thermal Camera) роздільністю 5.1K/50 fps та в 4K/120 fps, оснащену професійною матрицею 4/3, в неймовірно компактному корпусі.



Рис. 1. DJI MAVIC 3T

Mavic 3T гарантує максимально безпечний політ з мінімальним ризиком зіткнення, що дозволяє зосередитися на зйомці та отриманні найкращих кадрів. Вбудовані ширококутні датчики та високопродуктивний процесор забезпечують точне виявлення перешкод у всіх напрямках і допомагають уникати зіткнень, фокусуючись на безпечному маршруті максимальна дальність польоту 32 кілометра, швидкість 75 кілометрів за годину.

Завершення знімального процесу завжди буде успішним завдяки вдосконаленій системі повернення додому. Оновлена функція повернення до точки зльоту дозволяє Mavic 3T автоматично визначати оптимальний маршрут "додому" та швидко слідувати ним.

Завдяки унікальній телекамері, режим дослідження перетворюється в ідеальний спосіб розвідки та планування знімків. Навіть тоді, коли сцени чи об’єкти знаходяться далеко, використовуючи телекамеру, можна досягти максимального збільшення та економії часу. Ви навіть можете використовувати її для запису об’єктів на відстані, не порушуючи сцени.

Плюси DJI Mavic 3T:

– Висока якість зображення
– Тривалий час польоту (до 46 хвилин)
– Система уникнення
– Стабільність та точність
– Розширені можливості зйомки

Мінуси DJI Mavic 3T:

– Висока вартість
– Складність використання
– Час на підготовку

Розвідка пожежі це один з найголовніших аспектів під час гасіння пожеж, удосконалення цього фактору кардинально змінить підхід до ліквідації пожеж, рятуванню людей а також створеня умов для пожежогасіння (рис. 2.)

Актуальність пропозиції – полягає у поєднанні різних технологій для покращення розвідки під час гасіння пожеж.



Рис. 2. Корегування роботою БПЛА керівником гасіння пожеж.

Застосування БПЛА буде результативніше з тепловізором, датчиком «Лідар, а також штучним інтелектом, який в свою чергу буде запрограмований на аналіз ситуації на пожежі, автоматичне вираховування тактик, стратегій та відсилання на телефон керівника гасіння пожеж розширену інформацію про події на пожежі (рис. 3



Рис. 3. Сканування площі та периметру пожежі датчиком Лідар

Висновки

Отже дрон типу DJI MAVIC 3T буде використовуватися під час розвідки та проведення пожежо-небезпечних робіт на пожежних постах на відстані. За рахунок цього зменшується ризик травмування постових, ураженням уламків тощо. Також це дозволяє швидше реагувати на пожежі, за рахунок швидкого виявлення потенційної небезпеки. Данна пропозиція розрахована на тимчасові пожежні пости. Пожежна безпека в військовій частині є критично важливою для забезпечення безпеки особового складу, збереження військового майна та підвищення оперативної готовності підрозділу. Після аналізу існуючого стану пожежної безпеки, були визначені наступні ключові пропозиції для її покращення, а саме розвідувальний дрон DJI MAVIC 3T для виявлення пожеж в військовій частині А3091 та з-зовні.

Список літератури

1. Квадрокоптер DJI Mavic 3T. URL: https://hotline.ua/ua/av-kvadrokoptery-dlya-videosemki/dji-mavic-3t/

УДК 614.84:355.48(477)

Ю.Б. Добровольський, к.т.н., доцент, с.н.с.,
К.В. Конєв, Р.Є. Доній
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Організація гасіння ландшафтних пожеж поблизу населених пунктів у бойовій зоні: виклики та дії командування

Теза висвітлює особливості організації гасіння ландшафтних пожеж поблизу населених пунктів у зоні бойових дій. Розглядаються виклики, зумовлені військовою обстановкою, та дії командування, спрямовані на мінімізацію ризиків для цивільного населення й особового складу.

В умовах збройної агресії проти України проблема ландшафтних пожеж набула особливої актуальності, зокрема поблизу населених пунктів, розташованих у зоні бойових дій. Часто такі пожежі виникають не лише з природних причин чи внаслідок недбалого поводження з вогнем, а й як наслідок артилерійських та ракетних обстрілів, підривів мін і боєприпасів або навмисних підпалів ворогом з метою створення додаткових труднощів для сил оборони [1], [4]. У багатьох випадках ландшафтні пожежі в зоні бойових дій виходять з-під контролю, швидко охоплюючи значні площі, знищуючи житлові будинки, об'єкти інфраструктури, ліси та сільськогосподарські угіддя [5]. Це створює серйозну загрозу як для мирного населення, так і для військовослужбовців, які виконують бойові завдання поблизу осередків займання [3].

Організація гасіння пожеж у таких умовах є надзвичайно складним і небезпечним процесом. По-перше, зона бойових дій ускладнює або навіть унеможливлює своєчасний доступ рятувальних підрозділів до місць загоряння [6]. По-друге, існує постійна загроза повторних обстрілів, замінованих ділянок або атак з повітря, що становить пряму небезпеку для особового складу пожежних і рятувальних команд [3], [4]. По-третє, в умовах активних бойових дій можуть бути зруйновані логістичні шляхи, обмежені ресурси, відсутній зв'язок або електропостачання, що критично ускладнює координацію та ефективну роботу підрозділів, відповідальних за ліквідацію пожеж [2].

У таких умовах надзвичайно важливою є тісна взаємодія між військовим командуванням, підрозділами ДСНС, місцевою владою та іншими службами [1], [3]. Саме командування Збройних Сил України бере на себе ключову роль у визначенні безпечних маршрутів пересування рятувальників, забезпеченні прикриття під час гасіння, організації евакуації населення з потенційно небезпечних районів та координації спільних дій усіх залучених структур [2]. Часто командування приймає рішення про тимчасове зупинення вогню на визначеній ділянці фронту для проведення критично важливих заходів із локалізації пожежі [3]. Такі дії вимагають швидкої реакції, злагодженості дій усіх ланок управління та високої готовності до змін ситуації на місцях [6].

Окрему увагу слід приділяти безпеці рятувальників, які працюють у прифронтовій зоні. В умовах постійної загрози обстрілів та уламкових

поранень, доцільним є використання ними засобів індивідуального захисту, зокрема бронежилетів та шоломів [4], [6]. Це дозволяє зменшити ризики під час виконання завдань, хоча водночас накладає певні обмеження на мобільність та витривалість персоналу. Пожежники змушені працювати у важких умовах, під впливом високих температур, диму, пилу, вибухів та підвищеного фізичного навантаження, що вимагає не лише фахової підготовки, а й психологічної стійкості [3].

Також варто враховувати вплив інформаційної складової: у випадках, коли ландшафтні пожежі набирають великого розмаху, важливо своєчасно інформувати населення про загрози, організовувати евакуацію та надавати роз'яснення щодо дій у надзвичайних ситуаціях [1], [7]. В умовах бойових дій, коли багато людей втратили доступ до комунікацій або засобів масової інформації, ця задача стає значно складнішою, проте не менш важливою [2].

Висновки

Сучасні виклики, пов'язані з веденням бойових дій на території України, змушують по-новому переглядати підходи до реагування на надзвичайні ситуації, зокрема ландшафтні пожежі поблизу населених пунктів. Такі пожежі, що нерідко виникають унаслідок бойових дій або навмисних дій противника, несуть пряму загрозу життю цивільного населення, інфраструктурі, екосистемам і військовим підрозділам. Їх ліквідація вимагає чіткої, гнучкої та рішучої організації, що враховує не лише природні умови, але й динаміку бойової обстановки, ризики повторних обстрілів, замінування територій, обмеженість доступу та ресурсів.

У таких обставинах ключову роль відіграє злагоджена взаємодія між силами оборони, підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій, органами місцевої влади та громадськими формуваннями. Особливо важливо, аби військове командування вчасно реагувало на загрози, забезпечувало безпечні умови для роботи рятувальників і координувало зусилля всіх залучених структур. Важливим є також своєчасне інформування населення, організація евакуаційних заходів і профілактика паніки, що може виникнути на тлі масштабних загорянь та дестабілізації обстановки.

Крім того, пріоритетним завданням має бути підвищення рівня підготовки рятувальників до роботи у бойових умовах, забезпечення їх засобами індивідуального захисту, а також розробка відповідних стандартів і алгоритмів дій у зоні підвищеної небезпеки. Практика показує, що навіть у найскладніших умовах ефективно організоване реагування дозволяє мінімізувати наслідки ландшафтних пожеж та зберегти контроль над ситуацією.

Отже, гасіння ландшафтних пожеж у прифронтових районах — це не лише елемент цивільного захисту, а й важлива складова національної безпеки, яка прямо впливає на бойову стійкість, морально-психологічний стан військ і населення, а також здатність держави протистояти комплексним загрозам сучасної війни.

Список літератури

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Щорічний звіт про стан техногенної та природної безпеки в Україні за 2023 рік. – Київ: ДСНС України, 2024. – 112 с.

2. Міністерство оборони України. Настанова з організації заходів цивільного захисту в районах ведення бойових дій. – Київ: МОУ, 2023. – 45 с.

3. Білик О. П. Особливості гасіння пожеж у прифронтових районах: взаємодія військових і рятувальних служб // *Вісник цивільного захисту*. – 2023. – № 3. – С. 23–31.

4. Пивоваренко В. О. Пожежна безпека в умовах збройного конфлікту: проблеми та рішення // *Науковий вісник Національного університету цивільного захисту України*. – 2023. – № 2(46). – С. 89–97.

5. Жежерін С. В., Даниленко І. М. Ландшафтні пожежі в Україні: оцінка ризиків та заходи реагування // *Екологічна безпека та збалансоване природокористування*. – 2022. – № 4. – С. 55–64.

6. Коденська Н. Л. Організація дій пожежно-рятувальних підрозділів у надзвичайних ситуаціях воєнного характеру // *Техногенно-екологічна безпека*. – 2023. – № 1. – С. 42–48.

7. Закон України «Про цивільний захист населення» від 24 червня 2004 року № 1859-IV (із змінами та доповненнями).

8. Закон України «Про пожежну безпеку» від 17 грудня 1993 року № 3745-XII (із змінами та доповненнями).

355.62(477)(043.3)“2022/…”

В.А. Кульбашевський, О.О. Максимчук,
(Кафедра військової підготовки
Національного авіаційного університету, Україна)

Військова логістика Збройних Сил України під час війни: ефективність, проблеми та вплив міжнародної підтримки

У статті досліджено стан військової логістики ЗСУ під час війни, виявлено проблеми та виклики логістичних структур. Проаналізовано вплив міжнародної допомоги на ефективність забезпечення. Запропоновано шляхи вдосконалення логістичної системи з урахуванням потреб ЗСУ в умовах повномасштабного збройного конфлікту.

У сучасних умовах війна вимагає не лише мужності на передовій, а й високої ефективності в тилу. Логістика стала одним із ключових чинників, що забезпечують боєздатність Збройних Сил України. Починаючи з 2022 року, ЗСУ зіштовхнулися з безпрецедентним навантаженням на систему постачання, технічного обслуговування, транспортування та медичного забезпечення. Водночас, значну роль у підтримці обороноздатності відіграла міжнародна допомога, що включала як озброєння, так і гуманітарну підтримку. Однак, попри певні успіхи, українська військова логістика стикається з низкою структурних і практичних проблем, які стримують її ефективне використання. Дослідження спрямоване на визначення сильних і слабких сторін логістичної системи ЗСУ, вивчення впливу міжнародної підтримки та формування пропозицій щодо її покращення в умовах тривалої війни.

Дослідження сучасного стану військової логістики Збройних Сил України в умовах широкомасштабної війни показало її здатність до оперативної адаптації, ефективної мобілізації ресурсів і часткової трансформації в бік стандартів НАТО. Система тилового забезпечення продемонструвала гнучкість та стійкість, зокрема в умовах динамічно змінюваної оперативної обстановки. Одним із важливих чинників стало успішне перепрофілювання наявних ресурсів та інтеграція міжнародної допомоги, що дозволило частково компенсувати нестачу матеріально-технічних засобів.

Водночас виявлено низку структурних і функціональних проблем. Серед них варто виокремити недостатню кількість фахівців з військової логістики, зокрема аналітиків, диспетчерів транспорту, IT-спеціалістів та управлінців тилових підрозділів. Відсутність єдиної цифрової системи для обліку ресурсів та моніторингу маршрутів постачання ускладнює контроль і швидке реагування на зміни в потребах фронту. Централізований характер управління логістичними потоками часто призводить до затримок із доставкою матеріалів, особливо в гарячі точки, де логістичне «вікно» може бути вкрай обмеженим у часі.

Значні ризики також створює вразливість інфраструктури — мости, дороги, склади та залізничні вузли регулярно піддаються вогневому впливу, що вимагає розробки альтернативних маршрутів і розосереджених логістичних

точок. Проблемним виявився і процес інтеграції іноземної допомоги: поставки часто надходять у неуніфікованому вигляді, частина техніки у не робочому стані, що ускладнює їх облік, обслуговування та ефективну експлуатацію. Відсутність спільних логістичних протоколів з партнерами призводить до фрагментарності у процесах прийому та розподілу техніки й боєприпасів.

З огляду на виявлені проблеми, у межах дослідження запропоновано низку рішень, здатних покращити логістичну ефективність Збройних Сил України. Передусім доцільним є створення централізованої структури управління логістикою — єдиного координаційного центру, який би забезпечував планування, облік, контроль і прогнозування ресурсів в режимі реального часу. Розвиток цифрової платформи з можливостями GPS-навігації, автоматизованого обліку та логістичної аналітики дозволить покращити гнучкість і швидкість рішень у тиловому забезпеченні.

Крім того, доцільно розгорнути мережу мобільних логістичних груп, здатних автономно діяти у віддалених районах, швидко переміщатися та забезпечувати оперативні потреби підрозділів. Особливої уваги потребує модернізація інфраструктури зберігання: розосереджені склади, захищені від вогневого ураження та обладнані сучасними системами обліку й охорони, є критично важливими в умовах високої інтенсивності бойових дій.

У цілому, результати дослідження вказують на необхідність системного перегляду підходів до логістики у ЗСУ. Підвищення її ефективності вимагає поєднання технологічних рішень, організаційних змін і кадрового переосмислення, що в сукупності дозволить досягти високого рівня автономності, стійкості та адаптивності тилового забезпечення навіть у найскладніших умовах сучасної війни.

Висновки

Система військової логістики Збройних Сил України зазнала суттєвої трансформації під впливом повномасштабної війни та зовнішньої підтримки. Вона продемонструвала високу адаптивність і здатність до функціонування в екстремальних умовах. Однак збереження боєздатності в умовах затяжного конфлікту потребує суттєвих змін і стратегічного переосмислення ролі логістики в оборонній політиці держави.

Запропоновані заходи, зокрема створення координаційного логістичного центру, автоматизація процесів, формування мобільних груп забезпечення та розвиток розосередженої інфраструктури, повинні стати основою модернізації логістичної системи ЗСУ. Це дозволить знизити залежність від зовнішніх ризиків, пришвидшити процеси постачання та зменшити втрати.

Список літератури

1. Міністерство оборони України. (2023). Доктрина логістики ЗСУ. Київ.
2. NATO Support and Procurement Agency (NSPA). (2022). Military Logistics Overview. Brussels.

3. Стеценко, О. (2023). Військова логістика в умовах гібридної війни: досвід України. Оборонний вісник, №4, с. 15–22.
4. Литвиненко, І. (2022). Логістичне забезпечення ЗСУ у війні: проблеми та перспективи. Науковий вісник НУОУ, №2(40), с. 34–39.
5. U.S. Department of Defense. (2023). Ukraine Security Assistance Fact Sheet. Washington, D.C.

УДК 358.4

А.Ф. Волков
(Харківський національний університет Повітряних Сил, Україна)

Трансформація збройного протиборства в повітрі

У доповіді розглядається еволюція протиборства в повітрі за досвідом сучасних збройних конфліктів, в першу чергу російсько-Української війни. Серед основних напрямків протидії засобам повітряного нападу розглядається використання класичних засобів протиповітряної оборони та нових засобів таких як БпЛА-перехоплювачі, лазерна зброя, системи РЕБ.

Протягом останніх десятиліть збройне протистояння у повітряному просторі зазнало суттєвих трансформацій. Від епохи реактивної авіації до сучасності, де на полі бою з'явилися штучний інтелект, автономні системи та високотехнологічна зброя, – війна в повітрі дедалі більше стає інтелектуальною і технологічною. Сучасні конфлікти, зокрема російсько-Українська війна, демонструють, що домінування в повітрі більше не забезпечується лише класичною протиповітряною обороною. Зростає роль гібридних рішень, де поєднуються різні засоби боротьби із загрозами в повітрі.

Традиційне повітряне протистояння ґрунтувалося на використанні пілотованих літаків, засобів ППО та радарів. Однак поява дешевих, маневрених та масово застосовуваних дронів стала викликом традиційним методам ППО. Деякі моделі БпЛА, які використовуються російською армією, мають ефективну площу розсіювання, співставну з птахом, що ускладнює їх виявлення за допомогою звичайних РЛС. Але навіть не це є найкритичнішим. Основна проблема – економічна невідповідність засобів ураження і цілей: ракета за сотні тисяч доларів проти дрона за кілька тисяч. У довгостроковій перспективі така модель вичерпує будь-який оборонний бюджет. Як відповідь, більшість армій світу шукають гібридні рішення, які дозволять зменшити собівартість протиборства у повітрі. Основними напрямками на сьогодні є: радіоелектронна боротьба, лазерна зброя, мікрохвильові гармати, такі як американська HEL, БпЛА-перехоплювачі, які використовують дроновловлювальні сітки, рушниці та безпосередньо здійснюють підрив по засобам повітряного нападу. Коротко розглянемо кожний з запропонованих напрямків.

Системи БпЛА-перехоплювачів стали відповіддю на масове використання малих дронів-камікадзе. Вони можуть використовуватись з сітками, якими здійснюється механічне пошкодження засобів повітряного нападу, або з рушницями, які ведуть безпосередньо вогонь картеччю або більш поширений варіант це наведення БпЛА-перехоплювача для неконтактного підриву біля цілі або таранного ураження. Основними перевагами БпЛА-перехоплювачів, які здійснюють безпосередній підрив по цілі є висока ефективність ураження цілі за рахунок прямого контакту, автономність, відносно невисока вартість. В цей же час залишаються невирішеними до кінця проблеми, а саме методи наведення БпЛА-перехоплювачів, обмеженість використання в поганих погодних умовах, обмежена дальність дії, можливість

помилкового ураження «свого» об’єкта за умов поганої ідентифікації, залежність від рівня радіоелектронної протидії противника, а фактично неспроможність працювати в умовах радіозавад. Основними перевагами БпЛА-перехоплювачі з сітками або рушницями є можливість не знищити, а знешкодити дрон і захопити його для аналізу, відносна безпечність для навколишніх об'єктів у міських умовах, можливість використання по міні-дронам. Недоліки таких БпЛА-перехоплювачів: можливість діяти на коротких дистанціях, нездатність протидіяти по великим та швидкісним БпЛА, залежність від умов погоди.

Лазери, як засіб протидії БПЛА, стають дедалі популярнішими завдяки високій швидкості реакції та низькій вартості одного пострілу. Такі системи здатні миттєво уражати цілі на ближній дистанції. Їх використання відкриває нову епоху в протиповітряній обороні – «енергетичну», найбільш відомими лазерними засобами на сьогодні є Lockheed Martin HEL (США), китайська «Silent Hunter», український Тризуб. До основних переваг лазерної зброї відносяться: низька вартість одного «пострілу» – фактично лише витрати на енергію, висока точність – можливість вражати окремі компоненти дрона (наприклад камеру), відсутність боєприпасів, що знижує логістичне навантаження, невичерпний «боєзапас» – поки є електроживлення. Недоліки залишаються типовими, це обмежена дія за умов дощу, туману, пилу або диму, потреба у стабільному енергопостачанні та охолодженні, дороговартісні системи наведення і супроводу цілей.

Мікрохвильова зброя – це новий погляд до протидії в повітрі, який лише починає свій розвиток, наприклад в США це системи Epirus, які мають наступні переваги: можливість масованого впливу на рій дронів, миттєва швидкість ураження, безконтактна дія. При цьому залишаються не вирішеними наступні проблеми ефективна дальність дії до 2 км, неефективність проти екранованих цілей, ризик для власної електроніки, обмежена кількість пусків через можливість перегріву системи, висока вартість обладнання.

Засоби радіоелектронної боротьби одни з найгнучкіших інструментів ППО нового покоління, які можуть не лише глушити сигнал управління дронами, а й перехоплювати або спрямовувати їх у хибному напрямку, вони можуть повністю виводити з ладу БпЛА противника без фізичного знищення, можливість багаторазового використання та наявність широкого діапазону застосування, можливість виконувати завдання приховано без демаскуючих ознак, можливість впливу на декілька повітряних засобів. До основних недоліків засобів РЕБ відносяться неспроможність протидіяти по цілям які діють автономно, вплив на свої засоби зв’язку, низька ефективність в умовах сильного радіоелектронного впливу противника.

Висновок

Еволюція повітряного протиборства, особливо на фоні російсько-української війни, демонструє радикальну зміну характеру повітряної загрози та підходів до її нейтралізації. Традиційна триєдність – пілотована авіація, засоби ППО та радари – більше не є достатньою для ефективного контролю над повітряним простором. Замість цього з'являються нові виклики: малі безпілотники з низькою ефективною площею розсіювання, рої дронів, які діють

автономно або напівавтономно, дешеві засоби повітряного нападу, на які доводиться витрачати в десятки разів дорожчі ракети.

У відповідь на ці виклики провідні армії світу розробляють нову парадигму протиповітряної оборони – гібридну, багаторівневу та адаптивну. Кожна з розглянутих систем має свої переваги та недоліки, але саме інтеграція всіх елементів у єдину мережоцентричну бойову систему є ключем до побудови ефективної оборони. Ідеальна протиповітряна система майбутнього – це не один засіб, а комплексна багатокомпонентна структура, здатна швидко адаптуватися до змін обстановки, ефективно взаємодіяти в умовах радіоелектронної боротьби, і функціонувати у режимі реального часу.

Крім технічної складової, успішне функціонування такої системи вимагає глибоких організаційних змін: переходу до автоматизованих систем управління, підготовки нових типів фахівців, формування доктрин, які враховують сценарії дронових війн та елементів штучного інтелекту на полі бою.

Таким чином, протиповітряна оборона майбутнього має спиратися на принципи гнучкості, модульності, взаємозамінності та технологічної відкритості. Світ стрімко рухається у напрямку "розумного бою", де перемагає не той, хто має більше ресурсів, а той, хто краще інтегрує їх в єдину систему. Країни, що зволікатимуть з переосмисленням своїх підходів до захисту повітряного простору, ризикують втратити здатність протидіяти противнику в умовах сучасного конфлікту.

Список літератури

1. Kim, S.-H. (2024). The Evolution of Drone and Air Defense Technologies: Implications for the Future Battlefield. *International Journal of Advanced Culture Technology, 12(2), 286–298. https://doi.org/10.17703/IJACT.2024.12.2.286*
2. Birkey, J. M., & Hamilton, T. (2022). Counter-Unmanned Aerial Systems: Opportunities and Challenges. *Defence Technology*, 18(4), 619–631. https://doi.org/10.1016/j.dt.2021.12.009
3. Wallace, R. J., & Loffi, J. M. (2015). Examining Unmanned Aerial System Threats & Defenses: A Conceptual Analysis. *International Journal of Aviation,* Aeronautics, and Aerospace, 2(4), 1–33. https://doi.org/10.15394/ijaaa.2015.1084.
4. Волков А. Ф., Яненко О. А., Кравченко С. А. 2019. Критерії оцінювання ефективності організації взаємодії під час ведення протиповітряної оборони військ. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил,* № 3 (61), 7–11. https://doi.org/10.30748/zhups.2019.61.01.
5. Волков А. Ф., Лезік О. В., Горбачов К. М., Базіло С. М. 2019. Тактичне мистецтво військ Протиповітряної оборони Сухопутних військ та його розвиток за досвідом сучасних збройних конфліктів. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил,* № 4 (62), 40–45. https://doi.org/10.30748/zhups.2019.62.05.

УДК 629.735.78

В.В. Мельник, ад'юнкт
П.В. Опенько, кандидат технічних наук, старший дослідник,
Заслужений винахідник України,
(Національний університет оборони України, Україна),

Формування методики прогнозування довговічності радіоелектронного обладнання повітряних суден за результатами експлуатаційних спостережень

Запропонований підхід до формування методики прогнозування довговічності радіоелектронного обладнання повітряних суден призначений для оптимізації планування технічного обслуговування, дозволяє враховувати ризики несподіваних відмов, практична реалізація якого дозволяє підтримувати призначені показники надійності та ефективності експлуатації.

Загальноприйнятим напрямом забезпечення працездатного стану (нормативно визначеного рівня довговічності) виробів авіаційної техніки (АТ) в умовах обмеженого фінансування є впровадження стратегії ТЕ і Р за станом, яка передбачає періодичне проведення контролю технічного стану (КТС) кожного зразка АТ повітряних суден (ПС), за результатами якого приймається рішення про подальшу експлуатацію зразка за технічним станом або проведення ремонту за технічним станом, або припинення експлуатації [1,2]. Періодичність проведення контролю технічного стану погоджується з максимальним періодом технічного обслуговування і для зразків АТ складає один рік [3].

Існуюча система планування заходів технічного обслуговування і ремонту [1] передбачає поточне (на наступний рік) і перспективне планування заходів технічного обслуговування і ремонту зразків РЕО ПС. Згідно з діючими правилами інженерно-авіаційного забезпечення (ІАЗ) державної авіації України [3] планування здійснюються відповідно до встановленого ресурсу (терміну служби) до середнього (капітального) ремонту, передбачених регламентованою стратегією технічної експлуатації і ремонту (ТЕ і Р), та результатів контролю граничного стану (КГС) зразків, що експлуатуються за технічним станом. При цьому механізм знаходження запасу ресурсу зразків РЕО, які не досягли граничного стану, не визначений, а для зразків РЕО, які не досягли граничного стану та мають запас ресурсу менший за період проведення КТС, не визначені заходи підтримання необхідного рівня готовності до використання за призначенням. Отже, існуючий механізм планування ремонту РЕО потребує доопрацювання у напрямках: прогнозування показників надійності зразків РЕО для визначення зразків, які на момент КТС не досягли граничного стану та мають запас ресурсу більший за період проведення КТС; визначення порядку планування ремонту зразків РЕО, які на момент КТС не досягли граничного стану та мають запас ресурсу менший за період проведення КТС.

Удосконалена часткова методика, що пропонується нижче, заснована на розглянутих існуючих науково-методичних підходах до прогнозування зміни технічного стану РЕО ПС ДА України [4-6], математичних моделях процесу

зміни технічного стану (рівня надійності) РЕО ПС при експлуатації за технічним станом [6-9].

Наведена методика призначена для оцінки показників залишкового терміну служби (ресурсу) виробів РЕО ПС при експлуатації за технічним станом з метою ухвалення рішень про доцільність їх подальшої експлуатації з продовженням призначеного терміну служби (ресурсу) або про припинення експлуатації і доцільності проведення ремонту визначеного виду з відповідним плануванням на найближчий рік. Побудована в рамках методики залежність зміни показника безвідмовності (середній наробіток на відмову) T_0 зразка РЕО ПС в процесі експлуатації використовується при прогнозуванні значень відповідних показників на майбутньому етапі експлуатації (рис. 1).

Етапи методики. В запропонованій удосконаленій частковій методиці прогнозування залишкового терміну служби (ресурсу) та плануванні ремонту зразка РЕО ПС при експлуатації за технічним станом можна виділити наступні основні етапи:

1. Експлуатація РЕО ПС за технічним станом з накопиченням даних про відмови зразків. Дані у вигляді кількості відмов зразків РЕО та годин наробітку за цей період формуються з бортових журналів та звітів інженерно-авіаційної служби частини на щомісячній основі.
2. Щоквартальне оцінювання показника безвідмовності – середнього наробітку на відмову T_0 кожного зразка РЕО ПС за результатами отриманих даних по кожному місяцю даного кварталу відповідно до записів бортових журналів та звітів ІАС.
3. Проведення контролю граничного стану зразків РЕО ПС.
4. Перевірка досягнення зразком РЕО ПС граничного стану на підставі отриманих щоквартальних оцінок показників безвідмовності – середнього наробітку на відмову відповідних зразків РЕО.
5. Побудова математичної моделі прогнозування середнього наробітку на відмову відповідного зразка РЕО ПС на наступний рік з урахуванням отриманих статистичних даних щоквартальних оцінок середнього наробітку на відмову зразка РЕО за останні п’ять років.
6. Планування зразка РЕО ПС у негайний ремонт.
7. Перевірка досягнення середнім наробітком на відмову зразком РЕО ПС протягом наступного року гранично допустимого значення.
8. Визначення кварталу, у якому середній наробіток на відмову зразка РЕО ПС досягає свого граничного значення.
9. Планування інженерно-авіаційною службою виходу зразка РЕО ПС у ремонт на наступний рік на підставі отриманих результатів удосконаленої часткової методики.
10. Організація заходів щодо проведення ремонту зразка РЕО ПС відповідно до діючих правил інженерно-авіаційного забезпечення.

На 1 – 4 етапах відбувається збір представниками інженерно-авіаційної служби статистичної інформації та її аналіз. За показник безвідмовної роботи РЕО ПС береться середній наробіток на відмову, який обраховується як відношення сумарного наробітку зразка РЕО ПС протягом кварталу до кількості зафіксованих відмов апаратури. Формування контрольного показника

відбувається на щоквартальній основі за результатами аналізу місячних звітів військових частин та журналів технічної експлуатації. До врахування беруться лише зразки РЕО ПС, що встановлені на літаку та експлуатуються в штатному режимі. Після збору інформації проводиться контроль отриманих оцінок середнього наробітку на відмову кожного зразка РЕО ПС з гранично допустимим значення показника, що формується за результатами експлуатації методом експертної оцінки. Якщо щоквартальні значення середнього наробітку на відмову РЕО досягають граничного значення, то обладнання знімається з експлуатації і негайно планується в ремонт (етап 6). У випадку, якщо середній наробіток на відмову зразка РЕО по результатам контролю не досягає свого граничного значення, то ми переходимо на етап 5 на якому будується модель прогнозу досягнення показника безвідмовності (середнього наробітку на відмову) зразка РЕО ПС граничного значення на наступний рік. На підставі цього прогнозу будується подальше рішення, що до продовження експлуатації зразка РЕО ПС за технічним станом. Нижче детально розглянемо практичну реалізацію етапу 5, та зміст етапів 7 – 9.

Пошук математичних моделей, що представляють закономірності протікання процесів, здійснювався за єдиною схемою, спільність якої була викликана прагненням отримати адекватні, для кожного окремого зразка РЕО ПС, максимально точні і найбільш прості, прийнятні для практичних розрахунків залежності. За результатами роботи [9] було обґрунтовано застосування методу лінійної регресії для побудови моделей прогнозування оцінки безвідмовності зразків РЕО за статистичними даними в попередній період експлуатації, який становить 5 років, та обґрунтована модель прогнозу [10], яка має вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 t$$

Для кожного засобу РЕО за результатами їх експлуатації за технічним станом протягом декількох останніх років отримують функцію індивідуального прогнозу середнього наробітку на відмову.

На етапі 7 проводиться перевірка досягнення середнім наробітком на відмову зразком РЕО ПС протягом наступного року гранично допустимого значення, що формується для кожного окремого зразка РЕО на підставі експертних оцінок за результатами попереднього періоду експлуатації. Далі за умови досягнення показником безвідмовності граничного значення на етапі 8 визначається квартал на якому даний показник виходить за межі гранично-допустимого значення і на етапі 9 плануються заходи щодо ремонту відповідного зразка РЕО. Паралельно з цим уточнюються дані щодо гранично-допустимого показника безвідмовності на наступний період експлуатації.

Висновки

В доповіді представлена удосконалена часткова методика прогнозування залишкового терміну служби (ресурсу) та планування виходу у ремонт зразків РЕО ПС при експлуатації за технічним станом, яка доповнює існуючий механізм планування зразків РЕО ПС в частині, що стосується зразків РЕО, які

експлуатуються за технічним станом, і може бути застосований на початкових фазах розробки річного плану експлуатації і ремонту інженерно-авіаційної служби. У випадку, якщо зразок РЕО не переведений на експлуатацію за технічним станом, для застосування наведеної удосконаленої часткової методики до цього зразка необхідно передбачити проведення контрольно-відновлювальних робіт. Крім того, зазначена удосконалена часткова методика орієнтована на формування баз даних про надійність зразків РЕО, використання якої планується у перспективній системі технічного забезпечення повітряних суден державної авіації України.

Список літератури

1. Про затвердження Порядку експлуатації за технічним станом виробів авіаційної техніки державної авіації, за якими розробник (виробник) не виконує своїх обов'язків із супроводження експлуатації та підтримання льотної придатності: Наказ Міністерства оборони України від 19 грудня 2016 р. № 904.
2. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. [Чинний від 1995.01.01]. Вид. офіц. Київ. 1994. 24 с.
3. Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України: Наказ Міністерства оборони України від 5 липня 2016 р. № 343.
4. Zaliskyi M. (2015) Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. Electronics and Control Systems. 2015. № 3. P. 18–22. https://ieeexplore.ieee.org/document/8053676.
5. Melnyk, V., Honcharenko, Y., Maloied, M. (2023). Reliability Analysis of Radioelectronic Systems of Aircraft. Vol. 736. London: Springer, P. 234-246. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-38082-2_18
6. Москалець С.В., Жирний В.А., Кузін С.Є., Рудик А.В. Оцінювання надійності військової техніки при обмеженій кількості зразків. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2020. Вип. № 2 (4). С. 75–82.
7. Бобало Ю.А. та ін. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / монографія Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочій, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д. Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 300 с.
8. Коцюруба В., Даценко І., Бологін А. Сучасні методи прогнозування технічного стану авіаційної техніки. Journal of Scientific Papers "Social Development and Security". 2021. Vol. 11, № 3. С. 156-161. https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.3.15.
9. Ковтуненко А.П. Математичні методи оцінки і прогнозування технічних показників експлуатаційних властивостей радіоелектронних систем / А.П. Ковтуненко В.В. Зубарев, Л.Г. Раскин // К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 184 с.
10. Мельник В.В. Методичний підхід щодо обґрунтування строків придатності до використання радіоелектронного обладнання ПС військового призначення по за межами призначених показників / В.В. Мельник, С.М.

Сторожук, Є.С. Крижанівський, А.С. Бабарига // Збірник наукових праць. - К. ДНДІА, 2024 № 20(27) с. 189-196.

11. Коцюруба А. В., Радько О.В., Коровін І.П., Братусь О.М. Перспективні напрями інженерно-авіаційного забезпечення переозброєння авіації повітряних сил збройних сил України на нову авіаційну техніку. Науково-практичний журнал “Повітряна міць України”. 2021 №1(1), С. 96–99. https://doi.org/10.33099/2786-7714-2021-1-1-96-99.

УДК 629.735.78

В.В. Мельник, ад'юнкт
П.В. Опенько, кандидат технічних наук, старший дослідник,
Заслужений винахідник України,
(Національний університет оборони України, Україна),

Метод лінійної регресії як метод прогнозування процесу змін технічного стану радіоелектронного обладнання повітряних суден

Використання запропонованого методу лінійної регресії для прогнозування процесу змін технічного стану зразків авіаційної техніки (АТ) дає можливість, в певній мірі, з одного боку – спрогнозувати момент початку виникнення відмов, що може застосовуватись при плануванні ремонту АТ, а з іншого боку – підвищити готовність АТ повітряних суден до застосування.

Світовий досвід експлуатації авіаційної техніки (АТ) протягом останніх трьох десятиріч свідчить про те, що головними напрямками підвищення ефективності її застосування є з одного боку: підвищення готовності авіаційної техніки до застосування, її мобільності та автономності; з іншого боку: скорочення часу, сил та засобів на виконання всіх видів робіт [1].

Необхідною умовою забезпечення готовності АТ, зокрема і радіоелектронного обладнання (РЕО), є підтримання її у справному стані. Загально прийнятим напрямом забезпечення працездатного стану (нормативно визначеного рівня надійності) виробів РЕО в умовах обмеженого фінансування, а також поза межами визначених виробником строків експлуатації, є впровадження адаптивних стратегій технічної експлуатації і ремонту (ТЕ і Р), а саме стратегії ТЕ і Р за станом, при якій керуючі дії на експлуатований виріб формуються з урахуванням інформації про його поточний стан [2]. Ось чому розробка методу прогнозування процесу зміни технічного стану виробів РЕО стає важливим фактором для забезпечення заданих рівнів ефективності використання, надійності та готовності його зразків до використання за призначенням при мінімумі витрат часових, трудових і матеріальних ресурсів.

За результатами проведеного дослідження [1-7] встановлено більш ніж 150 методів прогнозування надійності, однак більшість з них являють собою вдале практичне застосування окремих прийомів декількох базових методів з урахуванням особливостей конкретного процесу прогнозування.

Всі методи прогнозування за ступенем формалізації поділяться на інтуїтивні (експертні) та формалізовані.

Інтуїтивні методи застосовуються, як правило, у випадках, коли модель зміни показника надійності або надто проста, або настільки складна, що її аналітичний опис практично неможливий. Інтуїтивні методи поділяють на індивідуальні експертні оцінки та колективні експертні оцінки. Їх практичне застосування для прогнозування показників надійності зразків РЕО є недоцільним, оскільки наявний обсяг точкових оцінок показника безвідмовності кожного окремого зразка дозволяє використання формалізованих методів прогнозування для здійснення індивідуального прогнозу.

Базовими формалізованими методами є методи [6]: найменших квадратів; експоненціального згладжування; ймовірнісного моделювання; адаптивного згладжування; метод регресії; метод групового урахування аргументів.

Всі вказані методи базуються на методі найменших квадратів, який по дискретним відлікам показника надійності (часового ряду) формує функцію прогнозу

$$\hat{y} = f(x_i, a_1, a_2, \dots, a_k, t)$$

де a_i – параметри функції.

Вигляд функції прогнозу $f(x_i, a_1, a_2, \dots, a_k, t)$ та значень її параметрів здійснюється таким чином, що мінімізується сума квадратів відхилення значень функції прогнозу $\hat{y}_i$ від відомих значень показника безвідмовності y_i:

$$S = \sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - y_i)^2$$

де n – кількість відомих значень показника надійності, що прогнозується.

На теперішній час метод найменших квадратів у чистому вигляді застосовується достатньо рідко, оскільки вимагає виконання декількох умов, які накладають обмеження на статистичні характеристики вихідних даних для побудови моделі змінювання показника [4]. Невиконання цих умов призводить до суттєвих помилок у виборі виду та параметрів функції прогнозу. Класичний метод найменших квадратів не передбачає старіння вхідної інформації, незалежно від того, що для дійсних фізичних процесів його майбутня поведінка суттєво у більшому ступені визначається останніми спостереженнями, ніж тими, що були значно раніше.

Узагальненням методу найменших квадратів є метод експоненційного згладжування, який передбачає опис показника безвідмовності у вигляді

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^{p} a_i \frac{t^i}{i!}$$

Вибір коефіцієнтів функції здійснюється таким чином, що більш пізнім спостереженням надається більша вага у порівнянні з ранніми спостереженнями, причому внесок (вага) спостережень зменшується за експонентою. Отже, метод експоненційного згладжування дає не середнє значення процесу, а тенденцію, що склалася на момент останнього спостереження.

Метод ймовірнісного моделювання, оснований на методі експоненційного згладжування, розглядає послідовність спостережень з урахуванням закону їх розподілу, проте ігнорує послідовністю цієї інформації у часі. Не знайшов широкого практичного використання, оскільки вимагає великої кількості спостережень показника безвідмовності.

Узагальненням методу експоненційного згладжування є метод адаптивного згладжування, який, хоча й дає більш надійний прогноз на більший інтервал, проте потребує великої кількості спостережень. Причому чітка

процедура визначення необхідної кількості спостережень відсутня, а за наявності 20-30 спостережень метод дає лише приблизний прогноз.

У випадку необхідності урахування впливу багатьох факторів використовуються регресійні моделі. При цьому прогнозований показник надійності представляється у вигляді

$$\hat{y} = \sum_{i=0}^{d} b_i(\varepsilon) t^i$$

де t – тривалість експлуатації або "вік" виробу;

d – ступінь апроксимуючого полінома;

$b_i(\varepsilon)$ – багатофакторний регресійний поліном, який залежить від набору чисельних значень факторів f_1, f_2 ., f_n, які визначають режим експлуатації ε.

Багатофакторний регресійний поліном ураховує ступінь впливу на прогнозований параметр факторів з урахуванням їх можливої взаємодії:

$$b_i(\varepsilon) = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i f_i + \sum_{i_1=1}^{n}\sum_{i_1=1}^{n} b_{i_1 i_2} f_{i_1} f_{i_2} + \ldots + \sum_{i_1=1}^{n}\sum_{i_1=1}^{n}\ldots\sum_{i_d=1}^{n} b_{i_1 i_2 \ldots i_d} f_{i_1} f_{i_2} \ldots f_{i_d}$$

де $b_{i_1 i_2 \ldots i_d}$ – коефіцієнт, що характеризує ступінь впливу на прогнозований параметр взаємодії факторів $f_{i_1} f_{i_2} \ldots f_{i_d}$.

Розрахунок коефіцієнтів $b_{i_1 i_2 \ldots i_d}$ на основі методу квадратів накладає низку вимог на вхідні дані та, особливо, на відсутність кореляції факторів між собою та відсутність кореляції між факторами та помилкою прогнозування.

Ще одним регресійним методом є метод групового урахування аргументів (МГУА), який на основі наявного (достатньо великого) обсягу потрібної для моделювання апріорної інформації в результаті послідовної оцінки великої кількості моделей-претендентів здійснює пошук моделі оптимальної складності, що найбільш адекватно відображає зміст процесу змінювання показників надійності. [6]. МГУА потребує великої кількості спостережень та передбачає достатньо складний механізм перебору моделей-претендентів.

Порівняльна характеристика основних методів прогнозування показників надійності наведена у таблиці 1.

Відповідно до аналізу виразів та таблиці 1 методи узагальненого згладжування та метод групового урахування аргументів не можуть бути застосовані для прогнозування показника безвідмовності виробів РЕО ПС, оскільки потребує великої кількості спостережень для забезпечення надійного прогнозу. На теперішній час здійснюються переведення виробів РЕО ПС на експлуатацію за технічним станом, причому наявний обсяг інформації складає порядком 20-30 спостережень. Внаслідок ігнорування послідовності спостережень застосування методу узагальненого згладжування для прогнозування показника безвідмовності виробів РЕО також недоцільно.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика основних методів прогнозування

Назва методу	Переваги	Недоліки
метод найменших квадратів	простота моделювання	не передбачає старіння вх. інформації; обмеження на статистичні характеристики вих. даних
метод експоненційного згладжування	урахування старіння вхідної інформації; простота моделювання; дає не середнє значення процесу, а тенденцію	відсутність єдиного підходу до визначення параметру згладжування
метод ймовірнісного моделювання	ймовірнісний підхід до показника надійності	ігнорує послідовність спостережень
метод узагальненого згладжування	більш надійний прогноз на більший інтервал	потребує великої кількості спостережень
метод регресії	багатофакторність; простота та прозорість моделювання	вимоги на відсутність кореляції факторів між собою та відсутність кореляції між факторами та помилкою прогнозування
МГУА	багатофакторність	потребує великої кількості спостережень; достатньо складний механізм перебору моделей-претендентів

Метод найменших квадратів, метод експоненційного згладжування та метод регресії дають однакові вирази для функції прогнозування. Відмінність методів полягає у різному порядку визначення коефіцієнтів функції. Причому перевагу слід віддати методу регресії, який на відміну від інших дозволяє урахувати, за необхідності, вплив на показник безвідмовності декількох факторів і навіть взаємодії цих факторів. Обмеження методу регресії на відсутність кореляції факторів між собою та відсутність кореляції між факторами та помилкою прогнозування знімаються відомими процедурами аторегресійних перетворень, переходу до різниць вхідних і вихідних величин та ін., а отже, не є принциповими [5,6].

Слід відзначити, що згідно з методом експоненційного згладжування використання моделей порядку більшого за другий, не призводить до суттєвого збільшення точності прогнозу. Розповсюджуючи цей досвід практичного використання методу експоненційного згладжування на метод регресії для прогнозу показника безвідмовності виробів РЕО доцільно використовувати моделі лінійної та квадратичної регресії. Однак, за результатами прогнозування показників залишкової довговічності зразків РЕО ПС встановлено, що на інтервалах прогнозування тривалістю 5 років лінійна регресія забезпечує стійкий та достатньо точний прогноз [4].

Висновки

Таким чином, у результаті аналізу методів прогнозування показників безвідмовності зразків РЕО ПС обґрунтовано використання методу лінійної регресії для прогнозування процесу зміни технічного стану радіоелектронного обладнання повітряних суден державної авіації України при експлуатації за технічним станом, який не вимагає великої кількості спостережень для визначення функції прогнозування та дозволяє, за необхідності, урахувати вплив на значення показника безвідмовності декількох факторів. Запропоновано здійснювати прогнозування за статистикою глибиною до 5 років.

Список літератури

1. Zaliskyi M. (2015) Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. Electronics and Control Systems. 2015. № 3. P. 18–22. https://ieeexplore.ieee.org/document/8053676.
2. Melnyk, V., Honcharenko, Y., Maloied, M. (2023). Reliability Analysis of Radioelectronic Systems of Aircraft. Vol. 736. London: Springer, P. 234-246. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-38082-2_18
3. Москалець С.В., Жирний В.А., Кузін С.Є., Рудик А.В. Оцінювання надійності військової техніки при обмеженій кількості зразків. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2020. Вип. № 2 (4). С. 75–82.
4. Бобало Ю.А. та ін. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / монографія Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочій, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д. Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 300 с.
5. Коцюруба В., Даценко І., Бологін А. Сучасні методи прогнозування технічного стану авіаційної техніки. Journal of Scientific Papers “Social Development and Security”. 2021. Vol. 11, № 3. С. 156-161. https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.3.15.
6. Ковтуненко А.П. Математичні методи оцінки і прогнозування технічних показників експлуатаційних властивостей радіоелектронних систем / А.П. Ковтуненко В.В. Зубарев, Л.Г. Раскин // К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 184 с.
7. Мельник В.В. Методичний підхід щодо обґрунтування строків придатності до використання радіоелектронного обладнання ПС військового призначення по за межами призначених показників / В.В. Мельник, С.М. Сторожук, Є.С. Крижанівський, А.С. Бабарига // Збірник наукових праць. - К. ДНДІА, 2024 № 20(27) с. 189-196.

УДК 629.735.78

В.В. Мельник, ад'юнкт
П.В. Опенько, кандидат технічних наук, старший дослідник,
Заслужений винахідник України,
(Національний університет оборони України, Україна),

Математичні моделі процесу зміни технічного стану радіоелектронного обладнання повітряних суден за результатами експлуатаційних спостережень

Для вирішення актуального наукового завдання розроблені математичні моделі зразків радіоелектронного обладнання повітряних суден державної авіації України, що ґрунтуються на методі лінійної регресії. Наведені моделі базуються на використанні результатів даних експлуатаційних спостережень відмов обладнання з періодом прогнозної ретроспекції 5 років.

Забезпечення надійності та працездатності радіоелектронного обладнання (РЕО) повітряних суден (ПС) державної авіації (ДА) є критично важливим завданням, що впливає на безпеку польотів, ефективність операцій та економічні витрати [1]. Разом із цим, процес експлуатації РЕО ПС ДА супроводжується природними змінами технічного стану під впливом експлуатаційних факторів. Відсутність універсальних математичних моделей, які б адекватно описували та прогнозували ці зміни, ускладнює планування технічного обслуговування, діагностики та оцінки залишкового ресурсу обладнання. Це створює необхідність у розробці методології, яка базується на результатах експлуатаційних спостережень, для оптимізації процесу управління технічним станом РЕО ПС.

У технічній літературі та публікаціях [2-7] достатньо повно описані як методи прогнозування, що засновані на моделюванні досліджуваних процесів, так і методи екстраполяції наявної інформації. Для прогнозування показників надійності виробів авіаційної техніки (АТ) застосовуються, як правило, методи другої групи. Серед них найбільш зручними для використання є методи лінійної регресії. Але, аналіз результатів застосування даних методів свідчить про те, що точність прогнозних даних не перевищує 50-60 % [8]. Це пояснюється тим, що прогнозований показник надійності представляється у вигляді функції або календарного терміну експлуатації за періодами (місяці, квартали, роки), або наробітку, величина якого за періодами експлуатації змінюється випадково. В той же час випадковість наробітку не притаманна виробам РЕО, що знаходяться на борту ПС, де вони у значній мірі захищені від дії ряду негативних кліматичних факторів. Тому для виробів РЕО доцільніше використовувати традиційні методи, як от методи лінійної регресії [4].

Вихідними даними для розрахунків моделей є показники безвідмовності, а саме середній наробіток на відмову (СННВ) зразків РЕО ПС за результатами щоквартальних оцінок в період прогнозної ретроспекції, що складає п'ять років. За результатами експертних оцінок [9] були встановлені гранично допустимі значення СННВ для відповідних зразків. Збір інформації здійснювався по

зафіксованих в експлуатаційній документації відмовах виробів РЕО і показниках лічильників часу роботи в моменти виявлення відмов і в моменти їх усунення (відновлення працездатності пристроїв, що відмовили).

Відповідно до задачі прогнозування зміни технічного стану зразків РЕО прогнозування СННВ доцільно здійснювати методом лінійної регресії. При цьому, відповідно до роботи [6] функція прогнозу має наступний вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 t \tag{1}$$

У випадку лінійної регресії коефіцієнти b_0, b_1 знаходяться з виразу [6]:

$$\vec{b} = (\theta^T \theta)^{-1} \theta^T \vec{y} \tag{2}$$

де

$$\vec{b} = (b_0, b_1)^T - \tag{3}$$

вектор коефіцієнтів регресії;

$$\theta = \begin{pmatrix} 1 & T \\ 1 & 2T \\ \dots & \dots \\ 1 & nT \end{pmatrix} - \tag{4}$$

матриця незалежних змінних (час, який ураховує номер кварталу, на якому здійснюється оцінка середнього наробітку на відмову);

$$\vec{y} = (y_1, y_2, \dots, y_n)^{\mathrm{T}} - \tag{5}$$

вектор результатів спостережень (щоквартальних оцінок середнього наробітку на відмову).

При отриманні функції прогнозу для змінювання середнього наробітку на відмову зразків РЕО слід ураховувати, що прогнозування здійснюється за результатами експлуатації глибиною 5 років, отже кількість кварталів $n = 20$.

За результатами експлуатації трьох зразків РЕО ПС згідно з виразами (1), (2) отримані такі функції прогнозування середнього наробітку на відмову (залежності побудовані за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel):

– Зразок №1

$$T_0 = 103{,}93 - 1{,}1223T \tag{6}$$

– Зразок №2

$$T_0 = 68{,}067 - 0{,}7896T \tag{7}$$

– Зразок №3

$$T_0 = 71{,}71 - 0{,}5883T \tag{8}$$

Результати прогнозування середнього наробітку на відмову приведені на рисунках 1 – 3.

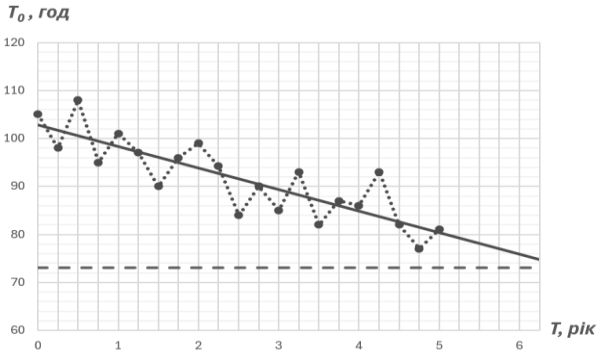


Рис. 1. Залежність СННВ Зразка №1 від тривалості експлуатації

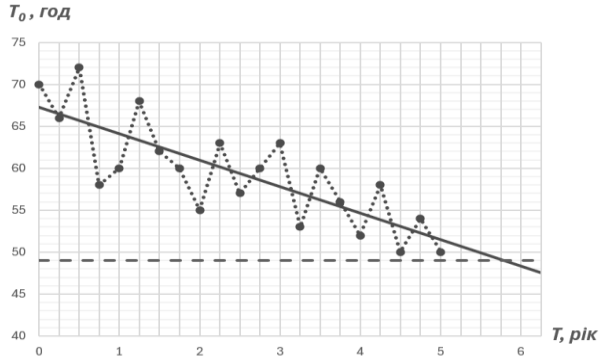


Рис. 2. Залежність СННВ Зразка №2 від тривалості експлуатації

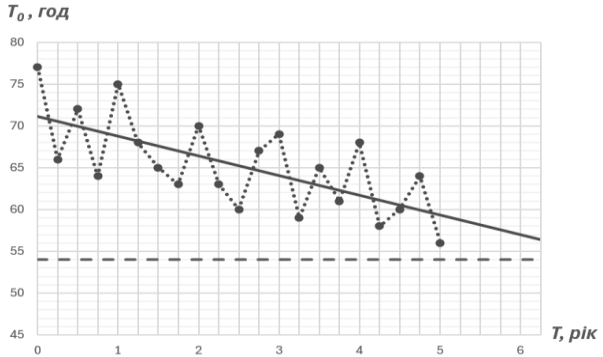


Рис. 3. Залежність СННВ Зразка №3 від тривалості експлуатації

На рисунках 1 – 3 точками показані щоквартальні оціночні значення СННВ, які отримані за останні п’ять років експлуатації відповідних зразків РЕО. Суцільною лінією наведені рівняння регресії та прогнозоване значення наробітку. Пунктирною лінією приведене гранично допустиме значення наробітку на відмову.

Згідно з рисунками 1 та 3 прогнозовані значення СННВ Зразків №1 та №3 РЕО не досягають гранично допустимих значень, а, отже, вироби не потребують проведення ремонту протягом наступного року.

За результатами прогнозу СННВ для Зразка №3 (рисунок 3) досягає граничного значення у четвертому кварталі наступного року, отже його слід спланувати у ремонт у третьому кварталі наступного року, що передує четвертому кварталу, протягом якого за результатами прогнозу середній наробіток на відмову виробу досягне граничного значення і зразок перейде у граничний стан.

Слід відзначити, що ці функції прогнозу отримані для конкретних зразків РЕО ПС ДА, а отже не можуть бути застосовані для всіх однотипних виробів. Для отримання функцій прогнозу для інших виробів РЕО зі складу ПС ДА необхідно за даними експлуатації визначити функції прогнозу елементів зі складу кожного окремого зразка РЕО.

Висновки

Таким чином, відповідно до отриманих прогнозованих значень сформульовані наступні рекомендації щодо прогнозування зміни технічного стану радіоелектронного обладнання повітряних суден державної авіації за результатами експлуатаційних спостережень:

– для попередження досягнення зразками РЕО граничного стану протягом інтервалу часу між контролями технічного стану необхідно використовувати індивідуальний прогноз показника безвідмовності (наприклад, середнього наробітку на відмову) для кожного зразка РЕО ПС;

– прогнозування показника безвідмовності (середнього наробітку на відмову) здійснювати відповідно до рівнянь лінійної регресії за результатами експлуатації за останні п’ять років;

– поточне планування ремонту здійснювати на підставі аналізу прогнозованих даних.

Список літератури

1. Zaliskyi M. (2015) Reliability parameters estimation in case of aviation radio electronic devices technical state deterioration. Electronics and Control Systems. 2015. № 3. P. 18–22. https://ieeexplore.ieee.org/document/8053676.

2. Melnyk, V., Honcharenko, Y., Maloied, M. (2023). Reliability Analysis of Radioelectronic Systems of Aircraft. Vol. 736. London: Springer, P. 234-246. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-38082-2_18

3. Москалець С.В., Жирний В.А., Кузін С.Є., Рудик А.В. Оцінювання надійності військової техніки при обмеженій кількості зразків. Збірник наукових

праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2020. Вип. № 2 (4). С. 75–82.

4. Бобало Ю.А. та ін. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / монографія Ю.Я. Бобало, Б.Ю. Волочій, О.Ю. Лозинський, Б.А. Мандзій, Л.Д. Озірковський, Д.В. Федасюк, С.В. Щербовських, В.С. Яковина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 300 с.

5. Коцюруба В., Даценко І., Бологін А. Сучасні методи прогнозування технічного стану авіаційної техніки. Journal of Scientific Papers "Social Development and Security". 2021. Vol. 11, № 3. С. 156-161. https://doi.org/10.33445/sds.2021.11.3.15.

6. Ковтуненко А.П. Математичні методи оцінки і прогнозування технічних показників експлуатаційних властивостей радіоелектронних систем / А.П. Ковтуненко В.В. Зубарев, Л.Г. Раскин // К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 184 с.

7. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. [Чинний від 1994-12-08]. Вид. офіц. Київ, 1994. 32с.

8. Мельник В.В. Методичний підхід щодо обґрунтування строків придатності до використання радіоелектронного обладнання ПС військового призначення по за межами призначених показників / В.В. Мельник, С.М. Сторожук, Є.С. Крижанівський, А.С. Бабарига // Збірник наукових праць. - К. ДНДІА, 2024 № 20(27) с. 189-196.

9. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання. Контроль надійності. Основні положення. [Чинний від 1994-12-08]. Вид. офіц. Київ. 1994. 32с.

Державний університет «Київський авіаційний інститут»
проспект Любомира Гузара, 1, каб. 1-238
м. Київ, 03058, Україна
Тел: +380 44 406-71-56
e-mail: avia@kai.edu.ua
https://avia.nau.edu.ua/