МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДП «АНТОНОВ»

МАТЕРІАЛИ

X Міжнародної науково-технічної конференції

“АВІА-2011”

19-21 квітня

ТОМ III

Київ 2011

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ДП «АНТОНОВ»

МАТЕРІАЛИ

X МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

„АВІА-2011”

19-21 квітня

Том 3

Київ 2011

УДК 629.735.01/02(045)

Том 3: Матеріали X міжнародної науково-технічної конференції „АВІА-2011”. –Т.3. –К.:НАУ, 2011.

РОБОЧИЙ ОРГКОМІТЕТ

Голова оргкомітету	
Кулик М.С.	ректор Національного авіаційного університету
Заступник голови	
Харченко В.П.	проректор університету з наукової роботи
Члени оргкомітету:	
Азарсков В.М.	в.о. директора Інституту аерокосмічних систем управління
Васильєв В.М.	директор Інституту аеронавігації
Гудманян А.Г.	директор Гуманітарного інституту
Запорожець О.І.	в.о. директора Інституту екологічної безпеки
Литвиненко О.Є.	декан факультету комп’ютерних систем
Матвєєв В.В.	директор Інституту економіки та менеджменту
Сопілко І.М.	директор Юридичного інституту
Суслова Г.А.	заступник директора інституту ІСАО
Сидоров М.О.	декан факультету комп’ютерних наук
Фоменко А.М.	директор Інституту міжнародних відносин
Філоненко С.Ф.	директор Інституту інформаційно-діагностичних систем
Чемакіна О.В.	в.о. директора Інституту аеропортів
Шмаров В.М.	директор Аерокосмічного інституту
Юдін О.К.	директор Інституту новітніх технологій

Секретаріат конференції

Голова секретаріату	
Зайцев Ю.В.	начальник відділу НТІ та ІВ
Члени секретаріату:	
Газдюк Р.В.	співробітник відділу НТІ та ІВ
Шепель О.Ю.	співробітник відділу НТІ та ІВ
Рибалко О.Л.	співробітник відділу НТІ та ІВ
Ільченко В.М.	Помічник проректора з наукової роботи
Корбут Л.А.	Начальник відділу науково-методичного забезпечення діяльності
Шевченко О.Р.	начальник відділу міжнародних зв’язків

За науковий зміст викладеного матеріалу відповідають автори.

ПЕРЕЛІК І ЗМІСТ ТОМІВ

ТОМ I

Секція 1. Вимірювання, контроль, діагностика
Секція 2. Інформаційна безпека
Секція 3. Спеціалізовані комп'ютерні системи та CALS-технології
Секція 4. Комп'ютерні науки і інженерія
Секція 5. Комп'ютерні системи
Секція 6. Математичне моделювання та чисельні методи

ТОМ II

Секція 7. Аеронавігація
Секція 8. Аерокосмічні системи моніторингу та управління
Секція 9. Радіоелектронні комплекси та авіоніка
Секція 10. Авіаційна англійська мова та безпека польотів
Секція 11. Енергетичне устаткування
Секція 12. Новітні триботехнології
Секція 13. Сучасні аеропортові технології
Секція 14. Міцність та втомленість повітряних суден
Секція 15. Сучасні технології підтримки льотної придатності повітряних суден
Секція 16. Автоматизація та енергозбереження на транспорті
Секція 17. Аеродинаміка та безпека польотів

ТОМ III

Секція 18. Авіаційна хіммотологія
Секція 19. Керування складними системами
Секція 20. Моделювання в електротехніці, електроніці та світлотехніці
Секція 21. Електроніка і радіоелектронні системи
Секція 22. Автоматизовані системи управління технологічними процесами
Секція 23. Електродинамічні та електронні системи
Секція 24. Міське, промислове, цивільне та транспортне будівництво
Секція 25. Технічна естетика, архітектура та дизайн

ТОМ IV

Секція 26. Хімічні технологія та інженерія
Секція 27. Екобезпека та екобіотехнологія
Секція 28. Кадастр та інформатика
Секція 29. Дистанційні аерокосмічні дослідження
Секція 30. Економічні та управлінські бізнес-процеси розвитку авіаційних підприємств
Секція 31. Проблеми організаційно-правового забезпечення та державного регулювання в сфері цивільної авіації
Секція 32. Боротьба з правопорушеннями: національні та міжнародні аспекти
Секція 33. Актуальні проблеми приватного права
Секція 34. Організаційно-правові засади регулювання відносин в сфері економіки
Секція 35. Диверсифікація міжнародних зв'язків України в процесі інтеграції до світового соціокультурного та економічного просторів
Секція 36. Психологія безпечної експлуатації авіаційного транспорту
Секція 37. Професійна підготовка перекладачів авіаційної галузі

ЗМІСТ

Секція 18. Авіаційна хіммотологія

Е.П. Серёгин, А.В. Улитько
ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ БИОТОПЛИВ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНИКИ 18.1

С.Н. Волгин, Р.В. Бартко, Е.М. Вижанков, Е.А. Шарин
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФАУ «25 ГОСИИ ХИММОТОЛОГИИ МИНОБОРОНЫ РОССИИ» В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ 18.5

В.С. Вдовін, С.В. Бойченко, Т.В. Стороженко, С.Ф. Романов, М.В. Халаменюк
ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОРІДИННИХ ПАЛИВ У АВІАЦІЇ 18.9

І.Л. Трофімов, М.М. Голего, А.В. Васілєва
РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ ТА МАЛОВЯЗКИХ РІДИН 18.13

В.П. Захарчук, В.О. Антонова, А.В. Васильєва, О.В. Зайчукова
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ПОКРАЩЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОДАВАННЯ ФУЛЛЕРЕН ПОХІДНИХ 18.17

Л. М. Черняк, К.Г. Кайнар, С.В. Бойченко, В.Ф. Новікова
ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПАЛИВ ДОДАВАННЯМ ПРИСАДОК 18.20

О.Я. Кузнєцова, Ж.М. Нетреба, А.М. Соловйов
КІНЕТИКА ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ВУГЛЕВОДНІВ РОБОЧОЇ РІДИНИ FH-51 В ПЕРІОД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА 18.21

О.В. Мислива, А.Г. Нікітін
ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ МЕХАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ТУРБІННИХ ОЛИВ 18.25

В.И. Морозов, И.В. Морозова
ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ 18.29

Oleksandr Ivanovich Zaporozhets, Julia Stanislavivna Nikitchenko
SCRAP TIRES UTILIZATION: ECONOMIC AND NON-ECONOMIC BARRIERS TO SOLVE A PROBLEM 18.33

К.В. Бондаренко, С.В. Бойченко, М.С. Бойченко, В.І. Кириченко
МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ: НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ І РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ 18.37

Л.С. Вєрягіна, О.Л. Матвєєва
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВЗАЄМОДІЇ ПАР З НАФТОПРОДУКТАМИ ПІД ЧАС ЗАЧИЩЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ 18.42

О.Б. Шевченко, Т.М. Галкіна
ВИКОРИСТАННЯ МАСТИЛ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ 18.44

М.С. Безовська
УПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ РОЗРОБОК У СФЕРІ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ 18.46

О.В. Розгон, Н.Т. Арламова, Ю.В. Зеленько
РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ КОРРОЗИИ МАТЕРИАЛОВ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ 18.50

А.Л. Лещинская, Ю.В. Зеленько
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ТЯГОВОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ 18.53

В. Г. Семенов, В.Н. Турчак, С.Ф. Романов
РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЦЕТАНОВОГО ЧИСЛА И ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА 18.56

А.В. Орешенков
СТРУКТУРИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ ОБВОДНЕНИЯ 18.59

В.А. Волошинець, Б.Ф. Кочірко
СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕТАКРИЛАТНИХ ПРИСАДОК 18.63

В.В. Романчук, П.І. Топільницький
ХІММОТОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДІВ НІТРОГЕН- ТА ОКИСГЕНВМІСНИМИ ІНГІБІТОРАМИ 18.67

О.Н. Цветков, Н.Л. Розанова, О.В. Зверев
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РОССИИ 18.71

Г.М. Кухаренок, Д.Г. Гершань
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ НА СМЕСЯХ БЕНЗИНА С Н-БУТАНОЛОМ 18.74

Л.В. Железний, Г.С. Поп, Л.Ю.Бодачівська, О.А.Мележик
АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕНТОНІТОВИХ МАСТИЛ З ДОДАТКАМИ 18.78

М.В. Курбатова, Й.А. Любінін, Н.Б. Кьоніг, Л.М. Куліков
ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ ДЛЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, ЩО МІСТЯТЬ ГРАФЕНОПОДІБНІ ЧАСТИНКИ ДИСУЛЬФІДУ МОЛІБДЕНУ 18.80

Я.П. Подгурський, Б.Ф. Кочірко, М.А. Мартинюк
ДОСЯГНЕННЯ І СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ТА ВИКОРИСТАННІ АВІАЦІЙНОГО ПАЛЬНОГО З БІОМАСИ 18.84

О. І. Сафронов, В.М. Антонов, В.В. Юдіна, З.С. Яворська, Б.М. Ярмолюк, В.С. Тарасенко
ВПЛИВ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ОСНОВНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛІНДРОВИХ ОЛИВ ДО СУДНОВИХ ДВИГУНІВ 18.85

Ибрагим Асаад М.Али, С.В. Бойченко, Б.Ф. Кочирко
ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУМАЙЛА (ИРАК) 18.86

Л.І. Павлюх, С.В. Бойченко
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ АВІАПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 18.89

І.В. Дрогобицька, асп., С.В. Бойченко, В.П. Захарчук, Л.М. Черняк
ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЛЕТКИХ ФРАКЦІЙ ВУГЛЕВОДНІВ НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОПРОДУКТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 18.93

Н.А. Десна, Д.В. Мирошниченко
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ИХ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ 18.96

Ф.Ф. Чешко, Э.Б. Цыгичко, Л.П. Банников
РАСШИРЕНИЕ ОБЪЕМА ВЫРАБОТКИ ПЕКА-СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ 18.100

А.П. Ранський, О.А. Гордієнко, Н.О. Діденко, Т.С. Тітов, М.В. Євсєєва, С.В. Бойченко
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ N, S-ВМІСНИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ТА ЇХ МЕТАЛ-ХЕЛАТІВ В ІНДУСТРІАЛЬНИХ ОЛИВАХ 18.104

Т.С. Тітов, О.А. Гордієнко
РЕАГЕНТНЕ ВИЛУЧЕННЯ СІРКОВУГЛЕЦЮ БЕНЗОЛЬНОЇ ФРАКЦІЇ КОКСОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ШЛЯХОМ УТВОРЕННЯ НАТРІЄВИХ СОЛЕЙ ДІАЛКІДИТІОКАРБАМІНОВОЇ КИСЛОТИ ТА КІНЦЕВИХ ДІАЛКІЛДИТІОКАРБАМАТІВ 3d-МЕТАЛІВ 18.108

Р.В. Петрук, А.П. Ранський
КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА ЕКОЛОГІЧНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ФОСФОРОВМІСНИХ ПЕСТИЦИДНИХ ПРЕПАРАТІВ 18.112

В. Хуфенбах, К. Кунце, Н. Модлер, А.У. Стельмах
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕГКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ МАШИН 18.116

Klaus Kunce, O. Stelmakh, K. Badir, D. Stelmakh
EXPERIMENTAL COMPARISON OF DIFFERENTIAL-PHASE METHOD AND METHOD OF DYNAMIC FOCUSING IN DEFINING OF ROUGHNESS PARAMETERS OF SURFACES 18.120

К.К. Бадир, Т.Т. Ибраимов, Д.А. Стельмах
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛАСТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ И КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНОЙ ГИПОТЕЗ ТРЕНИЯ 18.124

Е.Н. Смирнов, С.А. Коленов, Ю.В. Пильгун, А.В. Кущев
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО МИКРОСКОПА-ПРОФИЛОМЕТРА 18.128

А.В. Кущев, Р.А. Шевченко, В.П. Коба, Е.Г. Ковальчук
ФИЗИКА ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ 18.132

И.Ф. Кравченко, В.Г. Ананьев, П.А. Колесник, А.Б. Единович, А.Ф. Аксёнов, А.У. Стельмах
УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РЕДУКТОРОВ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХФАЗНОЙ МАСЛОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ 18.136

А.Ф. Аксенов, А.У. Стельмах, К.К. Бадир, Д.Д. Хуссейн
ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИБОСИСТЕМ С ЭГД-КОНТАКТОМ 18.140

А.Ф. Аксенов, К.К. Бадир, Р.К. Аль-Тамими, Д.А. Стельмах
КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНЫЙ МЕХАНИЗМ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ 18.144

А.Ф. Аксенов, В.С. Бондарь, Е.Г. Ковальчук, В.П. Коба
ПРИБОРЫ ТРЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ О МЕХАНИЗМЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ 18.148

А.Ф. Аксенов, Р.А. Шевченко, В.А. Радзиевский
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ И СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ 18.152

О.О. Міщук, А.В. Богайчук, М.П. Цаплій, Ю.Г. Горпинко
МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕТЕРОГЕННОГО КОЛОЇДНОГО МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ 18.156

О.О. Міщук, А.В. Богайчук, М П. Цаплій, Ю. Г. Горпинко
МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕТЕРОГЕННОГО КОЛОЇДНОГО МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ 18.158

Секція 19. Керування складними системами

В.Н. Азарсков, Л.С. Житецкий, Л.Н. Блохин
АДАПТИВНОЕ СУБОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОМ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВХОДОМ 19.1

А.А. Тунік, Г.Г. Вальденмайєр
ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРИ ФАКТОРИЗАЦІЇ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЗБІЖНОСТІ ЗАДАЧ КАЛМАНІВСЬКОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ 19.11

Л.Н. Блохин, О.В. Ермолаева, А.Н. Юрченко
ЗАДАЧА И АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА 19.15

Н.И. Делас, В.А. Касьянов
ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ РАНГОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АКТИВНЫХ СИСТЕМАХ 19.19

О.А. Сущенко, І.В. Чаплай
СИНТЕЗ РОБАСТНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ 19.23

O.A. Sushchenko, S.V. Karasyov
REVIEW OF MODERN STATUS AND DEVELOPMENT TRENDS OF MICROELECTROMECHANICAL SENSORS FOR CONTROL SYSTEMS 19.27

V.A. Apostolyuk, V.M. Boiko
INTEGRATED SYSTEM OF INCIDENCE ANGLE MEASUREMENT 19.31

V.A. Apostolyuk, I.V. Ivanenko
CROSS-COUPLING COMPENSATION FOR CORIOLIS VIBRATORY GYROSCOPES 19.35

С.Ж. Карипбаев, Ш.К. Кошанова
ДВИЖЕНИЕ РОТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА (ЭСГ) С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЭЛЛИПСОИДОМ ИНЕРЦИИ В НЕКОНТАКТНОМ ПОДВЕСЕ 19.39

Nickolay Zosimovich
STRUCTURAL AND PARAMETRICAL OPTIMIZATION THE SPACESHIP ONBOARD CONTROL 19.43

А.М. Кліпа
ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГКИХ ЛІТАКІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ШУМІВ ВИМІРЮВАНЬ ТА ЗМІЩЕНЬ ДАТЧИКІВ 19.47

О.Д. Горбатюк, К.В. Мельник
СУЧАСНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ПОКРАЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА КЕРОВАНОСТІ ВЕРТОЛЬОТІВ 19.51

О.П. Басанец
МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИНТЕЗ И АНАЛИЗ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА 19.55

М.М. Комнацька
СИНТЕЗ РОБАСТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ БПЛА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 19.59

О.Ю. Ассаул
АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ НЕЧІТКИХ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ СИСТЕМ ОЦІНЮВАННЯ ЗА КАНАЛАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ 19.63

І.В. Бейко
ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ГРАФ-ОПЕРАТОРНИМИ СИСТЕМАМИ 19.67

Н.Р. Юничева
УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 19.72

Т.И. Шурдукова
СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПРИОРНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИТУАЦИЕЙ 19.76

А.З. Меликов
АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СОТОВЫХ СЕТЕЙ С ОЧЕРЕДЯМИ 19.80

Секція 20. Моделювання в електротехніці, електроніці та світлотехніці

О.С. Воронова
АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ МОНІТОРИНГУ ТА ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ 20.1

О.В. Вишнівський
КОЕФІЦІЄНТ ВЗАЄМОВПЛИВУ АНТЕН У ПРОГРАМІ COMSOL® 20.5

С.С. Дев'яткіна
ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО МІНІМУМУ АЕРОДРОМУ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ, ЯК ЗАСОБУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ 20.9

С.С. Дев'яткіна, С.Г. Ванецян
МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВХІДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ 20.13

Е.В. Киркач
МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЦЕЛОГО И ДРОБНОГО ПОРЯДКОВ ОПЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ТИПА 20.17

П.П. Когут, В.О. Шевченко, Ю.Т. Герасименко, В.І. Степура
ОЦІНКА ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ ПАПЕРОВИХ ДОКУМЕНТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ЗАХИЩЕНИХ ВИДІВ ПАПЕРУ 20.21

В.О. Шевченко, Т.І. Яреміч
МОДЕЛЮВАННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ ІЗ СВІТЛОДІОДНИМИ І ТОЧКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА 20.24

А.В. Васильев
ОЦЕНИВАНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКОВ НА ОСНОВЕ АППРОКСИМАЦИИ В ЛОКАЛЬНЫХ БАЗИСАХ ПОЛИНОМОВ ЛЕЖАНДРА 20.28

В.В. Васильев, Л.А. Симак
АППРОКСИМАЦИОННО-ОПЕРАЦИОНЫЙ МЕТОД S–ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ 20.31

Секція 21. Електроніка і радіоелектронні системи

А.Я. Белецкий, А.А. Белецкий
МАТРИЧНЫЕ ЦИКЛИЧЕСКИЕ ГРУППЫ МАКСИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА, ПОРОЖДАЕМЫЕ ОБОБЩЕННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ ГРЕЯ 21.1

А.Я. Белецкий, Е.А. Белецкий, Р.Ю. Кандыба
ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ЛРС-ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ 21.5

К.Б. Алдамжаров, А.А. Туякбаев, Д.А. Туякбаев
ПОВЫШЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 21.9

А.А. Туякбаев
МОДЕЛЬ ЭПИТАКСИАЛЬНО-ПЛАНАРНОГО ТРАНЗИСТОРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ 21.11

А.Р. Гасанов, Ф.Н. Султанов, Г.Э. Дашдамирова
ЭЛЕКТРОННО-КОММУТИРУЕМАЯ АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ 21.15

А.М. Пашаев, Р.А. Гасанов
МЕТОД МОНИТОРИНГА КРАТКОВРЕМЕННЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 21.18

Б.М. Уваров, Ю.Ф. Зиньковский
МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ 21.22

Б.М. Уваров, Ю.Ф. Зиньковский
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ МОДУЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ 21.26

Ф.Й. Яновський
ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ОСТАННІ РЕЗУЛЬТАТИ В ОБЛАСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ 21.30

Е.Г. Азнакаєв, Є.О. Шквар
МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ З ДОМІШКАМИ, ЩО НАТІКАЄ НА ПЛОСКУ ПОВЕРХНЮ 21.34

Е.Г. Азнакаєв, Є.О. Шквар
ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ СТРУМЕНЯ, ЩО НАТІКАЄ НА ПЛОСКУ ПОВЕРХНЮ 21.38

А.П. Корчинский, Н.В.Бурцева
КОНЕЧНЫЕ АВТОМАТЫ И ПЛИС 21.42

Н.А. Миронов
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ И РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ 24.46

И.Ф. Бойко
СИСТЕМА ОРТОГОНАЛЬНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛОВ, ИНВАРИАНТНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНО СДВИГОВ ВО ВРЕМЕНИ 21.50

Д.С. Демьяник
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРА ОДНОСВЯЗНОГО МАРКОВСКОГО ГАУССОВСКОГО ПРОЦЕССА В РАЗЛИЧНЫХ БАЗИСАХ 21.54

І.М. Конченко
ЕФЕКТ БАГАТО ШЛЯХОВОГО ПОШИРЕННЯ В МУЛЬТИЛАТЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ 21.58

О.С. Мельник, В.В. Івахнюк
МОДЕЛЮВАННЯ НАНОСХЕМ ЗАДОПОМОГОЮ САПР QCA DESIGNER НА ПРИКЛАДІ ДЕКОДЕРА 21.62

О.С. Мельник, О.С. Пономарьов
МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЕЛЕКТРОННИХ НАНОТРАНЗИСТОРІВ 21.66

О.М. Ключко, Р.Р. Хайрудінов
ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ У НЕЙРОНІ ПРИ ОПТИЧНІЙ РЕЄСТРАЦІЇ ЗМІН В ЙОГО НАНОСТРУКТУРАХ 21.70

Д.З. Джурунтаев
ОБ АЛГОРИТМЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ГИПЕРГРАФОВ СХЕМ БОЛЬШОЙ 21.72

Секція 22. Автоматизовані системи управління технологічними процесами

М.П. Мухіна
АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ОБ'ЄКТА ПРИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННІ 22.1

А.К. Аблесимов, Р.Ю. Красавчиков, С.В. Крупа
ПРИНЦИПЫ ЭКСПЛУТАЦИОННЫХ РЕГУЛИРОВОК ЗАМКНУТЫХ САУ 22.5

Ш.І. Аскеров
АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ 22.9

О.П. Барановська
ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТОРІВ СЛУЖБ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ 22.13

В.М. Синєглазов, Б.І. Дмитренко, А.В. Кульбака
АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ 22.17

В. М. Синеглазов, Р. К. Кадем
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БПЛА КАК РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ 22.21

А.П. Козлов
ТРЕХКООРДИНАТНИЙ НЕКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ 22.25

С. М. Довгалець, М.В. Лакей
ПЕРЕДАВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЧЕРЕЗ ОПТИЧНІ ХВИЛЕВОДИ З ВІД'ЄМНИМ ПОКАЗНИКОМ ЗАЛОМЛЕННЯ 22.29

В.П. Подольський
ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ 22.32

М.К. Філяшкін
ВИСТАВКА ТА КАЛІБРУВАННЯ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ МІКРОМЕХАНІЧНОЇ КУРСОВЕРТИКАЛІ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА 22.36

Е.И. Чумаченко, О.Ю. Левицкий
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ 22.40

М.К. Філяшкін, Т.І. Мар'ясова, М.П. Мар'ясов
СХЕМА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ З МОДЕРНІЗОВАНИМ ФІЛЬТРОМ В КОМПЛЕКСНІЙ НАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ 22.44

А.В.Осадчий
МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ САПР КОМПАС 22.48

В.Н. Белый
СТРУКТУРА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ 22.52

О.І. Чумаченко, В.В. Цілицький, М.О. Білий
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПОЖЕЖНОГО СПОСТЕРІГАННЯ 22.56

М.Ф. Тупіцин
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ БЕЗАЭРОДРОМНЫЙ СПОСОБ ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ БПЛА 22.60

М.П. Матійчик
ЗБІЛЬШЕННЯ ШИРИНИ ЗАХВАТУ МАЛОРОЗМІРНОГО БЛА НА ВИКОНАННІ АВІАЦІЙНО-ХІМІЧНИХ РОБІТ 22.64

М.В. Колесник, Ю.І. Чорний
АНАЛІЗ ДАНИХ З ПРОПУСКАМИ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ HAROLD HOTELLING 22.68

Секція 23. Електродинамічні та електронні системи

Л.Я. Ильницкий, И.И. Михальчук
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕННАМИ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ 23.1

Л.В. Сібрук, Д.П. Бондаренко
ВИБІР РАДІОТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ НАДАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ НАСЕЛЕННЮ В ДЕПРЕСИВНИХ РЕГІОНАХ 23.5

Р.О. Задорожній, К.В. Циганенко
МЕТОД КОРЕКЦІЇ КУТА НЕОРТОГОНАЛЬНОСТІ СКАНЕРА ЗОНДОВОГО МІКРОСКОПА 23.9

Л.Я. Ільницький, О.А. Щербина
МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРО-ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ 23.13

Є.І. Габрусенко, Г.Ю. Лаванов, М.О. Лаванова
РОЗБІЖНІСТЬ ЗОН ДОСЯЖНОСТІ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ У НАПРЯМАХ БАЗА-ТЕРМІНАЛ ТА ТЕРМІНАЛ-БАЗА 23.17

І.А. Владикіна, О.Б. Іванець
ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕТРОСПЕКТИВНИХ ДАНИХ ПАЦІЄНТА 23.21

Л.В. Сібрук, О.В. Хомяк
ПРОБЛЕМИ ПЛАНУВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ 23.25

С.В. Окоча
ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЮ ОПТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ 23.29

Ю. Оникиенко, Д.И. Подольцев
ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ 23.33

Секція 24. Міське, промислове, цивільне та транспортне будівництво

В.І. Затула, Н.І. Затула, А.В. Продан
КЛІМАТОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЖЕЛЕДНИХ ЯВИЩ В РАЙОНІ АВТОМАГІСТРАЛІ «КИЇВ – ОДЕСА» 24.1

В.Ю. ГИРИЧ
ВИХОДООРІЄНТОВАНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ АЕРОПОРТУ 24.5

Ю.М. Кривенко, А.О Белятинський
СПОСІБ БЕЗПЕРЕРВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПОВЕРХНІ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВИХ СМУГ АЕРОДРОМІВ ТА АВТОДОРІГ 24.9

О. В. Степанчук, А.О. Бєлятинський
ЗАХОДИ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТ 24.11

М.М. Велічко
ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗЕРВІВ МІЦНОСТІ ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ, ПОБУДОВАНИХ ЗА ТИПОВИМИ ПРОЕКТАМИ ЗА ОСТАННІ П'ЯТДЕСЯТ РОКІВ 24.15

М.С. Барабаш
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОБУДОВИ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ БУДИНКУ НА ОСНОВІ BIM-ТЕХНОЛОГІЇ У САПР САПФІР 24.19

Д.Б. Васюкович, А.О. Прозоровська
ОСОБЛИВОСТІ РУХУ НА КІЛЬЦЕВИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ В ОДНОМУ РІВНІ ТА БЕЗПЕКА РУХУ НА НИХ 24.23

А.О. Прозоровська, Д.Б. Васюкович, О.В. Степанчук
ОСНОВНІ ВИДИ БАГАТОРІВНЕВИХ РОЗВЯЗОК ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА ОСОБЛИВОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТУ 24.27

О.В. Родченко
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ВПРОДОВЖ РОКУ 24.31

В.С.Степура, В.В. Осадчук
ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ 24.35

С.Ю. Тімкіна
НАВАНТАЖЕННЯ ТА ВПЛИВИ НА АЕРОДРОМНІ ПОКРИТТЯ 24.39

Н.В. Кужель
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ – СЛІДУВАННЯ ЗА ЛІДЕРОМ НА ОСНОВІ GPS-НАВІГАЦІЇ 24.43

Є.Б. Угненко, О.М. Тимченко
ВПЛИВ ПОВТОРНОГО КОРОТКОЧАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ 24.47

В.С. Гавриш
ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА НА ТЕРРИТОРИИ РЕКОНСТРУКЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ 24.51

Н.И. Сорочук
ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СООРУЖЕНИЙ ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА 24.55

Е.Б. Угненко, Е.Н. Ужвиева
ОБ ОПРЕДЕЛЯЕМОСТИ ГРАДУИРОВАННЫХ СЕТЕЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ОБХОДОВ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ 24.59

О.Д. Пупченко
ОЧИСТКА СТОКОВ С ПОВЕРХНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ В СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЯХ 24.63

А.Л. Шаповалов
ОЦЕНКА ЭКОБЕЗОПАСНОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ АВТОТРАНСПОРТОМ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА 24.67

Э. Соколовский, О. Прентковский, К. Кемзурайте, В. Бартулис, Г. Гарбинчюс, А. Торок
PC-CRASH: МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРОКИДЫВАНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ 24.71

Ю.В. Верюжський, О.І. Яворська
ПРОВЕДЕННЯ РИЗИК-АНАЛІЗУ РУЙНУВАННЯ ЦЕГЛЯНИХ ДИМОВИХ ТРУБ З ВРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ 24.76

Н.Б. Агаев
НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ПОДХОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ 24.80

Секція 25. Технічна естетика, архітектура та дизайн

С.Г. Бібер
ВПЛИВ ВИМОГ ЕКОЛОГІЧНИХ НОРМАТИВІВ НА ФОРМУВАННЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА 25.1

Н.К. Бут 25.5
ОБЛАШТУВАННЯ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ АЕРОПОРТІВ ЗАСОБАМИ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНУ

Л.М. Бармашина, Т. Бабак 25.10
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ З УРАХУВАННЯМ ПОТРЕБ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ ФІЗИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

В.І. Васильченко 25.15
СКЛОПРОЗОРІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ АЕРОПОРТІВ

Л.Р. Гнатюк, О.В. Кравченко 25.19
КОМУНІКАТИВНИЙ ДИЗАЙН В ІНТЕР'ЄРАХ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Л.Р. Гнатюк, К.М. Осадча 25.23
ВІДПОВІДНІСТЬ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА РОЗРОБКИ ДИЗАЙНУ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Л.Р. Гнатюк, Г.О. Шишлакова 25.27
ВЗАЄМОДІЯ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ТА ДИЗАЙНУ ІНТЕР'ЄРУ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

В.А. Зеленкова 25.31
ЗАСТОСУВАННЯ У ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРІВ АЕРОВОЗАЛІВ МОНУМЕНТАЛЬНО - ДЕКОРАТИВНОГО МИСТЕЦТВА В НАЦІОНАЛЬНОМУ СТИЛІ

Д.В. Єпіхіна 25.35
ТЕХНІЧНА ЕСТЕТИКА ІНФОРМАТИВНИХ ЗНАКІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

СЕКЦІЯ 18.

АВІАЦІЙНА ХІММОТОЛОГІЯ

УДК 621.9.079

Е.П. Серёгин, доктор технических наук, А.В. Улитько, кандидат технических наук
(ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», Российская Федерация)

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ БИОТОПЛИВ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ТЕХНИКИ

В докладе изложены современные взгляды на достоинства и недостатки моторных топлив, полученных из биомассы, перспективы их применения в ближайшем будущем. Описана технология получения биодизеля, химический состав целевого продукта и возможные примеси в нем, влияющие на эксплуатационные свойства топлива. Предложен порядок контроля качества получаемого топлива для принятия обоснованного решения о его применении в двигателях. Указано на недопустимость попадания биодизеля в авиакеросин и загрязнения топливных систем воздушных судов.

Во многих странах в связи с ограниченностью и истощением нефтяных запасов на планете проводятся работы по развитию технологий производства и определению особенностей применения синтетических жидких топлив, получаемые из альтернативного нефти сырья.

Топлива, вырабатываемые из угля или газа по реакции Фишера-Тропша и являющиеся по составу аналогами топлив, полученных из нефти, имеют давнюю историю и в эксплуатацию техники особых проблем не привносят.

В настоящее время, особенно для стран, не богатых нефтью, повышенный интерес представляют биотоплива. В Европе политику в этой области определяет директива Европейского парламента и Совета ЕС 2003/30/ЕС от 8 мая 2003 г. о поддержке и развитии практики использования биотоплив и других видов возобновляемого топлива для транспортных средств.

Директива о биотопливе содержит юридическое определение основных понятий, связанных с биотопливом. Так, биотопливо определяется как «жидкое или газообразное транспортное топливо, производимое из биомассы», а биомасса как «подвергающиеся переработке продукты, отходы или побочные продукты сельского хозяйства (включая растительные продукты и продукты животного происхождения), лесной промышленности и прочих отраслей, а также перерабатываемые промышленные и бытовые отходы».

В директиве к биотопливу относят: биоэтанол; биодизель или метиловый эфир; биогаз; биометанол; биодиметилэфир; био-этилтрет-бутиловый эфир; биометил-трет-бутиловый эфир; синтетическое биотопливо;биоводород; чистые масла растительного происхождения.

Директивой определено, что совокупная доля потребляемого биотоплива любых видов до 2011 г. должна была достичь 5,75% от общего количества потребляемого в ЕС транспортного топлива.

Из относящихся к биотопливам перечисленных в директиве веществ, наибольшее распространение в практике получили этанол, метанол, этил-третбутиловый и метил-третбутиловый эфиры в качестве топлива для поршневых двигателей с искровым зажиганием и биодизель в качестве топлива для поршневых двигателей с воспламенением топливовоздушной смеси от сжатия.

Указанные спирты и эфиры применяются индивидуально либо в качестве компонентов в смеси с углеводородами.

Применение спиртов в качестве топлив имеет ряд преимуществ и недостатков в сравнении с использованием бензинов, получаемых из нефти.

Достоинства спиртов выражаются в высокой детонационной стойкости, повышении КПД рабочего процесса, сокращении вредных выбросов.

К основным недостаткам спиртовых топлив следует отнести невысокую испаряемость, физическую нестабильность, повышенную агрессивность к некоторым металлам и полимерам.

Положительные свойства спиртовых топлив в наибольшей степени проявляются при использовании их в чистом виде. Однако, при переводе двигателя на работу с чистыми спиртами необходимо провести ряд мероприятий, в том числе:

- увеличить вместимость топливного бака для сохранения обычного пробега на одной заправке, т.к. удельный расход спирта намного больше, чем бензина;
- увеличить степень сжатия двигателя до ε = 12÷14 с целью полного использования высокой детонационной стойкости спиртов;
- перерегулировать двигатель на более высокие расходы топлива и большую степень обеднения смеси;
- заменить не стойкие к спиртам металлы и полимерные материалы в топливной системе автомобиля и двигателя;
- и некоторые другие.

В связи с этим наибольшее распространение получило применение спиртов в виде смесей с бензином (до 10% этилового и 3% метиловых спиртов), такие смеси допущены к эксплуатации автомобилей многих фирм без значительной модернизации двигателей. Спирты в чистом виде применяются в специально доработанных автомобилях и двигателях, в том числе, например, метиловый спирт в гоночных автомобилях, а смесь 85% этилового спирта с бензином в модернизированных автомобилях, приспособленных к универсальному потреблению топлива (flexible – fuel vehicles)/

Указанные выше ЭТБЭ и МТБЭ используются в основном в качестве добавок к бензинам.

Учитывая длительный, с 40-х годов прошлого столетия опыт применения синтетических бензинов, полученных из угля (Германия, Южная Африка), и спиртовых топлив (Бразилия и др.) в настоящее время наименее изученным является биотопливо, предназначенное для использования в дизелях, получившее название биодизель.

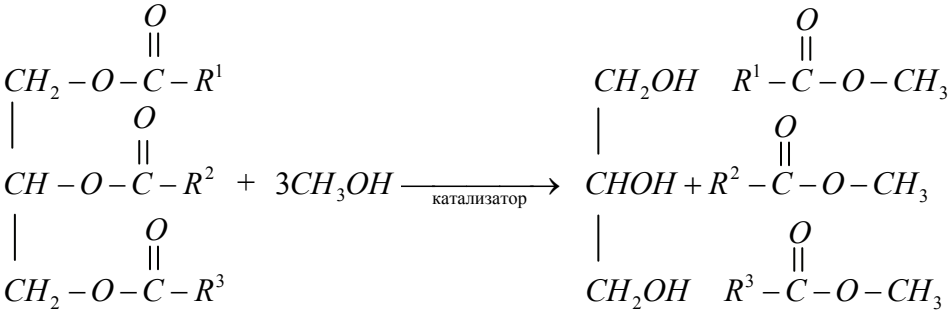
Исходным сырьём для получения биодизеля в основном являются растительные масла, полученные из рапса, сои, кукурузы, подсолнечника и др. сельскохозяйственных культур.

Растительные масла представляют собой жидкие жиры – триглецериды по своему химическому составу являющиеся полными сложными эфирами, как продуктами взаимодействия трехатомного спирта (глицерина) с жирными кислотами (пальметиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой, линоленовой, эйкозеновой, эруковой и некоторыми другими).

В указанных растительных маслах триглициридов содержится 95-97%, а остальное воски, жирные кислоты, фосфатиты и др. вещества.

Указанные растительные масла имеют высокую вязкость, которая препятствует их прямому использованию в качестве дизельного топлива.

В связи с этим проводят их переэтерификацию, т.е. замену в составе молекул триглицеридов остова глицерина на более лёгкий остов этанола либо метанола.



жир (триглицерид) метанол глицерин метиловые эфиры

В результате получают менее вязкий и плотный эфир. Глубина переэтерификации в благоприятных условиях при использовании этилового спирта достигает около 35%, и 95-

96% при использовании метилового спирта. Поэтому, не смотря на то, что метиловый спирт по сравнению с этиловым гораздо более вреден для здоровья человека, зарубежные стандарты (DIN51606, ASTM Д6751,EN 14214) на биодизель, распространяются именно на метиловые эфиры.

Производство таких эфиров предусматривают обработку при температуре 50-80ºС и нормальном давлении растительного масла метанолом в присутствии гидроксидов щелочных металлов (NaOH и KOH) в качестве катализаторов.

В результате, продуктами технологического процесса производства метиловых эфиров растительного масла кроме целевых продуктов является свободный глицерин, механические примеси, мыла, остатки растительного масла, остатки щелочи, вода. Применяя разнообразные способы очистки полученной продукции достигают различной степени чистоты метиловых эфиров.

Зарубежными стандартами регламентируются нормы допустимого содержания некоторых из указанных примесей, в том числе: воды – не более 700 мг/кг, метанола – не более 0,3% масс. свободного глицерина – не более 0,02% масс., общего глицерина – не более 0,25% масс., триглицеридов – не более 0,2% масс., диглицеридов – не более 0,2% масс., моноглицеридов – не более 0,2% масс.

Применение биодизеля имеет много достоинств. К ним относятся расширение топливных ресурсов, улучшение экологии, высокое цетановое число, хорошие моющие и противоизносные свойства, биологическое разложение остатков топлива, а также отсутствие при определенных ограничениях необходимости модернизации двигателя.

В виду дефицита нефтяных топлив, относительной простоты получения из различной сельскохозяйственной продукции и указанных выше достоинств, применению биодизеля в современных условиях уделяется повышенное внимание, о чем свидетельствует и количество в последние годы докладов на эту тему в программах семинаров по химмотологии в НАУ.

Однако при этом следует учитывать и недостатки биодизеля: расход биодизеля на 6-8% выше чем нефтяного топлива; снижение на 5-8% мощности двигателя; повышенная вязкость и высокая температура застывания; высокая склонность к разложению при хранении с образованием муравьиной, уксусной и других кислот, воды, метанола, продуктов полимеризации; агрессивность к резинотехническим, полимерным материалам и лакокрасочным покрытиям; необходимость более частой смены масла в двигателе, склонность к закоксовыванию форсунок двигателя, образованию нагара и смол в камере сгорания; отложений в топливной системе; коррозионная агрессивность к некоторым металлам двигателя и другие.

Биодизель, полученный из разных масел, имеет отличие в первую очередь по теплотворной способности и по температуре застывания. В частности, эфиры кокосового и пальмового масел имеют высокую теплотворную способность, однако и температура застывания у них тоже высокая, что налагает определенные ограничения на их использовании в холодное время года. Рапсовый эфир уступает им по теплотворной способности, но имеет большую склонность к автоокислению и полимеризацию с превращением в плотную каучукоподобную массу.

Основным практическим ограничителем наращивания доли метилового эфира в дизельном топливе является его недостаточно низкая температура застывания. Остальные эксплуатационные показатели биодизеля, обусловленные примесями в вырабатываемом эфире, можно улучшать за счет совершенствования технологии его получения.

Основные европейские изготовители автомобилей допускают использование с определенными ограничениями биодизеля в чистом виде, либо в смеси с нефтяным дизельным топливом.

Относительная простота получения биодизеля приводит к широкому распространению полукустарных и кустарных установок, не обеспечивающих характеристик, заданных в стандартах на это топливо.

Допуск к применению биодизеля в ряде зарубежной техники основан на результатах испытаний этой техники на топливах, отвечающих указанным стандартам.

Применение биодизеля в технике, не прошедшей соответствующих испытаний, а также использование топлива, полученного в «домашних условиях», может привести к снижению надежности её работы, сокращению ресурса и даже полному выходу из строя.

Для обеспечения надежной работы техники с использованием биодизеля необходимо проведение испытаний двигателя с целью оценки принципиальной возможности его работы на биотопливе, а также оценка с помощью квалифицированных методов изменения эксплуатационных свойств топлив, полученных по разным технологиям в сравнении с испытанным на двигателе топливом.

В состав комплекса методов квалификационной оценки углеводородных топлив для быстроходных дизелей входит определение следующих показателей: углеводородный состав, содержание механических примесей и адсорбционных смол, коррозионная активность в условиях конденсации воды, стабильность при хранении, предельная температура фильтруемости, термоокислительная стабильность, склонность к образованию отложений на нагретых поверхностях, склонность к закоксовыванию распылителей форсунок. Возможно для биодизеля целесообразно использовать и другие методы.

Указанные методы позволят выявить недопустимое снижение уровня эксплуатационных свойств топлива при несовершенстве или не соблюдении технологии его получения и принять обоснованное решение о возможности использования такого топлива по прямому назначению.

Особые свойства биодизеля, отличные от свойств нефтепродуктов, вызывают большую озабоченность и у специалистов, занимающихся эксплуатацией авиационной техники. В Европе были обнаружены случаи смешения биодизеля с авиационным реактивным топливом при их последовательной перекачке. Эксплуатационные свойства этих топлив сильно различаются по термостабильности, поверхностно-активным качествам, коррозионной активности, склонности к биологической активности и другим.

Загрязнение топливных систем воздушных судов таким топливом может привести к катастрофическим последствиям. В связи с этим на международном уровне принимаются меры по предотвращению такого недопустимого явления.

Вывод. Внедрение биотоплив, отличающихся по химическому составу и многим эксплуатационным свойствам от углеводородных моторных топлив, полученных из нефти, является сложным многоплановым процессом и требует комплексного научного подхода для обеспечения сохранности техники и эффективного ее использования.

Список литературы

1. Оксигенаты в автомобильных бензинах. В.М. Капустин и др.-М.:Колосс, 2011 – 336с.

2. Тимошенко А.Н., Урявин С.П., Козлов А.Н. FAME – прямая угроза безопасности полетов. Ассоциация ОАТО ВС ГА. Информационный сборник №5, 2010 г., с.40-45.

3. Химмотология. Словарь. Понятия, термины определения. –М.: Знание, 2005.-с.251.

УДК 629.13.662.75+621.892

С.Н. Волгин, доктор технических наук, Р.В. Бартко, кандидат технических наук,
Е.М. Вижанков, кандидат технических наук, Е.А. Шарин, кандидат технических наук
(ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», Российская Федерация)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ФАУ «25 ГОСИИ ХИММОТОЛОГИИ МИНОБОРОНЫ РОССИИ» В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННЫХ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Приведены основные результаты исследований института в области авиационной химмотологии, полученные при решении проблем восстановления производства авиационных бензинов, улучшения эксплуатационных свойств масел для авиационных турбовинтовых двигателей, гидравлических жидкостей для авиационной техники, модернизации методов испытаний горюче-смазочных материалов (ГСМ).

С целью восстановления производства авиационных бензинов для поршневых двигателей малой авиации (Б-91/115 по ГОСТ 1012-72 и Б-92 по ТУ 38.401-58-47-92), утраченного в Российской Федерации и странах СНГ в связи с прекращением выпуска этиловой жидкости, проводились работы по исследованию и оптимизации состава его базовых компонентов, поиску эффективных антидетонационных присадок.

В качестве базовых компонентов авиационного бензина испытывались различные углеводородные фракции, промышленно выпускаемые отечественными предприятиями (алкилбензин, бензин каталитического риформинга, толуол и др.). Установлены зависимости влияния указанных углеводородных компонентов на уровень детонационных характеристик и сохраняемости авиационного бензина применительно к условиям хранения и применения.

В результате исследований разработан состав базового авиационного бензина, обладающий необходимым уровнем эксплуатационных свойств. Наилучшие характеристики горючести имеет композиция, содержащая алкилбензин (55% об.), бензин каталитического риформинга (25% об.) и прямогонную бензиновую фракцию (20% об.).

В качестве антидетонационной присадки исследованы соединения на основе ароматических аминов, оксигенатов, а также металлсодержащие соединения. Подобран и оптимизирован состав антидетонационной присадки на основе известных выпускаемых отечественной промышленностью беззольных продуктов. Установлено, что при повышении концентрации разработанной антидетонационной присадки в бензине до 0,2% масс. наблюдается прирост октанового числа моторным методом до 6 … 8 единиц. При дальнейшем увеличении концентрации присадки увеличения октанового числа не происходит. Из металлосодержащих соединений наиболее эффективными в качестве антидетонационных показали себя присадки на основе лития.

В результате проведенных исследований обоснован и оптимизирован состав авиационного бензина из отечественных компонентов, содержащий высокоэффективные антидетонационные присадки, обеспеченные отечественной сырьевой базой, который обладает высоким уровнем детонационной стойкости.

Совместно ООО «Квалитет-Авиа» разработано всесезонное масло КА-7,5 для авиационных турбовинтовых двигателей взамен применяемых в настоящее время смесей масел МС-20 и МС-8п. Масло разработано на полиальфаолефиновой базовой основе и содержит высокоэффективный комплекс антиокислительных присадок, антикоррозионную и противоизносную присадки. Масло имеет улучшенные низкотемпературные свойства (температура застывания минус 55^{o}С), позволяет обеспечить низкотемпературный запуск двигателей без предварительного подогрева при температуре до -40^{o}С.

Зависимости изменения низкотемпературных свойств масла КА-7,5 и смеси масел МС-20 и МС-8п (масло МН-7,5у) приведены на рисунке 1.

Кроме улучшенных пусковых свойств разработанное масло значительно превосходит штатные масла по термоокислительной стабильности. При разработке масла на основе

установленных зависимостей между химическим строением используемого загустителя, стойкостью масла к механической деструкции и низкотемпературными свойствами решена задача оптимизации его состава.

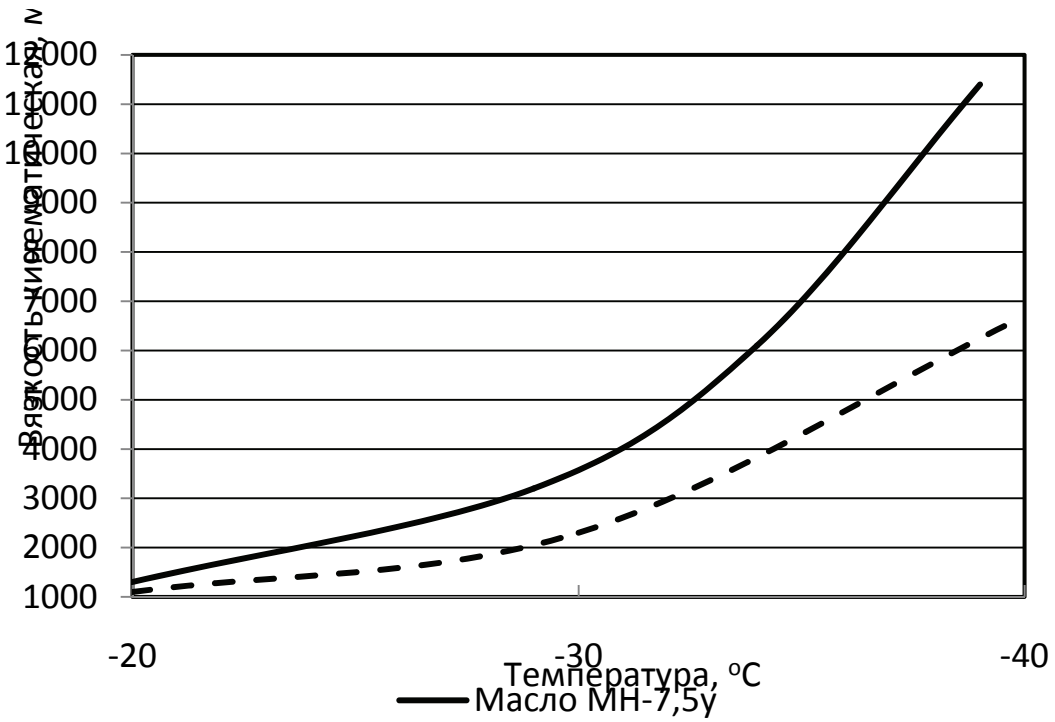


Рис. 1 – Зависимости изменения кинематической вязкости масел КА-7,5 и МН-7,5у при пониженной температуре

Исследована возможность улучшения эксплуатационных свойств гидравлических жидкостей для авиационной техники путем замены минеральной основы на синтетическую.

Существенными недостатками гидравлических жидкостей на минеральной основе, относящихся по значениям вязкости при температуре 40°С (13,50 … 16,50 мм^2/с) к классу МГ-15, являются неудовлетворительная пожаробезопасность (табл. 1), значительное уменьшение вязкости жидкостей при эксплуатации по причине механо-химической деструкции молекул загущающих полимерных присадок (табл. 2). Это приводит к сокращению ресурса масла, повышению его расхода за счет увеличения утечек в дренажные полости гидроагрегатов, снижению надежности работы гидроагрегатов [1, 2].

Таблица 1

Пожаробезопасность гидравлических масел
в зависимости от химической природы базовых основ

Химическая природа базовой основы гидравлических масел	Температура вспышки паров, °С	Индукционный период загорания при наличии источника воспламенения, с
Минеральные углеводороды	93 – 136	0
Синтетические углеводороды – полиальфаолефины (ПАО)	170 – 205	3 – 4
Эфиры фосфорной кислоты	150 – 170	8 – 10

Для обеспечения стабильности вязкости гидравлических масел при высоких механо-динамических нагрузках осуществлен подбор базовой основы, позволяющей исключить применение полимерных загущающих присадок.

Таблица 2

Механическая деструкция жидкости гидравлической жидкости АМГ-10

Время испытания, мин.	АМГ-10	
	Вязкость при 50ºС, мм²/с	Уменьшение вязкости, %
0	10,15	0
15	8,03	20,90
30	7,24	28,7
50	6,60	35,0

Известно, что широкое распространение для выработки смазочных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками получили полиальфаолефиновые масла (ПАОМ), которые характеризует достаточно пологая вязкостно-температурная зависимость и более высокие значения температуры вспышки паров по сравнению с минеральными углеводородами. Для выбора ПАО с требуемыми характеристиками вязкости для базовых основ гидравлических масел исследованы зависимости вязкости ПАОМ от средней молекулярной массы и температуры (рис.2).

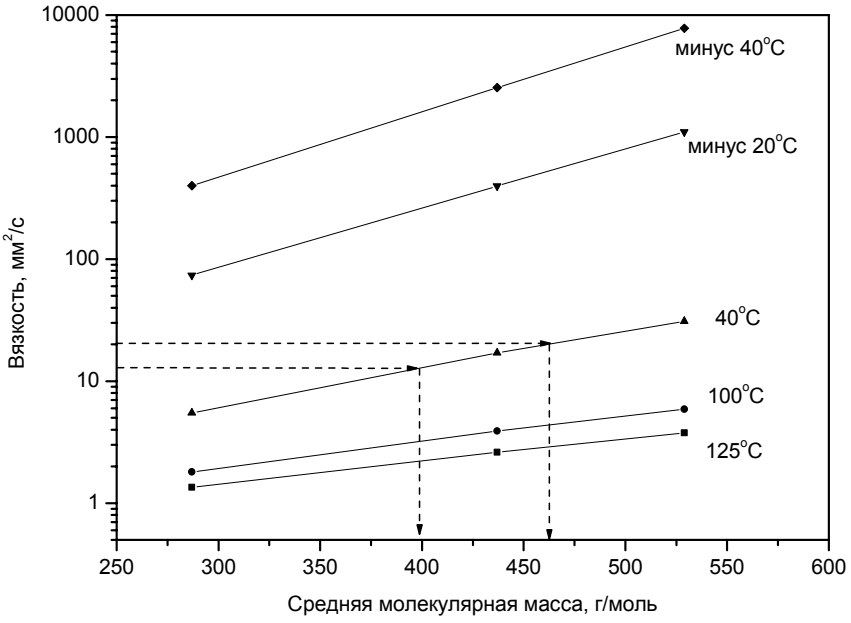


Рисунок 2 – Вязкость ПАОМ в зависимости от средней молекулярной массы и температуры

Из анализа рис.2 следует, что для базовой основы масла класса МГ-15 с вязкостью 13 мм^2/с при 40 ºС применимы ПАОМ с средней молекулярной массой около 400 г/моль. Поэтому для приготовления основы масла были выбраны ПАОМ-2 и ПАОМ-4.

Ввиду того, что вязкость ПАОМ-2 и ПАОМ-4 и их смесей заметно отличается от показателей вязкости жидкости класса МГ-15, подбор оптимального состава композиции основы для улучшения ее характеристик вязкости осуществлен с использованием смесей ПАОМ, полиэтилсилоксановой жидкости №7 (далее – ПЭС-7) и диоктилсебацината термостабильного (далее – ДОС).

Характеристики вязкости ДОС и ПЭС-7 и их смесей приведены на рисунке 3.

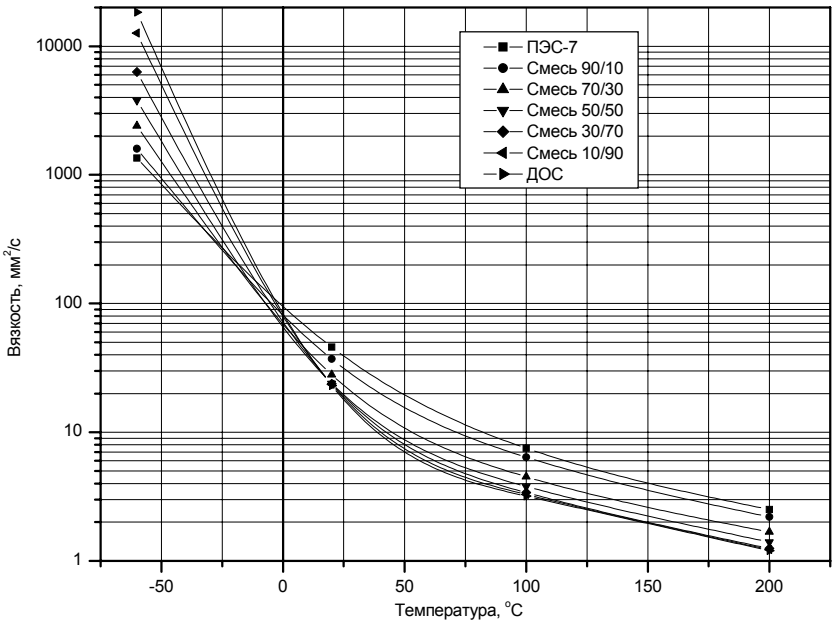


Рис. 3 - Зависимость кинематической вязкости ДОС, ПЭС-7 и их смесей от температуры

Полученные зависимости и дополнительно проведенные исследования позволяют сделать вывод, что использование смеси ПАОМ с добавкой ДОС в сочетании с ПЭС-7 позволит получить жидкость, имеющую значения кинематической вязкости, в большей степени соответствующие требованиям, предъявляемым к жидкости класса МГ-15 как при отрицательных, так и при повышенных положительных температурах.

Таким образом, разработана перспективная базовая основа новой жидкости для авиационных гидросистем, удовлетворяющая требованиям, предъявляемым к жидкостям класса МГ-15 по вязкостно-температурным характеристикам, представляющая собой смесь полиальфаолефинов с органическим эфиром и полиэтилсилоксаном.

Ввиду прекращения деятельности Межведомственной комиссии по допуску ГСМ к производству и применению взамен комплексов методов квалификационных испытаний разработаны и согласованы с заинтересованными организациями типовые программы испытаний авиационных бензинов, реактивных топлив, авиационных масел и гидравлических жидкостей. Определены квалификационные методы испытаний ГСМ, требующие разработки и модернизации. Проводится работа по созданию модельных образцов этих методов, их метрологической аттестации, включению в типовые программы испытаний.

Выводы: в статье приведены примеры научных исследований института химмотологии, направленные на восстановление утраченного производства авиационных ГСМ, расширение их ресурсов, повышение уровня эксплуатационных свойств, обеспечение достоверности оценки качества ГСМ, безопасность эксплуатации летательных аппаратов.

Список литературы

1. Раскин Ю.Е., Квитницкая Г.П., Кузнецов Н.В., Попова И.М. Стабильность вязкости и ресурс работы в гидросистемах жидкостей с полимерными присадками // ХТТМ, 1981, №1.

2. Раскин Ю.Е., Вижанков Е.М., Братков А.А., Поплавский И. В. Стабильность вязкости гидравлических амортизаторных жидкостей в условиях механодинамических нагрузок и пути ее повышения // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. Вып. 54. – М.: Гралия, 2008. – С. 210-219.

УДК 665

В.С. Вдовін (Національний авіаційний університет, Україна),
С.В. Бойченко, д.т.н., професор, Т.В. Стороженко, С.Ф. Романов
(УкрНДНЦ хіммотології і сертифікації ПММ і ТР НАУ, Україна),
М.В. Халаменюк (Національний авіаційний університет, Україна)

ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОРІДИННИХ ПАЛИВ У АВІАЦІЇ

Розглянуто питання використання газоріднних палив в автомобільних та авіаційних двигунах. Розглянуто переваги та недоліки газоріднних палив в порівнянні з бензиновими паливами. Також дано оцінку перспективам впровадження газоріднних палив в Україні.

Ціни на авіаперевезення ростуть досить високими темпами, не зважаючи на те, що авіатранспорт стає все більш популярним. Висока ціна на авіаперевезення спричинена високою вартістю авіаційного пального. У результаті високий рівень тарифів на авіаперевезення, а також недостатня платоспроможність населення зробив повітряний транспорт практично недоступним для більшості населення, перешкоджаючи його переміщенню як всередині країни, так і за її межі. І вихід начебто б один - просити в бюджету дотації, тому що надії на зниження вартості палива ні найближчим часом, ні, тим більше, у перспективі не передбачається.

Серед різних видів горючих газів більш практичне застосування як моторні палива знайшли суміші газоподібних вуглеводнів, одержувані із природних і попутного нафтового газів. Експлуатаційні властивості й особливості застосування газових палив визначаються властивостями їхніх компонентів. У цей час у багатьох країнах, особливо де є більші запаси газоподібного палива, різко зріс інтерес до створення двигунів із запаленням газоповітряної суміші від "запальної" дози рідкого палива (газодизельний процес).

Важливою перевагою газових палив у порівнянні з нафтовими є кращі екологічні характеристики й насамперед зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна. Як відомо, такими речовинами є оксид вуглецю CO, оксиди азоту NOx, сумарні вуглеводні СпНт й у випадку застосування етильованих бензинів — складу свинцю. Застосування газових палив з високою детонаційною стійкістю виключає необхідність використання токсичного антидетонатора, що є ефективним чинником зниження забруднення навколишнього середовища. Зміна вмісту оксиду вуглецю при роботі двигуна на газі й бензині залежно від складу паливоповітряної суміші приблизно однакові. Однак, з огляду на можливість роботи газового двигуна на більш бідних сумішах, при його оптимальному регулюванні забезпечуються більш низькі викиди CO. Рівні викидів вуглеводнів також приблизно однакові, але їх склад принципово різний. Шкідливий вплив вуглеводнів, що утворяться в продуктах згоряння нафтових палив, обумовлений головним чином утворенням смогу. При роботі на природному газі вуглеводнева частина відпрацьованих газів, складається в основному з метану, що володіє високою стійкістю до утворення смогу. Оксиди азоту - найбільш токсичні компоненти відпрацьованих газів. Їхній максимальний вміст для газового двигуна приблизно у два рази менший, ніж у бензинового. Воно може бути ще знижене в 2-3 рази за рахунок регулювання складу паливної суміші.

Основними компонентами зріджених пропан-бутанових газів, відомих на практиці за назвою зріджених нафтових газів, є пропан і бутан. Крім того, у них присутні незначні кількості етану й пропілену. При 20°С бутан скраплюється при тиску 0,103 МПа, а пропан — 0,716 МПа. Тому для збереження рідкого стану при більше високих температурах (до +45, +50 °С) пропан-бутанова суміш перебуває в паливному балоні під тиском 1,6 МПа.

Стосовно бензину пропан і бутан мають більш високу масову теплоту згоряння й характеризуються високою детонаційною стійкістю. Вони є гарним паливом для двигунів внутрішнього згоряння із примусовим (іскровим) запаленням. При переході автомобіля на

пропан-бутанову суміш його експлуатаційні властивості не тільки зберігаються, але й по ряду показників поліпшуються в порівнянні з базовою (бензинової) моделлю.

Зріджений газ відповідно до ГОСТ 20448випускається для зимової експлуатації — СПБТЗ (75% пропану й 20% бутану) і для літньої — СПБТЛ (34% пропану й 60% бутану). Склад зріджених газів для газобалонних автомобілів регламентується за ТУ 38 001302—78. Пропан-бутанові суміші характеризуються високим коефіцієнтом об'ємного розширення: при збільшенні температури на 10 °С тиск у газовому балоні підвищується на 0,6-0,7 МПа. Щоб уникнути руйнування при підвищенні температури в паливних балонах передбачається газова подушка з мінімальним об'ємом не менш 10% усього об'єму. Оскільки компоненти зріджених газів не мають заходу для виявлення витоків суміші в неї додають одоранти — речовини зі специфічним сильним запахом. У якості одоранта звичайно використовують етилмеркаптан C2H5SH у кількості 0,2-0,3 м на 1000 $м^3$ газу.

Паливна система вантажних газобалонних автомобілів і автобусів практично повністю уніфікована. Її основними елементами (рис.1.) є: бак для газу 1 з вентилями 3 й 2 для подачі відповідно до рідких і газовій (паровий) фаз палива, запірний вентиль 4, випарник 5; фільтр 6, двоступінчастий редуктор 7 і карбюратор-змішувач 8. Резервна система живлення бензином включає бак 13 із запірним краном 12, фільтр 11, бензонасос 10 і найпростіший однокамерний карбюратор 9. Для контролю палива в баці й тиску газу служать дистанційні покажчики 15 й 14. Газоподібна фаза з бака подається тільки при пуску й прогріві двигуна. При роботі двигуна зріджений газ під тиском близько 1,6 МПа через вентилі 3 й 4 надходить у випарник 5, звідки в пароподібному стані після очищення у фільтрі 6 подається в редуктор 7. У першому щаблі редуктора тиск газу знижується до 0,15 МПа й у другий - приблизно до атмосферного.

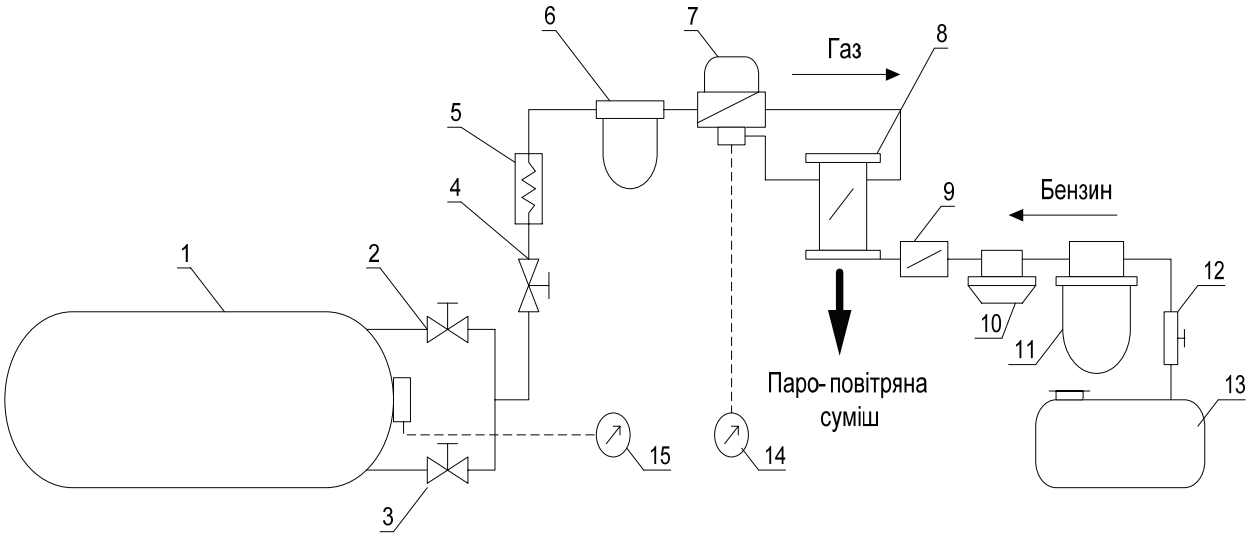


Рис. 1. Схема паливної системи автомобіля на газорідинному паливі

До природному газу, який використовують в стисненому виді як моторне паливо, пред'являють наступні специфічні вимоги: відсутність пилу й рідкого залишку, а також мінімальна вологість. Остання вимога пов'язане з виключенням можливості закупорки каналів паливної системи, викликуваної замерзанням і випаданням гідратів внаслідок дроселювання й зниження температури газу при заправленні автомобіля. Для забезпечення цих вимог природний газ піддається очищенню за допомогою фільтруючого, сепараційного й осушувального устаткування, установленого на газонаповнювальних станціях.

Досвід їхньої експлуатації виявив ряд позитивних сторін, схожих з достоїнствами зріджених газів. При використанні стисненого газу як моторного палива моторесурс двигуна збільшується на 35-40%, термін служби свіч - на 30-40%, витрата моторного масла знижується завдяки збільшенню періодичності (строку) його зміни в 2-3 рази. Разом з тим перехід автомобілів на стиснений природний газ погіршує деякі експлуатаційні показники: потужність двигуна знижується на 18-20%, що веде до зниження максимальної швидкості на

5-6%, час розгону зростає на 24-30% і максимальні кути подоланих підйомів зменшуються. Через велику масу балонів для зберігання газу високого тиску вантажопідйомність автомобіля знижується на 9-14%. Дальність їзди на одному заправленні газу не перевищує 200-280 км. Через наявність додаткової паливної системи трудомісткість технічного обслуговування й ремонту газового автомобіля збільшується на 7-8%.

Переобладнати на газове паливо можна не тільки бензиновий, але й дизельний двигун як вантажний, так і легкової автомашини. Але для цього треба серйозно переробити штатну систему живлення дизеля. Насамперед потрібно відзначити, що на одному газі дизельний двигун працювати не може. Газ не може загорятися від стиску, як дизельне паливо, оскільки температура його самозапалювання набагато вище (близько 700оС проти 320-380оС у дизпалива). Тому якщо спробувати змусити звичайний дизельний двигун працювати на метані, температури стисненого повітря в циліндрах просто не вистачить для його самозапалювання. Тому "чисто газовий" дизель навіть теоретично неможливий. У газодизельном режимі у двигун подають два палива - основне дизельне (але в меншій кількості, ніж у базовому), додаткове - газове (паливо для заміщення). При цьому основне дизельне паливо відіграє роль «запальної» дози для запалення інтегральної газоповітряної паливної суміші. Ступінь заміщення додатковим паливом залежить від декількох факторів, в основному від типу газового палива (метан або пропан), досконалості встановлюваної додаткової газопаливної апаратури і базової дизельної апаратур. Дуже важливим моментом при використанні газодизельного режиму є той факт, що можливо перехід на вихідний дизельний режим у будь-який момент часу, як правило, перемикач режиму перебуває в кабіні водія [1, 2].

Запальна порція для газифікованих швидкохідних дизелів (такими вважаються всі автомобільні) становить 15-30% від звичайної порції солярки (залежно від ГБО, типу двигуна і його стану). Це та мінімальна кількість, що, самозапалившись, гарантовано підпалить у циліндрах газоповітряну суміш. Перевага такого мотора полягає у тому, що, коли газ закінчується, він може працювати у своєму звичайному режимі - на дизпаливі. При роботі в такому режимі, коли 70-85% палива становить природний газ, у дизеля повністю зникає властивий йому чорний дим. Правда, у вихлопі трохи збільшується вміст вуглеводнів - СН. Але це вже не канцерогени, що викидають дизельним двигуном (той же 3,4-бензопірен), а лише незначна кількість не згорілого, зовсім нешкідливого метану. Крім того, у газодизеля, у порівнянні зі звичайним дизельним двигуном, зростають ресурс (через зменшення відкладень на деталях циліндро-поршневої групи) і термін служби масла.

Для переробки мотора потрібно не тільки установка газобалонного встаткування, але й певне доведення наявних паливних апаратур. Насамперед це стосується насоса високого тиску, що повинен забезпечувати стабільну подачу невеликих порцій дизпалива на всіх режимах роботи двигуна. Пристосувати в такий спосіб для роботи на газі можна будь-який дизельний мотор [3, 4].

Витрата палива прямо залежить від умов експлуатації автомобіля. Як видно, чим більше автомобіль піддається навантаженням, тим більше він заощаджує дизельного палива. Ідеальний варіант - це рух завантаженого автомобіля по трасі. Самий невдалий - рух по місту, часті зупинки, повільне пересування в пробках. На практиці витрата по трасі 75%газу на 25% ДП. У міському режимі 60/40 [5].

Сьогодні стримуючим фактором переходу дизельних двигунів на стиснений природний газ насамперед є відсутність економічної зацікавленості автовласників. За розрахунками фахівців, щоб зацікавити споживачів використовувати стиснений і зріджений газ, між цінами на них повинне підтримуватися певне співвідношення. Так, ціна пропан-бутану не повинна перевищувати половину вартості дизпалива й бензину 95Е, а метан повинен бути вдвічі дешевше. Але ж крім витрат на два види пального в період експлуатації й чималої ціни газових апаратур, у собівартість "газифікації" входить і внесення змін у штатну систему живлення дизеля. Тому переводити на газове живлення дизельні легковики з них у принципі відносно малим "апетитом" навряд чи доцільно, тому що строк окупності додаткового

встаткування розтягнеться на 6-7 років при річному пробігу 15 тис. км. З економічної точки зору, ГБО найбільше вигідно встановлювати на великовантажні дизельні автомобілі з більшим добовим пробігом, де воно окупається набагато швидше. У той же час важкі вантажівки використовуються як спеціалізовані автомобілі, насамперед самоскидів і тягачів, а також для установки різної спецтехніки. На таких машинах вільного місця для розміщення великої кількості балонів звичайно немає, а незначна їх кількість є неприйнятною з економічної та технічної точки зору. Що ж стосується середніх і легких дизельних вантажівок і фургонів, то економічна доцільність установки на них ГБО виправдана тільки при великому річному пробігу (порядку 45-50 тис. км).

З явних економічних переваг використання систем "газо-дизель", крім економії на вартості дизельного палива варто виділити:

- зниження зношування циліндро-поршневої групи;
- зниження навантаження на кривошипно-шатунний механізм, тому як газ горить плавніше дизельного палива.
- олива не "змивається" зі стінок циліндрів, згоряння відбувається більш рівномірно;
- олива повільніше втрачає свої властивості, інтервал заміни масла можна збільшити в 1,5-2 рази;
- зниження утворення нагару у двигуні;
- димність вихлопу істотно менше;
- при роботі в режимі газо-дизель не виникає детонації;
- потужність автомобіля не зменшується.
- кубічний метр метану рівняється 1л дизельного палива.
- в один балон уміщається 12 $м^3$ метану
- ресурс двигуна при правильному настроюванні залишиться той же.
- перемикання зі звичайного дизельного режиму в газодизельний відбувається натисканням клавіші в салоні автомобіля без зупинки двигуна.

В даній роботі розглянуто використання газорідинних палив, переваги та недоліки технології «газодизель». Також детально пояснені переваги використання газорідинних палив в авіації. Дано оцінку сучасному рівню поширення газорідинних палив в авіації України та перспективи їх подальшого розвитку.

Список літератури

1. *Зайцев В., Брещенко В*. Газовое ноу-хау России // Нефть России. – 2007. - № 12, с. 90-92.

2. *Самусенко А*. Решение проблемы – сжыженый газ // Вертолет. – 2007. - №2. с. 27-28

3. *Кухтик В.В*. Зниження витрат рідкого палива та димності відпрацьованих газів переобладнанням автомобільного дизеля в газодизель: автореферат на диссерт. здобуття наук. ступеня к.т.н. – К.: КАДІ, 2003. – 30 с.

4. Газодизельниый двигатель с воспламенением газа от запальной дозы диметилефира / под ред. А.И. Гайворонова. – М.: ВИНИТИ, 2005. – 190 с.

5. *Зайцев В.* Стратегия развития транспортных и энергетических систем Севера, Сибири и Дальнего Востока на основе газотопливной технологии // Экономические стратегии, - 2004. - №8. - с. 52-55.

УДК 665

І.Л. Трофімов, М.М. Голего, к.т.н.,
А.В. Васілєва (Національний авіаційний університет, Україна)

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ ТА МАЛОВЯЗКИХ РІДИН

Розроблено метод випробувань протизносних властивостей палив та малов'язких мастильних середовищ за схемою трибоконтакту «циліндр - площина». Проведено випробування різних марок моторних олив у стані поставки та після їх напрацювання у двигуні внутрішнього згорання.

На сьогодні велика увага приділяється розробці нових високотехнологічних мастильних матеріалів шляхом створення присадок, синтетичних, напівсинтетичних олив, а також мастильних композицій на основі рослинних олій. Вимоги до сучасних паливно-мастильних матеріалів (ПММ) визначають необхідність підвищення їх протизносних властивостей, а також удосконалення чи розробки методів випробування протизносних властивостей ПММ.

В Україні широко використовують такі відомі та сертифіковані методи випробувань протизносних властивостей ПММ, як метод визначення протизносних характеристик ПММ на чотирьох кульковій машині тертя (ГОСТ 9490) [1] та метод визначення протизносних характеристик ММ на машині тертя SRV (ASTM D 5706-97) [2]. Також поширеними є метод визначення трибологічних характеристик ПММ за 3-х етапною методикою та метод визначення трибологічних характеристик ПММ за схемою «ролик-диск».

Порівняльні дослідження ПММ на різних машинах тертя показали, що у більшості випадків тільки у машин з «лінійним контактом» спостерігається відносна відповідність результатів випробувань однакових ПММ за критерієм оцінювання мастильної здатності у вигляді граничного навантаження перед виникненням заїдання [3, 4].

Відомо, що випробування на чотирьох кульковій машині тертя має такі переваги, як достатня однорідність поверхонь тертя робочих елементів машини у відношенні якості поверхні, розмірів і твердості, а також те, що в процесі випробувань майже не відбувається зміна умов, у яких знаходиться мастильна плівка [1, 3].

Але, у разі випробувань ПММ на чотирьох кульковій машині, при терті однорідних твердих сферичних поверхонь отримують не значну величину зношування. У разі випробовування ПММ, які володіють високими протизносними властивостями, величина зношування є дуже малою і для одержання оптимального для заміру п'ятна контакту потрібно або подовжувати шлях тертя, або суттєво збільшувати швидкість ковзання чи навантаження. Також у цьому випадку замірювання середнього п'ятна контакту нижніх кульок займає достатній час та вимагає від дослідника точності виконання замірів. У загальному випадку така проблема має місце при випробуваннях будь якої пари тертя, коли твердий матеріал треться по твердому. Пари тертя «вал − колодка», «циліндр − площина», «кільце − кільце», «ролик − диск» − не є виключенням. У разі, коли твердий матеріал треться по м'якому, зокрема за схемою «циліндр − площина», отримуємо пару тертя, яка є більш наближеною до реальної та моделює трибоспряження «вал − втулка». Величина зношування (лінійна, об'ємна, за масою) є більшою, порівняно з напрацюванням двох однакових за твердістю зразків. У цьому випадку вимірювання величини зношування стає більш простішим з використання звичайних профілометрів та мікрометрів і не займає багато часу.

Відомий метод випробувань згідно ASTM D 5706 призначений для визначення протизношувальних характеристик мастильних матеріалів в умовах високочастотних лінійних коливань [2]. Для випробування використовується машина SRV (Schwingung, Reibung, Verschleiss – коливання, тертя, зношення). Даний лабораторний метод випробувань використовують для швидкого визначення протизносних характеристик мастильних матеріалів, які використовуються в вузлах тертя, що працюють за схемою Герцівського

крапкового контакту, в умовах високих швидкостей чи пуску − зупинки за температур, встановлених технічними умовами на мастильний матеріал.

В цілому цей метод швидкий і ефективний, але не придатний для мастильних середовищ з низькою в'язкістю. Тобто, його використовують, якщо режим роботи вузла тертя не стимулює утворення рідинного змащення і поверхні від металевого контакту і наступного катастрофічного зношування та заїдання зберігають тільки граничні мастильні шари. Також до недоліків розглянутого методу слід віднести необхідність підтримування частоти коливання вузла тертя в межах 50 Гц з амплітудою – 1,00 мм та час випробування – 2 години.

Для порівняння протизносних властивостей двох досліджуваних ПММ цілком достатньо вияснити при змащуванні яким з них одержано більшу чи меншу величину зношування.

Мета даної роботи полягала у розроблені методу випробувань протизносних властивостей палив та малов'язких рідин за схемою трибоконтакту «циліндр - площина».

Відповідно до поставленої мети було розроблено методику дослідження протизносних властивостей палив та малов'язких рідин за схемою «циліндр - площина» з трибоконтактом по твірній циліндра, матеріал зразків «сталь 9ХС– латунь ЛС59-1». Вибір пари тертя було зумовлено тим, що у сучасній техніці, зокрема у гідравлічних системах з плунжерними та пластинчастими парами, в основному працюють пари тертя зі сталі та мідного сплаву у трибоконтакті.

Методику досліджень реалізовано на приладі тертя типу «ПТ-4Ц» та пояснено схемою випробувань палив і малов'язких мастильних середовищ, яку подано на рис. 1.

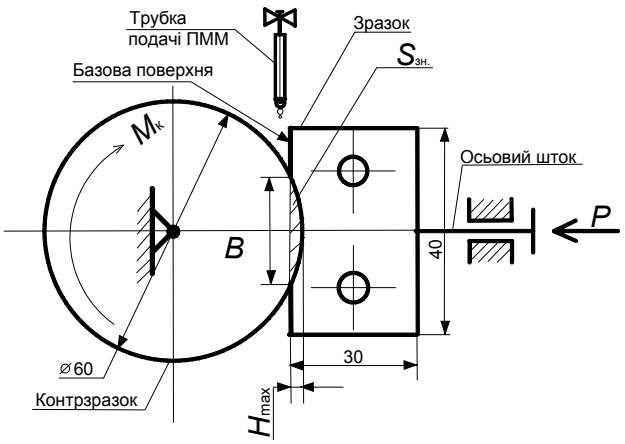


Рис. 1. Схема випробувань протизносних властивостей ПММ, реалізована на приладі тертя «ПТ-4Ц»

Прилад призначений для визначення триботехнічних властивостей матеріалів, покриттів та малов'язких рідких середовищ. До обертально рухомого контрзразка-циліндра прижимається плоский зразок з заданим нормальним навантаженням у визначеному рідкому середовищі. У результаті тертя робоча поверхня зразка зношується і утворюється вироблення у вигляді сегментної лунки (рис. 1). Після випробування на зразку вимірюються геометричні розміри вироблення і розраховуються параметри лінійної та об'ємної інтенсивності зношування.

Робочу поверхню контрзразка, який виконує відносний обертальний рух, діаметром 60 мм і шириною 10 мм виготовленого із сталі 9ХС та загартовано до твердості HRC 62. Робочу поверхню нерухомого плоского зразка, довжиною 40 мм, шириною 30мм та товщиною 3мм виготовлено із латуні ЛС59-1. У разі потреби можна використовувати зразки і з сталі, загартованої від мінімальної твердості до твердості контрзразка.

Розроблена методика включає три етапи випробовування ПММ. Перший − етап припрацювання пар тертя, шлях тертя складає 1000 м. Другий та третій − етапи

напрацювання пар тертя у встановленому режимі, необхідні для дослідження протизносних властивостей мастильних середовищ, шлях тертя становить відповідно 2000 м та 4000 м після процесу припрацювання. Після завершення проведення випробувань, зливаємо досліджувану рідину з місткості, протираємо сухою ганчіркою контрзразок та знімаємо досліджуваний зразок для подальшого вимірювання величини зношування.

Кожну експериментальну точку отримуємо як середнє значення від трьох випробувань зразків на тертя та зношування за однакових умов проведення експерименту з подальшим заміром величини зношування. Критерієм зношення було прийнято величину об'ємного зношування H_V (м^3) дослідного зразка, яку отримували за рахунок добутку площі зношування $S_{зн.}$ (м^2) на товщину зразка (0,003 м). Для розрахунку площі зношування $S_{зн.}$, на яку контртіло заглиблювалося в досліджуваний зразок відносно базової поверхні у процесі спрацювання матеріалу, знаходили глибини доріжок тертя на нерухомому зразку шляхом їх вимірювання на профілографі-профілометрі ПП-1К.

Об'єктами експериментальних випробувань були вибрані оливи: М-20/5040 виробника «Азмол», 15W-40 виробника «Lotos», ТАД-17И виробника «Кременчуг», 15W-40 «Лада-Люкс», 20W-50 «Океан-Люкс», 10W-40 «ВАМП», дизель «Лада-Люкс». Протизносні властивості вибраних олив досліджували «до» та «після» напрацювання в двигуні автомобіля 100 мотогодин. ТАД-17и після напрацювання в редукторі 50 мотогодин.

Результати основних експериментів оброблено на комп'ютері та викладено у графічних залежностях (рис. 2 − 3).

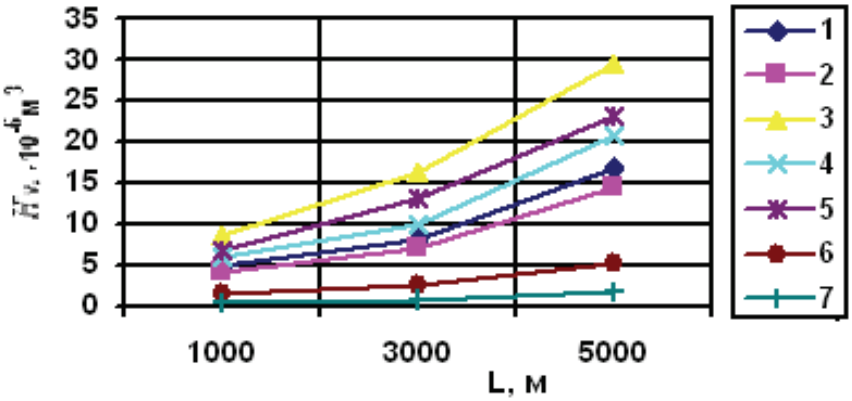


Рис. 2. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей олив у стані поставки: *1* − М-20/5040 «Азмол»; *2* − 15W-40 «Lotos»; *3* − ТАД-17И «Кременчуг»; *4* − 15W-40 «Лада-Люкс»; *5* − 20W-50 «Океан-Люкс»; *6* − 10W-40 «ВАМП»; *7* − дизель «Лада-Люкс»

Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей олив показує, що за однакового часу роботи олив у двигуні внутрішнього згорання (100 мотогодин) величина зношування зразків напрацьованих у різних сортах олив − різна. Для зразків напрацьованих у оливі М-20/5040 після наробітку величина зношування була у 1,6 разу більшою, чим для зразків напрацьованих у базовій оливі (рис. 2 та 3). Відповідно для зразків напрацьованих у оливах: 15W-40 «Lotos» − більшою у 1,2 разу; ТАД-17И «Кременчуг» (50 мотогодин) − більшою у 1,15 разу; 15W-40 «Лада-Люкс» − більшою у 1,3 разу; 20W-50 «Океан-Люкс» − більшою у 1,2 разу; 10W-40 «ВАМП» − більшою у 1,1 разу; дизель «Лада-Люкс» − більшою у 1,5 разу.

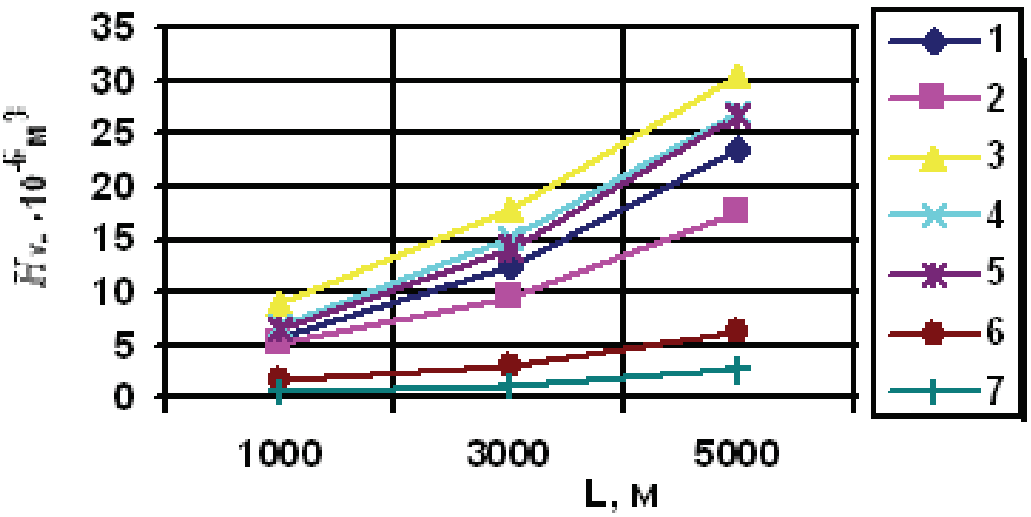


Рис. 3. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей олив після наробітку у двигуні внутрішнього згорання (100 мотогодин): *1* − М-20/5040 «Азмол»; *2* − 15W-40 «Lotos»; *3* − ТАД-17И «Кременчуг» (50 мотогодин); *4* − 15W-40 «Лада-Люкс»; *5* − 20W-50 «Океан-Люкс»; *6* − 10W-40 «ВАМП»; *7* − дизель «Лада-Люкс»

Висновки

1. Протизносні властивості досліджуваних моторних олив після їх напрацювання у двигуні внутрішнього згорання суттєво змінилися.

2. Величини об'ємного зношування зразків порівняно напрацьованих у оливах з наробітком в двигуні внутрішнього згорання та напрацьованих у базових оливах відповідно є для: М-20/5040 «Азмол» − більшою у 1,6 разу; 15W-40 «Lotos» − більшою у 1,2 разу; ТАД-17И «Кременчуг» (50 мотогодин) − більшою у 1,15 разу; 15W-40 «Лада-Люкс» − більшою у 1,3 разу; 20W-50 «Океан-Люкс» − більшою у 1,2 разу; 10W-40 «ВАМП» − більшою у 1,1 разу; дизель «Лада-Люкс» − більшою у 1,5 разу.

3. У процесі триботехнічних випробувань олив після їх напрацювання у двигуні автомобіля встановлено, що величина зношування на 5000 м випробувального шляху тертя для оливи 15W-40 «Lotos» у 1,6 разу є меншою чим для оливи М-20/5040 «Азмол».

Список літератури

1. *ГОСТ 9490*. Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине.

2. *ASTM D 5706-97* Standard Test Method for Determining Extreme Pressure Properties of Lubricating Greases Using A High-Frequency, Linear-Oscillation (SRV) Test Machine.

3. *Евдокимов А. Ю., Фукс И. Г., Шабалина Т. Н., Багдасаров Л. Н.* Смазочные материалы и проблемы экологии. -М.: ГУП Издательство «Нефть и газ», 2000. -424 с.

4. *Основы* трибологии (трение, износ, смазка).: уч. для технических вузов. 2-е изд. перераб. и доп./ А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиносторение, 2001. – 664 с.

УДК 621.892.8(045)

В.П. Захарчук к.т.н., В.О. Антонова, А.В. Васильєва,
О.В. Зайчукова (Національний авіаційний університет, Україна)

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ ПОКРАЩЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОДАВАННЯ ФУЛЛЕРЕН ПОХІДНИХ

Розглянено покращення протизносних та анти окисних властивостей паливно-мастильних матеріалів (ПММ). Було запропоновано гіпотетичну теорію за для покращення трибо логічних характеристик ПММ.

У період стрімкого розвитку науково-технічного прогресу виникає потреба постійного удосконалення механічної техніки. Для цього постійно ведеться робота з оптимізації та вдосконалення технологічних процесів, зниження величини зносу деталей машин. Поліпшення якості роботи технологічного устаткування залежить від високих характеристик пально-мастильних матеріалів (ПММ). Відомо, що двигуни і деталі металообробного та допоміжного устаткування підприємств піддаються різним видам зношування з подальшим виходом з ладу. Знос деталей призводить до погіршення режимів роботи, зниження ККД, втрати енергії агрегатів, а також викликає шум і вібрацію, що приводить до зниження якості продукції і передчасного виходу з ладу. Для заміни обладнання і деталей потрібні значні витрати, тому дослідження в галузі підвищення зносостійкості і довговічності устаткування є досить актуальним технічним та економічним завданням. Стрімкий розвиток техніки вимагає застосування мастильних матеріалів з новими покращеними характеристиками. Якість мастильних матеріалів, зокрема олив, може бути покращена шляхом додавання в оливи спеціальних хімічних речовин - присадок. Слід зауважити, що далеко не всі хімічні з'єднання, які використовують для покращення експлуатаційних властивостей ПММ можуть бути використані в якості присадки до мастильних матеріалів. Присадки повинні відповідати певним вимогам, а саме: розчинятися в оливі або утворювати стійкі системи; зберігати цю розчинність і стійкість у всьому робочому діапазоні температур при транспортуванні, зберіганні та експлуатації; не осідати на фільтрах; не вимиватися водою; не погіршувати інших експлуатаційних властивостей мастильного матеріалу. Повинні не викликати руйнувань і негативних взаємодій з металевими, гумовими і полімерними виробами, бути сумісними з іншими присадками, які вводяться в мастильну композицію та бути технологічно і економічно доступними і доцільними. Всі ці вимоги обмежують вибір сполук, які можуть бути використані в якості присадок до мастильних матеріалів, тобто використовується досить обмежений асортимент продуктів. Присадки можуть додаватися окремо і у вигляді готової композиції - пакета присадок. Пакет присадок складається кількох з спеціально підібраних і збалансованих присадок різного призначення. Сучасні композиції можуть містити до 15 компонентів, не рахуючи загущувальних (вязкостних) присадок, які вводяться додатково, і складати до 25% основи оливи. Один із найбільш ефективних способів підвищення ресурсу трибовузлів - правильний підбір мастильних середовищ та присадок до них. Наявність великого асортименту на ринку нафтопродуктів мастильних матеріалів породжує проблему оцінки їх основних експлуатаційних властивостей - протизносних і антифрикційних. Одним із дешевих та відносно простих способів визначення основних трибологічних властивостей мастильних середовищ є їх випробування на лабораторних приладах тертя. Враховуючи неможливість передбачити конструкцією лабораторних приладів усіх факторів, які об'єктивно існують у реальних трибосистемах, доцільно закладати при їх проектуванні лише ті, які чинять домінуючий вплив на тертя та зношування [1]. Ґрунтуючись на молекулярно-механічних уявленнях про процеси тертя, можна зробити висновок, що дія мастильного матеріалу полягає в утворенні на поверхнях тертя адсорбованих або хемосорбованих плівок, у результаті чого між поверхнями зменшуються сила тертя і інтенсивність зношування. Як відомо [5], змазування поверхонь

тертя деталей машин необхідно для зменшення тертя, зносу і нагрівання деталей, а також для захисту поверхонь від корозії. Зниження температури поверхонь тертя мастильною плівкою пояснюється тим, що вона має більшу теплоємність ніж у металів. Наприклад, питома теплоємність міді складає 0,09, заліза 0,11, чавуну 0,13, а машинного оливи 0,40, керосину 0,51, води 0,99 Дж / (кг-К). Багатьма вченими доведено, що для покращення протизносних и антиокисних властивостей добавляють в паливно-мастильні матеріали присадки з поверневоактивними речовинами (ПАР). Поверхнево активні речовини в присадках пригнічують окиснення оливи в початковій стадії шляхом взаємодії з первинними продуктами реакції окиснення продовжують термін служби оливи. Автором праці [2] встановлено, що антифрикційні присадки на основі ПАР дозволяють стабілізувати кінематичну в'язкість і процес окислення оливи при експлуатації. Показано взаємозв'язок між процесом деструкції масла і коефіцієнтом тертя. Ґрунтуючись на молекулярно-механічних уявленнях про тертя відповідно праці [3] можна зробити висновок, що дія мастильного матеріалу полягає в утворенні на поверхнях тертя адсорбованих або хемосорбованих плівок. У результаті чого між поверхнями зменшуються сила тертя і інтенсивність зношування. Відомо, що поверхневі шари твердого тіла володіють великою активністю. Тому на поверхні тертя утворюються тонкі плівки адсорбованих молекул мастильного матеріалу, а найбільшою здатністю до адсорбції ПАР. Введення синтетичних малорозчиних поверхнево-активних сполук дозволяє не тільки змінювати структуру рідких вуглеводнів, але й цілеспрямовано управляти механізмом процесу окислення. Встановлено, що механізм розкладу гідропероксидів в шарі ПАР визначається пріродоq його полярних груп.

Основна функція присадок на основі ПАР зводиться до нейтралізації кислот, що утворюються при згорянні бензину (у тому числі оксидів азоту), а також до зменшення утворення відкладень на поверхні деталей. Серед групи присадок, що впливають на тертя і знос, значний інтерес представляють так звані «модифікатори тертя». Інтерес до цих присадкам виник в середині 70-х років минулого століття у зв'язку з першим енергетичною кризою. Будучи введеними в змащувальні масла в кількості всього 1-2%, ці присадки сприяють економії палива до 5%, при цьому також зменшується витрата масла і знижується знос деталей, що труться. На основі природного мінералу молібдат амонію за структурою, подібною до графіту. На жаль, це з'єднання нерозчине у вуглеводневих середовищах, в тому числі в мастильних оліях, тому його застосування обмежене введенням до складу мастил [7]. Як малорозчинні модифікатори тертя в світі використовують комплексні сірковмісні сполуки молібдену - діалкілдитіофосфату і діалкілді-тіокарбамати [7]. Синтез цих комплексів досить складний, важко відтворюємо і заснований на використанні як вихідних реагентів токсичних сполук. Тобто, одержання інших сірковмісних сполук молібдену, розчинних у маслах і володіють антифрикційним дією, є досить актуальною проблемою. Класичним, еталонним модифікатором тертя є дисульфід молібдену [6], що представляє принцип стабілізації неорганічних сполук у вуглеводневому середовищі. Крім цього, можна реалізувати принцип без протизносного тертя і безрозбірного ремонту вузлів і механізмів за рахунок компенсації зносу [4]. Так, спеціально внесені в формулу хімічно активних речовини (ХАР) дозволяють утримувати фулерени на поверхнях тертя в самих навантажених зонах. Тим самим вдається згладити шорсткості і поліпшити протизносні властивості вузлів тертя, усунути вібрацію і шуми. Мета даної роботи полягала у можливісті покращення протизносних та проти окисних властивостей паливно-мастильних матеріалів за допомогою присадок при додаванні в них фулерени. З розвитком нанотехнології виявлено специфічна особливість фулерену - здатність до якісних змін всього комплексу фізико-хімічних властивостей при мінімальних варіаціях його атомно-структурних параметрів. Відкрилися широкі можливості синтезу нових матеріалів - хімічно чистих, легованих і композитних з рекордними характеристиками і унікальними властивостями, перспективними для додатків в самих різних областях науки і техніки. Синтезовані з фулеренів Cn(n=60-90)вуглецеві частинки мають твердість близько 40 ГПа і аномально високу пружність. Тож, гіпотетично можна допустити, що при додаванні цих частинок будуть покращуватись протизносні властивості мастильного матеріалу. Задля

покращення мастильної та антикорозійних властивостей можна добавити суспензії з нанопорошками. При додаванні синтезованих нанокристалічних наповнювачів, використання яких у гумотехнічних виробах дасть можливість збільшити їх зносостійкість у десятки разів, термін безвідмовної служби по всьому комплексу властивостей у 5-7 разів [4]. При цьому слід враховувати і ту обставину, що нанокристалічні матеріали являють собою особливий стан конденсованої речовини - макроскопічні ансамблі ультрамалих часток з розмірами до декількох нм. Незвичайні властивості цих матеріалів обумовлені як особливостями окремих частинок (кристалітів), так і їх колективним поведінкою, яке залежить від характеру взаємодії між наночастинками [5]. Для запобігання утворення забруднень можна використати нанокаталізатор, що поєднують в собі переваги традиційних каталітичних систем та наноструктурованих матеріалів і відрізняються високими показниками активності, селективності і стабільності. Висока ефективність каталізаторів зумовлена, як відомо, унікальністю процесів переносу і розподілу полів (зарядів), енергії, маси та інформації, які відбуваються при наноструктурованих і хімічних реакціях в наносистемах, а також специфікою морфології та енергетики розвинених поверхонь наночастинок [8]. За оцінками російських учених, наявність нанокаталітичних аддитивів та фулерен синтезованих речовин в бензинах та дизельному паливі істотно знижує утворення забруднень і відкладень в системах подачі палива та в цілому сприяє поліпшенню екологічних, енергетичних та ресурсних характеристик.

Висновки

Отже, розгляд вуглеводневих мастил з позицій нанохімії виявилося дуже плідним у вирішенні проблеми підвищення ефективності їх дії . Можна вважати, що подальше вдосконалення синтетичних та інструментальних підходів і методів нанохімії призведе до подальшого прогресу у сфері отримання та експлуатації різних видів присадок

Список літератури

1. *Шимчук С. П.* Метод дослідження протизносних властивостей мастильних матеріалів при радіально-коливаотному руху//Хімія та технологія палив та масел. – 1964. - №6.- С.1-5

2. *Степанова Т. Ю.* Вісник Іванівського державний енергетичний університет.- Видання 4-те. – М.:Хімія,1975.-342с.

3. *Ребіндер А*. Вивчення ефекту адсорбційної пластифікації/научн. ред. А.Б Виппер.- М.: Воениздат, 1980.- 192с

4. Східноєвропейський журнал передових технологій./ під ред. А.А Браткова.- М.: Хімія, 1985.- 325с.

5. *Казакова Л.П, Крейн С.Е.* Фізико-хімічні основи виробництва нафтових олій.- М.: Хімія, 1978.- 320 с.

6. *Сафієва Р.* 3 Фізична хімія нафти . – М.: Знання, 2005. 304 с.

7. *Фукс Г. І* Колоїдна хімія нафти і нафтопродуктів. – М.: Вид. центр « Новый век», 1998.- 272 с.

УДК 665.753

Л. М. Черняк, к.т.н., К.Г. Кайнар, С.В. Бойченко, д.т.н., професор,
В.Ф. Новікова, к.х.н., доцент, (Національний авіаційний університет, Україна)

ПІДВИЩЕННЯ ФІЗИЧНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ПАЛИВ ДОДАВАННЯМ ПРИСАДОК

Робота присвячена аналізу проблеми впливу різних за призначенням присадок на зміну поверхневого натягу бензинів. А також пошуку таких добавок, які б зменшували випаровування летких вуглеводнів.

Насьогодні близько 25% нафти, що видобувається в світі, переробляється в бензин, що є основним видом палива для автомобільного транспорту. Внаслідок високої випаровуваності, автомобільні бензини мають низьку фізичну стабільність, що призводить до швидкої зміни його фракційного складу (внаслідок випаровування під час транспортування, збергінання та використання) і, відповідно, погіршення експлуатаційних властивостей. Основна частина всіх втрат нафтопродуктів припадає на випаровування. На складах і нафтобазах частка втрат від випаровування у загальній масі втрат доходить до 75% і лише до 25% втрат припадає на розливи, витікання та змішування. Насьогодні використовуються різні засоби запобігання втратам палив від випаровування. Одним із перспективних є використання спеціальних присадок. В основному, це поверхнево-активні речовини різної хімічної природи, які, володіючи високою поверхневою активністю. Використання присадок, що зменшують втрати від випаровування дозволяє знизити ці витрати в статичних умовах в 1,5 – 2 рази, в динамічних – 10 – 20% (табл. 1). А саме цікаво те, що робочі концентрації їх складають тисячну долю процента. Присадка володіючи високою поверхневою активністю, утворює на поверхні палива міцну сорбційну плівку, яка затрудняє вихід молекул легкокип'ячих вуглеводнів на зовню. Але насьогодні використання таких присадок не набуло поширення. Наша робота присвячена питанню дослідження впливу миючих присадок, що широко додаються до складу сучасних бензинів, на зміну поверхневого натягу нафтопродуктів. І, як наслідок – сприяють підвищенню фізичної стабільності бензинів [1].

Таблиця1

Втрати автомобільного бензину під час зберігання

Показники	Вміст резервуару			
	400	1000	2000	5000
Втрати бензину без використання речовин які зменшують випаровуваність, за один рік зберігання, кг	2105	4823	6428	16098
Втрати бензину з використанням понтона за один рік зберігання, кг	421	965	1288	3220
Втрати бензину з використанням присадки за один рік зберігання, кг	1095	3508	3348	8371

Фізична стабільність характеризує схильність нафтопродуктів до випаровування. Під фізичною стабільністю розуміють втрату маси палива від випаровування (легких фракцій) і зміни колоїднохімічного стану, що виявляється в порушенні гомогенності палива і появі окремих фаз. Важливим є дослідження впливу сучасних миючих присадок, що додасться до палив на зміну поверхневого натягу нафтопродукту. Адже, існує залежність між тиском насиченої пари, поверхневим натягом та вуглеводневим складом нафтопродуктів.

Висновок

У результаті дослідження встановлено залежність поверхневого бензину марки А-95 від загального вмісту миючої присадки у складі палива.

УДК 662/753 (045)

О.Я. Кузнєцова к.т.н., Ж.М. Нетреба
А.М. Соловйов д.т.н. (Національний авіаційний університет, Україна)

КІНЕТИКА ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ВУГЛЕВОДНІВ РОБОЧОЇ РІДИНИ FH-51 В ПЕРІОД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

На сьогодні в гідросистемах повітряних суден авіакомпаній України застосовується французька гідравлічна рідина «Гідронікойл» FH-51. При експлуатації повітряного судна під дією зовнішніх факторів відбуваються хімічні перетворення в молекулах вуглеводнів рідини. В роботі досліджено кінетику та знайдено модель зазначених хімічних перетворень, що забезпечуватиме досягнення необхідного рівня якості рідини та надійності повітряного судна.

Гідравлічні системи повітряного судна (ПС) функціонують як силові пристрої та приводи в механізмах випуску і уборки шасі, гальмівних щитків, зміни форми та геометрії крила, управління двигунами та повітряними гвинтами. Рідина є одним із головних конструктивних елементів гідравлічної системи і тому від її якості залежать як техніко-економічні показники цієї системи, так і надійність повітряного судна в цілому. Технологічні процеси виробництва забезпечують оптимальний вуглеводневий склад гідравлічної рідини, за рахунок чого досягаються задовільні експлуатаційні властивості рідини [1]. Під час експлуатації ПС гідравлічна рідина перебуває під дією різних зовнішніх факторів, а саме: кисню повітря, контакту з металами, змінних температури та тиску, в наслідок чого змінюється її хімічний склад і, відповідно, експлуатаційні властивості, що впливає на надійність гідравлічної системи та ПС в цілому. Надійність, загалом, є комплексом властивостей об'єкту експлуатації, які закладаються при проектуванні, забезпечуються у виробництві, підтримуються і підвищуються в експлуатації. Надійність ПС визначається через розрахунок показників надійності. При визначенні показників надійності суттєва роль відводиться інформації, яка поступає від авіакомпаній, що забезпечує здійснення контролю надійності всіх життєво важливих елементів ПС і регулярного визначення кількісних характеристик надійності. Для оцінки надійності ПС застосовують статистичну обробку даних про несправності, відмови і дефекти, що спостерігаються в експлуатації.

На сьогодні парк ПС авіакомпаній України складається з авіаційної техніки (АТ) як вітчизняних, так і іноземних виробників [2]. Визначення стану надійності вітчизняної АТ регламентує АП-25, іноземної − FAR та JAR. Відповідно, цими документами регламентовано визначення різних показників надійності та ефективності ПС. Із порівняльного аналізу цих показників авторами роботи [2] виділено три основні групи:

- показники, якими оцінюють та контролюють стан надійності і ефективності функціональних систем, видів обладнання, основних виробів та літака в цілому;
- показники, якими оцінюють надійність компонентів, тобто комплектуючих виробів;
- показники для оцінки надійності двигунів силової установки (СУ) літака.

Для вітчизняної техніки показники надійності та ефективності розраховуються для відмов, які виявлені в польоті та в експлуатації, а для іноземної − у польоті та на землі. З метою оцінки стану надійності як вітчизняної, так і іноземної АТ достатньо розраховувати такі показники надійності: К1000, К100 та кількість відмов за певний період [2]. Як приклад, на рис. 1 подано розподіл К100 для основної гідравлічної системи В737 – 300/400/500 за період 01.2008 – 12.2010 ПС однієї з провідних авіакомпаній України. Статистичні дані надані директором НДЦ інформаційного супроводження експлуатації авіаційної техніки та газотранспортного обладнання проф. Кучером О.Г.

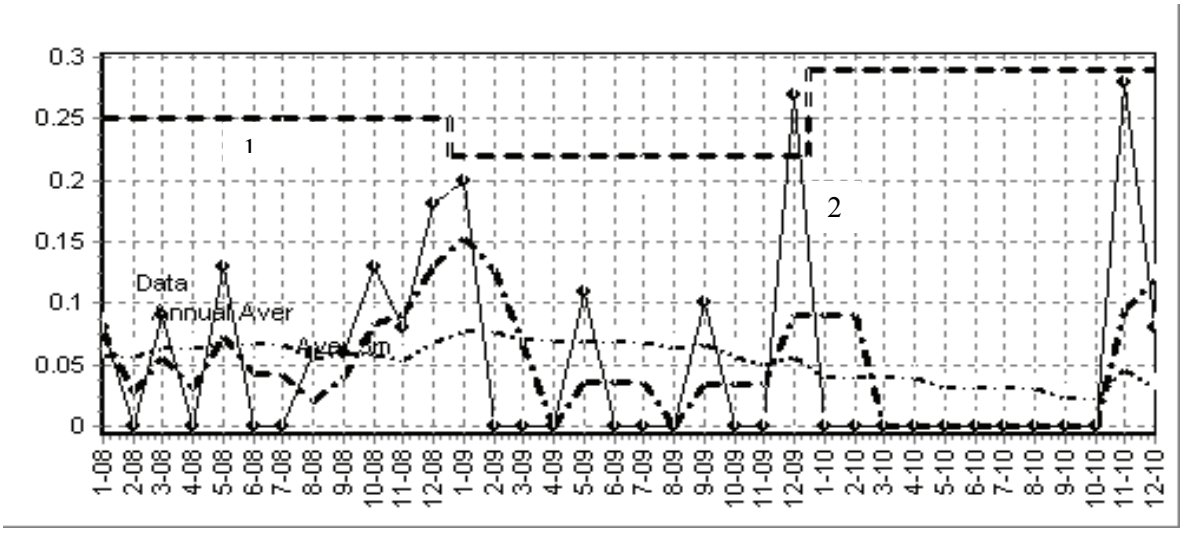


Рис. 1. Розподіл К100 для основної гідравлічної системи В737 – 300/400/500 за період 01.2008 – 12.2010
1 – контрольний рівень надійності; 2 – К100

Аналіз наведених статистичних даних показує, що рівень надійності основної гідравлічної системи як наближується до контрольного за поточні роки, так і перевищує його, що створює загрозу безпеці польотів. У зв'язку з цим, виявлення кінетики зміни хімічного складу гідравлічної рідини під час експлуатації ПС є важливим питанням для забезпечення необхідного рівня її якості та надійності ПС. Сьогодні в гідравлічній системі ПС Європейських авіакомпаній, у тому числі й Українських, застосовують гідравлічну рідину «Гідронікойл» FH-51, що виробляється французькою фірмою «НІКО». У даній роботі представлені результати дослідження хімічних перетворень у складі гідравлічної рідини FH-51 залежно від часу нальоту. З цією метою досліджувалися наступні зразки гідравлічної рідини FH-51:

– зразок №1: товарна рідина;

– зразок №2: після нальоту 300 годин;

– зразок № 3: після нальоту 380 годин.

Спочатку методом атмосферно-вакуумної перегонки за ГОСТ 2177–66 всі зразки були розділені на окремі фракції:

– перша фракція: початок кипіння (ПК) – до появи димності при атмосферному тиску;

– друга фракція: фракції, які перегоняються під вакуумом при тиску 1 мм рт.ст. до появи димності;

– залишок після перегонки зразків.

На рис. 2 наведено отримані результати. Як бачимо, вихід першої фракції зразку рідини № 2 на 5,2% менший, ніж у аналогічного зразка товарної рідини. Вихід першої фракції зразку рідини № 3 менший на 22,3% від виходу зразка товарної рідини (див. рис. 2). Відповідно збільшився вихід других фракцій № 2 на 6,2% та № 3 на 22,9% у порівнянні із зразком товарної рідини. Це свідчить про протікання хімічних процесів, що спричиняють зменшення кількості низькокиплячих вуглеводнів у складі гідравлічної рідини з часом роботи та відповідно збільшення висококиплячих.

Отже, наявні підстави, що уможливлюють висунути гіпотезу про те, що з часом роботи рідини в гідравлічний системі літака хімічні перетворення вуглеводнів протікають в напрямі

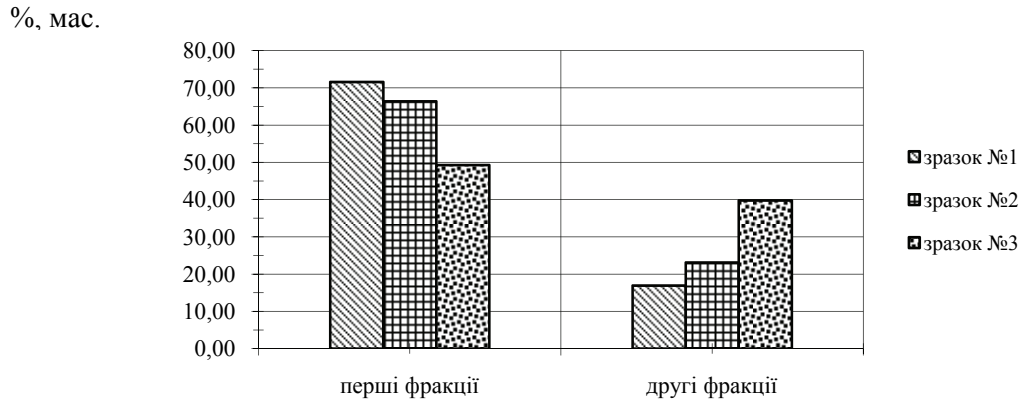


Рис.2. Вихід перших та других фракцій зразків рідини FH-51

утворення важких висококиплячих вуглеводнів. З метою виявлення кінетики протікання зазначених хімічних перетворень у вуглеводневому складі гідравлічної рідини FH-51 досліджено зміни хімічного складу окремо в фракціях кожного зразка. У зв'язку з цим фракції кожного зразка були розділені на групи вуглеводнів методом рідинної хроматографії. На рис. 3 подано результати експериментів щодо хроматографічного розділення перших фракцій зразків рідини. Як бачимо, в зразку № 3 суттєво зменшився вміст нафтенових вуглеводнів, зокрема, бі- та трициклічних порівняно як із зразком товарної рідини (зразком № 1), так і зразком № 2. Водночас, у зразку № 3 значно зріс вміст ароматичних вуглеводнів, особливо алкілбензолів (на 10,2 %) порівняно з зразком як товарної рідини, так і зразком № 2 (рис. 4). Причому, значно зріс вміст тільки гомологів $C_9 - C_{11}$ порівняно із зразком № 2, що свідчить про наявність реакцій деструкції, тобто розриву нафтенових кілець в бі- та трициклічних структурах. При розриві кільця в біциклічних нафтенових вуглеводнях утворюються мононафтенові вуглеводні.

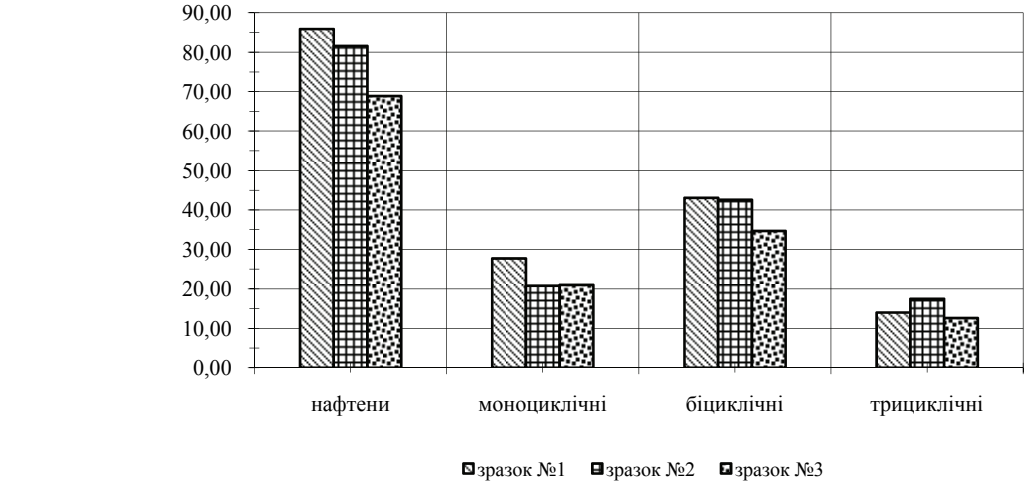


Рис. 3. Вміст нафтенових вуглеводнів у перших фракціях зразків рідини FH-51

При розриві кільця в трициклічних нафтенових вуглеводнях утворюються біциклічні нафтени. Далі протікають реакції дегідрування новоутворених моно- і біциклічних нафтенів у результаті чого утворюються ненасичені нафтенові вуглеводні з одним та двома подвійними зв'язками і алкілбензоли.

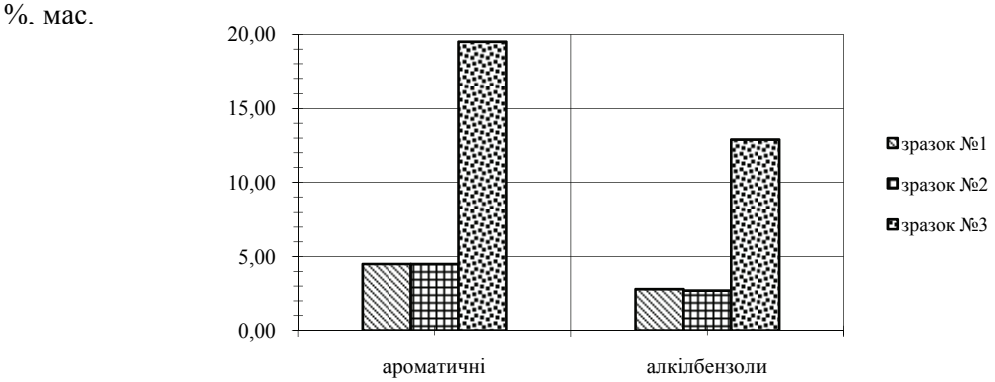


Рис. 4. Вміст ароматичних вуглеводнів у перших фракціях зразків рідини FH-51

Протікання описаних хімічних перетворень у молекулах нафтенових вуглеводнів підтверджують дані експерименту, тобто, як вже було сказано вище, в зразку рідини № 3 спостерігається як загальне зменшення вмісту нафтенів, так і зменшення саме бі- та трициклічних нафтенових структур. У свою чергу значно збільшується вміст ароматичних вуглеводнів. Утворені ненасичені моно-, бі- та трициклічні нафтенові структури є не стабільними, здатними до ущільнення. Саме ущільнення ненасичених нафтено-ароматичних сполук, що утворюються в процесах дегідрування нафтенів, і призводить до зменшення вмісту в перших фракціях зразків № 2 і № 3 всіх типів нафтенових сполук і збільшення вмісту відповідних сполук, які мають більшу молекулярну масу і вищу температуру випарювання. Внаслідок цього збільшився вихід других фракцій цих зразків порівняно з товарною рідиною, як показано на рис. 2.

На підставі експериментально встановленої кінетики хімічних перетворень в молекулах нафтенових вуглеводнів, що протікають в умовах нестабільної дифузії атмосферного кисню [3], знайдено формулу, яка описує вміст $N(t)$ новоутворених молекул нафтенових вуглеводнів через час t роботи рідини в гідравлічній системі ПС:

$$N(t) = 85{,}9 - 5{,}898 \cdot 10^{-15} \cdot t^{6}.$$

Висновки

Результати досліджень показали, що дана кінетична модель може бути застосована для опису хімічних перетворень в молекулах, що відбуваються на початку терміну роботи рідини FH-51 в гідросистемі ПС, а саме, впродовж перших 300 – 500 годин нальоту. Проведено дослідження щодо зміни вуглеводневого складу гідравлічної рідини FH-51 з часом експлуатації ПС. Встановлено, що відбувається зменшення вмісту низькокиплячих вуглеводнів, збільшення кількості висококиплячих вуглеводнів, та знайдена кінетична модель, яка описує новоутворення молекул нафтенових вуглеводнів під час експлуатації ПС. Отримані результати уможливлюють оптимізацію контролю якості гідравлічної рідини з метою забезпечення необхідного рівня її якості та надійності повітряного судна.

Список літератури

1. *Нетреба Ж.М.* Дослідження хімічних перетворень у вуглеводневому складі робочої рідини «Гідронікойл» FH-51 / А.М. Соловйов, О.Я. Кузнєцова, Ж.М. Нетреба. – К.: Вісник НАУ, 2007. – №2. – С. 84 – 89.

2. *Кучер О.Г.* Порівняльний аналіз показників надійності й ефективності іноземної та вітчизняної авіаційної техніки / О.Г. Кучер, П.О. Власенко. – К.: Наукоємні технології, 2009. – №2. – С. 11 – 19.

3. *Кондратенко П.О.* Фотохімічна дія світла / П.О. Кондратенко: Навчальний посібник. – К.: Вид-пол центр «Київський університет, 2005. – 401 с.

УДК 665

О.В. Мислива, А.Г. Нікітін, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ МЕХАНІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ТУРБІННИХ ОЛИВ

Викладені питання дослідження складу механічних забруднень турбінних масел. Дослідження виконувалися на базі чотирьох промислових об'єктів енергетики (трьох атомних і однієї теплової електростанцій). Показано, що зразки турбінного масла з різних об'єктів містять забруднення різного типу, а у зразках турбінного масла з одного об'єкта наявні характерні частинки, які не зустрічаються у інших пробах масла.

В умовах кризи, росту вартості нафтопродуктів та погіршення екологічної ситуації у світі гостро постає питання раціонального використання нафтопродуктів. Запорукою доцільного використання нафтопродуктів є підтримання їх чистоти на високому рівні під час використання у техніці та промисловості. Забезпечення чистоти турбінних олив на атомних і теплових електростанціях дозволяє уникнути створення сприятливих умов для перебігу процесів окиснення компонентів масла у маслосистемі. Внаслідок цього підтримується сталий хімічний склад масла та зберігаються його експлуатаційні властивості, що сприятливо позначається на роботі апаратури [1]. Для підтримання чистоти турбінних олив у маслосистемах атомних і теплових електростанцій встановлені мембранні фільтри. Попри це при здійсненні аналізу на наявність забруднень результати вказують на незадовільний стан чистоти турбінних масел. Турбінні масла, термін використання яких становить 3-4 роки, не відповідають нормам чистоти: 9 клас для систем регулювання та 11 клас для систем змащування [2,3]. Зважаючи на це, цікаво, який же тип забрудненості турбінних олив, що використовуються на атомних та теплових електростанціях. Таким чином при здійсненні аналізу рівня забрудненості турбінних олив було звернено увагу на розподіл часток на тільки за гранулометрією, а й за природою речовини. З цією метою було проаналізовано проби масел чотирьох промислових об'єктів: трьох атомних та однієї теплової електростанцій. Встановлено, що рівень чистоти турбінного масла відібраного з маслосистеми АЕС №1 відповідає 15 класу чистоти за ГОСТ 17216. Такий високий рівень забрудненості зумовлений переважно вмістом у маслі великої кількості дрібних (5-10 мкм) частинок. Окрім цього високий клас забрудненості деяких проб зумовлений наявністю крупних частинок розміром більше 50 мкм. Частка крупних частинок в середньому по пробам становить не більше 2% (норма 0,4% від загальної кількості частинок на фільтрі), що суттєво впливає на значення класу чистоти. Окрім цього частинки певних розмірів становлять небезпеку при знаходженні у маслосистемі (рис. 1): для систем регулювання небезпечними є частинки розміром 25 мкм, оскільки можуть потрапити у зазори золотників та знерухомити їх, а для систем змащування у різних режимах небезпечні частинки розміром 10-15 мкм та 50 мкм.

До того ж частинки забруднення з цих проб дуже різноманітні. У переважній кількості це частинки кристалічного типу, чорного кольору з відблиском. У меншій кількості виявлені частинки коричневого кольору. Майже у всіх зразках виявлено частинки білого кольору кристалічного типу з розмірами переважно більше 25 мкм, а також безбарвні прозорі блискучі частинки різних розмірів. Зафіксовано також наявність чорних та безбарвних частинок з довжиною більше 100 мкм і шириною близько 15 мкм (рис. 1.а). Із семи проаналізованих проб у двох зразках масла (ОМТИ «Реолюб» з системи регулювання) виявлено частинки синього кольору з формою близькою до сферичної (рис. 1.б), які є характерними саме для цих проб і не трапляються в інших .

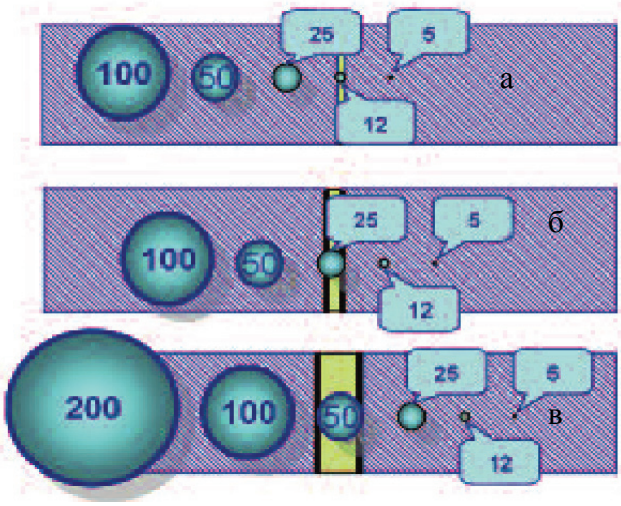
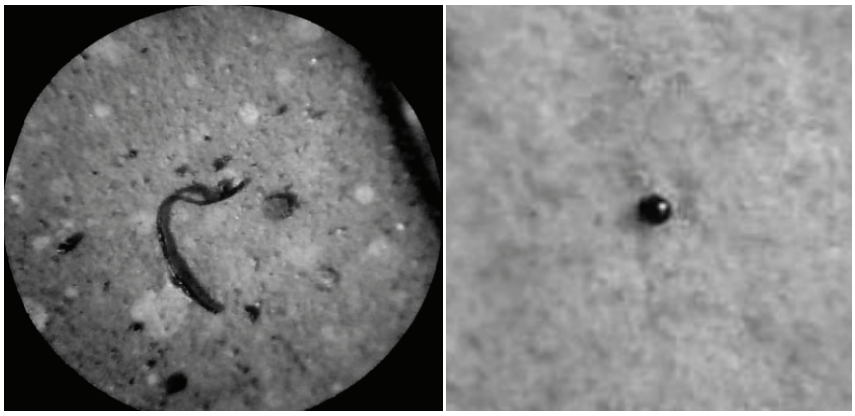


Рис. 1. Частинки небезпечних розмірів та відповідні їм зазори в рухомих елементах систем змащування та регулювання: а – гідропідйом ротора в режимі запуску;
б – у золотниках систем регулювання; в – гідропідйом ротора у робочому режимі



а б

Рис. 1. Зовнішній вигляд частинок забруднення турбінних масел з масло системи АЕС №1

Таке розмаїття типів частинок та рівень загальної забрудненості вказує на декілька шляхів потрапляння домішок у масла.

Щодо зразків проб турбінного масла з АЕС №2, то внаслідок аналізу забруднень було встановлено середній клас чистоти за всіма пробами – 15-й клас за ГОСТ 17216. Такий результат зумовлений високим вмістом крупних частинок. Частка від загальної кількості частинок на зразку становить в середньому 13%. У проаналізованих пробах частка дрібних (5-10 мкм) частинок склала 38%. Фракція 10-25 мкм та 25-50 мкм міститься у кількості близько 30% та 20% відповідно.

У пробах турбінного масла з маслосистеми АЕС №2 виявлено частинки дещо іншого типу: чорні частинки кристалічного типу тьмяні, без відблиску. У більшій кількості порівняно з пробами з інших електростанцій виявлені безбарвні частинки з блискучою поверхнею розміром від 10 мкм до 100 мкм (рис. 2). Зафіксовані також чорні, червоні та безбарвні частинки з довжиною більше 100 мкм та товщиною близько 15 мкм у більшій кількості ніж на пробах з інших об’єктів. На двох зразках проби масла (ТП-22с з системи змащування) було виявлено особливі частинки чорного кольору з формою близькою до сферичної.

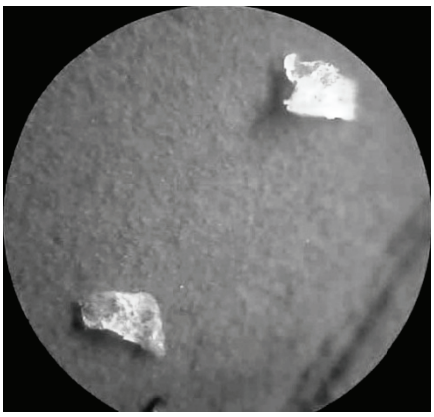


Рис. 2. Зовнішній вигляд частинок забруднення турбінних масел з маслосистеми АЕС №2.

У пробах масла з маслосистеми АЕС №2 частинки переважно однотипні з невеликою кількістю характерних частинок іншого типу.

Під час аналізу проб масла з АЕС №3 крупних частинок більше 50 мкм виявлено не було. Але через великий вміст дрібних (5-10 мкм) частинок середній рівень забрудненості масла встановлено як 14 клас за ГОСТ 17216. На відміну від проб з інших об'єктів, в даних пробах переважна кількість частинок має темно-коричневий колір, а також є невелика кількість білих частинок цікавої рельєфної форми. У цих пробах у великій кількості, порівняно зі зразками з інших об'єктів, спостерігається наявність довгих та вузьких частинок чорного, синього, білого кольорів та безбарвних. На деяких зразках такі частинки зафіксовані у вигляді конгломератів (рис. 3).

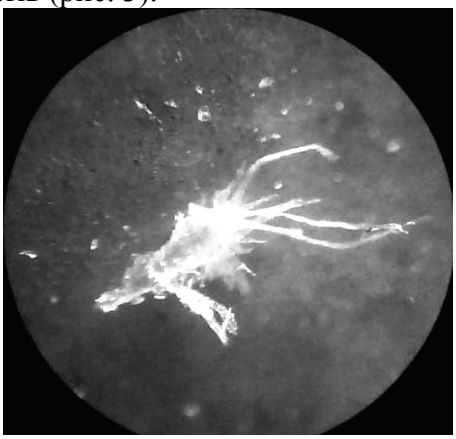
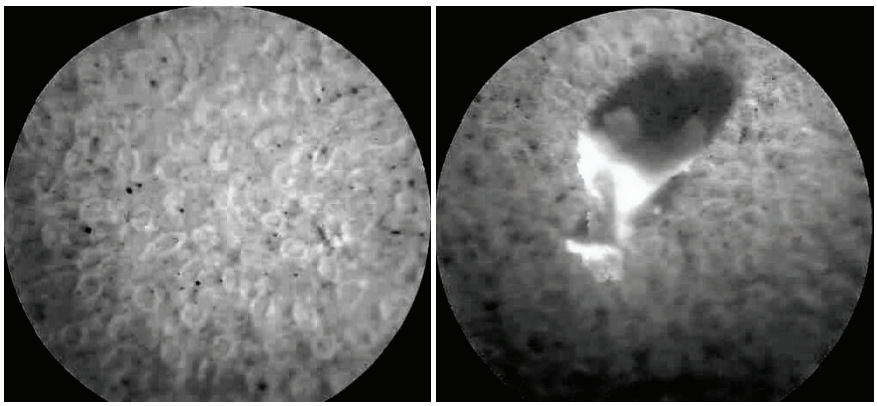


Рис. 3. Зовнішній вигляд конгломератів часток у пробах масел з маслосистеми АЕС №3.

У пробах масла з маслосистеми АЕС №3 виявлено найбільше волокноподібних часток.

Проби турбінного масла, відібраного з маслосистеми ТЕС №1, відповідають 11 класу чистоти за ГОСТ 17216, що є нормою для системи змащування. У цих пробах не міститься частинок більше 25 мкм. Частинки 5-10 мкм становлять 71% від загальної кількості забруднень на фільтрі. В основному це чорні тьмяні кристалічні частинки з рельєфною поверхнею (рис 4,а). У малих кількостях виявлені частинки з відблиском та прозорі безбарвні частинки. На одному зразку зафіксовано декілька крупних білих частинок складної форми (рис. 4,б).



а б

Рис. 4. Зовнішній вигляд частинок забруднення проби масла з маслосистеми ТЕС №1.

Забруднення зразків масла з маслосистеми ТЕС №1 однотипні за виключенням кількох частинок.

На основі інформації про територіальне розташування електростанцій та умови використання турбінного масла було зроблено деякі припущенні щодо природи та хімічного складу виділених типів забруднення. Таким чином дрібні чорні частинки кристалічного типу, вірогідно, являються вугільним пилом, безбарвні прозорі частинки різних розмірів – кварц, пісок, коричневі частинки, швидше за все, - кремень (мінерали оксидів кремнію), крупні білі частинки - похідні фосфору (припустимо - апатит), прозорі довгі частинки – металічна стружка, яку тверді механічні домішки у процесі перекачування зішкрябують з металічних поверхонь апаратури, сферичні сині частинки за кольором схожі на речовину з вмістом комплексу іонів міді з аміаком. Щоб підтвердити чи спростувати дані припущення планується здійснити спектральний аналіз з метою визначення хімічного складу виявлених типів забруднення.

Висновки

1. Для кожного промислового об’єкта, що досліджувався, характерний власний рівень та тип забрудненості турбінного масла.
2. Рівень забрудненості на трьох АЕС високий через надмірний вміст частинок фракцій 5-10 мкм та 50-100 мкм, що перевищують нормативне значення і можуть викликати несправність роботи обладнання.
3. На кожному промисловому об’єкті частинки забруднення, що знаходяться у переважній кількості на зразках, належать до одного типу.
4. Визначено, що проби турбінного масла з різних промислових об’єктів відрізняються за вмістом характерних частинок забруднення.

Список літератури

1. *Никитин А.Г.* Состояние трибообеспечения современных ГТУ. Резервы повышения надежности и экономический эффективности./ Газотурбинные технологии.2010, №1 (82). – с. 26 – 30.
2. *РД ЭО-0444-03*. Методические указания по эксплуатации, организации и проведению испытаний трансформаторных и турбинных масел на атомных электростанциях. Министерство Российской Федерации по атомной энергии. М, 2002.
3. *ОСТ 23.1.23-80* Промышленная чистота. Классы чистоты рабочей жидкости. Методы назначения класса. Официальное издание. М, 1980.

УДК 665.753 (045)

В.И. Морозов, к.т.н., доцент, И.В. Морозова
(Национальный авиационный университет, Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СРЕД ПРИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Рассмотрен вопрос о возможности применения высокочастотного метода определения магнитной восприимчивости диамагнитных жидких сред для контроля качества влияния электро-физического воздействия на углеводородные горюче-смазочные материалы. Проведён спектральный анализ в инфракрасной области спектра, методами ЯМР, ЭПР и масс-спектроскопии.

Исследование влияния электрофизического способа воздействия на ГСМ в динамическом режиме проводили на товарных топливах: керосине ─ ТС-1 и РТ, дизельном ─ Л-0,2-40 и Л-0,5-40 и смазочном масле МК-8. Электрофизическое воздействие на ГСМ осуществляли способом [1] на установке описанной [2] т.е. исследуемые жидкости пропускали через магнитное поле поляризующего магнита, а затем через однородное магнитное поле второго постоянного магнита. В магнитном поле второго магнита на жидкость воздействовали переменным электромагнитным полем высокой частоты, которую выбирали равной частоте процессии ядер водорода в данном магнитном поле.

Скорость протекания жидкости через установку ЭФВ контролировали по максимальному сигналу абсорбции энергии протонной системой из высокочастотного колебательного контура, которая пропорциональна избытку протонов в верхнем энергетическом состоянии, т.е. намагниченности ядер $M = \chi_o H_o$, а также энергии, которая поглощается протоном при переходе с одного энергетического уровня на другой $\Delta E = h\gamma H_o$.

После электрофизического воздействия на углеводородные жидкости исследовали электрофизические и физико-химические свойства их: магнитную восприимчивость, диэлектрическую проницаемость, диэлектрические потери, содержание фактических смол, кислотность. Проведены спектральные и хроматографические исследования.

Углеводородное товарное топливо можно представить в виде диамагнитного химического соединения с добавлением парамагнитных центров представляющих собой органические радикалы, растворенный кислород и т.п. Углеводородные молекулы топлива не содержат неспаренных электронов и магнитные свойства их обусловлены диамагнетизмом замкнутых электронных оболочек и слабым парамагнетизмом атомных ядер (в данном случае ядер водорода).

При введении диамагнитного вещества в магнитное поле происходит изменение энергии электронной оболочки на величину ΔU, что приводит к появлению магнитного момента оболочки μ_z и намагниченности вещества

$$M_z^d = -\frac{e}{2mC} N \sum_{i=1}^{z} < L_z > -\frac{Ne^2}{6mC^2} H_o \sum_{i=1}^{z} < r_i^2 > .$$

Первое слагаемое в формуле связано с ориентацией орбитальных моментов атомов при отсутствии внешнего поля и в нашем случае равно нулю. Второе слагаемое в этом выражении всегда отрицательно и определяет диамагнитную часть намагниченности

$$M_z^d = \chi_o^d H_o ,$$

где χ_o^d - диамагнитная восприимчивость:

$$\chi_o^d = -\frac{Ne^2}{6mC^2} \sum_{i=1}^{z} < r_i^2 > .$$

Диамагнитная восприимчивость очень мала и для конденсированных сред

$$\chi_o^d = -\left(10^{-5} - 10^{-6}\right).$$

Магнитные моменты таких частиц как кислород, органические радикалы и другие элементы топлива, обладающие электронным парамагнетизмом, ориентируются под действием внешнего магнитного поля и намагниченность их пропорциональна внешнему магнитному полю H_o.

$$M_z^p = \chi_0^p H_0$$

Поскольку моменты ориентируются в направлении поля, то $\chi_o^P > 0$.

Для рассматриваемого нами эффекта намагниченность вещества, в котором имеются ядерные моменты и существует сверхтонкое взаимодействие последних с магнитными моментами не спаренных электронов, обусловлена полными магнитными моментами атомов и молекул находящихся в возбужденном состоянии. Взаимодействие ядерных спинов водорода, получивших энергию переменного электромагнитного поля при ЭФВ, с электронными спинами парамагнитных центров, благодаря электрон-ядерному спиновому взаимодействию, приводит к изменению намагниченности вещества. При взаимодействии спинов электронов парамагнитных центров со спинами ядер основного химического соединения, куда помещены эти центры, приводит к увеличению диамагнетизма вещества, т.е. происходит обобществление электронов каждого из атомов приводя к уменьшению парамагнетизма растворенного кислорода.

Экспериментальные исследования магнитной восприимчивости топлив на радиочастотной установке, принцип действия которой основан на определении изменения резонансной частоты высокочастотного колебательного контура, показали увеличение диамагнетизма товарного топлива (рис. 1).

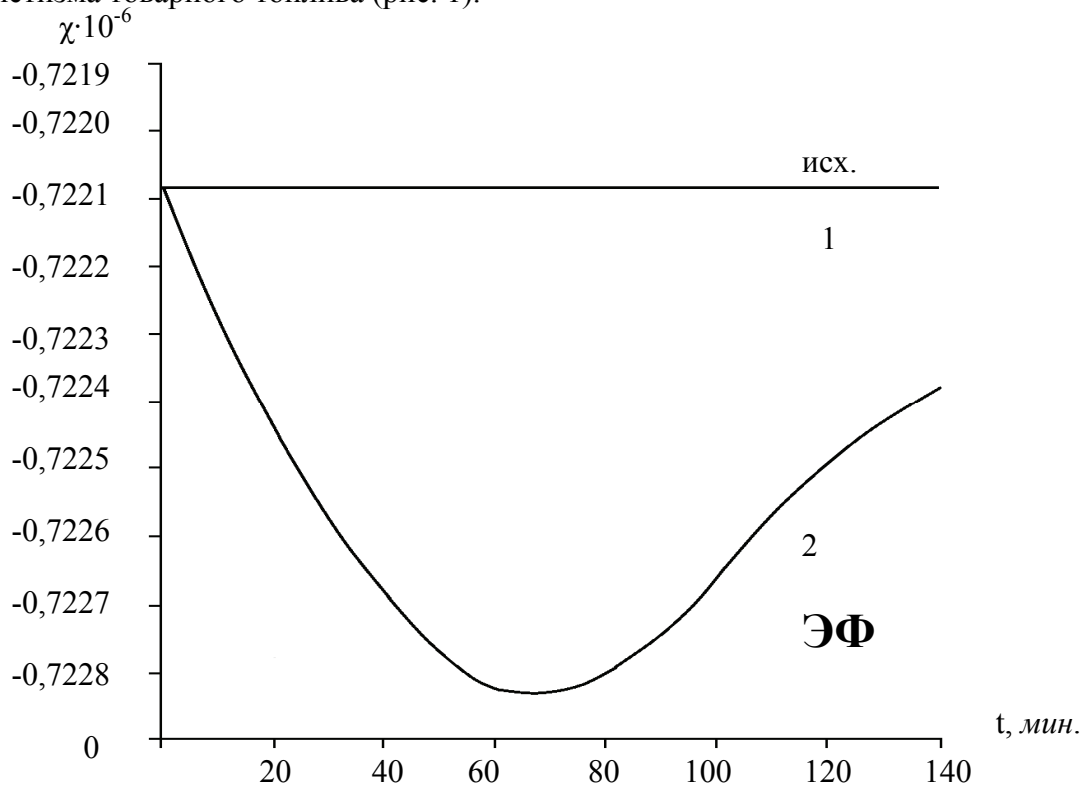


Рис. 1. Изменение магнитной восприимчивости топлива в зависимости от времени:
1 – товарное топливо; 2 – топливо после ЭФВ

В процессе измерения стабильность частоты выдерживалась с точностью до 10^{-8}, что позволило определять диамагнитную восприимчивость топлив порядка 10^{-6} с точностью до 0,01%.

На рис. 1 видно, что максимальное изменение $\chi^d = -0{,}7227 \cdot 10^{-6}$ происходит через 60-70 минут после ЭФВ. Это, по-видимому, происходит за счет релаксационных процессов

характеризующих обмен энергией между системой ядерных спинов водорода и электронами парамагнитных центров (растворенного O_2) образуя диамагнитные комплексы.

С целью проверки высказанного предположения были проведены исследования по определению содержания растворенного кислорода в углеводородном топливе хроматографическим методом на хроматографе ЛХМ-72 (рис.2).

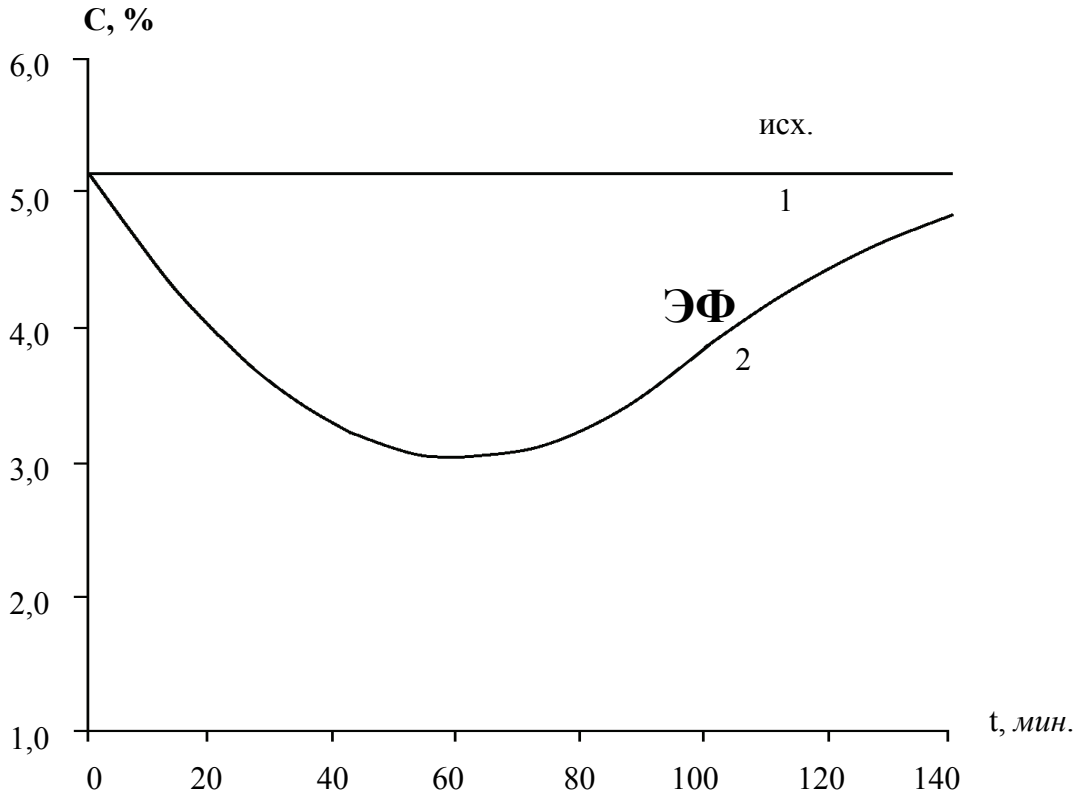


Рис. 2. Изменение концентрации кислорода
в топливе в зависимости от времени:
1 – товарное топливо; 2 – топливо после ЭФВ

На рисунке показан график изменения концентрации растворенного в топливе кислорода после процесса электрофизического воздействия на топливо. Из графика следует, что концентрация растворенного кислорода постепенно уменьшается и через 60 минут после воздействия на топливо достигает минимального значения (в 1,8 раза ниже исходной концентрации). Затем происходит повышение концентрации кислорода и через 140 минут она достигает исходной величины. Полученные данные хорошо согласуются с изменением магнитной восприимчивости и подтверждают наше предположение [3].

Нами была сделана попытка обнаружить какие-либо проявления электрофизического воздействия на углеводородные топлива в инфракрасной области спектра 4000-400 $см^{-1}$ на спектрофотометре UR-20, методом ядерного магнитного резонанса на радиоспектроскопе типа BS-477 "Тесла", методом электронного парамагнитного резонанса на радиоспектроскопе типа РЭ-1301 и методом масс-спектрометрии на приборе типа МХ-1303.

Исследовали товарные керосины и дизельные топлива. Воздействие на топлива проводили в динамическом режиме при трех значениях напряженности магнитного поля: 120 кА/м, 320 кА/м и 640 кА/м. Скорость подачи топлив через магнитное устройство составляла 0,5 м/с. Температура воздействия и исследования была комнатной.

При изучении инфракрасных спектров топлив оказалось, что в пределах погрешности эксперимента никаких изменений в спектрах в зависимости от электромагнитного воздействия не наблюдается. Этого и следовало ожидать, т.к. в согласии с общепринятыми представлениями, в нормальном состоянии органических молекул вероятность образования

комплекса $D^+ \ldots A^-$ составляет только 1-8%. А инфракрасные спектры, как известно, соответствуют невозбужденному состоянию молекул. Таким образом, электрофизическое воздействие на конденсированные углеводородные среды, в нормальном состоянии, находится за пределами чувствительности ИК-спектрофотометра.

Радиоспектроскопические исследования методом ЯМР, а именно: химического сдвига; интегральной и пиковой интенсивности сигналов, а также интенсивности амплитуд различных гармоник; ширины линий поглощения и методом ЭПР ─ кинетических процессов переноса электрона, протона, вращательной изометрии, образования водородной связи, образование нестабильных промежуточных форм радикалов не дало каких-либо результатов. По-видимому, методы ЯМР и ЭПР нечувствительны к процессам, происходящим в углеводородных жидкостях после динамического воздействия на них электрофизического способа.

Исследование структуры углеводородных топлив масс-спектрометрией путем определения массы и относительного количества положительно заряженных частиц, образующихся при электронной бомбардировке молекул исследуемого соединения, дало следующие результаты. Измерениями определено количество парафиновых углеводородов – 30,96; нафтеновых - 23,38; ароматических - 15,72 для исходного товарного топлива и для образца топлива после электрофизического воздействия соответственно - 33,60; - 25,00 и - 14,26. Результаты исследований выражены в процентах от полного ионного тока без учета калибровочных коэффициентов и наложений.

Выводы

Предложенная методика определения магнитной восприимчивости при дальнейшем усовершенствовании, возможно, применить для контроля электрофизического воздействия на горюче-смазочные материалы с целью получения оптимального режима воздействия. Однако, исследование спектральными методами химического состава топлив после электрофизического воздействия не дало ощутимых результатов, все изменения спектров были в пределах погрешности данных методов, поэтому вопрос о выборе методики проведения эксперимента для данных целей нельзя считать решенным.

Список литературы

1. Авт. свид. № 693659, С 02 В 9/00, В 03 С 1/08. Способ электрофизической обработки водородсодержащих жидкостей./ *Морозов В.И., Усатенко С.Т., Уманец Г.Н.* Заявка № 2152729, от 4.07.1975, опубл. 28.07.1979.

2. Авт. свид. № 1126544, С 02 F 1/48. Устройство для электрофизической обработки жидкостей./ *Морозов В.И., Усатенко С.Т., Баланин В.Х.* Заявка № 3512649, от 19.11 1982, опубл. 01.08.1984.

3. *Морозов В.И.* Влияние электрофизического воздействия на окисляемость топлив/ *Морозов В.И., Усатенко С.Т., Мухояров И.Н.* // Сб. науч. тр. “Исследование эксплуатационных свойств ГСМ” . – Киев, 1987. С. 76-79.

4. *Чельцов А.В.* Измерительные устроства для контроля качества нефтепродуктов. / Чельцов А.В. – М.: Наука, 1981. – 264 с.

5. *Ханов Н.И.* Измерения количества и качечтва нефти и нефтепродуктов при сборе, транспортировке, переработке и коммерческом учете. / Ханов Н.И. – М.: Наука, 2000. – 270 с.

UDC 665

Oleksandr Ivanovich Zaporozhets, Professor,
Julia Stanislavivna Nikitchenko, Assistant,
(National Aviation University, Ukraine)

SCRAP TIRES UTILIZATION: ECONOMIC AND NON-ECONOMIC BARRIERS TO SOLVE A PROBLEM

This paper focuses on the current problem of accumulation and disposal of scrap tires that facing mankind during last years. The main environmental problems and technologies in scrap tire industry are described. Also the economic and non-economic barriers in coming-to-be of scrap tire recycling identified and briefly discussed.

Scrap tires has become a growing problem in recent years for all countries all around the World without exceptions. Scrap tires represent one of several special wastes that are difficult for municipalities for handling. Whole tires are difficult to landfill because they tend to float of the surface. At that stockpiles of scrap tires are located in many regions, resulting in public health, environmental and aesthetic problems [1,2].

Approximately 250 million car and truck tires are scrapped each year in Europe representing about 3 million tons by weight of tire. The worldwide generation of scrap tires is estimated at 1000 million tires per year [2]. Concerning Ukraine the problem of scrap tires accumulation is becoming more actually as a quantity of vehicles increases on the Ukrainian roads and there is no defined policy in terms of waste tires. All scrap tires mostly accumulated or utilized in together with other solid waste without special technologies. This approach to tire accumulation problem is radically erroneous as scrap tires are sources of valuable secondary raw materials.Scrap tires present unusual disposal problems. The very characteristics that make them desirable as tires (for example, long life and durability) make disposal almost impossible. The fact that tires are thermal-set polymers means that they cannot be melted and separated into their chemical components [3].

The continuing accumulation of scrap tires has led to several concerns of varying severity [4]:

1. Tires are breeding sites for rodents and insects that can spread serious diseases.
2. Large tire piles often constitute fire hazards.
3. Uncontrolled tires dumps are unsightly and fire hazards creating acrid smoke and leaving behind a hazardous oily residue.
4. Landfilling scrap tires is unacceptable for some reasons: whole tires are hard to landfill, they take up landfill space; shredded tires take up less space, but space should be save if the tires will be utilize as raw material.
5. Disposing of tires is becoming more expensive, thus this economic activity is less and less attractive for businessmen.
6. Tires should be utilized to minimize environmental impact and maximize conservation of natural resources.

As described above, the continuing accumulation of waste tires has led to six concerns of varying severity. Clearly, the insects and fire hazard problems are the most serious of the concerns listed. Ultimately, decreasing the waste tire accumulations will involve appropriate uses of recycling, combustion, and landfilling. These contribute to an increase in resource recovery (as energy and materials) and form a part of the logical progression that forms the basis for waste management: reduce – reuse – recycle – recover. The hierarchy provides a framework to encourage the reduction of waste generation, reuse in original form, recycling to remake the original form and recovery of resources for a useful purpose [5,6].

Many efforts are being put into tire development and design to make the product lighter, more consistent and uniform and to reduce the rolling resistance of tires. At that the reuse option for scrap tires can be achieved through the practice of improving appropriate used tires casing by retreading.

All tires however whether retreaded or not eventually reach the end of their useful life, which leads to the third or fourth elements of the hierarchy - recycling and recovery for useful purpose.

But there are substantial barriers to the utilization of waste tires. These barriers can be classified into two main types – economic and noneconomic [7, 8]. Economic barriers refer to the high cost or limited revenue associated with various waste tire utilization methods which make them unprofitable. No tire processor will invest time or capital unless there is a sufficient rate of return to justify the efforts.

Noneconomic barriers refer to number of constrains on utilization. These include technical concerns such as lack of technical information or concerns regarding the quantity and quality of products or processes. These barriers also include the reluctance of consumers, processors and regulations to employ new approaches or technologies for aesthetic or other reasons. They also include constrains on utilization because of health, safety, environmental issues, laws and regulations. Table 1 summarizes the economic and non-economic barriers that were identified for each of the tire utilization method [9].

Table 1.

Economic and non-economic barriers to solving scrap tires problem

Technologies as a means for waste reduction	**Economic barriers**	**Non-economic barriers**
Design for longer life tires	▪ Higher cost for tires ▪ Higher fuel consumption	▪ Rougher riding tires ▪ More tire noise
Reuse of used tires	▪ High cost for matching, sorting and distribution	▪ Safety concerns ▪ Consumers prefer new tires
Retreading	▪ High cost of recapping ▪ Competition from new tire prices (in case of passenger tires)	▪ Consumer attitude about safety and reliability
RECYCLING		
Rubber additives for pavements	▪ Initial cost are about double cost of alternative materials ▪ Insufficient life cycle cost data available ▪ Capital cost for equipment modification	▪ Long-term testing is incomplete ▪ Lack of information about safety and reliability ▪ No national specifications for rubberized asphalt
Erosion control	▪ High costs	
Highway crash barriers	▪ High cost	▪ More difficulties with mount and dismount of barriers then sand-filled
COMBUSTION		
Power plants	▪ Low utility buy-back rate for electricity ▪ Capital and operating costs	▪ Sitting problems
Combustion at tire plants	▪ High cost of air pollution control	▪ Concerns about opacity of stack emissions
Cement kilns	▪ Capital costs for handling and feeding ▪ Low cost of alternate fuels ▪ Expense and downtime in environmental permitting process	▪ Delays in environmental permitting process
Pulp and paper mills	▪ High cost of wire free TDF ▪ Handling cost ▪ Low cost of alternative fuels	▪ Wires in TDF plug some fuel systems and limit ash markets ▪ Particulate emissions high than for hog-fuel system ▪ Use of new fuel often requires re-opening of environmental permits
PYROLYSIS	▪ Capital and operating cost ▪ High cost for upgrading char by-products	▪ Upgrading char needs to be commercially demonstrated on a sustained basis

An economic factor that affects all the technologies is the low tipping fees for all solid waste, including tires at landfills. Although landfills often charges more for tires that other solid waste, disposal cost are generally much lower than the costs for alternative means for managing scrap tires such as recycling and incineration for energy recovery [9].

In analyzing the economics of tire utilization it is helpful to consider each situation where cost data are available in terms of the profit per time. Entrepreneurs will launch a tire processing facility only if the potential profit per tire is high enough. The profit per tire may be computed from the equation (1) shown below:

$$\mathbf{P = F + R - C - T - D} \quad (1)$$

where
P is the profit per tire
F is the tipping fee collected per tire
R is the revenue received per processes tire
C is the processing cost per tire for operating the facility
T is the transportation cost to bring the tire
D is the disposal cost for waste products

Clearly to motivate entrepreneurs there must be a positive profit pet tire for any feasible utilization method. If the equation yields a negative value (a loss) then the private sector will not use such utilization method, and the tires will stay where they are. Not only must there be a profit, but it must be high enough to give a good return on the invested capital to built a plant or buy equipment. A rough method of analyzing the return is to calculate the simple payback period using the equation (2) shown below [9,11]:

$$\textbf{Payback period = Capital Invested / Annual Profit} \quad (2)$$

The equation tells how many years it will take before the capital invested in the plant and equipment will be paid back. Generally most investors will demand a payback period of three years or less before they will risk their money. Obviously any venture which requires a high capital investment and yields a very low profit will have a long payback period, and the venture probably will not be financed.

The market assessment suggests that there are several key points at which market forces could be altered by economic instruments to encourage the development of an environmentally sustainable scrap tire industry. In particular scrap tire economic instruments could help achieve scrap tire management objectives in three ways [10]:

1. Provide financial encouragement to consumers to return scrap tires to central collection points where the tires can be kept in the "controlled" waste stream;
2. Lower the cost to collectors/transporters of channeling tires to processors and end users relative to the costs of disposing of scrap tires through landfills, stockpiles, export or other disposal options;
3. Ensure that processors and end users can absorb the flow of scrap tires.

Conclusions

Each year in Ukraine as in other countries over the World, we generate millions of used tires. Scrap tires are found stockpiled at landfills, stacked in scrap yards, and abandoned in communities. Tire stockpiles create blight but, more importantly, they are also an environmental, public safety, and health threat. In general, the scrap tire problem deals with aspects related to business, technology development, the environment, and society at large. Scrap tires can be recycled, reducing potential environmental and health hazards, and reused for many beneficial purposes. These contribute to an increase in resource recovery (as energy and materials) and form a part of the logical progression that forms the basis for waste management: reduce – reuse – recycle – recover. However there are substantial barriers both economic and noneconomic walls which have great influence on development of scrap tires industry. Economic barriers refer to the high cost or limited revenue associated with various waste tire utilization methods which make them unprofitable. Noneconomic barriers refer to number of constrains on utilization. These include technical concerns

, concerns regarding the quantity and quality of products or processes, constrains because of health, safety, environmental issues, laws and regulations.

Thus scrap tires has a dualistic character of the problem: from one side it is an environmental problem related with risks for human health and nature preservation. From other side – scrap tires have great potential for development of tire recycling industry. At this point it is necessary to develop special programs which will harmonize technological possibilities (technologies for tires recycling) and economic instruments (means to stimulate scrap tires collection and treatment) with respect to existent economic and non-economic instruments.

References

1. *Charlotte Clark, Kenneth Meardon, Dexter Russell* Scrap tire technology and markets. - Williams Andrew, 1993. – 316 p.

2. *Robert H. Snyder* Scrap Tires: Disposal and Reuse. – Society of Automotive Engineering, 1998. – 150 p.

3. *Mukesh C. Limbachiya, J.J. Roberts* Sustainable Waste Management and Recycling: Used/Post-Consumer Tires: proceedings of the international conference organized by the Concrete and Masonry Research Group, Kingstone University. – London. – September 14-15. – 2004. – P. 17-59.

4. Scrap Tires Markets: 9th Biennially Report of Rubber Manufacturers Association. – USA, 2009. – 105 p.

5. Archer E., Klein A. and Whiting K The Scrap Tires Dilemma: Can Technology Offer Commercial Solution. Waste Management World, January, James and James Science Publishers Ltd., London, 2004. – 34 p.

6. *Williams P.T.* Waste Treatment and Disposal. - John Wiley and Sons, Chichester, 1999. – 234 p.

7. William Andrew, Charlotte Clark, Kenneth Meardon, Dexter Russell Scrap Tire Technology and Markets // Office of Solid Wastes, U.S. Environmental Protection Agency, Pacific Environmental Services. – 1993. -316 p.

8. Technology Evaluation and Economic Analysis of Waste Tire Pyrolysis, Gasification, and Liquefaction. – Report of University of California Riverside, 2004. – 103 p.

9. Markets for Scrap Tires. – Report of United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste, 1999. – 119 p.

10. Harmonized Economic Instruments for Used Tires. – Apogee Researchers in Association with Tiretech Marketing. – 1994. – 153 p.

11. *V.L. Shulman* Tire Recycling // European Tire Recycling Association (ETRA) // Rapra Technology Limited. – Volume 15, Number 7, 2004. – 144 p.

УДК 621.892.094:621.892.099.6

К.В. Бондаренко, С.В. Бойченко, д.т.н., професор, М.С. Бойченко
(Національний авіаційний університет Україна),
В.І. Кириченко, д.пед.н. (Хмельницький національний університет Україна)

МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ: НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ І РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ

Запропонований комплексний і системний підхід до розв'язання проблеми перероблення технічних олій та їх оптимізованих композицій на матеріали нового типу – так звані біосинтетичні з визначеними властивостями. Розглядаються процеси ідентифікації, встановлення будови та визначення фізико-хімічних і функціональних властивостей нових матеріалів, а також питання раціонального їх використання в трибосистемах техніки.

Постановка проблеми. Об'єктом дослідження є технічні олії: соєва генетично модифікована (соєол-*гм*), ріпакова (ріпол), рицинова (рицол) ат пальмова (пальмол) як поновлювальна і екологічно безпечна сировина, а також оптимізовані композиції соєолу чи ріполу як базових олій з домішками рицолу чи пальмолу як компонентами з кращою хімічною і трибохімічною активністю та необхідними функціональними властивостями. Предметом дослідження є пошук найбільш доцільних і раціональних, техніко-економічно обґрунтованих методів, способів і технологій комплексного перероблення олій на біосинтетичні матеріали паливно-мастильної галузі, визначення їх фізико-хімічних, функціональних (в т.ч. і трибохімічних) властивостей, а також їх експлуатаційних показників (в т.ч. і триботехнічних). Важливою складовою є оцінка якості нових матеріалів на засадах науково-технічних досягнень хіммотології, трибохімії та методів триботехнічних випробувань їх експлуатаційної ефективності у вузла тертя.

Сутністю проблеми є розроблення методів і технологій цілонапрямленої, комплексної і системної модифікації функціонально недосконалих молекулярних структур базових олій і, в першу чергу, їх композицій із рицолом чи(і) пальмолом. Концентрування дослідницьких зусиль на певних аспектах: напрямах модифікування, з одного боку таких, що направлені на естерно-гліцеринову компоненту молекул олій, з іншого – на естерно-ацильні фрагменти молекул (рис. 1). Створення моделі напрямів з визначеними цілями, методами, прогностично-окресленою будовою і функціональними властивостями проміжних продуктів і матеріалів (рис. 2). Передбачити використання сучасних фізико-хімічних методів експерименту, а також встановлення будови і функціональних властивостей нових біосинтетичних продуктів. Спрямувати науково-технічні дослідження на детальну розробку технологій практичного використання нових матеріалів в першу чергу у паливно-мастильної галузі, а також і в інших галузях економіки (рис. 3).

Практичні завдання, на вирішення яких спрямоване дослідження:

1. Розробити методи і технології «низькомолекулярної» модифікації олій і композицій, шляхом алкоголізу олій (зокрема, метанолізу чи етанолізу) з одержанням біопалив а (дизельного , котельного чи пічного), технічних рідин, розчинників, а також низки важливих мономерів для полімерної хімії.

2. Опрацювати, як важливий напрямок, комплекс процесів «середньомолекулярної» модифікації олій і композицій, зокрема їх гліцеролізу та гліколізу з одержанням біосинтетичних олив як для галузі мастильних матеріалів, так і для інших галузей, зокрема: присадок, емульгаторів, пластифікаторів, мономерів, базових олив тощо.

3. Сформувати хіміко-технологічний напрямок, комплексного перероблення проміжних продуктів, одержуваних за першим напрямом, в цільові матеріали: методами етанол амідування, сульфідування, епоксидування естерів ВЖК, а також їх сумішей з проміжними біосинтетичними оливами, етаноламідування метилових естерів від соєолу-гм.

4. Розробити методичні основи процесів переестерифікації соєолу-гм та композицій

на його основі, зокрема таких як естероліз та ацидоліз з метою одержання нових біосинтетичних олив та біоолив-присадок для мастильної галузі.

5. Досягти раціонального і ефективного використання науково-технічного потенціалу сучасних методів ідентифікації нових біопродуктів. встановлення їх будови і властивостей, зокрема широко застосовувати спектральні методи: рентгенівський, інфрачервону, електронну (растрову, Оже-).

6.Задіяти весь відомий на сьогодні арсенал трибо технічних випробувань нових олив та композицій на їх основі на предмет тертя і зношування, визначення критеріїв зносостійкості, надійності і безпеки (в т.ч. і техногенної) експлуатації трибо систем і вузлів тертя сучасної техніки, зокрема авіаційної.

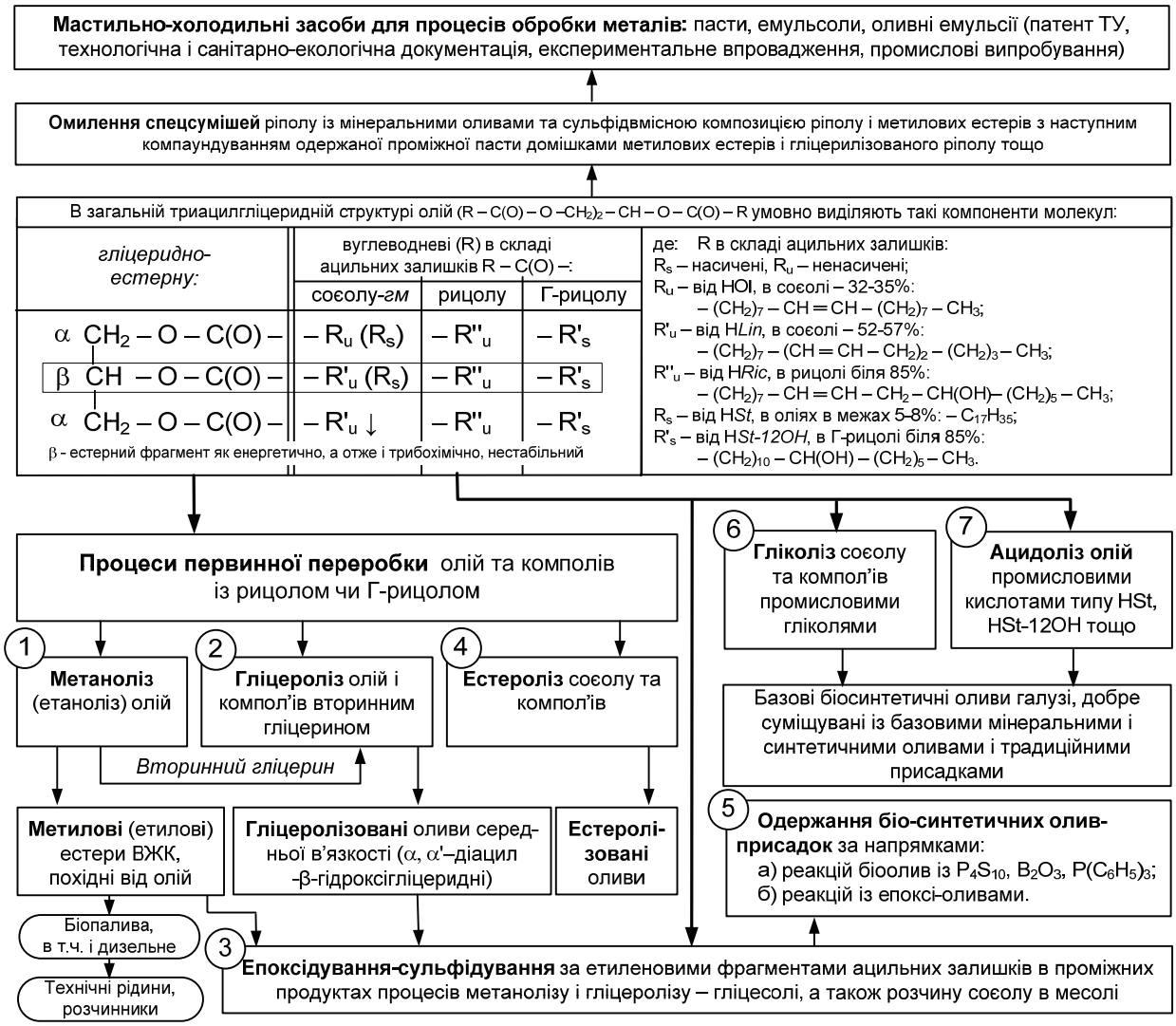


Рис. 1. Структурно-логічна схема найбільш доцільних хіміко-технологічних методів модифікації структури технічних олій з одержанням нових біосинтетичних продуктів широкого асортименту і призначення

Значимість результатів для розв'язання економічних і соціальних проблем: а) створення техногенно безпечних і високоефективних технологій перероблення поновлювальної і екологічно чистої сировини на нові матеріали; б) сприяння розвитку агропромислового комплексу (АПК); в) спрямованість проекту на малу чи середню потужність виробництва матеріалів з урахуванням міжрайонного розміщення (наближеність як постачальників олій чи насіння, так і споживачів продукції); г) забезпечення широкого варіативного спектру продуктів і матеріалів, в т.ч. різних видів біопалива, особливо «біодизельного», як фактора енерго- та ресурсозбереження, тобто на хоча б часткову заміну

на (25-50 %) матеріалів мінерального і синтетичного походження (олив, мастил, композицій, присадок) на екологічно безпечні біосинтетичні матеріали; г) можливість експорту не олій як сировини, а продуктів і матеріалів; д) виробництво мастильних-холодильних засобів (МХЗ) будь-яких типів для обробки металів.

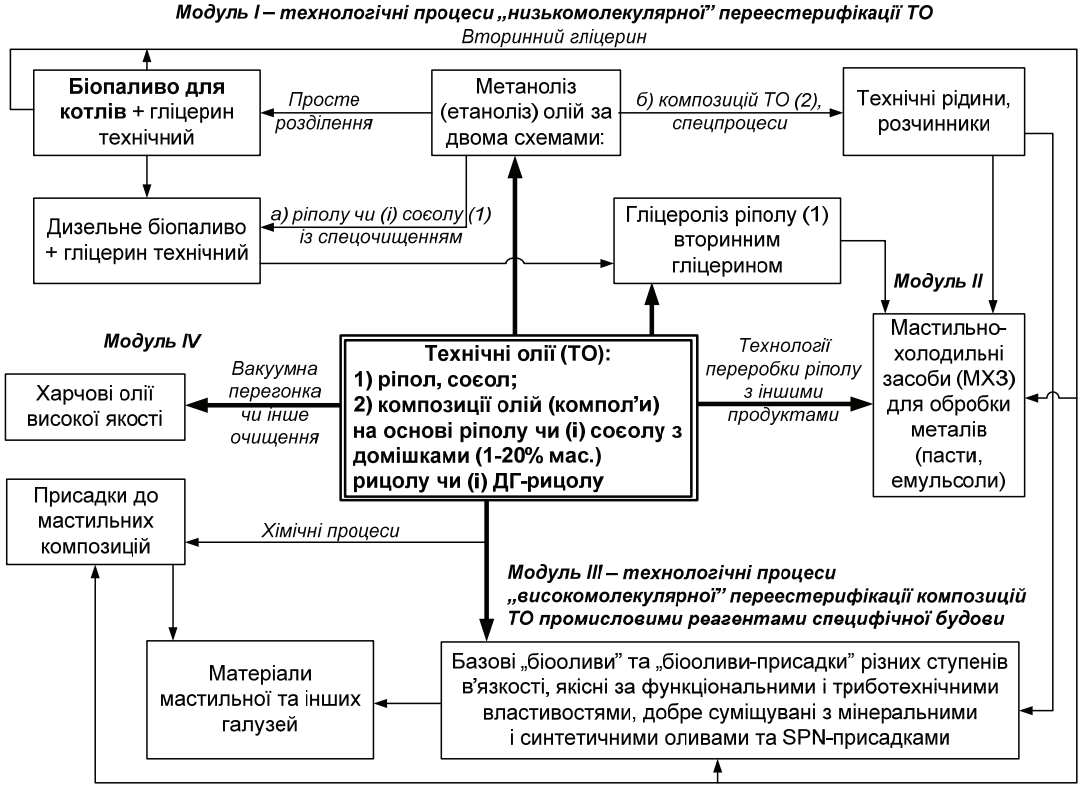


Рис. 2. Структурно-системна модель проекту комплексної переробки технічних олій (ріпакової – ріполу, соєвої – соєолу, рицинової – рицолу) в паливно-мастильні біоматеріали

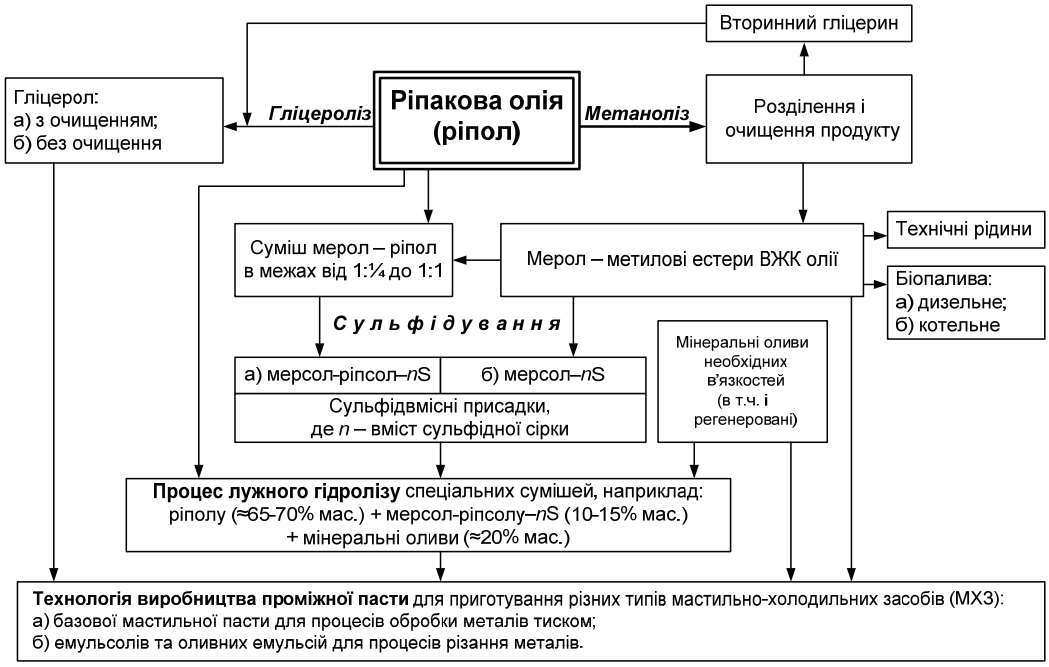


Рис. 3. Структурно-системна модель процесів переробки ріпакової олії (ріполу) в біопалива та мастильно-холодильні засоби (МХЗ) для обробки металів

Сучасний стан дослідженості проблеми. З точки зору забезпечення галузі паливно-мастильних матеріалів (ПММ) сучасними базовими продуктами Україна характеризується суперечливими, не однозначними факторами. З одного боку, її агропромисловий комплекс має необмежений потенціал виробництва таких технічних олій як соєол-гм та ріпол, крім того вона імпортує необхідну кількість таких досить дешевих олій як рицол та пальмол, які в цілому, є найбільш спорідненими із ПММ за низкою функціональних властивостей, зокрема антифрикційних, в'язкісно-температурних тощо. Проте олії мають низку суттєвих функціональних і експлуатаційних недоліків. на усунення яких спрямовані зусилля дослідників з метою цілеспрямленого . системного і комплексного модифікування їх будови.

З іншого – Україна виробляє лише обмежену кількість базових, низькоякісних і екологонебезпечних мінеральних олив і в той же час імпортує понад 80 % високоякісних товарних мастильних композицій широкого за призначенням асортименту і, як правило, синтетичного чи мінерально-синтетичного походження, а також присадок до них. Відомі лише окремі, фрагментарні публікації всесвітньо відомих в галузі мастильних матеріалів корпорацій, зокрема: Esso-A.G., Shell Oil, Chevron Corp., Mobil Oil, Standard Oil, Lubrizol Corp., Texaso, які, очевидно, системно і результативно розробляють дану проблему, хоча публікації про перебіг досліджень і розробки досить обмежені.

Результати попередніх досліджень та розробок. Основні положення даного проекту спираються на результати дослідження і розробок двох науково-дослідних (НД) центрів.

З одного боку, НД лабораторія композиційних матеріалів ХНУ системно і наполегливо досліджує проблему перероблення олій протягом багатьох років. За цей період розроблено низку нових технологічних процесів перероблення олій на проміжні і товарні продукти. За період з 2000 р. і до тепер опубліковано більше 40 наукових праць за тематикою даної проблеми, з них 10 патентів України на винаходи. Крім того, створено новий навчально-методичний комплект (НМК) з курсу загальної хімії вищих технічних навчальних закладів у двох книгах (підручник і практикум), які мають гриф МОН України, видані видавництвом «ВШ».

З іншого – кафедра хіммотології і НД центр сертифікації і хіммотології НАУ мають значний досвід і вагомі прикладні розробки в галузі науково-технічних основ хіммотології трибохімічних і трибологічних досліджень процесів тертя і зношування (їх механізмів); створення вимірювально-аналітичного комплексу триботехнічних випробувань.

Результати даного дослідження на рівні наукових розробок і технологій знайдуть своє використання при підготовці інженерів-механіків і технологів в сучасних навчальних курсах: наприклад матеріалознавства, екологічної безпеки та моніторингу, деталей машин і надійності їх експлуатації, мастильних матеріалів, захисту металів від корозії, технологіях обробки металів і МХЗ.

Нові біосинтетичні матеріали знайдуть своє ефективне використання як матеріали нового покоління в таких галузях: паливно-мастильних матеріалів, де найближчим часом можна замінити традиційні і консервативні матеріали в обсязі 25-50% в хімічній промисловості, обробці металів в машинобудуванні, виробництві товарів побутової хімії, мономерів, тощо.

Висновки. Розроблені системні моделі проектів переробки ТО і, зокрема, ріпакової олії із визначеним і всебічно дослідженим переліком оптимізованих напрямків, методів і технологій раціональної їх переробки. Запропонована структурно-логічна схема, яка пояснює хіміко-технологічну сутність і мотиваційні аспекти вибору напрямків, методів і технологій модифікації ТО з метою одержання поверхневоактивних біосинтетичних олив і присадок на їх основі. Аналіз одержаних в'язкісно-температурних залежностей олій і одержаних з них олив та мастильних композицій, а також результатів триботехнічних і спектроскопічного їх досліджень підтверджують доцільність і раціональність одержаних результатів відповідно до програми дослідження.

Список літератури

1. Кириченко В.І. Хіміко-технологічні аспекти комплексної переробки технічних рослинних олій в нові екологічно безпечні продукти / В.В.Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Вопросы химии и химической технологии. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2008. –№1.–С. 141–144.

2. Кириченко В.І. Якісні біоматеріали з технічних олій: стан і перспективи переробки / В.В.Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Хімічна промисловість України. – К., 2008. – №3.–С. 9–18.

3. Кириченко В.І. Особливості системного підходу до комплексної переробки соєвої олії на біосинтетичні матеріали із визначеними властивостями / В.В. Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Хімічна промисловість України. – К., 2008. – №5. – С. 14–22.

4. Патент № 84484 Україна. МПК CI OM 177/00, 105/00 ; C07C67/00, C11C3/00. – Спосіб одержання базових для галузі мастильних матеріалів біосинтетичних олив. / В.В. Кириченко, В.І. Кириченко. Заявл. 15.02.2007. Опубл. 27.10.2008. Бюл. № 20, 2008.

5. Патент на винахід №91623 МПК C10M177/00, 111/00, 141/00 C07C 67/00, 319/00; одержання базових для галузі мастильних матеріалів біосинтетичних олив-присадок поліфункціональної дії / В.І. Кириченко, В.В. Кириченко. Заявл. 24.12.2008. Опубл. 25.06.2010. Бюл. №12, 2010.

УДК 621.928 068

Л.С. Вєрягіна, О.Л. Матвєєва, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ВЗАЄМОДІЇ ПАР З НАФТОПРОДУКТАМИ ПІД ЧАС ЗАЧИЩЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ

У доповіді розглянуто взаємодію ПАР з нафтопродуктами. Наведено дані про класифікацію, хімічну структуру, фізико-хімічні властивості та вплив ПАР на якість зачищення резервуарів від забруднень

Поверхнево активні речовини (ПАР) широко застосовуються у нафтовій галузі та побуті як мийні засоби, антикорозійні речовини, компонентів лікарських препаратів і косметики, емульгатори і суспензатори пестицидів, у виробництві мінеральних добрив.

Як відомо, під поверхнево-активними речовинами ПАР розуміють хімічні сполуки, які здатні змінювати фазові та енергетичні взаємодії на різних поверхнях поділу. Більша частина органічних речовин в тих чи інакших умовах може проявляти поверхневу активність. Наявність такої активності обумовлена як хімічною будовою сполуки так і зовнішніми умовами. Дифільна структура зумовлює поверхневу (адсорбційну) активність ПАР, тобто здатність концентруватися на між фазних поверхнях (рідина-газ, рідина-рідина або рідина-тверда речовина). ПАР – речовини, молекули яких із справжнього або колоїдного розчину здатні концентруватися на границі розподілу фаз із зниженням вільної енергії поверхневого натягу [1,2]. Зазвичай ПАР – це органічні речовини, які містять в молекулі вуглеводневий радикал та одну або декілька активних груп. Вуглеводнева частина може складатися з парафінових, ізопарафінових, ароматичних, алкіларомaтичних, алкілнафтенових, нафтено-ароматичних, алкілнафтено-ароматичних вуглеводнів різної будови, розгалуженості вуглеводневих ланцюгів, молекулярної маси. В якості активних груп найбільш часто застосовують кисневмісні (ефірні, карбоксильні, карбонільні, гідроксильні), азотовмісні (нітро -, аміно -, амідо -, імідо -), сірко -, фосфор -, сіркофосфорвмісні та інші групи. Часто до складу активних груп входять метали. Загальновідомо, що по основним областям застосування ПАР можна поділити на три групи: водорозчинні, водомаслорозчинні та маслорозчинні. Водорозчинні ПАР складаються з гідрофобних вуглеводневих радикалів та гідрофільних полярних груп, що забезпечують розчинність всієї сполуки у воді. За хімічним складом водорозчинні ПАР поділяються на аніонактивні, катіонактивні та неіоногенні. Характерною особливістю водорозчинних ПАР є їх поверхнева активність на границі поділу «вода—повітря», тобто, зниження поверхневого натягу електроліту на межі з повітрям. Водомаслорозчинні ПАР застосовують в основному в системах «нафтопродукт—вода». Гідрофільні групи в молекулах таких речовин забезпечують їх розчинність у воді, а достатньо довгі вуглеводневі радикали – розчинність у вуглеводнях. Водомаслорозчинні ПАР використовують у якості деемульгаторів, емульгаторів та інгібіторів корозії. Маслорозчинні ПАР не розчиняються і не дисоціюють у водних розчинах. Крім розгалуженої вуглеводневої частини значної молекулярної маси, що забезпечує розчинність у вуглеводнях, маслорозчинні ПАР часто містять гідрофобні активні групи. Як правило, ці ПАР слабко поверхнево-активні на межі поділу «рідке середовище—повітря» [5]. Молекули ПАР на граничній поверхні з паливом розташовуються так, що гідрофільні групи направлені у воду, а гідрофобні виштовхуються на поверхню. Така водна поверхня має менший поверхневий натяг, що сприяє швидкому і повному змочуванню забруднених поверхонь. При зменшенні поверхні натягу води, збільшується її змочувальна властивість. Висока мийна здатність ПАР пояснюється тим, що їх молекули оточують гідрофобні частинки забруднень, створюють зовнішній гідрофільний шар, відривають від поверхні ті частинки, які переходять у стан емульсії або суспензії. Детергенти стабілізують ці завислі частинки перешкоджаючи їх зворотному осіданню на відмиту поверхню. Емульгуючі властивості мийних речовин

пов’язані із наявністю у їх молекулах як гідрофільних, так і ліпофільних груп. Вуглецевий ланцюг – ліпофільна, а карбоксилат-іон – полярна гідрофільна частина молекули. При додаванні мийного засобу до води карбоксилат-іони «розчиняються», а вуглецевий ланцюг – ні. У результаті утворюється мономолекулярний поверхневий шар, який зменшує поверхневий натяг води. При митті забрудненої поверхні молекули мийного засобу оточують краплі жиру, так, що ліпофільні групи виявляються «розчиненими» у ліпідах, а гідрофільні – у воді, утворюючи міцелу. Поверхні всіх міцел зарядженні негативно, тому не злипаються [3]. Головну роль у складі технічних миючих засобів відіграють поверхнево-активні речовини. Тому, зрозуміло що у взаємодії миючого засобу та вуглеводневого забруднення на поверхні стінок резервуарів при зачищенні відіграють процеси адсорбції. Відомо, що під адсорбцією в широкому розумінні цього слова розуміють довільну зміну концентрації одного з компонентів гетерогенної системи на межі поділу фаз. Тверді тіла, що стикаються з розчином, здатні поглинати деяку кількість розчиненої речовини, накопичуючи її на своїй поверхні. Тверде тіло, або та фаза гетерогенної системи, на поверхні якої відбувається адсорбція є адсорбентом, а речовина, що адсорбується - адсорбатом. Причиною адсорбції є те, що поверхневі молекули адсорбенту енергетично ненасичені. Адсорбент має вільну поверхневу енергію та поглинає молекули адсорбату з оточуючого його розчину. При цьому зменшується величина його вільної поверхневої енергії і, отже, даний процес протікає самочинно. Зрозуміло, що в процесі зачищення резервуарів крім адсорбції, важливим є поверхневий натяг. Оскільки, відносний склад компонентів розчину на границі розділу фаз інший, ніж в об'ємі, то саме сполукою поверхневих шарів характеризується хімізм у дисперсних системах [4]. Адсорбція ПАР на границі розділу фаз приводить до зниження поверхневої енергії системи. Шар рідини, що прилягає до поверхні, та дорівнює, за товщиною радіусу сфери молекулярної дії є поверхневим шаром. Молекули рідини в поверхневому шарі знаходяться під дію сил притягання сусідніх молекул. Рівнодіюча цих сил притягання спрямована углиб рідини. Отже, переміщення молекул з глибини рідини в поверхневий шар вимагає витрати роботи на подолання сил притягання. Таким чином, робота, яку необхідно витратити для збільшення поверхні рідини на одиницю – це поверхневий натяг. Поверхневий натяг можна розглядати також як силу, що діє на одиницю довжини контуру, який обмежує поверхню та намагається її скоротити по дотичній до поверхні.

З цього можна зробити висновок, що на ефективність та функції відмивання вуглеводневого забруднення від поверхні стінок резервуарів впливають властивості поверхнево-активних речовин, найважливішими з яких є деемульгування, миючі властивості, дія ПАР як інгібіторів корозії, коагуляція та піноутворення.

Список літератури

1. *Ластухін Ю.О.* Хімія природних органічних сполук: Навч. Посібник. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка» (Інформаційно-видавничий центр «Інтелект+» Інституту післядипломної освіти), «Інтелект-Захід», 2005.- 560 с.

2. *Абрамзон А.А., Борова Л.Е.*. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества: Справочник, -- Л.: Химия, 1984,--392 с.

3. *Можаев Е.А., Литвинов Н.Н.* Совместное действие на организм ПАВ и других химических веществ // Гигиена и санитария. – 1972. – № 4. – С.26-28

4. *Абрамзон А.А., Зайченко Л.П.*. Поверхностно-активние вещества: синтез, аналіз, свойства, применение.– Л.: Химия, 1988,-200 с.

5. *Шехтер Ю.Н, Крейн С.Э., Тетерина Л.Н.* Маслорастворимые поверхностно-активные вещества. Пер. с англ. — М.: Химия,1978 – 304 с.

УДК 665

О.Б. Шевченко, к.т.н, доцент, Т.М. Галкіна, магістр
(ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна)

ВИКОРИСТАННЯ МАСТИЛ НА ОСНОВІ РОСЛИННОЇ ОЛІЇ

У роботі розглянуті питання застосування біорзкладної сировини в якості компонента пластичного мастила. Визначені фізико-хімічні властивості мастила, що одержано на основі рослинної олії

На пластичні мастила, вплив яких на навколишнє середовище до недавнього часу не враховувалося, зараз звернено пильну увагу. Є значна кількість областей застосування, де мастила можуть потрапляти у грунт і воду, забруднюючи їх: гірське (шахтне) обладнання, залізничний транспорт, сільськогосподарська техніка. Таким чином, при всіх наступних розробках пластичних мастил необхідно враховувати не тільки технічні характеристики, але також екологічні і токсикологічні аспекти.

Пластичні мастила, де в якості дисперсійного середовища використовуються рослинні олії, займають тут не останнє місце. За кордоном вже випускають товарні продукти такого типу, ведуться роботи зі створення нових. Аналогічні дослідження починають проводити в Росії та інших країнах СНД. Значна кількість пластичних мастил і раніше випускали з залученням жирової сировини. У США мильні мастила виробляють головним чином на основі тваринних жирів, касторової олії та продуктів її переробки (до 40% всіх пластичних мастил) і лише незначна кількість - на основі інших рослинних олій і жирів морських тварин і риб. У нашій країні для отримання пластичних мастил також застосовують рослинні масла і продукти їх переробки: Саломаси, технічний стеарин, олеїн, 12-оксістеариновую кислоту. Найбільшою мірою використовують бавовняну і касторову олії. Однак поряд з рослинною сировиною широко використовують і синтетичні жирні кислоти, виробництво яких з екологічної точки зору небезпечно для навколишнього середовища.

Як омилювану сировину при виробництві кальцієвих пластичних мастил типу солідолу виявилося можливим використовувати дистильовані жирні кислоти виробництва бавовняного масла. Такі мастила (дисперсійне середовище - відпрацьовані нафтові масла) володіють хорошими об'ємно-механічними властивостями, хоча стабільні дисперсні системи утворюються лише при підвищеному вмісті згущувача (18-21% проти 10-12% при використанні свіжих нафтових масел).

Принципово новий напрямок - це виробництво мастил, в яких дисперсійним середовищем є рослинна олія, її суміш з нафтовою або синтетичною. Основна екологічна перевага таких продуктів - біорозкладність. Біорозкладані мастила почали застосовувати в останні два-три роки, в основному в Європі. Їх структура практично не відрізняється від структури мастил на базі нафтових олив. Метою нашої роботи була розробка мастила на базі ріпакової олії та визначення її фізико-хімічних властивостей.

Один з найважливіших факторів при підборі сировинних компонентів - їх біорозкладність. Дисперсійним середовищем таких мастил (75-95%) є рослинні олії; синтетичні складні ефіри більш дорогі, а гліколі в більшості випадків неприйнятні через високу водорозчинність. Загусники (5-20%) - звичайні мила металів, глини або мікрогелі, а також комплексні солі алюмінію. Присадки (1-8%) - протиокисники, інгібітори корозії, протизношувальні і протизадирні, адгезійні.

При виробництві мастил на базі рослинних олій значну увагу приділяють хімічному складу дисперсійного середовища. Вважають, що виробництво в автоклавах або контакторах не слід вважати придатним для цих цілей, тому що на олію впливають тиск і реакційна вода. Надмірне омилення, яке відбувається , в результаті, важко контролювати, що негативно позначається на кількості кінцевого продукту. Більш важливо отримувати мастила у

відкритому колі, використовуючи готові мила. Запропоновано процес омилення рослинних олій у відкритому котлі в присутності захисних агентів. Дані про окиснювальну стабільність добре корелюють з вмістом рослинної олії в дисперсійному середовищі (окислювання при 100 °С у бомбі, у присутності чистого кисню). Цей показник для рослинних дисперсійних середовищ більш ніж на порядок нижче, в порівнянні з нафтовими і синтетичними, навіть у присутності додатків. Виробники і споживачі не повинні забувати про обмежений термін зберігання таких мастил. Рекомендує використовувати мастила на базі ріпакової олії протягом одного року. Низька стабільність обмежує застосування мастил на основі рослинних олій: верхня межа працездатності - близько 90 °С. При більш високих температурах відбувається термічне розкладання. Діапазон робочих температур може бути розширений додаванням в дисперсійне середовище складних ефірів і додатків. За низькотемпературними властивостями продукти на базі рослинних олій також поступаються таким на базі нафтових. Однак по температурі застигання в цьому випадку не можна судити про експлуатаційні властивості мастила. Завдяки специфічній хімічній структурі рослинні олії схильні до кристалізації з утворенням довгих ланцюгових молекул при температурі набагато вище температури застигання. Для ріпакової олії вона становить -20 °С, але при зберіганні протягом тижня при -15 °С олія втрачає текучість. Цю особливість даних мастил потрібно контролювати за показником пенетрації. Низькотемпературні властивості можна поліпшити лише обмежено (до -30 ° С), вводячи присадки і підбираючи дисперсійне середовище для конкретних умов експлуатації. Мастильні властивості мастил на основі рослинної сировини при введенні товарних додатків майже такі ж, як у нафтових. Але полярність рослинних олій може призвести до протікання незвичайних реакцій на поверхні металу. Тому додатки в такі мастила потрібно вводити у великих кількостях. Проте, за винятком типових протизадирних мастил, відмінні змащувальні властивості рослинних олій достатні для захисту від зносу. Аналогічна картина має місце за протикорозійними властивостями. Дослідницькі роботи показали, що у відкритих вузлах сільськогосподарських, лісозаготівельних і будівельних машин і агрегатів можна використовувати кальцієві мастила на основі ріпакової олії з температурним діапазоном застосування від -20 до 80 ° С, що забезпечують зниження зносу і захист від корозії. Мастила на основі рослинних олій рекомендують застосовувати в ребордах коліс і стрілочних переводів на залізницях і трамвайних лініях, в кабелях систем подачі в гірничій справі, у вузлах підвісних канатних доріг, приводних агрегатах в тунелебудування. Оливи нових гідрогенізаційних технологій у більшості випадків виявляються непридатними у виробництві пластичних мастил. Наслідком практичної відсутності у оливі аренів є більш низька загущуюча здатність мил і необхідність більш високого вмісту загущувача; підвищена протиокислювальна стабільність олив гідрокрекінгу не може повністю реалізуватися через протиокиснюючу природу більшості мильних загусників.

Рослинні олії забезпечують певний рівень захисту від корозії без введення присадок, тому необхідність в них часто взагалі відпадає. При їх використанні необхідно враховувати можливість конкурентної адсорбції на поверхні металу. Для забезпечення рівня захисту, аналогічного нафтовій оливі, достатньо вводити незначну кількість інгібітора корозії.

УДК 628.477:656.2

М.С. Безовська (Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, Україна)

УПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ РОЗРОБОК У СФЕРІ ВІДНОВЛЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ

В структурних підрозділах залізничного транспорту щорічно утворюється та накопичується велика кількість нафто- та мастиловміщуючих відходів. Метод утилізації того чи іншого виду відходів залежить від його конкретного типу, кількості та властивостей.

Проблема утворення, накопичення та подальшого поводження з різноманітними типами відходів всіх класів небезпеки постала на сьогодні в Україні дуже гостро. В цих умовах спостерігається підвищення вимог до якості навколишнього природного середовища, на яке, безумовно, впливає утворення та розміщення відходів. Всі галузі народного господарства, у тому числі транспортна, потребують постійної уваги і підтримки *для збереженні екологічної рівноваги у природному середовищі, що може бути забезпечене завдяки раціональному використанню матеріальних ресурсів.* Одним із найприорітетніших питань в таких умовах стає екологічна безпека на залізничному транспорті.

Утворення відходів є значною проблемою для підприємств та структурних підрозділів залізниць. Поміж інших відходів великими обсягами утворення відрізняються відпрацьовані оливи різних типів – моторні, трансмісійні, індустріальні, компресорні. Якщо відслідковувати динаміку утворення цього типу відходів на Придніпровській залізниці, то можемо бачити, що у період з 2004 по 2007 роки їх накопичилось більше ніж 630 т. Найбільшими вкладниками є підприємства локомотивного господарства, на яких, наприклад, лише у 2006 р. утворилося близько 183 т відпрацьованих олив. Після вилучення відпрацьованої оливи з технологічного процесу підприємства її зберігають у спеціальних резервуарах до подальшої утилізації або передачі для утилізації чи регенерації іншим підприємствам.

При зберіганні відпрацьованих олив підприємства мають дотримуватись вимог ДСТУ 4454:2005 [1], а також технічних умов на відпрацьовані нафтопродукти, ретельно перевіряти справність і особливо герметичність резервуарів і арматури для попередження потрапляння вологи та сторонніх предметів, періодично очищувати ємкості від осаду що утворюється в результаті відстоювання оливи Крім того, зберігання на території підприємства відпрацьованих олив несе в собі не тільки потенційний ризик з боку пожежонебезпеки, але й з боку екологічної безпеки підприємства.

Вищезазначені фактори зумовили необхідність розробки нової технології та регенераційного блоку, які б могли широко застосовуватись на підприємствах залізничної інфраструктури. Нами проводилися дослідження в області відновлення якості відпрацьованих моторних олив локомотивних депо Придніпровської залізниці, зокрема оливи М-14$В_2$, яка допускається до використання в двигунах тягового рухомого складу тепловозів і дизель-поїздів, а також компресорної оливи КС-19, яку застосовують у якості всесезонної для змащення вузлів тертя компресорів тепловозів і дизель-поїздів.

Свої особливості має робота та поступове забруднення моторних олив, що працюють на тепловозах і дизель-поїздах підприємств залізничного транспорту. Мастильні матеріали, що використовуються у вузлах тертя локомотивів, знижують втрати потужності на тертя, відводять тепло і захищають вузли тертя від корозії та у багатьох випадках є ущільнюючим середовищем. Двигуни внутрішнього згоряння, що встановлені на тепловозах і дизель-поїздах, працюють у широкому діапазоні частоти обертання колінчастого валу при змінних навантаженнях і різноманітних температурних режимах [2].

Особливо негативним явищем є потрапляння до оливи навіть у незначній кількості палива або води. При потраплянні дизельного палива в оливу, в першу чергу, знижується її

в’язкість, адгезія і температура спалаху. Неповне згоряння палива викликає потрапляння у картер смолисто-сажистих часток, що забруднюють оливу та інтенсифікують лако- і нагароутворення. При потраплянні води руйнується оливна плівка в підшипниках колінчатого валу і антифрикційний шар підшипників, посилюється зношення і корозія деталей двигунів, з’являються згустки, які забивають оливопровід та ускладнюють потрапляння оливи до деталей. Також вода утворює стійку емульсію з оливою, що не тільки погіршує якість оливи, а й ускладнює її подальшу регенерацію.

Компресорні оливи використовують для змащення циліндрів, клапанів компресорів та холодильних машин. При старінні таких олив переважно проходять процеси окиснення, т.я. температура повітря сягає 120-230^{o}C при значному тиску. У результаті окиснення утворюються нагари, лаки і осади, значно зростає вміст смол (збільшується від 4 % у свіжій до 6,5 % у відпрацьованій оливі). Процеси окиснення у таких оливах відрізняються від тих, що можна спостерігати у двигунах внутрішнього згорання, де переважають процеси термічного розкладання. Саме тому у вимогах, викладених у ТУ та ДСТУ на компресорні оливи, значну роль відіграє вимога до термоокиснювальної стабільності. Також у процесі експлуатації цих олив в них значно збільшується вміст води через інтенсивну її конденсацію з повітря.

Основними напрямками переробки відпрацьованих олив є спільна переробка у суміші з нафтою на нафтопереробних заводах та цільова їх переробка з отриманням компонентів мастил (регенерація). Методи регенерації можна поділити на фізичні, фізико-хімічні, хімічні та комбіновані. На практиці для отримання кращого ефекту треба застосовувати комбінацію різних методів з використанням спеціальних присадок, що у найбільшій мірі забезпечує якісне очищення відпрацьованих олив та для доведення отриманого продукту до норм ТУ по всіх параметрах. Лише у цьому випадку зможемо говорити про отримання повністю відновленого продукту. Для більшості держав регенерація з отриманням кондиційних мастильних матеріалів є найкращою можливістю організувати в країні на власній сировинній базі виробництво цієї важливої для багатьох сфер народного господарства продукції. Крім того, регенерація дозволяє ефективно позбутися від небезпечних відходів виробництва, уникнувши при цьому витрат на їхнє знищення, заощадити природні й трудові ресурси, капіталовкладення, матеріали й електроенергію, підвищити ступінь забезпеченості держави власними ресурсами за рахунок використання вторинних.

На сьогодні відпрацьовані оливи найчастіше застосовуються без регенерації як пічне і котельне паливо безпосередньо на залізничних підприємствах або передаються для подальшого використання або регенерації іншим підприємствам. Наприклад, відпрацьовані оливи можуть застосовуватись для змащування форм на заводах залізобетонних виробів, будівельних комбінатів та інших потреб замість відповідних свіжих нафтопродуктів [3, 4].

Для очищення (регенерації) відпрацьованих олив застосовують найчастіше фізичні методи: відстоювання, фільтрацію та центрифугування. Для кращого очищення відпрацьованих олив використовуються фільтри та центрифуги. Але такі найпростіші способи, що використовуються сьогодні для відновлення відпрацьованих олив на залізниці, не дають повноцінного ефекту.

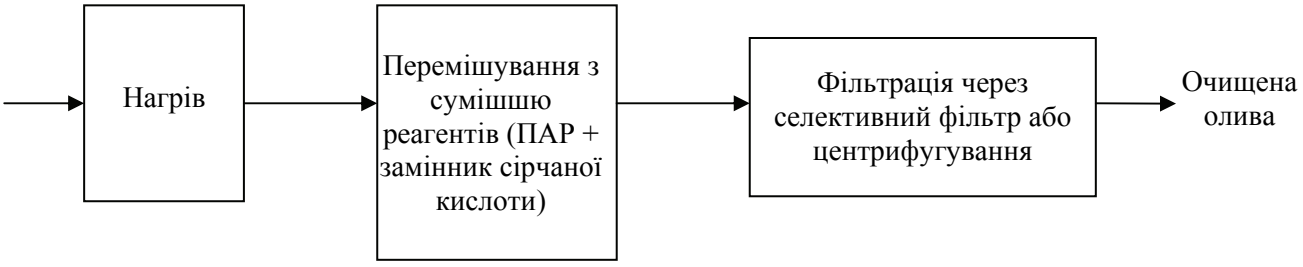


Рисунок 1. Схема очистки відпрацьованої моторної оливи

У зв'язку з необхідністю екологізації та спрощення технології регенерації олив, а саме вилучення сірчаної кислоти зі схеми очистки, нами проводився підбір її ефективного замінника. Зокрема було випробувано ряд поверхнево-активних речовин.

При розробці загальної схеми відновлення експлуатаційної якості відпрацьованих моторних і компресорних олив ми виходили з результатів проведених лабораторних досліджень щодо випробування різних методів очищення та оптимізованого варіанту обраної технології, а саме з температурних умов, кількості реагентів та часу їх контактування з оливою. Результатом досліджень стала розроблена нами універсальна схема відновлення якості відпрацьованих олив, зокрема моторної оливи М-14$В_2$ і компресорної КС-19, (рисунок 1), у якій застосована суміш поверхнево-активних речовин та кислого реагента-замінника.

Таблиця 1

Порівняння основних параметрів відпрацьованої та очищеної оливи М-14$В_2$

Фізико-хімічні властивості	Бракувальний показник	Досліджувана олива після бракування	Значення параметра для оливи після очистки із додаванням присадки
Забрудненість, τ *см*$^{-1}$	1300,00	1305,00	64,18
pH	≤ 5,50	6,90	7,10
Температура спалаху у відкритому тиглі, ^{o}C	Нижче 170,00	180,00	223,00
В’язкість при 100^{o}C, мм^2/с	11,50…16,50	12,48	14,00
Лужне число, мг КОН/ г	≤ 0,60	3,16	1,88
Вміст води, %	≥ 0,06	Сліди (<0,03)	Сліди (<0,03)

Вихід очищеного продукту при використанні такої схеми складає близько 85-90 % для моторної і 90-92 % для компресорної оливи. Максимальна ступінь очистки склала для оливи М-14$В_2$ 95 %, для оливи КС-19 – 86 %.

Таблиця 2

Порівняння основних параметрів відпрацьованої та очищеної оливи КС-19

Фізико-хімічні властивості	Бракувальний показник	Досліджувана олива після бракування	Значення параметра для оливи після очистки із додаванням присадки
Забрудненість, τ *см*$^{-1}$	1300,00	181,00	27,24
Температура спалаху у відкритому тиглі, ^{o}C	Нижче 180,00	179,00	191,01

В'язкість при 100°С, мм^2/с	Нижче 15	14,50	15,30
Лужне число, мг КОН/ г	≤ 0,35	0,72	0,75
Вміст води, %	≥ 0,03	Сліди (<0,03)	Сліди (<0,02)

При відновленні первісних властивостей відпрацьованих олив необхідно не тільки привести основні їх експлуатаційні параметри до норм відбракування, але перевищити їх та досягнути норм ТУ. Зокрема широковідомим методом є підбір окремих присадок або пакетів присадок різного призначення. Тому для покращення якості відновлених олив і зокрема підвищення значення pH після очистки до них додатково додавали американський кондиціонер для олив (присадку) фірми «Техні Люб Компані».

Отримані результати перевірки основних експлуатаційних показників відпрацьованих моторної і компресорної олив та порівняння їх зі значеннями по очищеній оливі та бракувальними показниками наведені у таблицях 1-2.

Висновки

У ході роботи була вивчена динаміка утворення різних відходів лінійних підрозділів залізниць, особливу увагу приділяли нафтовміщуючим відходам. Після обробки даних був зроблений висновок, що найбільші об'єми утворення характерні для відпрацьованих мінеральних олив (моторних і компресорних). Проведений літературний огляд методів регенерації відпрацьованих моторних і компресорних олив дозволив зробити висновок про те, що фізико-хімічні методи є найбільш перспективними, зокрема використання різних типів сучасних поверхнево-активних речовин (ПАР). Тому у практичній частині роботи були досліджені саме ці методи відновлення первинних властивостей відпрацьованих олив, що використовуються на підприємствах залізничного транспорту, зокрема моторної оливи М-14В$_2$ і компресорної оливи КС-19.

Отримані в результаті проведених досліджень дані дозволили розробити нову універсальну технологію і регенераційну установку, яка може бути рекомендована для впровадження безпосередньо на підприємствах залізничної інфраструктури як регенераційний вузол. Також для доочистки вперше пропонується використовувати замість центрифугування селективний фільтр зі спіненого металу – газару на основі міді (розробка Національної металургійної академії України, м. Дніпропетровськ). Використання новітніх схем регенерації відпрацьованих олив призведе до значного зменшення накопичених обсягів цих поширених відходів, отримання значної матеріальної вигоди, а також раціонального використання природних ресурсів.

Список літератури

1. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: ДСТУ 4454:2005. – Державний стандарт України – [Дата введення 01.07.2006]. – К.: Держспоживстандарт, 2006. – 34 с.

2. *Кононов В. Е.* Тепловозы. Механическое оборудование. Устройство и ремонт / Кононов В. Е., Хуторянський Н. М., Скалин А. В. – М.: Желдориздат, Трансинфо, 2005. – 568 с.

3. *Зеркалов Д. В*. Екологізація енергоспоживання. – К.: ТОВ „Міжнар. фін. агенція", 1998. – 273с.

4. *Зеркалов Д. В*. Економія нафтопродуктів / Д. В. Зеркалов. – К.: ТОВ „Міжнар. фін. агенція", 1998. – 197 с.

УДК 628.165:620.197

О.В. Розгон, Н.Т. Арламова, к.т.н., Ю.В. Зеленько, к.т.н. (Днепропетровский Национальный университет железнодорожного транспорта, Украина)

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ КОРРОЗИИ МАТЕРИАЛОВ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ

С целью уменьшения скорости коррозии рассмотрена возможность оптимизации процесса обессоливания воды с использованием современных ионитов отечественного производства. Кроме того, предлагается замена труб систем охлаждения на полимерные, которые не подвержены коррозии.

Известно, что за год в результате коррозии примерно 20% изделий из металлов приходят в негодность и направляются на переплавку. Наличие агрессивной среды и водной среды усугубляя, особенно в случае их работы в агрессивной среде.

Многие элементы конструкций, а так же системы охлаждения длительное время работают в контакте с водными средами. Коррозионная агрессивность водной среды определяется окислительной способностью (содержанием кислорода), водородным показателем, наличием депассивирующих или, наоборот, ингибирующих ионов и молекул, электропроводностью раствора [1]. Окислительная способность водной среды усиливается при наличии растворенного кислорода. При увеличении содержания кислорода в воде скорость коррозии возрастает до тех пор, пока его концентрация станет достаточной для образования плотной пассивной пленки, после чего она резко снижается.

Как правило, концентрация кислорода при обычном его содержании в атмосфере не достигает значения, способного вызвать пассивацию стали в чистой воде (20 $см^3$/л). Регулирование содержания кислорода широко используется для понижения коррозионной агрессивности среды в замкнутых системах охлаждения и в системах отопления. Повышение окислительной способности среды достигается введением в водные системы ингибиторов, обладающих пассивирующими свойствами: $K_2Cr_2O_7$, $NaNO_2$, Na_3PO_4, Na_2SiO_3.

Если на металле в результате воздействия окислительной среды образуются плотные окисные пленки или отложения нерастворимых продуктов коррозии, то процесс коррозии замедляется.

Образованию защитной пленки способствуют карбонат и бикарбонат кальция и двуокись углерода, растворенные в жесткой воде. В жесткой воде образование защитной пленки из известкового осадка более вероятно, чем в мягкой, поэтому жесткие воды с течением времени становятся менее агрессивны [2].

Для снижения коррозионной агрессивности среды добавляют катодные и смешанного типа ингибиторы (Акор-1, НГ-203А, К-17). При добавлении ингибиторов может ухудшиться адгезия покрытия к металлу и произойти его отслоение.

Большое влияние на скорость коррозии оказывает водородный показатель среды (кислотность раствора). Коррозионная стойкость железа и легированных сталей понижается в кислых растворах и повышается в щелочных. Понижение pH растворов может происходить не только в результате попадания моющих составом с низким pH, но и в результате гидролиза солей, образованных сильной кислотой и слабым основанием, таких как $AlCl_3$, $MnCl_2$, $FeCl_2$ и др. Присутствие неорганических солей, особенно хлоридов и сульфатов, увеличивает электрическую проводимость воды и усиливает процесс коррозии [3]. Хлориды и сульфаты, кроме того, затрудняют формирование защитных пленок. В нейтральных растворах солей щелочных металлов (например NaCl, KCl, Na_2SO_4) скорость коррозии железа и углеродистой стали вначале возрастает с увеличением концентрации соли, достигает наибольшего значения, а затем падает. Снижение скорости коррозии в концентрированных и насыщенных растворах связано с уменьшением растворимости в них кислорода, что приводит к торможению катодного процесса. Кроме того, уменьшается степень диссоциации и электропроводность концентрированных растворов. Наибольшей

электропроводностью обладают растворы серной и соляной кислот, едкого натрия и едкого калия, хлористого калия. Соли, гидролиз которых сопровождается подщелачиванием растворов ($Na_2B_4O_7$, Na_2SO_3, Na_3PO_4), затормаживают скорость процесса коррозии железа и стали [3].

Эксплуатация тепловозного парка железных дорог Украины требует для систем охлаждения значительных количеств воды. Невысокое качество воды, используемой для этих целей, в частности ее повышенная минерализация, часто является причиной внепланового ремонта тепловозов по причине ярко выраженной питтинговой коррозии металла.

Цель данной работы состояла в исследовании методов снижения скорости коррозии конструкционных материалов охлаждающих систем локомотивных депо, в частности котлов и труб.

В качестве объектов исследования были выбраны чугун серый марки СЧ 21-40 и сталь марки Ст.20. Исследования проводились по двум направлениям:

- изучение влияния технической воды на скорость коррозии чугуна и стали;
- замена материала труб на водо- и термостойкие полимеры.

На рис. приведены данные по влиянию состава воды на скорость коррозии исследуемых материалов.

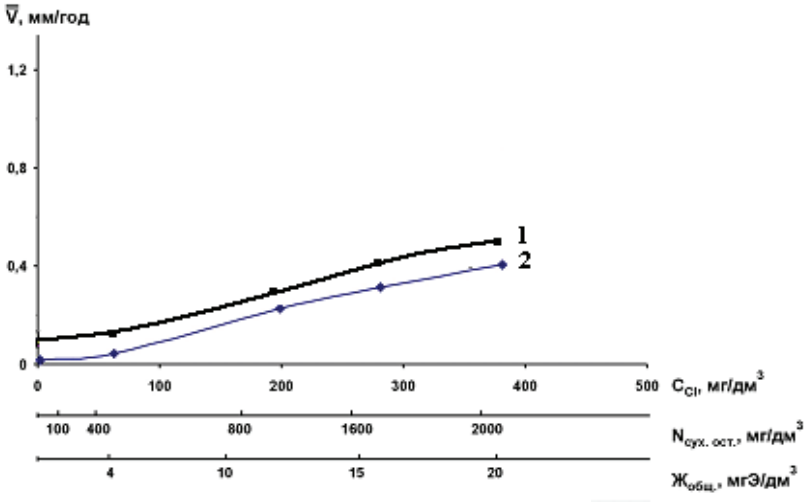


Рис. Влияние состава технической воды, используемой в системах охлаждения, на скорость коррозии чугуна (1) и стали Ст.20 (2) при 20 ^oC

Как и следовало ожидать, снижение жесткости и щелочности воды существенно уменьшает скорость коррозии. Следует отметить, что содержание органических компонентов в исследуемой воде пренебрежимо мало.

Проведена оптимизация процесса обессоливания воды с использованием современных ионитов отечественного производства (паспортный срок службы – 8-10 лет). Рекомендовано применение катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 производства Черкасского химического комбината, как обладающих максимальной обменной емкостью и устойчивыми физико-химическими и механическими параметрами.

Для изготовления труб систем охлаждения рекомендуется крупнотонажный полимер фторопласт-4 (табл. 1), который отличается высокими водо- и термостойкостью, сохраняет механические свойства в диапазоне температур от –60 до 250°С, имеет надзвичайну устойчивость к большинству агрессивных сред и материалов, низкую смачиваемость, высокую электрическую прочность.

Таблица 1

Свойства исходного связующего фторопласт-4.

Плотность, г/см^3	Температура, ^{o}C			Влагопроницае-мость, кг/(с·м·Па)	Кислородный индекс, %
	$T_{пл.}$	T_c	$T_{разл.}$		
2,2	345	127	>425	$6,3\text{-}12,6 \cdot 10^{-15}$	95

Методом линейной дилатометрии были определены термический коэффициент линейного расширения (ТКЛР) и температура стеклования (T_c) образцов фторопласта. Расчет ТКЛР важен по нескольким причинам. Во-первых, снижение его приводит к минимальной усадке полимеров при изменении температуры в процессе изготовления или использования. Во-вторых, неодинаковое расширение компонентов композиции может привести к возникновению остаточных напряжений, которые оказывают существенное влияние на механические свойства. Результаты исследования дилатометрических исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

ТКЛР фторпласта-4, $\alpha \cdot 10^{-6}$, K^{-1}

Температурный интервал, ^{o}C	25 - 50	25-100	25-150	25-200	25-250
$\alpha \cdot 10^{-6}$, K^{-1}	$\frac{61}{59 \div 62}$	$\frac{71,4}{69 \div 73}$	$\frac{74,2}{70,9 \div 76}$	$\frac{84,9}{80 \div 85}$	$\frac{72,6}{68 \div 74}$

*$T_c = 245^oC$.

При изучении физико-механических свойств было особое внимание было уделено прочности ($\sigma_{сж.}$), относительной деформации ($\varepsilon_{сж.}$) и модулю упругости при сжатии ($E_{сж.}$). Результаты стендовых испытаний представлены в табл.3.

Таблица 3

Прочностные характеристики фторопласта-4

$\sigma_{сж.}$, МПа	$\varepsilon_{сж.}$, %	$E_{сж.}$, МПа
20	25	643

Согласно полученным результатам промышленный фтопласт-4 имеет незначительный ТКЛР, достаточно высокие прочностные характеристики [4], что допускает изготовление из него конструкционных изделий.

Выводы

Таким образом, в данной работе устранение коррозионных процессов предлагается двумя способами: применение катионита КУ-2-8 и анионита АВ-17-8 для обессоливания технической воды и замена труб систем охлаждения на коррозионностойкие фторопластовые.

Список литературы

1. *Скворцова В.Н. и др*. Защита металлов от коррозии и образования накипи/ Сборник статей под ред. Скворцова.- М., 1953.-110 с.

2. *Гомеля М.Д., Шаблій Т.О.* Розробка маловідходної іонообмінної технології пом'якшення води. Экотехнологии и ресурсосбережение.2000 №1 с.59-64

3. *Урядникова И.В., Назарян М.М., Новицкая Н.М.* Электрохимическая очистка природной воды. Экотехнологии и ресурсосбережение. -2000,№3,с.55-59

4. *Херцберг Р.В.* Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. Херцберг Р.В. Пер. с англ./Под ред. Берштейна М.Л., Ефименко С.П. - М.:"Металлургия", 1989. -576с.

УДК 628.477:656.2

А.Л. Лещинская, аспирант, Ю.В. Зеленько, к.т.н.
(Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Украина)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА ТЯГОВОМ ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ

Устойчивое снабжение железнодорожного транспорта моторным топливом и снижение расходов на его приобретение – важнейшая задача, которую предстоит решать в ближайшее время. Один из путей решения этой задачи – замещение части дизельного топлива менее дефицитным и в перспективе более дешевым альтернативным топливом.

По некоторым пессимистическим оценкам, истощение запасов нефти в индустриально развитых странах наступит уже в ближайшие годы. Например, в России, по прогнозу ОПЕК, запасов нефти хватит до 2021 г., а газа - до 2083 г. Истощение запасов нефти сопровождается ростом ее потребления. Спрос на нефть уже превышает объемы добычи, что неизбежно ведет к возникновению дефицита, который со временем будет нарастать.

Цены на нефть на мировом рынке нестабильны и постоянно растут, что несомненно формирует заинтересованность большинства развитых стран в поиске путей предотвращения или смягчения вероятного топливного кризиса. В последнее время в отечественной и зарубежной научной литературе активизируются публикации и выступления, посвященные использованию альтернативных видов моторного топлива. Среди многих альтернатив бензину и дизельному топливу природный газ на сегодняшний день является наиболее приемлемым по экономическим, экологическим и ресурсным характеристикам.

Применение природного газа в качестве моторного топлива на железнодорожном транспорте весьма актуально с позиции экономичности и экологичности. Затраты на дизельное топливо для тепловозов составляют около 20% общих эксплуатационных расходов в локомотивном хозяйстве. В условиях жёсткого тарифного регулирования "Укрзализныця" вынуждена искать пути снижения себестоимости перевозок с целью повышения конкурентоспособности на рынке транспортных услуг. Применение природного газа в качестве моторного топлива при определённых условиях может дать значительную экономию средств направляемых на энергоносители.

Это обеспечивается реализацией следующих целей:

– экономия средств на приобретение топлива, поскольку цена эквивалентного количества газа значительно (до 50 %) ниже, чем дизельного топлива;

– снижение вредных выбросов в атмосферу с выпускными газами дизелей, так как при работе на природном газе их токсичность значительно ниже, чем при работе на дизельном топливе, а содержание сажи и окислов серы практически отсутствует;

– обеспечение устойчивого топливоснабжения тепловозов в перспективе с учетом динамики изменения добычи нефти и газа, их сравнительных запасов и прогнозов истощения месторождений [1].

Следует отметить, что благодаря экологически чистому процесу сгорания природного газа на деталях двигателя не образуется маслянистый нагар. Моторное масло не загрязняется продуктами сгорания и служит дольше. Детали двигателя, вследствие более мягких характеристик сгорания газового топлива, испытывают меньшие механические нагрузки. Возрастание давления при горении газа имеет более плавный характер, нежели при сгорании дизельного топлива. Этим объясняется и более низкий уровень шума при работе двигателя.

Пробег между заводскими ремонтами работающего на газе двигателя может быть в два-три раза больше, чем у работающего на дизельном топливе [2].

Работы по переводу тепловозов на природный газ ведутся уже несколько десятилетий. Опробованы различные схемы маневровых и магистральных газотепловозов для

использования как сжатого, так и сжиженного природного газа. В настоящее время на дорогах ОАО «РЖД» эксплуатируются несколько опытных газотепловозов. Широкое внедрение газотепловозов сдерживается, главным образом, из-за нерешенного вопроса устойчивого газоснабжения, что в свою очередь связано с необходимостью больших капиталовложений в инфраструктуру путевого хозяйства ОАО «РЖД».

При проведении оценки возможности перевода тепловозов на природный газ возникли также различные вопросы организации рабочего процесса газодизеля таким образом, чтобы не произошло заметного снижения мощности двигателя и были минимизированы конструктивные изменения. Возможны два варианта организации рабочего процесса тепловозного двигателя с использованием природного газа в качестве моторного топлива. Один вариант - организация работы на природном газе без добавки дизельного топлива с искровым зажиганием газовоздушной смеси в цилиндре (газовый режим); другой вариант - организация работы двигателя с зажиганием газовоздушной смеси с помощью запальной порции дизельного топлива (газодизельный режим). Во втором варианте зажигание газовоздушной смеси происходит от ее сжатия, вследствие чего повышается температура.

Оба варианта организации работы тепловоза на природном газе имеют свои достоинства и недостатки. Работа тепловоза по газовому циклу снимает необходимость двойной заправки - топливом и газом. В этом случае также отпадает необходимость в топливной аппаратуре - форсунках и насосах высокого давления, которые требуют тщательной настройки и периодической проверки на стендах. Однако оба эти преимущества нивелируются присущими недостатками. Во-первых, эквивалентное по энергоемкости дизельному топливу количество природного газа занимает в несколько раз больший объем, что сокращает межзаправочный период. Во-вторых, для зажигания газовоздушной смеси в цилиндре необходимо устанавливать электронные свечи, которые не могут обеспечивать качественное воспламенение в большом объеме (по сравнению с автомобильным цилиндром) и работают в условиях повышенных давлений, что снижает их ресурс. Перечисленные особенности двух способов организации работы тепловозных дизелей не дают преимущества ни одному из них, поэтому решающим фактором является ход протекания рабочего процесса, склоняющий чашу весов в сторону использования газодизельного процесса. Для перевода дизеля в газодизельный режим необходимы минимальные конструкторские изменения, так как степень сжатия двигателя (геометрические размеры цилиндро-поршневой группы) не изменяются. В конструкцию тепловоза добавляются система регулирования подачи газа, механизм ограничения подачи дизельного топлива, а также электронное оборудование, которое обеспечивает необходимую информативность и защиту дизеля от нештатных режимов работы. Управление топливным насосом высокого давления производится от распределительного вала дизеля, а подача газа - через механические клапаны, приводимые в движение от этого же вала, или через электромагнитные клапаны, управляемые электронной системой.

Немаловажным обстоятельством является и то, что при применении газодизельного режима обеспечивается конвертируемость двигателя, то есть возможность его работы как на газовом, так и на дизельном топливе. В реальных условиях эксплуатации, с учетом большой протяженности железных дорог, это свойство имеет большое значение для обеспечения надежности перевозок как маневровыми, так и магистральными тепловозами. В соответствии с этим в конструкции газотепловозов должны быть предусмотрены емкости как для газа, так и для дизельного топлива, а также возможность конвертирования работы дизелей простым переключением, без каких-либо добавочных операций.

Организация работы дизеля по газовому режиму требует уменьшения степени сжатия двигателя, изменения камеры сгорания, создания системы электрического зажигания. Практически эти работы связаны с большими финансовыми затратами и соизмеримы с созданием нового двигателя. Перевод дизельного двигателя на работу по газовому режиму ведет к уменьшению мощности и ухудшению топливной экономичности двигателя.

Преимуществом организации работы двигателя по газовому режиму является полное

замещение дизельного топлива природным газом. Однако расчеты показывают, что при этом экономия от увеличения замещения дизельного топлива газом сводится на нет затратами на дополнительный расход газа, вызванный его увеличенным удельным расходом. Относительно высокую степень сжатия у газопоршневого (газового) двигателя удается получить только на двигателях малой мощности, в несколько раз меньшей, чем у тепловозных дизелей. Простота и относительно малая стоимость переоборудования тепловозного дизеля для работы на природном газе, сохранение мощности и топливной экономичности, обеспечение надежности и удобства эксплуатации позволяют сделать вывод о целесообразности применения на тепловозных двигателях газодизельного цикла. Конвертируемость двигателя позволяет избежать сбоев в движении поездов на железнодорожном транспорте при неисправности в газовой системе двигателя или локомотива, а также в случае перебоя в газоснабжении газотепловозов [3].

Одной из проблем, препятствующих массовому внедрению газотепловозов, является запас газа. На тепловозах природный газ может храниться как в сжиженном, так и в сжатом состоянии. Обе системы обладают достоинствами и недостатками. К преимуществам сжиженного газа относится большой запас газа. Однако для подачи его в цилиндры необходимо наличие системы регазификации, которая обладает значительной инерционностью. Кроме того, качество сжиженного газа зависит от производителя и оказывает существенное влияние на технико6экономические характеристики газотепловозов. С этой проблемой столкнулись специалисты ВНИКТИ. Размещение необходимого запаса сжатого газа требует применения высокотехнологичных баллонов с высоким давлением. В 2004 году был создан опытный образец маневрового газотепловоза ЧМЭ3Г, в конструкции которого применены баллоны из композитных материалов, позволившие увеличить запас газа на 30%. По оценке ВНИИЖТа[4], для маневровой работы наиболее предпочтительным является применение сжатого природного газа вследствие меньшей инерционности системы регазификации. Расчеты показывают, что применение современных баллонов позволяет обеспечить требуемый запас газа для эксплуатации между экипировками в течение 7 суток.

Таким образом для успешного перехода на тяговый подвижной состав с использованием альтернативных топлив, в частности сжатого или сжиженного природного газа на территории Украины, необходимо провести детальные исследования эколого-экономической целесообразности с учетом затрат на переоборудование и эколого-экономических показателей получения рабочей газовой смеси. С этой целью сегодня на базе Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта и Приднепровской железной дороги проводяться работы по выбору наиболее перспективного вида альтернативного топлива с целью повышения экологических и экономических показателей эксплуатации тягового подвижного состава.

Список литературы:

1. *Фофанов Г. А*. Природный газ – моторное топливо для тепловозов. Вестник ВНИИЖТ. – 2002. – № 4. – С. 15–18.

2. Локомотивные энергетические установки. Учебник для вузов ж.-д. трансп. Под редакцией д-ра техн. наук *А. И. Володина*. – М.: ИПК «Желдориздат». – 2002. – 718 с.

3. *Григорович Д. Н*. Особенности организации рабочего процесса двигателей газотепловозов на железнодорожном транспорте. Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 3. – С. 40–42.

4. *Заручейский А. В.* Использование природного газа на автономных локомотивах. Транспорт Российской Федерации. – 2008. – № 5(18). С. – 56–58.

УДК 665

В. Г. Семенов (ООО «НИИ альтернативных топлив», Украина),
В.Н. Турчак, к.т.н., доцент (Национальный авиационный университет, Украина),
С.Ф. Романов, м.н.с.
(УкрНИУЦ химмотологии и сертификации ГСМ и ТЖ НАУУкраина, Украина)

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЦЕТАНОВОГО ЧИСЛА И ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

В работе приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований по определению цетанового числа и теплоты сгорания биодизельного топлива. Установлено, что знание ЖКС биодизельного топлива, определенного способом газожидкостной хроматографии, позволяет проводить прогностические расчеты цетанового числа и низшей теплоты сгорания.

Отличительной особенностью биодизельного топлива (БТ) от дизельного (ДТ) является его групповой состав [1]. В состав БТ в большинстве случаев входит не более 7-10 метиловых эфиров насыщенных и моно (поли-) ненасыщенных жирных кислот, в то время как ДТ содержит сотни индивидуальных углеводородов. От рационального сочетания компонентов моторного топлива зависят такие интегральные показатели, как цетановое число (ЦЧ) и теплота сгорания (высшая Qв и низкая Qн) которые, в свою очередь, определяют качество рабочего процесса, топливную экономичность двигателя и его экологические характеристики. В работе [2] приведены диапазоны изменений значений ЦЧ БТ из растительных масел и животных жиров. Для рапсового БТ диапазон ЦЧ находится в пределах 51,0-59,0 (44,0-65,0), для животного жира 58,0-64,8. Калориметрические исследования Qв [3] показали, что по мере повышения содержания метилового эфира эруковой кислоты от 0,8 % до 31 % Qв увеличивается на 0,27 МДж/кг. Анализ работ [2, 3, 4] позволил сделать вывод о том, что на значения ЦЧ и Qв биодизельного топлива оказывает влияние жирнокислотный состав (ЖКС БТ), который предопределяет значение иодного числа (ИЧ) и числа омыления (ЧО). Анализ значительного количества зарубежных публикаций (Германия, США, Индия, Турция и др.) позволили обобщить данные по ЦЧ чистых метиловых эфиров жирных кислот – С6:0=18,0; С8:0=33,6; С10:0=47,9; С12:0=61,1; С14:0=69,9; С16:0=74,4; С16:1=51,0; С18:0=76,3; С18:1=57,2; С18:2=36,8; С18:3=21,6; С22:1=76,0. В работе Clements (1996) ЦЧ БТ предлагается определять пропорционально процентному содержанию Xi метиловых эфиров. В работе [2] приведено уравнение регрессии для определения ЦЧ растительных масел и животных жиров:

$$ЦЧ=1,0\cdot X_1+0,088X_2+0,133X_3+0,152X_4-0,101X_5-0,039X_6-0,243X_7-0,395X_8, \quad (1)$$

где X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7 и X_8 – содержание (в относительных долях) метиловых эфиров жирных кислот – лауриновая С12:0, миристиновая С14:0, пальмитиновая С16:0, стеариновая С18:0, олеиновая С18:1, линолевая С18:2 и линоленовая С18:3.

С учетом ЖКС БТ рассчитывается ЦЧ в работе [4]:

$$ЦЧ=46,3+5458/ЧО-0,225ИЧ, \quad (2)$$

$$ИЧ=\Sigma(254\cdot D\cdot Ai)/MWi, \quad (3)$$

$$ЧО=\Sigma(560\cdot Ai)/ MWi, \quad (4)$$

где Ai – процентное содержание ненасыщенных компонентов;
D – число двойных связей (1,2 или 3);
MWi – молекулярная масса компонентов.

Рассмотрим расчетные способы определения Qв (Qн) БТ. В работе [3] приведены экспериментальные данные по определению Qв (Qн), ИЧ, ЧО и апробирована формула Бертрана:

$$Q_B^P = 4{,}1868\ (11380 - ИЧ - 9{,}15ЧО), \qquad кДж/кг. \tag{5}$$

Показано, что Q_B^P, определенное по формуле (5) хорошо коррелируется с $Q_B^{МЕНД}$, определяемой по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_B^{МЕНД} = 34{,}013C + 125{,}69H - 10{,}9(O - S), \quad МДж/кг. \tag{6}$$

Низшая теплота сгорания Qн определяется как:

$$Qн = Qв - 2{,}512(9H + W), \quad МДж/кг. \tag{7}$$

В формулах (6) и (7) C, H, O, S и W – массовые доли в топливе соответственно углерода, водорода, кислорода, серы и воды. В таблице приведены результаты расчетно-экспериментального исследования по оценке влияния ЖКС БТ на ЦЧ и Qн. В исследованиях использовались собственные данные и данные зарубежных авторов [2, 4, 5]. В заголовке таблицы записано – С16:0…С24:1 – содержание жирных кислот в образцах БТ; С, Н и О – относительные доли углерода, водорода и кислорода в БТ; индексы «Э» и «Р» при ИЧ, ЧО, ЦЧ и Qн относятся к данным величинам, вычисленных: индекс «Э» - с использованием ИЧ и ЧО, которые определялись по стандартам (ГОСТ 2070 и ГОСТ 5478);индекс «Р» - с использованием ИЧ и ЧО, которые определялись по формулам (3) и (4); $ЦЧ^{ДВС}$ – экспериментальным путем на одноцилиндровом дизеле с изменяемой степенью сжатия; $Qн^{БОМБ}$ – по данным измерений в калориметрической бомбе (табл. 1).

Таким образом, можно сделать выводы о том, что знание ЖКС биодизельного топлива, определенного способом газожидкостной хроматографии, позволяет проводить прогностические расчеты цетанового числа и низшей теплоты сгорания.

Списоку литературы

1. *Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г.* Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. – М.: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2007. – 340 с.

2. *Bamgboye A.I., Hansen A.C.*, Prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition – Int. Agrophysics 2008; 22:21-29.

3. *Семенов В.Г., Зинченко А.А*. Вычисление теплоты сгорания биотоплив по данным калориметрии и хроматографии. – Химия и технология топлив и масел. – Москва, ГУП Издательство «Нефть и газ». РГУ нефти и газа им. Н.М. Губкина, № 6, 2006, с. 42-44.

4. *M. Mohibbe Azam, Amtul Waris, N.M. Nahar*. Prospects and potential of fatty acid methyl ester of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India. – Biomass and Bioenergy. 2005; 29:293-302.

5. *Деспегель Жан-Пьер*. Композиция алкильных эфиров масла рапсовых семян, способ их получения и применения как биодизельного топлива. – Патент Украины UA 88911 C2, МПК (2009), C11C 3/00, C10L 1/18, опубл. 10.12.2009. Бюл. № 23, 2009 г.

Таблица 1

Жирнокислотный состав и показатели метиловых эфиров жирных кислот

Жирные кислоты, Эфиры % об. из масел	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:0 C20:1	C22:0 C22:1	C16:2 … C21:0 … C24:1	C, H, O	$\frac{ИЧ^{Э}}{ИЧ^{Р}}$, гJ2/100г	$\frac{ЧО^{Э}}{ЧО^{Р}}$, мг КОН/г	$\frac{ЦЧ^{Э}}{ЦЧ^{Р}}$, -	$\frac{Q_{н}^{Э}}{Q_{н}^{Р}}$ МДж/кг	$\frac{Q_{н}^{МЕНД}}{Q_{н}^{БОМБ}}$ МДж/кг	ЦЧДВС ЦЧ По ф-ле (1)
Рапсовое , МЭРМ-10	4.0	0.2	1.6	48.1	19.1	9.5	0.6 5.3	0.4 10.8	0.4	0.773 0.121 0.106	106.5 111.3	189.1 185.8	51.2 49.6	37.22 37.32	37.53 37.53	49 -
Рапсовое , МЭРМВ-30	3.0	0.2	1.4	23.6	20.1	8.3	0.6 8.3	0.6 31.0	2.9	0.77 0.122 0.101	117.2 107.2	174.2 179.3	51.3 52.6	37.72 37.57	37.82 37.65	54 -
Рапсовое , MSP 13	3.4	-	1.6	83.4	8.6	1.3	0.4 1.1	0.2 -	-	0.770 0.122 0.108	91.7 90.8	185.7 189.3	55.1 54.7	37.39 37.25	37.58 -	57.2 -
Рапсовое , Caracas [5]	4.7	-	1.6	63.4	17.7	10.5	0.6 0.9	0.6 -	-	0.7675 0.124 0.1085	113.5 112.8	191.6 188.6	49.3 49.9	37.03 37.15	37.69 -	51.2 -
Соевое, High Oleic [2]	5.4	-	4.2	81.3	3.8	5.3	-	-	-	0.7695 0.122 0.1085	- 90.0	- 190.0	- 54.8	- 37.23	37.55 -	- 56.3
Соевое, Кременчуг [2]	7.1	-	1.0	36.0	53.5	1.1	0.4 0.3	0.7 -	-	0.772 0.119 0.109	- 126.0	- 190.8	- 46.6	- 37.13	37.33 -	- 47.4
Подсолнечное , Эней-Юрьева	5.0	-	3.0	87.0	5.0	-	-	-	-	0.769 0.1225 0.1085	- 81.1	- 189.8	- 56.8	- 37.27	37.59 -	- 57.6
Кокосовое [4]	11.3	C8:0 7.0	4.2	8.7	2.5	C10:0 5.7	C12:0 42.4	C14:0 18.1		0.740 0.1225 0.1375	- 11.8	- 247.5	- 65.7	35.34	36.29	-
Льняное [4]	6.1	-	4.6	17.5	15.9	55.9	-	-	-	0.7755 0.115 0.1095	- 188.9	- 191.5	- 32.3	- 36.92	37.03 -	- 36.0

УДК 665.7.035.2

А.В. Орешенков, доктор технических наук (ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова», Россия)

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ ОБВОДНЕНИЯ

Обводнение топлив для реактивных двигателей является одной из причин отказов топливных систем авиатехники. Накопление воды в топливных баках (резервуарах) сопровождается образованием дисперсных систем реактивных топлив и агрегированием дисперсной фазы, особенно содержащих противоводокристаллизационные жидкости.

Обеспечение чистоты реактивных топлив является одной из главных составляющих безопасности полетов, что подтверждается статистикой отказов топливных систем летательных аппаратов (ЛА). До настоящего времени отмечаются случаи возникновения таких нарушений в работе двигателей, как нестабильность поддержания оборотов, неуправляемость, увеличение времени набора и сброса оборотов. При разборке агрегатов и их ремонте установлены факты сверхнормативного осмоления дроссельных пакетов, фильтров, управляющих клапанов и зазоров золотниковых пар. Причина образования таких отложений объясняется с учетом низко- и высокотемпературного окисления реактивных топлив. При этом роль низкотемпературного окисления рассматривается с позиции увеличения содержания фактических смол в процессе длительного хранения топлив, высокотемпературного – увеличения содержания осадка, растворимых и нерастворимых смол, перепада давления на фильтре, снижения температуры начала образования отложений (показатели термоокислительной стабильности топлив), значения которых не должны превышать установленные нормы. Вместе с этим современный опыт применения реактивных топлив свидетельствует о том, что образование отложений (осадков) в элементах топливных систем ЛА происходит не только в результате процессов окисления, но и за счет поверхностных явлений, вызванных обводнением топлив.

Обводнение инициирует процесс формирования дисперсных систем (ДС) реактивных топлив, которые не задерживаются фильтрами топливозаправщиков и входными фильтрами ЛА. Снижение устойчивости ДС реактивных топлив приводит к их структурированию и образованию агрегированной дисперсной фазы (АДФ), вызывающей отказы топливных систем ЛА. Присутствие противоводокристаллизационных жидкостей (ПВКЖ) в реактивных топливах интенсифицирует процесс образования и структурирования ДС. Мероприятия, проводимые в начале 80-х годов и направленные на исключение или сокращение применения ПВКЖ, не привели к желаемому результату. Несмотря на негативное влияние ПВКЖ, они продолжают оставаться основным средством предотвращения образования кристаллов льда в топливах.

Поэтому установление причин и условий протекания процесса образования ДС с целью устранения или предупреждения их отрицательного воздействия на топливную аппаратуру представляет не только научный, но и практический интерес. Это определило необходимость исследования состава и свойств ДС, образующихся в реактивных топливах в процессе хранения, транспортирования и применения в ЛА. Анализ современного состояния теоретических и экспериментальных исследований в области нефтяных ДС показал необходимость изучения процесса образования отложений (осадков) с позиции поверхностных явлений, протекающих в системах *«топливо-вода»* и *«топливо-ПВКЖ-вода».* В настоящей работе исследованы процессы образования и структурирования ДС при контакте воды с топливом ТС-1, содержащим ПВКЖ и без них, в лабораторных условиях. Установлено, что только при наличии в топливе воды происходит образование АДФ. При этом присутствие в топливе ПВКЖ увеличивает массовую и объемную концентрацию АДФ в 2-3 раза.

Присутствующие в реактивных топливах молекулы воды, также как и молекулы углеводородов [1-4], при изменении внешних условий образуют молекулярные ассоциаты, которые могут разрушаться или формировать надмолекулярные структуры. Согласно теории конденсационного образования новой фазы Гиббса-Фольмера в результате формирования таких структур топливо переходит в метастабильное состояние и представляет собой лиофобную ДС. Высокая дисперсность частиц жидкой фазы (воды) создает избыток поверхностной энергии и вызывает термодинамическую и кинетическую неустойчивость ДС реактивных топлив. Компенсация этой энергии осуществляется за счет коагуляции и коалесценции капель воды, а также адсорбции на их поверхности молекул смолистых соединений реактивных топлив и ПВКЖ.

Остаток избыточной поверхностной энергии зародышей новой фазы, нескомпенсированный адсорбционными слоями молекул ПВКЖ (смолистых соединений), компенсируется формированием сольватных оболочек из молекул дисперсионной среды (топлива) с образованием сложных структурных единиц (ССЕ), подобных при формировании нефтяных ДС [5], которые в зависимости от изменения условий могут разрушаться или расти. Сформированные адсорбционно-сольватные слои выполняют функцию стерического фактора стабилизации или структурно-механического барьера по П.А. Ребиндеру, препятствующего слиянию капель.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ масс-спектров исследованных образцов топлива ТС-1 и выделенной из него АДФ, на основании которого установлено, что:

основу АДФ составляют углеводороды нормального и изо-строения, при этом отношение количества углеводородов нормального строения в АДФ к нормальным углеводородам, находящимся в топливе, составляет 1,03÷1,45, тогда как отношение ароматических углеводородов составляет 0,62 для АДФ из топлива ТС-1;

сольватный слой АДФ образован в основном углеводородами нормального и изо-строения с большой молекулярной массой и длиной углеродной цепи C_{13}-C_{19};

уменьшенное содержание ароматических углеводородов в составе АДФ по отношению к дисперсионной среде свидетельствует о том, что ароматические углеводороды не являются центрами образования новой фазы.

Таблица 1

Углеводородный состав исследованных образцов

Тип углеводорода	Содержание углеводородов, % масс.	
	топливо ТС-1	АДФ
Алканы:		
нормального строения	52,8	54,2
изо-строения	24,9	23,4
Всего:	77,7	77,6
Цикланы:		
предельные	8,1	9,8
алкенилцикланы	0,9	0,7
Всего:	9,0	10,5
Алкены	2,8	1,4
Арены	7,6	4,7
Итого:	97,1	94,2

На основе теоретических представлений о зависимости расположения молекул в ССЕ ДС реактивных топлив от энергии межмолекулярных взаимодействий (ММВ) рассчитаны ее значения применительно к участвующим в образовании ССЕ веществам: химические соединения, входящие в ПВКЖ, и вода, а также группы углеводородов (парафиновые, нафтеновые, ароматические), установленные хроматомасс-спектрометрическими исследованиями в АДФ топлива ТС-1. При расчете учитывались только двойные ММВ.

Вычисление потенциальной энергии молекулярных комплексов производилось с помощью аддитивной схемы, где общая потенциальная энергия молекулярного ассоциата (E) представлена в виде суммы вкладов валентых и невалентных взаимодействий всех групп атомов, входящих в совокупность всех молекул, по формуле:

$$E = \sum_{c} E_{str} + \sum_{y} E_{bend} + \sum_{y,c} E_{sb} + \sum_{г} E_{oop} + \sum_{ду} E_{tor} + \left[\sum_{na} E_{vdw} + \sum_{na} E_{qq} + \sum_{na} E_{\mu\mu} + \sum_{na} E_{qm} \right], \quad (1)$$

где Σ - суммы энергий вкладов (c – связи; y – углы, $г$ – группы; $ду$ – двугранные углы, na – пары атомов), кДж/моль; E_{str} , E_{bend} , E_{sb}, E_{oop}, E_{tor} – энергии валентных взаимодействий (растяжения валентных связей, деформации валентных углов, изменения длины связи, внеплоскостной деформации и внутреннего вращения соответственно), кДж/моль; E_{vdw}, E_{qq}, $E_{\mu\mu}$, E_{qm} – энергии невалентных взаимодействий (ван-дер-ваальсовские, электростатические, дипольные и заряд-дипольные взаимодействия соответственно), кДж/моль.

При расчете E использованы модифицированные функции потенциального силового поля Н. Эллинджера ММ2 [6]. Энергию ван-дер-ваальсовских взаимодействий (ВДВ) рассчитывали с помощью функции силового поля, выраженного через потенциал «6-exp» (трехпараметрический модифицированный потенциал Букингема):

$$E_{vdw} = \sum_{i} \sum_{j} \varepsilon (290000\ e^{-12.5(R_i^* + R_j^*)/r_{ij}} - 2{,}25\, R^{-6}), \quad (2)$$

где ε - параметр глубины «потенциальной ямы»; R_i^* *и* R_j^* - ван-дер-ваальсовские радиусы, Å.

Расчет E_{vdw} производился по двум группам атомов. Первая группа включала атомы, находящиеся друг от друга на расстоянии трех валентных связей (1.4 ВДВ), вторая - более трех валентных связей или принадлежащие разным молекулам (не-1.4 ВДВ).

Учитывая, что расчетное значение E не сравнимо с величиной полной энергии молекулы и представляет собой стерическую энергию, производилось сравнение стерических энергий различных конформационных образований молекул в системах «*ПВКЖ-углеводород*» и «*ПВКЖ-вода*».

На основании произведенных расчетов [7] сделан вывод о том, что первый слой, граничащей с поверхностью «*ПВКЖ (смолистые соединения)-вода»*, сформирован молекулами ароматических углеводородов, обладающих значительным диполь-дипольным взаимодействием (-1,028 ÷ -1,908 кДж/моль) и энергией не-1,4 ВДВ (-51,41 ÷ -54,25 кДж/моль). Второй - на границах с ароматическими углеводородами сольватной оболочки и дисперсионной средой, сформирован нафтеновыми и парафиновыми углеводородами с энергией не-1,4 ВДВ (-10,61 ÷ -20,86 кДж/моль).

Регрессионный анализ полученных результатов позволил установить наличие корреляционной зависимости между количеством образующейся АДФ в топливе с ПВКЖ от величины одной из составляющих стерической энергии ММВ не-1.4 ВДВ, что позволило теоретически оценить количество образующейся АДФ в топливе с жидкостями И-М и ТГФ-М.

Для прогнозной оценки возможной концентрации АДФ построена регрессионная линейная модель следующего вида:

$$V_{об} = -1.4617 - 0.2045 E_{не\text{-}1.4}, \quad (3)$$

где $V_{об}$ - объемная концентрация АДФ, $см^3/дм^3$;
$E_{не\text{-}1.4}$ - не-1.4 ВДВ, кДж/моль.

Результаты теоретической оценки возможной концентрации АДФ в топливе ТС-1 с различными ПВКЖ представлены таблице 2. Статистические оценки предложенной регрессионной модели представлены в таблице 3. Расширенные статистические оценки регрессионной модели включают: коэффициент корреляции: -0,953; коэффициент детерминации (уточненный): 81,7%; стандартная ошибка оценки: 0,328; средняя

абсолютная ошибка: 0,177; статистика Durbin-Watson: 2,975; Lag 1 остатка автокорреляции: -0,658, что обеспечивает статистическую значимость модели.

Таблица 2

Теоретическая оценка возможной концентрации АДФ
в топливе ТС-1 с различными ПВКЖ

Марка топлива	ПВКЖ	не-1.4 ВДВ, кДж/моль	Объемная концентрация АДФ, $см^3/дм^3$
ТС-1	Без жидкости	-11,75	1,00
	«И»	-14,61	1,26
	ТГФ	-18,85	2,50
	ТГФ-М	-25,78	3,81*
	И-М	-30,58	4,79*

Примечание - * - расчетная оценка.

Таблица 3

Статистические оценки регрессионной модели, $V_{об}$ ($E_{не\text{-}1.4}$)

Параметр	Оценка	Стандартная ошибка	Т-статистика	Р-значение
Свободный член	-1,4617	0,9952	-1,4688	0,3805
Коффициент	-0,2045	0,0648	-3,1541	0,1955

Выводы

Таким образом, установлено, что физико-химические взаимодействия в системах «*топливо-вода»* и «*топливо-ПВКЖ-вода»* приводят к изменению их структурных организаций, характеризующемуся возникновением надмолекулярных структур и переходом систем в коллоидно-дисперсное состояние. При этом формирование новой фазы, образование ДС и ССЕ реактивных топлив в условиях их обводнения происходит за счет ММВ соединений углеводородного и неуглеводородного характера.

Основу АДФ составляют главным образом молекулы воды, ПВКЖ и углеводородов нормального и изо-строения (40-50 %) с числом атомов углерода в цепи C_{13}-C_{19}. В состав АДФ входит топливо, отличающееся по своему составу от топлива (дисперсионной среды) уменьшенным содержанием ароматических углеводородов. Молекулярная масса изоалканов, входящих в состав АДФ, возрастает с C_{17} до C_{21} при введении в реактивные топлива ПВКЖ.

Список литературы

1. Белоусов А.И., Бушуева Е.М. Оценка структурных превращений в реактивных топливах по электропроводности и вязкости // Химия и технология топлив и масел. – 1985. – № 3. – С. 20–21.

2. Белоусов А.И., Бушуева Е.М. Оценка межмолекулярных взаимодействий в углеводородах нефти // Химия и технология топлив и масел. – 1987. – № 1. – С. 26–29.

3. Белоусов А.И., Бушуева Е.М., Рудяков Д.Г. Фильтруемость топлива Т-6 при пониженных температурах // Химия и технология топлив и масел. – 1984. –№ 2. – С. 25–26.

4. Шор Г.И., Климов К.И., Лапин В.П. и др. Исследование структурных превращений в жидких нефтепродуктах // Химия и технология топлив и масел. – 1977. – № 8 – С. 48-52.

5. Сюняев З.И. Нефтяные дисперсные системы. – М.: МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, 1981. – 84с.

6. У. Буркерт, Н. Элинджер. Молекулярная механика. – М.: Мир, 1986. – 364 с.

7. Орешенков А.В. Образование дисперсных систем топлив для реактивных двигателей // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. Вып. 55. – М.: Издательство МБА, 2010. - С. 108-115.

УДК 621.89.099:665.7.035.6

В.А. Волошинець, д.х.н. (Національний університет «Львівська політехніка», Україна)
Б.Ф. Кочірко (УкрНДІНП «МАСМА»,Україна)

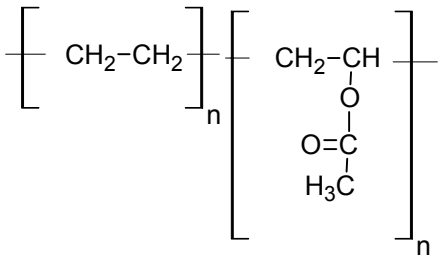
СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕТАКРИЛАТНИХ ПРИСАДОК

Досліджено кінетику естерифікації суміші спиртів C_{12}–C_{14} метакриловою кислотою. Синтезовано мономер з суміші спиртів C_{12}–C_{14} та метакрилової кислоти. Комплекс фізико-хімічних досліджень підтвердив високу чистоту отриманого естеру та його будову. З отриманого мономеру радикальною полімеризацією синтезовано поліметакрилат та встановлено синергізм його депресорної дії сумісно з кополімером етилену з вінілацетатом у дизельному пальному.

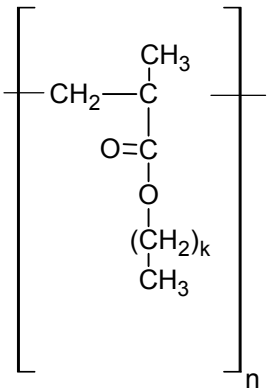
Поліметакрилатні присадки становлять 60 % ринку полімерних присадок і використовуються для регулювання в'язкості нафтопродуктів та їхньої температури застигання. Особливістю поліметакрилатних присадок є велика довжина алкільних замісників у спиртовій компоненті, які виступають структуртвірним елементом макромолекулярних клубків у розчинах цих полімерів. Ефект структуроутворення аліфатичних замісників у розчинах починає проявлятися при довжині бокового ланцюга 10 [1] і більше атомів вуглецю, саме такі поліметакрилати і застосовуються у нафтопродуктах. Кох ще у 1956 р. встановив, що найефективнішими депресантами серед поліметакрилатів є ті, у яких довжина бокового ланцюга – 12 і більше атомів вуглецю [2]. Наявність у макромолекулах цих полімерів естерної групи та довгих бічних відгалужень забезпечує високу ефективність цих присадок, за допомогою яких регулюють в'язкість нафтопродуктів та їхню температуру застигання. Виходячи з цього представляв інтерес синтез метакрилатів з промислової суміші спиртів C_{12}–C_{14} і метакрилової кислоти та синтез полімерів з отриманих мономерів.

Кополімери вінілацетату з етиленом застосовують як ефективні депресори до дизельного пального [3], водночас застосування поліметакрилатів для пониження температури застигання дизельного пального менш ефективно. Проте сумісне використання кополімерів вінілацетату з етиленом і поліметакрилатних присадок, може значно підсилити депресорний ефект.

Кополімер етилену з вінілацетатом



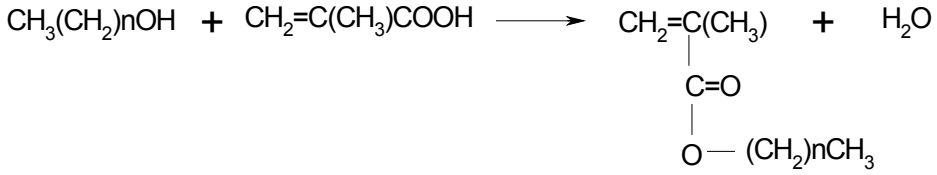
Поліметакрилат



Метою дослідження було вивчення кінетики естерифікацфї спиртів C_{12} –C_{14} метакриловою кислотою, полімеризації одержаних мономерів і застосування синтезованих гребенеподібних полімерів для регулювання в'язкості олив та зниження температури застигання дизельного пального/

Для досліджень використовували суміші спиртів C_{12} – C_{14} (I) нормальної будови, свіжоперегнану метакрилову кислоту

Естерифікацію здійснювали у бензолі за різних концентрацій реагентів. Як каталізатор використовували – 98 % сірчану кислоту (1-2 % мас.), як інгібітор – іонол + однохлориста мідь (0,1 та 0,2 мас. % відповідно) [4] або гідрохінон. Ступінь перетворення вихідних речовин на продукти реакції контролювали за об'ємом реакційної води, що утворюється під час реакції.



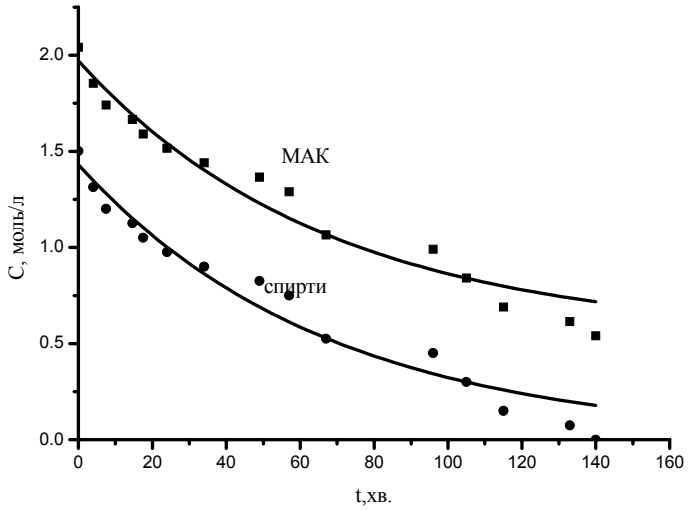


Рис.1. Кінетичні криві естерифікації суміші спиртів $C_{12} – C_{14}$ метакриловою кислотою. Концентрація сульфатної кислоти 0,1 моль/л.

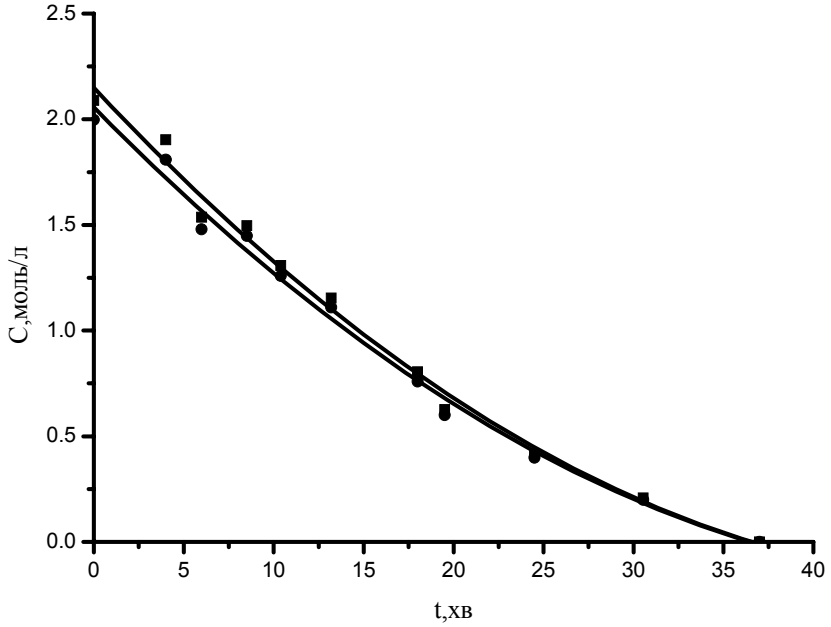


Рис.2. Кінетичні криві естерифікації суміші спиртів $C_{12} – C_{14}$ метакриловою кислотою. Концентрація сульфатної кислоти 0,2 моль/л

Константу швидкості за однакових концентрацій спиртів та кислоти розраховували за рівняннями реакції другого порядку (k= 7,5·10^{-4} с$^{-1}$·л/моль):

$$K = \frac{1}{t}(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0})$$

Будову та чистоту синтезованого естеру визначали за даними елементного аналізу, ІЧ-спектроскопії та кріоскопії. В ІЧ-спектрах містяться смуга поглинання зв'язку С=О естерної групи (1730 см$^{-1}$), смуга, що відповідає валентним коливанням вінільного зв'язку (1640 см$^{-1}$), смуга деформаційних коливань зв'язку С-Н вінільної групи (820 см$^{-1}$, 730 см$^{-1}$) (рис.1). Густина синтезованого естеру 0,8513 г/см^3, показник заломлення n_4^{20} 1,4448.

-

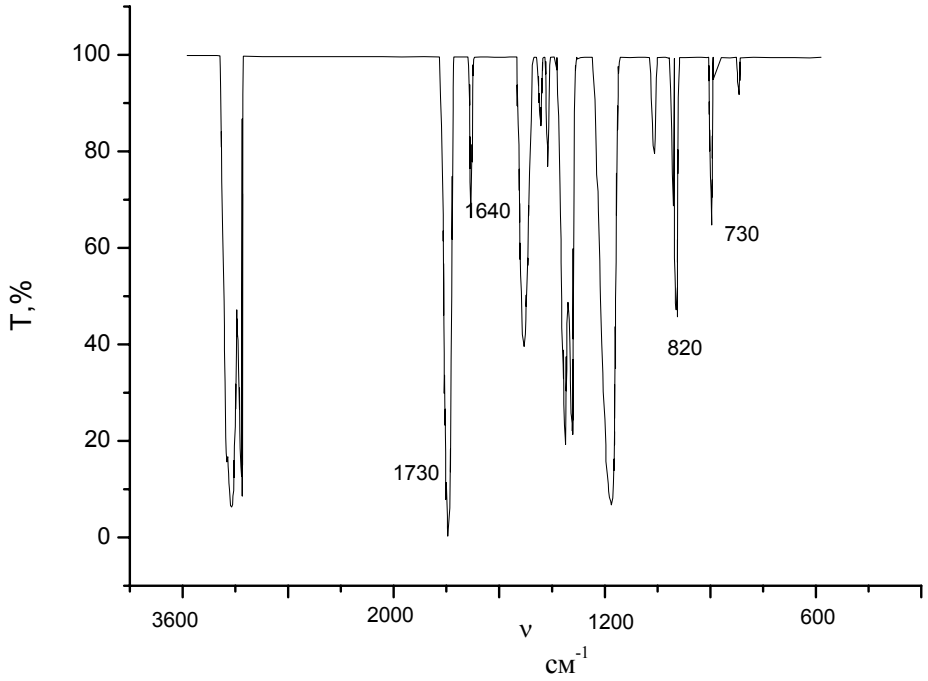


Рис.3. ІЧ-спектр естеру метакрилової кислоти та спиртів $C_{12} - C_{14}$

Полімеризацію одержаних мономерів здійснювали в бензолі, для ініціювання використовували бензоїлпероксид. Синтезовані полімери використовували для вивчення депресорної дії в дизельному пальному. Встановлено, що синтезовані поліметакрилати приблизно в 1,4 рази збільшують депресорний вплив кополімерів етилену з вінілацетатом. Наприклад, внесення 0,05 % мас. депресорної присадки "Kerofluxe EC 6100" знижує температуру застигання літньої марки дизельного пального від - 11^{0}С до - 25^{0}С. Така ж кількість синтезованого поліметакрилату знижує температуру застигання дизельного пального до -13^{0}С. Визначені в'язкісні характеристики та депресорна дія у оливі вказує на перспективи застосування таких додатків для пониження температури застигання та регулювання в'язкості оливи, особливо за понижених температур (табл. 1)

Таблиця 1.

Характеристики оливи з поліметакрилатною присадкою

Склад	ν_{40}, сст	ν_{100}, сст	ІВ	$t_{заст}$	ν_{-20}, мПа·с
Олива І-20А	32	5,45	101	-14	-
Олива І 20А з присадкою	35,09	5,97	116	-28	3500 (Олива SAE 15W)

Синергізм сумісної депресорної дії може бути зумовлений різною адсорбційною здатністю кополімерів вінілацетату та поліметакрилату на поверхні парафінових кристалів різної морфології або утворенням конкурентних структурних асоціатів, що запобігають структуруванню парафінів у пальному. Крім того, поліметакрилат може відігравати роль диспергатора, який, адсорбуючись на поверхні парафінів, запобігає утворенню структурно-зв'язаної системи. Кополімер вінілацетату з етиленом, своєю чергою, внаслідок взаємодії етиленових ланок з спиртовими залишками поліметакрилатів, утворює захисні оболонки навколо частинок парафінів, що підсилює їхню депресорну дію.

Висновки

Отримані результати вказують на те, що ефективний вплив на низькотемпературні властивості дизельного пального може бути досягнутий сумісним застосуванням полімерних присадок різної будови. Синтезовані гребенеподібні поліметакрилати можуть слугувати базою для промислового виробництва депресорних та в'язкісних присадок на Україні.

Список літератури

1. *Борисова Т.П., Буритейн Л.Л., Малиновская В.И., Шибаев В.П.* Внутримолекулярная упорядоченность и механизм подвижности в растворах гребнеобразных полиалкилметакрилатов // Высокомол. соед.– 1991, серия А, т.33, №19 – С.2122–2127.

2. *Потоловский, Л.А., Боруш Т.М., Бушуева Т.А., Акишина Л.А*. Некоторые свойства полиметакрилатных депрессорных присадок: Труды ВНИИНП. – М., 1977. – Вып.21. – С.97 – 104.

3. Способ получения сополимеров этилена с винилацетатом в многозонном трубчатом реакторе Патент РФ № 2147591 C08F210/02 опубл. 20.04.2000. Заявитель: Казанское открытое акционерное общество "Органический синтез"; Открытое акционерное общество "Сэвилен"; Акционерное общество открытого типа "Пластполимер". Авторы *Габутдинов М.С.; Юсупов Н.Х.; Черевин В.Ф.; Зайцев Н.Ф.; Ильясов А.Х.; Давлетшин Р.Х.; Иванчев С.С.; Зернов В.С.; Кондратьев Ю.Н.; Ланчин Ф.В.; Штамм С.Б.; Южин В.М.; Бакаютов Н.Г.* Заявка №98123549/04 від 15.12.1998.

4. *Семенюк І. В.* Розробка технології одержання акрилових мономерів для оптичних дисків. – Автореферат дис канд. хім. наук: 02.00.03/Львівський політ. ін-т.–Львів, 1995.–18 с.

УДК 665.63, 620.197.3

В.В. Романчук, молодший науковий співробітник
П.І. Топільницький, кандидат технічних наук
(Національний університет "Львівська політехніка", Україна)

ХІММОТОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АНТИКОРОЗІЙНОГО ЗАХИСТУ ОБЛАДНАННЯ НАФТОПЕРЕРОБНИХ ЗАВОДІВ НІТРОГЕН- ТА ОКИСГЕНВМІСНИМИ ІНГІБІТОРАМИ

В статті висвітлено проблему антикорозійного захисту обладнання на нафтопереробних заводах, представлено результати досліджень ступеня захисту суміші інгібітора корозії та нейтралізатора, запропоновано сумісну подачу даних реагентів, що покращить хіммотологічні властивості нафтових фракцій .

Постановка проблеми. Наявність в нафті, яка надходить на переробку, хлоридів (як органічних так і неорганічних) та сполук сірки призводить, внаслідок їх гідролізу та термодеструкції при первинній перегонці нафти, до корозії обладнання, переважно ректифікаційних колон, конденсаторів-холодильників, місткостей. Наявність корозійно-агресивних компонентів у фракціях, які виходять зверху колони, ускладнює проведення їх вторинної переробки, може привести до отруєння каталізаторів. Особливо це актуально при використанні бензинових фракцій первинної переробки як компонентів товарних нафтопродуктів, які можуть погіршувати їх хіммотологічні властивості.

На стадії захисту обладнання від сумісної сірководневої та хлористоводневої корозії застосовують нейтралізатори (аміни) для зв'язування сірководню та хлористого водню, і плівкоутворючі інгібітори для захисту поверхні металу від дії корозійних агентів..

Робочі розчини інгібітора та нейтралізатора дозувальними насосами одночасно подають в шлемовий трубопровід колони до конденсатора-холодильника. Для того, щоб зменшити витрату інгібітора, який є більш дорогим реагентом, в шлемову трубу першим вводиться нейтралізатор для нейтралізації дії соляної кислоти, а потім через 1-2 метри – інгібітор корозії. В умовах більшості нафтопереробних заводів витрата інгібітора корозії складає 1,8 г/т нафти, нейтралізатора 2 г/т нафти, з чого виходить, що співвідношення витрати інгібітора до нейтралізатора при використанні складає 9:10. Окрема подача реагентів, на нашу думку, не завжди є оправданою.

Велика кількість інгібіторів, включених в різні системи класифікації інгібіторів корозії, представлено лабораторними зразками, які не мають вітчизняної сировинної бази і, тим більш, виробничих потужностей. Окрім того, вони досліджені та рекомендовані як інгібітори на певних стадіях видобутку та переробки нафти. В той же час нафтопереробні заводи України використовують достатньо вузький асортимент інгібіторів корозії і нейтралізаторів.

Завданням роботи було перевірити доцільність застосування інгібітора і нейтралізатора в суміші, визначити оптимальне співвідношення реагентів і можливість їх сумісної подачі.

Об'єкти досліджень. Для дослідження захисних властивостей було обрані речовини, які виробляються або використовуються на НПЗ України: карбозолін ОТ-2 [1-(2-діетаноламіноетил)-2-(8-гептадеценілімідазолін] [1], жир катіоноактивний Р-1[суміш N,N-дизаміщених амідів, естерів ріпакової олії та гліцерину] [2], аміди поліаміннафтенових кислот (АПАНК) [3]. Як нейтралізатор досліджували розчин циклогексиламіну в ароматичному розчиннику [4]. Фізико-хімічна характеристика досліджуваних речовин наведена в таблицях 1,2.

Методика проведення досліджень.

Визначення швидкості корозії та ступеня захисту досліджуваних речовин проводили гравіметричним методом в агресивному середовищі за методикою, описаною в [3] за температури 70 ºС у двофазному агресивному середовищі. Водна фаза, приготовлена за ГОСТ 9.506 [5], – розчин густиною 1120 кг/м^3, який місить хлориди магнію, кальцію та

натрію. Розчин приготовлений за стандартною методикою: в певному об'ємі дистильованої води розчиняли відповідні кількості солей. Як вуглеводнева фаза використано реактивне паливо ТС-1 за ГОСТ 10227 [6]. Співвідношення реактивне паливо : водна фаза становило 1:2.

Контрольні зразки – металеві пластинки зі сталі Ст20 загальною площею (≈20 см^2)

Досліджувані інгібітори та нейтралізатор доводили до 5 %-ної концентрації у сольвенті. З приготовлених розчинів готували суміші з таким співвідношенням інгібітора і нейтралізатора: 100:0; 90:10; 80:20; 70:30; 60:40. Суміш вводили в кількості 1,3 мл на 300 мл агресивного середовища.

Таблиця 1

Фізико-хімічна характеристика активної основи інгібіторів корозії

Показники	Інгібітор ОТ-2	Інгібітор Р-1
Зовнішній вигляд	Прозора маслянista рідина з аміачним запахом від жовтого до темно-жовтого кольору	В'язка рідина темно-коричневого кольору зі специфічним запахом
Хімічне походження	похідні алкілімідазолінів на основі олеїнової кислоти	N,N-дизаміщені аміди, естери кислот ріпакової олії, гліцерин
Масова частка активної речовини, % мас.	80-90	80-90
Масова частка азоту в активній речовині (% мас.) (розраховано)	9,6	6
Розчинність активної речовини у сольвенті (50 %) за температури + 20 ºС + 50 ºС - 15 ºС	 Розчинний Прозорий розчин Прозорий розчин	 Розчинний Прозорий розчин Прозорий розчин
Зовнішній вигляд 5%-ного розчину у сольвенті	Прозорий розчин жовтуватого кольору	Прозорий розчин світло-коричневого кольору

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики товарних форм інгібітора та нейтралізатора

Показники	Інгібітор АПАНК (50%-ний розчин в аром.розчиннику)	Нейтралізатор – циклогексиламін (60%-ний розчин в аром.розчиннику)
Зовнішній вигляд	темно-коричнева рідина	рідина, від безбарвної до коричнюватого кольору
Густина при 20 ºС, г/см^3	0,94	0,84
В'язкість кінематична при 20 ºС, мм^2/с	101	1,2
Температура застигання, ºС	мінус 32	мінус 30
Температура спалаху, ºС	85	28
Розчинність при 20 ºС	диспергується у воді, розчинний в нижчих спиртах і вуглеводнях	розчиняється у вуглеводнях та спиртах

Результати проведених досліджень та їх обговорення.

Результати проведених досліджень наведено в табл. 3. та на рис. 1

Таблиця 3

Швидкість корозії сталі та ступінь захисту сумішей інгібітора та нейтралізатора

Співвідношення інгібітор: нейтралізатор	Досліджуваний інгібітор					
	ОТ-2		Р-1		АПАНК	
	Швидкість корозії, г/м^{2}год	Ступінь захисту, %	Швидкість корозії, г/м^{2}год	Ступінь захисту, %	Швидкість корозії, г/м^{2}год	Ступінь захисту, %
100:0	0,161	90,0	0,072	85,2	0,108	77,8
90:10	0,125	92,2	0,054	88,9	0,089	81,5
80:20	0,018	98,9	0,018	96,3	0,036	92,6
70:30	0,054	96,7	0,035	92,6	0,054	88,9
60:40	0,108	93,3	0,054	88,9	0,072	85,2

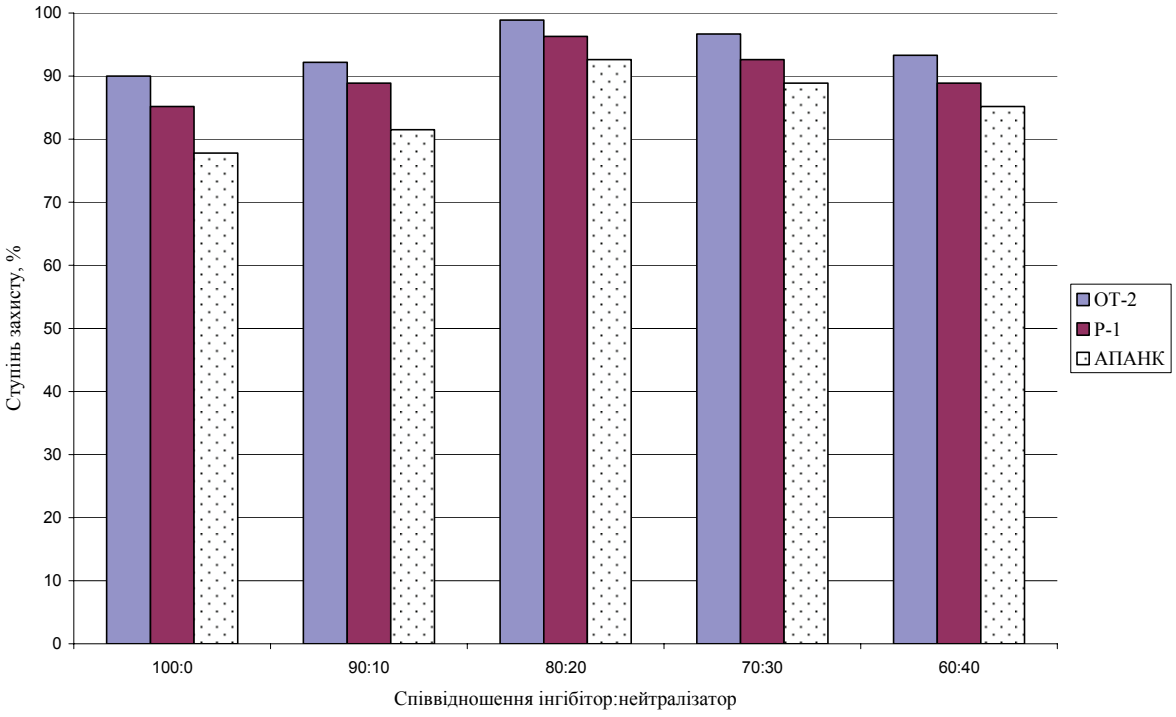


Рис.1. Ступінь захисту сумішей інгібітора та нейтралізатора в різних співвідношеннях.

Результати досліджень показали, що додавання нейтралізатора до інгібітора спричиняє підвищення ступеня захисту всіх інгібіторів корозії, не зважаючи на їх хімічну основу. Вміст 10 % нейтралізатора в суміші дозволяє підвищити ступінь захисту інгібітора ОТ-2 на 2 %, Р-1 та АПАНК приблизно на 4 %. Вміст в суміші нейтралізатора в кількості 20 % дозволяє збільшити ступінь захисту інгібітора ОТ-2 на 9 %, Р-1 на 11 %, а АПАНК майже на 15 %. Співвідношення в суміші інгібітор:нейтралізатор 80:20 дає найбільший ступінь захисту в усіх досліджуваних речовинах. Ступінь захисту суміші, де нейтралізатор присутній в кількості 30 % і 40 % є меншим порівняно з 20 %-ним, але все одне він залишається більшим, ніж ступінь захисту чистого інгібітора. Дія нейтралізатора полягає в нейтралізації

соляної кислоти, яка утворилась в результаті гідролізу солей. Коли в суміші була достатня кількість нейтралізатора для її нейтралізації, і достатня кількість інгібітора для адсорбції на поверхні металу і захисту його від корозійної дії солей, що знаходяться в розчині, тоді і спостерігався найбільший ступінь захисту. Це відбувалось при співвідношенні інгібітор-нейтралізатор в кількості 80:20. Подальше збільшення нейтралізатора в суміші ефекту не дає, оскільки як реагент він вже не працює, а кількість інгібітора в суміші менше 80 % є недостатньою для захисту металу від корозії.

Висновки

1. Досліджено сумісну дію інгібітора корозії та нейтралізатора у двофазному корозійному середовищі. Показано позитивний ефект від сумісної подачі даних реагентів.
2. Визначено, що ступінь захисту суміші при зміні співвідношення в ній інгібітора корозії та нейтралізатора приходить через максимум, при цьому найвищий ступінь захисту спостерігається в усіх випадках при співвідношенні приблизно 80:20.
3. Встановлення оптимального співвідношення інгібітор-нейтралізатор дозволить зменшити витрату дорогих реагентів при збереженні високого ступеня захисту. Для підтвердження лабораторних досліджень необхідне проведення дослідно-промислових випробувань на одному з українських НПЗ.
4. При використанні інгібітора корозії та нейтралізатора зменшується вміст корозійно-агресивних компонентів у фракціях, які виходять зверху колони, що полегшить їх вторинну переробку і покращить хіммотологічні показники бензинових фракцій як компонентів товарних нафтопродуктів .

Список літератури

1. ТУ У 6-14-19-591-84 Карбозолин ОТ-2 Технические условия
2. ТУ У 24.6-00205601.093-2001 Жир катіонний Р-1 Технічні умови
3. ТУ У 23.2-22340203-036:2006 «Інгібітор корозії Деол-4241. Технічні умови»
4. ТУ У 23.2-22340203-037:2006 «Нейтралізатор Деол-3241. Технічні умови»
5. ГОСТ 9.506-87 Ингибиторы коррозии в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности.
6. ГОСТ 1027-86 Топливо для реактивных двигателей. Технические условия

УДК 665.7.03

О.Н. Цветков, д.т.н., Н.Л. Розанова, к.т.н., О.В. Зверев
(ОАО «ВНИИ НП», Российская Федерация)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РОССИИ

В докладе делается обзор производимых в России авиамасел и перспективы их совершенствования, а также задач и проблем российской химмотологии.

Совершенствование и развитие авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) ведет к росту уровня температуры газов перед турбиной и степени сжатия воздуха в компрессоре, усложнению кинематической схемы двигателей, увеличению скорости вращения роторов, следствием этих конструкционных изменений является непрерывное повышение теплонапряженности создаваемых авиадвигателей. Одновременно с этим экономические условия требуют увеличения ресурса работы двигателей, повышение их надежности и снижения эксплуатационных расходов. Выполнение этих требований обусловлено в значительной мере работоспособностью узлов трения, которые в свою очередь зависят от качества масел, применяемых в масляных системах. Ресурс и надежность двигателя в большой степени зависит от того, в какой степени применяемое масло по всем характеристикам соответствует предъявляемым эксплуатационным требованиям.

Главная функция масла в двигателях дозвуковых летательных аппаратов (ЛА), – обеспечение минимального износа деталей и узлов трения двигателя в течение всего срока их эксплуатации, исчисляемого тысячами часов. Решающим фактором при этом являются смазывающие свойства масла, а его термоокислительная стабильность должна быть достаточной для того, чтобы в масляной системе не образовалось отложений продуктов окисления масла, препятствующих нормальной работе двигателя.

Более высокая теплонапряженность ГТД сверхзвуковых ЛА делает определяющим свойством авиамасла его термоокислительную стабильность при высоких температурах. При этом смазывающие свойства должны быть достаточно хорошими, чтобы обеспечить минимальный износ поверхности трения.

Преобладание минеральных масел отличительная черта эксплуатации российской авиатехники, связанная с их сравнительной дешевизной и высоким качеством. Авиационные масла МС-8п, МС-8рк для отечественных дозвуковых ЛА вырабатываются на минеральной основе и широко используются при эксплуатации самолетов и вертолетов военной и гражданской авиации, обеспечивая работу турбореактивных ГТД с температурой масла на выходе 150°С.

В иных типах ГТД дозвуковых ЛА, требующих более высокой вязкости смазочных материалов, наряду с маслами применяются авиационные маслосмеси:

СМ-4,5 – для турбовинтовых двигателей самолетов;

СМ-8 – для турбовинтовых двигателей самолетов и летней (до минус 10°С) эксплуатации в вертолетах МИ-6 и МИ-8;

СМ-11,5 – для турбовинтовых двигателей самолетов и зимней эксплуатации в вертолетах МИ-6 и МИ-8.

Маслосмеси вырабатываются на основе минеральных масел и широко используются при эксплуатации самолетов и вертолетов военной и гражданской авиации. Долгое время авиационные маслосмеси готовились непосредственно по месту эксплуатации ЛА. Но в последние годы производство маслосмесей ведется в заводских условиях, что, несомненно, способствует повышению безопасности эксплуатации ЛА.

В настоящее время суммарная доля минеральных авиационных масел в России превышает 90 %, а доля синтетических составляет только около 10% - в противоположность зарубежным странам, где доля синтетических масел составляет практически 100%. Доля

минеральных масел в России в 2000-х гг. даже возросла по сравнению с началом 1990-х гг., когда она составляла около ¾ выпуска авиамасел. Развитие двигателестроения в соответствии с современными требованиями к повышению температурного режима работы авиационных масел предопределяет необходимость наращивания объемов производства синтетических масел на основе поли-α-олефинов, сложных эфиров и олигоорганосилоксанов.

Из синтетических масел наибольшее распространение в современной теплонапряженной технике с температурой масла на выходе 200°С получило масло ИПМ-10, разработанное во ВНИИ НП в конце 70-х годов на уникальной изопарафиновой основе. В 90-е годы в связи с прекращением производства изопарафиновой основы было разработано масло ИПМ-10 с использованием поли-α-олефинового базового компонента. При этом было выяснено, что не все поли-α-олефиновые компоненты одинакового класса вязкости пригодны для получения ИПМ-10. В настоящее время ИПМ-10 выпускается ЗАО «НПЦ Спецнефтепродукт», качество всех партий масла безукоризненное, т. к. ведётся постоянный контроль основы по реологическим характеристикам при низкой температуре и по термоокислительной стабильности готовой продукции.

В то время как за рубежом в настоящее время наиболее распространенными типами синтетических масел для авиационных ГТД являются масла на основе сложных эфиров, включающие эфиры многоатомных спиртов и монокарбоновых кислот, а также эфиры двухосновных кислот и моноспиртов, в России сложноэфирные масла занимают сравнительно скромное место.

Основной объем синтетических сложноэфирных масел в нашей стране производится на импортном сырье, поставляемом зарубежными компаниями ExxonMobil, Chevron Phillips Chemicals, Cognis, BP Chemicals, Ciba, NyCo, Uniqema, Neste Oil и другими. Верхний предел термоокислительной стабильности этих масел 200-225°С.

В настоящее время в России вырабатываются газотурбинные масла на сложноэфирной основе:

а) на основе пентаэритрита и жирных кислот $C_5 – C_{10}$:

ПТС-225 синтетическое высокостабильное на основе сложных эфиров пентаэритритра и жирных кислот $C_5 – C_9$. Масло работоспособно в интервале температур от минус 60 до 225°С. Рекомендовано к применению в теплонапряженной авиационной технике, прежде всего турбореактивной, а также в качестве унифицированного масла для отработки новых теплонапряженных авиационных ГТД (ТРД, ТВД, ТВВД, турбовальных двигателей и редукторов вертолетов). Масло обладает улучшенными вязкостно-температурными свойствами и высокой термоокислительной стабильностью. Рекомендуется для перспективной авиатехники, а также взамен товарных нефтяных и синтетических авиамасел. По своим физико-химическим и эксплуатационным свойствам наиболее (по сравнению с другими отечественными маслами) соответствует американской спецификации MIL-L-23699F.

ЛЗ-240 и Б-3В - для газотурбинных двигателей, редукторов вертолетов и другой техники с температурой масла на выходе до 200°С. При эксплуатации масла Б-3В выпадает осадок противозадирной присадки с последующим растворением ее в масле при 70-90°С. Наилучшими результатами в настоящее время характеризуется масло ЛЗ-240, разработанное на заводе им. Шаумяна.

б) на основе эфиров диизооктилового спирта и себациновой кислоты:

ВНИИНП-50-1-4Ф масло для двигателей с температурой масла на выходе до 175°С и совместимое с ним во всех соотношениях ВНИИНП-50-1-4У, работоспособное от минус 60 до 200°С (допускается кратковременный перегрев до 225°С).

К этому же типу сложноэфирных масел относится перспективное унифицированное всесезонное загущенное масло КА-7,5, разработанное взамен минерального масла МН-7,5у и предназначенное для применения в турбовинтовых и турбовинтовентиляторных двигателях самолетов, турбовальных двигателях и редукторах вертолетов

Более высокие температурные режимы могут обеспечивать масла на основе фторсилоксанов, но применению их на отечественных ГТД самолетов современной конструкции пока препятствует высокая стоимость этих масел. Масло ВТ-301 разработки ВНИИ НП на фторсилоксановой основе способно выдерживать окисление при 250°С и тем самым обеспечивать надёжное смазывание узлов трения ещё более теплонапряженных двигателей. Кроме того, во ВНИИ НП синтезирована присадка, обеспечивающая при испытании термоокислительную стабильность масла на основе модифицированной фторсилоксановой жидкости при 280°С в течение 50 часов.

Таким образом, в целом российские авиационные масла не уступают зарубежным и способны полностью обеспечить потребности отечественного авиастроения.

Перспективы совершенствования авиамасел в России:

1. Осуществить перевод производства масла ИПМ-10 на отечественное сырье;
2. Довести работоспособность сложноэфирных масел до температуры 240°С, опираясь при этом на отечественные технологии и сырье. Для масла Б-3В решить проблемы выпадения присадки каптакс.
3. Создать на основе разработанной присадки новое синтетическое кремнийорганическое масла, работоспособное в ГТД, имеющих температуру масла на выходе 280°С.

Химмотология авиационных смазочных масел в России, будучи самостоятельным научным направлением, по мнению авторов должна сосредоточиться на решении проблем, связанных с совершенствованием и компьютеризацией современной отечественной исследовательской и испытательной аппаратуры, максимально приближающей условия испытаний авиамасел к условиям эксплуатации ГТД.

УДК 621.436

Г.М. Кухаренок, докт. техн. наук, Д. Г. Гершань, асп.
(БНТУ, Беларусь)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ НА СМЕСЯХ БЕНЗИНА С *Н*-БУТАНОЛОМ

В работе представлены исследования работы двигателя 4Ч 82/71 на смесях бензина и н-бутанола. Определены показатели работы двигателя на бензине и смесях бензина с н-бутанолом при процентном содержании н-бутанола в смесях по объему: 10; 20; 30; 40% при работе по нагрузочным, скоростным и регулировочным характеристикам, позволяющие оценить влияние смесевого топлива на работу двигателя.

В настоящее время к наиболее прогрессивным видам альтернативного моторного топлива относится бутанол. Физико-химические и моторные свойства обеспечивают ему существенные преимущества над уже используемыми в двигателях с искровым зажиганием метанолом и этанолом. Кроме того, по своим свойствам бутанол сравним, а по некоторым и превосходит бензин.

Бутанол (бутиловый спирт) C_4H_9OH – бесцветная жидкость с характерным запахом сивушного масла. Известны нормальный первичный бутиловый спирт $CH_3(CH_2)_3OH$ (н-бутанол), нормальный вторичный бутиловый спирт $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$ (втор-бутанол), изобутиловый спирт $(CH_3)_2CHCH_2OH$ (изо-бутанол), третичный бутиловый спирт $(CH_3)_3COH$ (трет-бутанол).

Для проведения испытания был разработан и создан испытательный стенд.

Экспериментальные исследования проводились на двигателе 4Ч 82/71 (ВАЗ–2110). Двигатель смонтирован на стенде, оборудованном согласно ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Технические характеристики двигателя 4Ч 82/71 указаны в таблице 1.

Таблица 1.

Технические характеристики двигателя

Параметр	Значение
1	2
Диаметр цилиндра, мм	82
Ход поршня, мм	71
Рабочий объем, л	1,5
Количество цилиндров, шт.	4
Степень сжатия	9,8
Количество клапанов на цилиндр, шт.	2
Номинальная мощность по ГОСТ 14846–89 (нетто), не менее, кВт (л.с.)	54 (73,4)
Частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности, мин-1	5600
Максимальный крутящий момент по ГОСТ 14846–81 (нетто), не менее, Н·м	103,9

Стенд для испытания двигателя показан на рисунке 1.

Стенд включает в себя следующие основные агрегаты: а) устройство для установки и закрепления двигателя; б) тормозную установку; в) устройство для соединения двигателя с тормозом; г) устройство, обеспечивающее охлаждение двигателя; д) устройство для отвода отработанных и картерных газов за пределы бокса; е) устройство для питания двигателя топливом; ж) органы управления двигателем; з) пульт управления двигателем и приборы для проведения измерений.

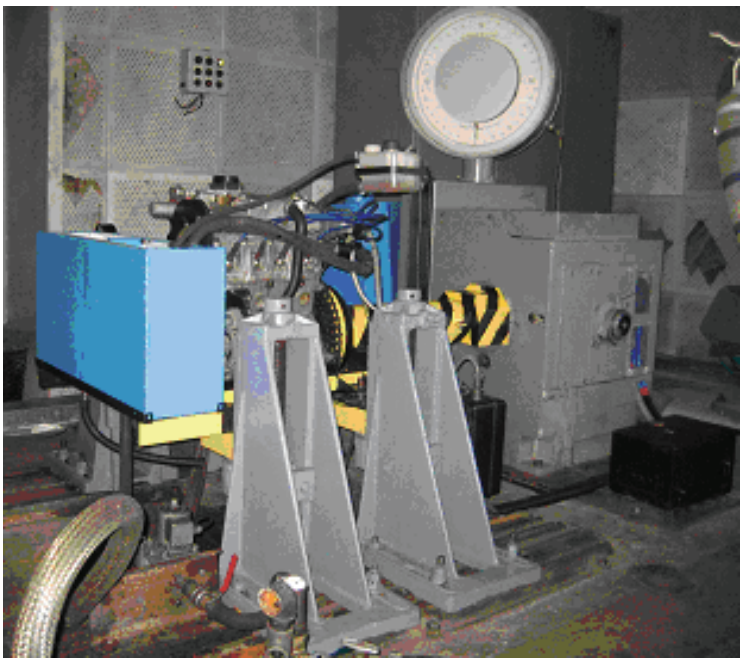


Рис.1. Стенд для испытания двигателя.

Испытания двигателя проводились на бензине и смесях бензина с *н*-бутанолом при процентном содержании бутанола в смесях по объему: 10; 20; 30; 40%.

Объем и порядок испытаний двигателей определяется ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний». Условия проведения стендовых испытаний выполнены в соответствии с указанным стандартом.

При испытаниях двигателя определялись:

- скоростные характеристики, устанавливающие зависимость показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала;
- нагрузочные характеристики, устанавливающие зависимость показателей двигателя от его нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала;
- регулировочные характеристики по углу опережения зажигания, представляющие собой зависимость показателей двигателя от момента подачи электрической искры в цилиндр двигателя при работе на заданном скоростном режиме и неизменном положении органа управления подачей топлива;
- регулировочные характеристики по часовому расходу топлива, представляющие собой зависимость показателей двигателя от часового расхода топлива при работе на заданном скоростном режиме.

Приведем некоторые из них.

На рисунке 2 представлена нагрузочная характеристика при частоте вращения коленчатого вала двигателя 3000 мин$^{-1}$.

Как видно из приведенных на рисунке 2 зависимостей значимых отличий в часовом и удельном эффективном расходе топлива не наблюдается при работе двигателя на бензине и 10% смесях бензина с *н*-бутанолом. При увеличении концентрации бутанола до 20% увеличение часового расхода топлива составляет ~ 2%.

Более существенна разница при работе двигателя на 30% смеси. Часовой расход топлива становиться примерно на 3…5% выше, чем при работе на бензине.

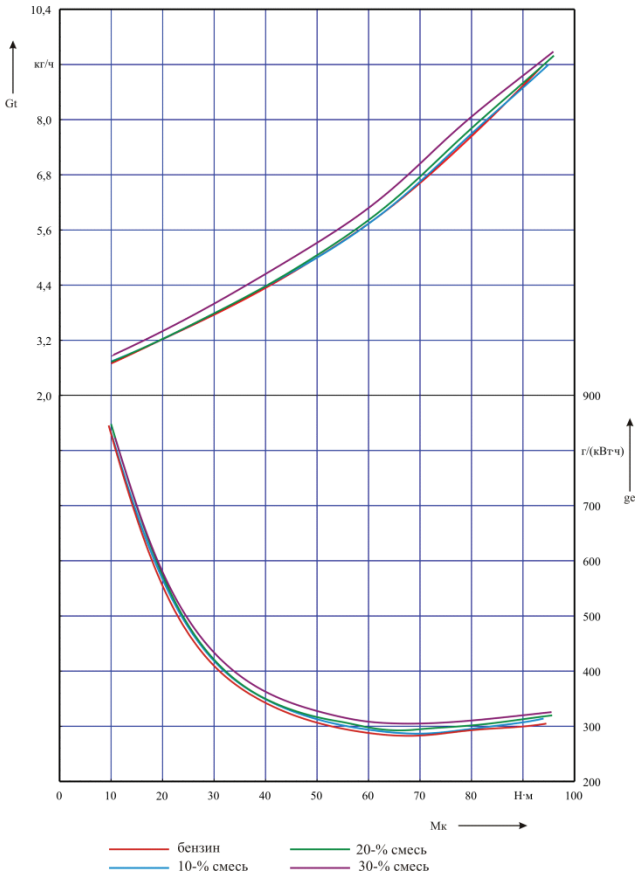


Рис. 2. Нагрузочная характеристика при работе на бензине и смесях бензина с *н*-бутанолом, n=3000 мин$^{-1}$

На рисунке 3 представлена регулировочная характеристика по углу опережения зажигания при работе двигателя на бензине и 10% смеси бензина с *н*-бутанолом. Диапазон изменения угла опережения находился в пределах 32…60 град ПКВ.

Можно выделить диапазон изменений угла опережения зажигания в пределах 47…53 град ПКВ, при которых удельный эффективный расход топлива минимален и значение эффективной мощности максимально. Отличие между минимальными значениями удельного эффективного расхода топлива при работе на бензине и 10% смеси бензина с *н*-бутанолом практически не наблюдается.

Регулировочная характеристика по часовому расходу топлива, полученная при работе двигателя на бензине, 10, 20, 30% смеси бензина с *н*-бутанолом при постоянной частоте вращения коленчатого вала 3000 мин$^{-1}$ и неизменном значении угла опережения зажигания показывает, что для обеспечения постоянной мощности при увеличении концентрации *н*-бутанола в смеси необходимо увеличивать часовой расход топлива. При 10% *н*-бутанола в смеси это увеличение практически незаметно, удельные эффективные расходы топлива мало отличаются. Двукратное увеличение *н*-бутанола в смеси ведет к росту часового расхода на ~2%, удельный эффективный расход топлива при этом увеличивается в зависимости от нагрузки до 6…8 г/(кВт·ч) (более чем на 2,5%).

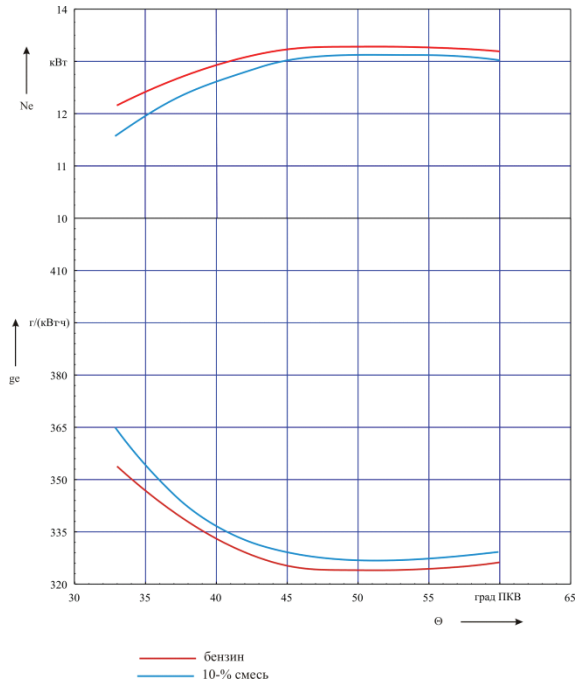


Рис. 3. Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания при n=3000 мин$^{-1}$ и часовом расходе топлива 4,27 кг/ч

Применение 30% смеси бензина и *н*-бутанола потребует в зависимости от нагрузки увеличения часового расхода топлива на 0,2…0,4 кг/ч (3…6%). Удельный эффективный расход топлива при этом возрастет на 13…16 г/(кВт·ч) (4…6%).

В случае обеспечения одинакового часового расхода топлива ожидается снижение мощности двигателя и увеличение удельного эффективного расхода топлива:

- при 10% концентрации *н*-бутанола снижение мощности двигателя и увеличение удельного эффективного расхода топлива практически не происходит;
- при 20% концентрации *н*-бутанола мощности двигателя снизится на 0,3…0,5 кВт (1,5…2,3%), удельный эффективный расход топлива увеличится на 4…7 г/(кВт·ч) (1,5…2,3%);
- при 30% концентрации *н*-бутанола снижение мощности двигателя может достигнуть более 1 кВт (более 5%), удельный эффективный расход топлива возрасте на 15…20 г/(кВт·ч) (5…7%).

Выводы

Определены показатели работы двигателя на бензине и смесях бензина с *н*-бутанолом при процентном содержании *н*-бутанола в смесях по объему: 10; 20; 30; 40% при работе по нагрузочным, скоростным и регулировочным характеристикам, позволяющие оценить влияние смесевого топлива на работу двигателя.

Получено, что показатели работы двигателя при работе на 10% смеси бензина с *н*-бутанолом остаются практически такими же, как при работе на бензине, при этом не требуется изменения эксплуатационных регулировок угла опережения зажигания и часового расхода топлива.

УДК 621.89.097.3

Л.В. Железний[1], к.х.н, Г.С. Поп[2], д.х.н, Л.Ю.Бодачівська[2], к.т.н., О.А.Мележик[3]
[1] Державне підприємство Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА»
[2] Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України
[3] Державне підприємство "Орган з сертифікації нафтопродуктів та систем якості "МАСМА-СЕПРО"

АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕНТОНІТОВИХ МАСТИЛ З ДОДАТКАМИ

Описано нову методику дослідження адгезійних властивостей мастильних матеріалів та наведені результати випробувань адгезійної здатності авіаційних бентонітових мастил з додатками на основі рослинних олій і фосфатидів.

Для створення безпечних для довкілля композицій мастильних матеріалів, зокрема пластичних мастил для авіаційної техніки, у їхньому складі застосовують багатофункційні додатки (присадки) рослинного походження. У нашій роботі в якості додатків використано такі продукти: олеодін – продукт конденсації оксиетильованого етанолдіаміну з високоеруковою ріпаковою олією (далі додаток ОЛ); фосфолідін - продукт конденсації фосфатидного концентрату та оксиетильованого етанолдіаміну (ФЛ); осіркований олеодін (ОЛ-S); осіркований фосфолідін (ФЛ-S). Раніше проведені їхні всебічні випробування, як активних багатофункційних додатків до пластичних мастил, показали високу антикорозійну та трибохімічну активність на поверхнях вузлів тертя із формуванням на них змащувально-захисних плівок необхідної товщини і стійкості за жорстких умов тертя.

Умови експлуатації літальних апаратів відрізняються від умов роботи наземної техніки, перш за все, характеристиками довкілля. Висока швидкість повітряних потоків призводить до "видування" мастила або його дисперсійного середовища з вузлів тертя. Тому контролювання адгезійних властивостей і забезпечення їх на певному рівні є актуальним завданням при розробленні нового покоління авіаційних мастил.

Вважається, що найбільш простими та методично правильними для визначення адгезії мастил є методи, що базуються на руйнуванні зв'язків між металом та мастилом під дією відцентрової сили. На цій основі в УкрНДІНП «МАСМА» сконструйований прилад та розроблена методика для визначення адгезійної здатності мастил. Завдяки застосуванню фігурних пластин створені умови для єдиного типу відривання, а на шар мастила діє однакова за величиною сила. Нанесення фіксованого шару мастила на пластини забезпечується спеціальним шаблоном**.**

Пристрій для дослідження адгезійних властивостей мастильних матеріалів складається з високообертового електродвигуна з автоматичним регулюванням числа обертів та датчиком тривалості випробування, що розміщується у корпусі пристрою, і вимірювальної системи, яка виконана у вигляді плаского робочого диску, насадженого на вихідний вал двигуна та встановленого у камеру-термостат, де за допомогою обігрівача може підтримуватися підвищена температура, а за допомогою холодоагенту — температура, нижча за 0^{o} С. Робочий диск містить гнізда для фігурних пластин з досліджуваним мастилом та щити, що захищають пластини від потоку повітря.

Пристрій працює у такому режимі. Зовнішню поверхню двох або іншої парної кількості фігурних пластин оброблюють до потрібної шорсткості та послідовно промивають неполярним та полярним розчинником. За допомогою спеціального шаблону на пластини наносять шар мастила необхідної товщини.

Фігурні пластини встановлюють разом із захисними щитами у гнізда робочого диску. Задають необхідну температуру у камері, швидкість обертання диску та тривалість експерименту. До і після випробувань пластини зважують. За результатами досліджень

визначають кількість мастила, що залишилася на пластині, розраховують величину відцентрової сили ($F=mR\omega^2$), що дорівнює силі когезійного або адгезійного зчеплення.

Через відсутність у базової оливи внутрішнього структурного каркасу відривання її від металевої пластини відбувається пропорційно зростанню відцентрової сили (рис.). Вже при величині відцентрової сили, рівної $4{,}95\cdot10^{-4}$ Н, оливи на пластині майже не залишається. Зусилля відриву мастила від пластини і є силою адгезії досліджуваної нафтової оливи, використаної як дисперсійне середовище бентонітового мастила.

Як свідчить рис.1, сили зчеплення мастила з металом (сили адгезії) є міцнішими сил внутрішнього зчеплення мастил (сили когезії). Підтвердженням цього є те, що при видаленні з поверхні металу мастила відриваються не по межі мастило-метал, а у об'ємі мастила. Для всіх зразків спостерігається однакова тенденція. Зі зростанням відцентрової сили відривання мастила спочатку відсутнє. Воно відбувається при певній величині відцентрової сили, що перевищує сили когезії. Коли величини цих сил зрівнюються, відбувається різке відривання великої кількості мастила. Далі шар мастила на металевій пластині залишається постійним і не залежить від прикладеної відцентрової сили. Це так званий адгезійний шар мастила.

Величина сил когезії (або інакше — механічної міцності мастила) для модельного мастила становить $3{,}3\cdot10^{-3}$ Н, для мастила з додатком ФЛ-S — $1{,}6\cdot10^{-3}$ Н.

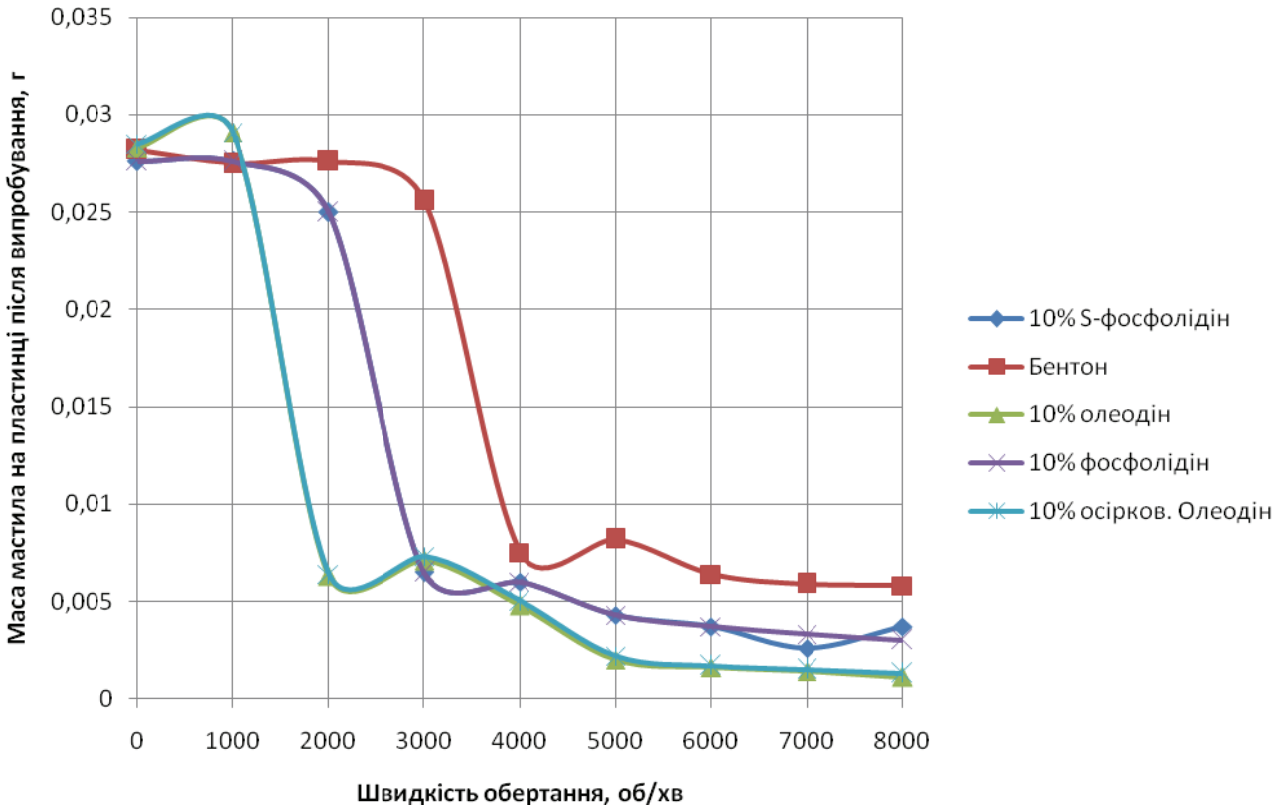


Рис.1. Залежність кількості мастила з досліджуваними додатками на пластині після випробування від швидкості обертання робочого диску.

Отримані результати випробувань адгезійних властивостей модельних зразків бентонітового мастила з додатками$_2$ свідчать про те, що сили когезії у модельному мастилі зменшуються при уведенні до його складу додатків. Характер кривих для мастила з 10 %-ми додатками ОЛ та ОЛ-S, а також – з 10 %-ми додатків ФЛ та ФЛ-S ідентичний, що вказує на відсутність впливу сірки на адгезійні властивості мастил. Додатки на базі фосфолідіну характеризуються кращими адгезійними властивостями за додатки на базі олеодіну. Для підвищення адгезійної здатності бентонітових мастил з додатками необхідно застосовувати сполуки, що посилюють прилипання мастила до металічної поверхні.

УДК 621.89.097.3

М.В. Курбатова[1], Й.А. Любінін[1], к.т.н, Н.Б. Кьоніг[2], к.х.н, Л.М. Куліков[2], д.х.н
[1] Державне підприємство Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА»
[2] Інститут проблем матеріалознавства ім. І.Н. Францевича НАН України

ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ ДЛЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, ЩО МІСТЯТЬ ГРАФЕНОПОДІБНІ ЧАСТИНКИ ДИСУЛЬФІДУ МОЛІБДЕНУ

Представлено результати трибологічних випробувань пластичних мастил з графеноподібними частинками дисульфіду молібдену. Проведені лабораторні випробування зразків пластичних мастил на різних машинах тертя свідчать про перспективність застосування цих мастил в авіаційній техніці.

Інтенсивний розвиток та вдосконалення авіаційної техніки висуває більш жорсткі вимоги до змащувальних матеріалів. Сучасні пластичні мастила повинні зберігати працездатність в екстремальних умовах експлуатації (широкому температурному діапазоні, високих тисках, агресивному середовищі). Асортимент вітчизняних мастил не відповідає необхідним умовах експлуатації, тому існує нагальна потреба в розробці нових мастил чи вдосконалені вже існуючих.

Відомо, що для покращення змащувальних властивостей пластичних мастил широко використовуються добавки дисульфіду молібдену. Завдяки новітнім розробкам з галузі нанотехнологій створено новий вид добавок – нанокристалічні шаруваті дихалькогеніди молібдену. З їх використанням стало можливе створення мастильних матеріалів нового покоління із суттєвого поліпшеними триботехнічними та експлуатаційними характеристиками.

Успішне вирішення вказаної проблеми дозволить забезпечити авіаційну галузь промисловості новими, конкурентоспроможними вітчизняними мастильними матеріалами, а також відмовитись від імпорту дорогих спеціальних мастил, зменшити витрати на обслуговування техніки за рахунок збільшення терміну експлуатації мастильних матеріалів без їх заміни, збільшити довговічність унікального вітчизняного та імпортного обладнання.

Для вирішення поставленої задачі була виготовлена дослідна партія графеноподібного дисульфіду молібдену з подальшим використанням його в композиціях з високотемпературними мастилами та виготовлення їх модельних зразків щодо подальшого вивчення триботехнічних характеристик. При цьому була використана розроблена лабораторна нанотехнологія отримання графеноподібних дихалькогенідів молібдену, яка дозволяє виконати систематичні дослідження властивостей зазначених сполук щодо їх практичного використання, а також може бути основою для створення промислової нанотехнології.

Найбільш поширені на цей час високотемпературні мастила: комплексно-кальційові, комплексно-літійові та бентонітові. Рецептури та технології їх виробництва добре відомі та тривалий час удосконалювались і модернізувались. Тим не менш, на базі існуючих технологій неможливо отримати мастила з властивостями, що відповідають вимогам сучасного розвитку літакобудування, космічної техніки та машинобудування. У зв’язку з цим, існує нагальна потреба в більш радикальних змінах у рецептурі та технології виготовлення вже відомих пластичних мастил. Для вивчення можливості покращення властивостей мастил було виготовлено ряд модельних зразків різного складу: комплексно-кальційові, комплексно-літійові та бентонітові мастила з додаванням графеноподібних наночастинок дисульфіду молібдену в концентраціях: 2,5; 5; 7,5; 10 % (мас.) та досліджено їх властивості за рядом показників для оцінки трибологічних властивостей мастильних композицій.

Для приготування модельних зразків використано широко відомі рецептури та технології виробництва. В якості дисперсійного середовища була застосована нафтова індустріальна олива – И-40.

Для визначення трибологічних характеристик модельних зразків мастил використовували стандартизовані методики згідно ГОСТ 9490, ASTM D 5706 та ASTM D 5183-95.

За ГОСТ 9490 на чотирьохкульковій машині тертя ЧМТ-1 проводять дослідження протизношувальних та протизадирних властивостей. Випробування мастильних матеріалів проводять при заданих осьових навантаженнях, після яких визначаються наступні показники: критичне навантаження ($P_к$), навантаження зварювання ($P_з$) та індекс задиру ($I_з$). Випробування складається з серії визначень.

Метод випробувань згідно ASTM D 5706 призначений для визначення протизношувальних характеристик мастильних матеріалів в умовах високочастотних лінійних коливань. Для випробування використано машину SRV (Schwingung, Reibung, Verschleiss – коливання, тертя, зношення). Випробування проводять при стандартних умовах: ступінчастому навантаженні в діапазоні 100−1200 Н з кроком 100 Н та витримуванням 2 хв на кожному кроці; частоті коливання 50 Гц; амплітуді коливання кулі 1,00 мм. Даний метод випробувань може застосовуватись для швидкого визначення протизношувальних характеристик мастильних матеріалів, які використовуються у вузлах тертя, що працюють за схемою герцівського крапкового контакту, в умовах високих швидкостей чи пуску–зупинки (міського руху), за температур, встановлених технічними умовами на мастильний матеріал. Цей метод широко використовується для оцінки якості мастил, що працюють в шарнірах рівних кутових швидкостей.

Метод випробувань згідно з ASTM D 5183-95 використовується для визначення коефіцієнту тертя мастильних матеріалів на чотирьохкульковій машині тертя Falex Four-Ball Wear Test Machine.

Суть методу полягає в тому, що три сталеві кульки діаметром 12,7 мм нерухомо затискаються у випробувальній чашці машини та покриваються мастильним матеріалом. Четверта сталева кулька діаметром 12,7 мм встановлюється над трьома нижніми кульками, та притискається до них незмінним навантаженням 392 Н (40 кгс), таким чином, що кульки утворюють трьохточковий контакт. Температура випробування встановлюється незмінна 75 ºС (167 ºF); верхня кулька обертається зі швидкістю 600 хв$^{-1}$; коефіцієнт тертя визначається кожні 10 хв випробування. Всі отриманні результати випробувань наведено в табл. 1-3.

Таблиця 1

Трибологічні властивості мастил з додатками нанокристалічного порошку графеноподібного 2H-MoS_2 (чотирьохкулькова машина тертя ЧМТ-1)

Мастило	Концентрація 2H-MoS_2	Критичне навантаження, $P_к$, Н	Навантаження зварювання, $P_з$, Н	Індекс задиру, $I_з$, Н	Діаметр сліду зношення, $d_и$, мм (196 Н)
1	2	3	4	5	6
кСа-мастило					
кСа-мастило (базове)	-	980	2320	376	0,67
кСа-1	2,5	1040	2450	410	0,65
кСа-2	5	1100	2610	458	0,61
кСа-3	7,5	1170	2760	523	0,58
кСа-4	10	1230	2930	657	0,54
кLi-мастило					
1	2	3	4	5	6
кLi-мастило (базове)	-	969	1650	739	0,87

кLi-1	2,5	980	1740	759	0,78
кLi-2	5	1040	1840	873	0,73
кLi-3	7,5	1100	1960	913	0,69
кLi-4	10	1170	2070	958	0,58
Бентонітове мастило					
Бентонітове мастило (базове)	-	1570	1960	618	0,67
Bn-1	2,5	1650	2070	876	0,65
Bn-2	5	1740	2200	956	0,59
Bn-3	7,5	1840	1320	971	0,57
Bn-4	10	1960	2450	1023	0,54

Таблиця 2

Трибологічні властивості мастил з додатками нанокристалічного порошку графеноподібного 2H-MoS_2 (машина тертя SRV)

Мастило	Концентрація 2H-MoS_2	Діаметр сліду зношення, D, мм	Кінцеве (розрахункове) значення коефіцієнту тертя, $f_{уст}$	Мінімальне і максимальне значення коефі-цієнту тертя, f_{min}/f_{max}
1	2	3	4	5
кCa-мастило				
кCa-мастило (базове)	-	0,69	0,162	0,150/0,174
кCa-1	2,5	0,67	0,166	0,153/0,179
кCa-2	5	0,63	0,168	0,157/0,185
кCa-3	7,5	0,59	0,173	0,159/0,187
кCa-4	10	0,58	0,179	0,163/0,195
кLi-мастило				
кLi-мастило (базове)	-	0,89	0,143	0,132/0,154
кLi-1	2,5	0,83	0,149	0,138/0,159
кLi-2	5	0,74	0,155	0,147/0,162
кLi-3	7,5	0,68	0,156	0,149/0,167
кLi-4	10	0,61	0,164	0,153/0,175
Бентонітове мастило				
Бентонітове мастило (базове)	-	0,68	0,166	0,153/0,178
Bn-1	2,5	0,67	0,171	0,156/0,186
Bn-2	5	0,60	0,174	0,158/0,189
Bn-3	7,5	0,56	0,178	0,163/0,193
Bn-4	10	0,53	0,183	0,167/0,198

Таблиця 3

Трибологічні властивості мастил з додатками нанокристалічного порошку графеноподібного 2H-MoS_2 (машина тертя Falex Four-Ball Wear Test Machine)

Мастило	Концентрація 2H-MoS_2	Навантаження, при якому відбувався задир	Кінцеве (розрахункове) значення коефіцієнту тертя	Діаметр сліду зношення, мм (196 Н)
1	2	3	4	5
кСа-мастило				
кСа-мастило (базове)	-	1040	0,165	0,68
кСа-1	2,5	1100	0,168	0,67
кСа-2	5	1170	0,169	0,63
кСа-3	7,5	1230	0,175	0,57
кСа-4	10	1300	0,177	0,55
	кLi-мастило			
кLi-мастило (базове)	-	980	0,146	0,85
1	2	3	4	5
кLi-1	2,5	1040	0,152	0,77
кLi-2	5	1100	0,157	0,75
кLi-3	7,5	1170	0,157	0,71
кLi-4	10	1230	0,163	0,65
Бентонітове мастило				
Бентонітове мастило (базове)	-	1650	0,167	0,68
Вп-1	2,5	1740	0,173	0,63
Вп-2	5	1840	0,175	0,58
Вп-3	7,5	1960	0,181	0,55
Вп-4	10	2070	0,186	0,51

Висновки

З отриманих даних можна зробити висновок, що трибологічні властивості мастильних композицій на основі високотемпературних комплексно-кальцієвих, комплексно-літієвих та бентонітових мастил поліпшуються в залежності від концентрації графеноподібних наночастинок 2H-MoS_2 та можуть змінюватись в широких межах. Варто особливо підкреслити, що отримані поліпшені значення трибологічних характеристик повинні призвести до значно більшого позитивного ефекту щодо покращення експлуатаційних характеристик реальних вузлів тертя, для яких планується використання нових мастильних композицій.

Таким чином, отримані результати випробувань модельних зразків високотемпературних мастил на різних типах загусників з додатками графеноподібних наночастинок 2H-MoS_2 свідчать, що:

- можливе отримання мастильних матеріалів нового покоління з підвищеним рівнем якості;

- застосування в мастильних композиціях додатків нанокристалічного порошку графеноподібного 2H-MoS_2 дозволяє забезпечити необхідні трибологічні властивості й, відповідно, експлуатаційні характеристики за екстремальних температур і навантажень вузлів тертя авіаційної техніки;

- можлива розробка мастил, які забезпечать одноразову заправку вузлів тертя та механізмів авіаційної техніки на весь період її експлуатації.

УДК 665.75/.753

Я.П. Подгурський, Б.Ф. Кочірко,М.А. Мартинюк
(Державне підприємство Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА», Україна)

ДОСЯГНЕННЯ І СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ ТА ВИКОРИСТАННІ АВІАЦІЙНОГО ПАЛЬНОГО З БІОМАСИ

Матеріал містить стислий огляд світових тенденцій у виробництві та споживанні альтернативного авіаційного пального з біомаси. Зазначаються прогнози та умови, за яких споживання та виробництво авіаційного біопалива здатне досягнути промислових та економічно привабливих масштабів. Розглядається можливість виробництва авіаційного біопалива на теренах України.

Погіршення екологічної ситуації внаслідок споживання традиційного рідкого пального, обмеженість нафти вже не одне десятиріччя спонукають людство до пошуку альтернативи. Виробництво та споживання пального з біомаси для наземного транспорту сьогодні є неодмінною складовою паливно-мастильного сектору господарства. Частка біокомпонентів, зазвичай, сягає 5-10%, хоча в деяких країнах, наприклад Бразилії, значно більше.

Що стосується авіаційного пального з біомаси, в цьому напрямку спостерігаються перші, однак впевнені кроки. На думку авіаперевізників, досягти рівня споживання біопального в 1% вдасться не раніше 2015 року. Досягнувши цих показників можливо буде говорити про виробництво авіаційного пального з біомаси у промислових комерційно вигідних масштабах.

Лідерами у дослідженні альтернативного екологічно чистого пального є провідні авіавиробники та авіаперевізники світу, що активно піклуються про власний імідж – Boeing, Virgin Atlantic Airways, Continental Airlines, Air New Zealand, Airbus, British Airlines, Japan Airlines та інші. Потенціал для отримання авіаційного біопального мають будь-які жировмісні рослини, у тому числі традиційний для вітчизняного біодизельного пального ріпак. Однак, світові виробники біопального для авіації надають перевагу сировині другого покоління. Серед них – ятрофа, камелія, водорості тощо. За останні кілька років, зазначені раніше компанії, проводили дослідні польоти на сумішевому пальному, де частка біокомпоненту сягала 50 %. Авіаційне біопальне другого покоління повністю здатне замінити Jet A-1, адже відповідає основним показникам: температура спалаху – не менше 38^{o}C, температура кристалізації – мінус 47^{o}C, в'язкість – 775-840 кг/м^{3} тощо.

Сьогодні можливо констатувати той факт, що провідні компанії зацікавлені у споживанні біопального не лише з екологічної точки зору, а і з економічної. Обмеженість нафти, політична нестабільність у регіонах, де добувається сировина, стимулюють постійне зростання вартості авіаційного пального. Зростання вартості на пальне має безпосередній вплив на вартість перевезень. Світова авіація споживає приблизно 250 млрд. літрів пального Jet A-1 щорічно. Україна має непоганий потенціал у виробництві авіабіопального, як і будь-якого іншого пального з біомаси. Однак, без реалізації державної політики в даному напрямку, досягнути результатів неможливо. Нажаль, сьогоднішні реалії вимушують констатувати факт того, що вітчизняні розробки авіаційного пального – привілеї ентузіастів. Жодних умов для реалізації програм з дослідження та виробництва на промисловому рівні не існує.

Дослідження зазначають, що економічно доцільне виробництво авіаційного пального можливе за умов, коли становитиме 1% від сьогоднішніх об'ємів споживання традиційного авіаційного пального. Іншими словами – це 2,5 млрд літрів біопального другого покоління щорічно. Найбільшу перспективу вбачають у сумішевому пальному, де біологічна частка складатиме 10%. Економічні і технічні реалії сьогоднішньої Україні не дозволяють скористатися її природнім потенціалом та зайняти у майбутньому місце серед виробників авіаційного біопального.

УДК 665.765.038

О. І. Сафронов, В.М. Антонов, к.т.н., В.В. Юдіна, З.С. Яворська,
Б.М. Ярмолюк, к.х.н., В.С. Тарасенко (УкрНДІНП «МАСМА», Україна).

ВПЛИВ РЕЦЕПТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ОСНОВНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛІНДРОВИХ ОЛИВ ДО СУДНОВИХ ДВИГУНІВ.

Наведені результати впливу рецептурно-технологічних чинників одержання циліндрової оливи типу М20Е-70 на її основні функціональні властивості.

Циліндрові оливи до суднових двигунів експлуатуються в жорстких специфічних умовах функціонування низькообертового двотактного дизеля: використання високосірчистого залишкового палива (2-4 % сірки), реалізації високих температур у верхній зоні циліндра, для змащення якої призначені ці оливи – 230-260 ^{0}С.

Тому до якості циліндрових олив за незначної можливості варіювання типами використовуваних додатків ставляться особливо високі вимоги щодо нейтралізаційної здатності, термоокиснювальної стабільності, антиокиснювальних і мийно-диспергувальних властивостей за високих температур, антикорозійних та трибологічних характеристик, а також стосовно фізичної стабільності (стійкості до спінення, емульгування та вимивання додатків) особливо за високих температур.

Як циліндрові зазвичай використовують оливи класу в'язкості за SAE 50 з лужністю не менше 70 мг КОН/г. Легування оливи здійснюється в основному високолужними сульфонатами і фенолятами.

В роботі наведені результати дослідження впливу технологічно-рецептурних чинників одержання оливи типу М20Е-70 (на основі кальційових сульфофенолятних комплексів), що не містить фосфору, на її основні функціональні характеристики: термоокиснювальну та фізичну стабільність, антикорозійні та трибологічні властивості.

Термоокиснювальна стабільність оливи підвищується з використанням алкілфенолятних детергентів з коротким (C_9) вуглеводневим радикалом, має тенденцію до покращення зі збільшенням концентрації алкілфенолятів у сульфофенолятному комплексі та екстремально залежить від вмісту алкенілсукциніміду. Двоступенева карбонатація сприяє підвищенню термоокиснювальної стабільності.

Корозійність оливи щодо олива (свинцю) зростає зі збільшенням в сульфофеноляті алкілфеноляту та екстремально залежить від вмісту сукциніміду. Збільшення довжини вуглеводневого радикалу в алкілфеноляті сприяє підвищенню антикорозійних властивостей.

Основними чинниками, що впливають на фізичну стабільність циліндрової оливи є співвідношення сульфонат/фенолят в сульфофеноляті. Зі збільшенням в ньому алкілфеноляту фізична стабільність оливи знижується. Крім того, на фізичну стабільність впливає технологія карбонатації та концентрація сукцинімідного додатку.

Олива характеризується високими трибологічними властивостями.

Отримані результати засвідчили, що функціональні характеристики циліндрової оливи залежать як від структури вуглеводневого радикалу зольних детергентів (довжини і розгалуженості), технології карбонатації так і співвідношення додатків у композиції.

2. Обґрунтовано оптимальні параметри рецептури оливи та технології одержання високолужних легувальних додатків до неї.

УДК 665.6(567)(045)

Ибрагим Асаад М.Али, аспирант,
С.В. Бойченко, д.т.н., профессор,
(Национальный авиационный универстит, Украина),
Б.Ф. Кочирко
(УкрНИИ НП «МАСМА», Украина),

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РУМАЙЛА (ИРАК)

В работе представлены результаты исследований физико-химических характеритик нефти месторождения Румайла

Иракские нефти одни из самых известных типов нефтей в мире. Они характеризуются различными физическми и химическми характеристиками, концентрацей серы, областях парафинов и ароматических соединений.Нефтяные месторождения сконцентрированы в северных и южных Ирака.

Румайла (Эр-Румайла, Румейла), англ. Rumaila — супергигантское нефтяное месторождение в Ираке (Нефтегазоносный бассейн Персидского залива), находящиеся в южной части Ирака около г. Басры. Открыто в 1953 году. Залежи нефти на глубине 2,0-3,8 км. К северной части Румайлы относят и месторождение Западная Курна.Геологические запасы оцениваются 5,4 млрд т.

Определение основных физико-химических характеристик представленного образца нефти Румайла.

Нефть месторождения Румайла отличается от друих нефтей за физическими (плотност,вязкость,фракционный состав и тп.) и химическими свойствами (содержание серы,смол,парафинов,групповой состав и тп),которые определяют направление переработки нефти и существенно влияют на качество полученных нефтепродуктов.Поэтому очень важно классифицировать нефть в зависимости от ее свойств.

В табл.1 представлены основные показатели физико-химических свойств образца нефти Румайла. В соответствии, с ГОСТ9965 Нефть для нефтперерабатывающих предприятий. Технические условия " и технологической классификацией этот образец нефти за показателями степени подготовки к переработки "концентрацей хлористых солей, " содержанием воды, "механических примесейотносится к 1группе.

За значениями показателей "содержание серы" и "плотность "представленный образец относится к 2 классу и 2 типу.

Условная запись нефти состоит из трех цифр,которые отвечают классу,типу и группе. Поэтому исследуемую нефть необходимо обозначать 1.2.2.

Результаты исследования фракционного со става нефти .

Результаты исследований представлены в табл 2.

Каждая из полученных нефтяных фракций характеризуется температурными пределами выкипания, т.е температурами начала и конца кипения .

Таблица 1

Физико-химическая характеристика представленного образца нефти.

№ п/п	Показатели	Фактические данные	Метод испытаний
1	Плотность при 20 °С,кг/м^3	867,5	ГОСТ 3900
2	Содержание серы,% мас.	1,38 %	ГОСТ 1437
3	Содержание воды,% мас.	отс.	ГОСТ2477
4	Содержание мех. примесей,% мас.	отс.	ГОСТ 6370
5	Концентрация хлористых солей,мг/дм^3	21,16	ГОСТ 21534
6	Выход, %масс; до 200 °С до 350 °С	 24,06 49,36	ГОСТ11011

Таблица 2

Результаты определения фракционного состава в соответствии ГОСТ 11011

№ п/п	Температурные границы отбору фракций , °С	Выход , %масс	
		Отдельных фр.	Суммарный
1.	НК-50°С	0.21	0.21
2.	50-60°С	0.27	0.48
3.	60-70 °С	0.68	1.16
4.	70-80°С	1.09	2.25
5.	80-90°С	0.95	3.20
6.	90-100 °С	0.52	3.72
7.	100-110 °С	0.58	4.57
8.	110-120 °С	1.34	5.91
9.	120-130 °С	1.26	7.17
10.	130-140 °С	1.86	9.03
11.	140-150 °С	2.66	11.69
12.	150-160 °С	4.22	15.91
13.	160-170 °С	3.52	19.43
14.	170-180 °С	3.76	23.19
15.	180-190 °С	0.63	23.82
16.	190-200 °С	0.24	24.06
17.	200-210 °С	0.92	24.98
18.	210-220 °С	1.56	26.54
19.	220-230 °С	1.19	27.73
20.	230-240 °С	0.97	28.70
21.	240-250 °С	1.67	30.37
22.	250-260 °С	0.83	31.20
23.	260-270 °С	1.68	32.88
24.	270-280 °С	1.69	34.57
25.	280-290 °С	1.02	35.59
26.	290-300 °С	2.43	38.02
27.	300-310 °С	2.55	40.57
28.	310-320 °С	2.31	42.88
29.	320-330 °С	2.34	45.22
30.	330-340 °С	1.34	46.56
31.	340-350 °С	2.80	49.36
32.	350-360 °С	2.23	51.59
33.	360-370 °С	2.31	53.90
34.	370-380 °С		
35.	380-390 °С		
36.	390-400 °С	1.69	55.53
37.	400-410 °С	1.23	56.76
38.	410-416 °С	2.71	59.52

Нефть состоит из большого количства углеводородов ,которые имют различные температуры кипиния.Полностью разделить нефть на индивидуальне вещества не представляется возможным,но в этом и нет необходимости ни для ее исследования,и для промышленного использования .Дальнейшие исследования связаны с разделением нефти на фракции в соответствии с температурами кипения .Т.е.,фракционный состав нефти является одной из наиболее важных ее характеристик.

В табл. 2 представлено результаты определения фракционного состава представленного образца нефти в соответствии ГОСТ 11011. Выход бензиновой фракции н.к (36,4) – 180 ˚С составляет 23,19 % масс.,выход дизельной фракции 180-350 ˚С -26,17% масс.Общий выход светлых фракции, что выкипают до 350 ˚С,составляет 49,36% масс.Они получены путем атмосферной перегонки нефти.Остатком атмосферной перегонки нефти,что выкипает после 350 ˚С,является мазут.Его выход с представленного образца нефти составлят 50,64 % масс.

Основные свойства бензиновой и дизельной фракций представлены в табл.3.

Таблица 3

Физико-химические характеристики бензиновой и дизельной фракций

№ п/п	**Показатели**	**Бензиновая фракция**	**Дизельная фракция**	**Метод испытаний**
1.	Плотность при 20 ˚С,кг/м^3	748.0	850.5	ГОСТ 3900
2.	Содержание серы,% мас.	0.06	1,42	ГОСТ 1437
3.	Йодное число , г I_2/100 г	-	1.6	ГОСТ 2070
4.	Кислотность мг КОН/100 г	3.16	6.52	ГОСТ 5958
5.	Кинематическая вязкость,мм^2/с	-	8.22	ГОСТ 33

Вывод

В даной работе Исследовано основные физико.химические свойства и фракционный состав нефти месторождения Румайла(Ирак). Определено выход светлых фракций нефти (бензиновой и дизельной),и исследованы их основные физико –химические свойства.

УДК 574.63:658:665.75 (043.2)

Л.І. Павлюх,
С.В. Бойченко, доктор технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ НАФТОВМІСНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ АВІАПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Наведено нафтоємності органічних сорбентів на основі рослинної сировини. Вивчено вплив різних факторів на підвищення нафтопоглинальних властивостей рослинних сорбентів.

Україна серед європейських держав має найвищий інтегральний показник негативних антропогенних навантажень на навколишнє природне середовище практично на всій її території, а ефективність використання водних ресурсів надзвичайно низька.

Основними джерелами забруднення природних водоймищ є нафтовмісні промислові стоки. Склад і концентрація промислових стічних вод дуже різноманітні та залежать від типу виробництва та особливостей технологічного процесу. Промислові стічні води містять різні хімічні речовини, у тому числі токсичні, часто мають специфічний запах, колір, підвищену температуру. Нафтопродукти, що містяться у стічних водах негативно впливають на організм людини, тваринний світ, водну рослинність, фізичний, хімічний та біологічний стан водоймища.

У рамках проблеми забруднення водних об'єктів України чільне місце займають авіапідприємства, серед яких Міжнародний аеропорт "Київ" (Жуляни). Щорічно у р. Нивка, яка впадає в Дніпро, потрапляє 165,6 тис. м^3 забруднених стоків. На території аеропорту є двоє очисних споруд, схеми яких ідентичні і зображені на рис. 1.

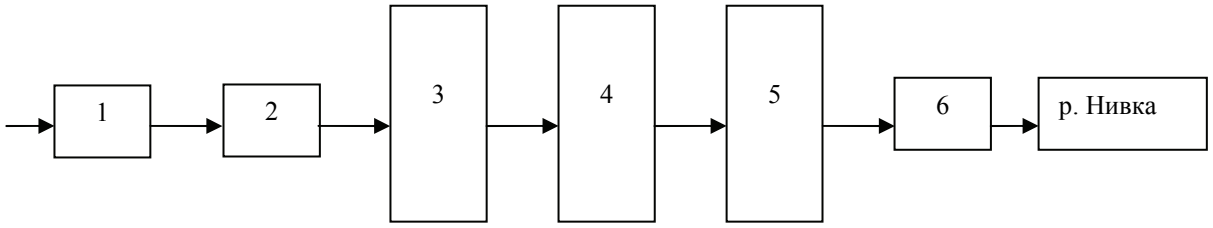


Рис. 1. Схема очищення стічних вод аеропорту "Київ" (Жуляни): *1* – піскоуловлювачі; *2* – відстійники завислих речовин (мулу); *3* – нафтоуловлювачі; *4* – додаткове очищення від нафтопродуктів графітовим сорбентом; *5* – збірник води з 4-х секцій; *6* – колектор.

На рис. 2 показано ефективність очищення стічних вод від нафтопродуктів за схемою, що представлена на рис. 1.

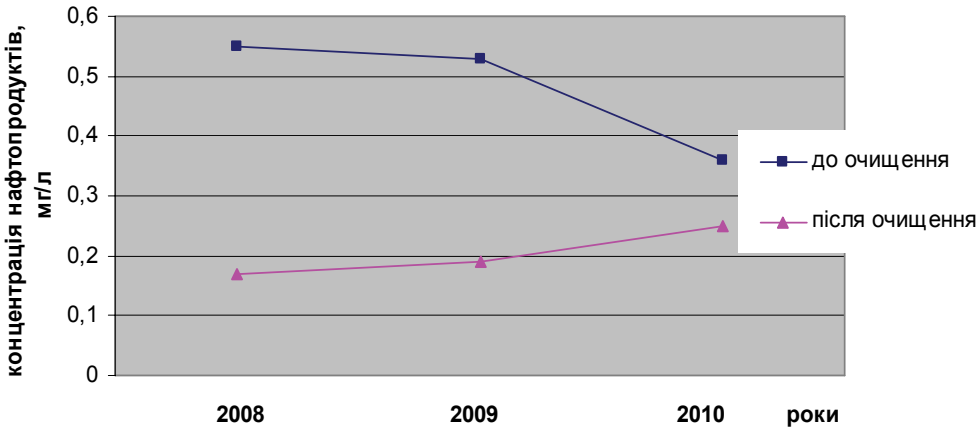


Рис. 2. Ефективність очищення нафтовмісних стоків аеропорту “Київ” (Жуляни).

Оскільки стоки аеропорту потрапляють у р. Нивка, то гранично допустима концентрація за таким показником як нафтопродукти повинна не перевищувати 0,05 мг/л. Із рис. 2 видно, що з кожним роком ступінь очищення стічних вод від нафтопродуктів знижується, причиною цього є неефективне очисне устаткування та недостатньо високі поглинальні властивості графітового сорбенту, що використовується (рис.1). Тому, покращення поглинальних властивостей сорбційних матеріалів під час комплексного очищення стічних вод є актуальною науково-прикладною проблемою.

Серед широкого кола сорбційних матеріалів основну увагу у роботі приділено органічним сорбентам на основі рослинної сировини, що не є дефіцитними, мають низьку вартість у порівнянні з таким відомим сорбентом як активоване гранульоване вугілля, дають змогу з високим ступенем видаляти нафтопродукти з водного середовища, а також ліквідувати відходи сільськогосподарського виробництва, чого не завжди можна досягнути при використанні інших, більш відомих сорбентів. Як матеріали під час виробництва таких сорбентів використовують лушпиння гречки, соняшника, вівса, рису, шкарлупу грецького горіха, кукурудзяні відходи, відходи переробки трав, опале листя, солому, відходи шкіряного і хутрового виробництва, хітин, хітозан [1].

На рис. 3 наведено нафтоємності вивчених органічних сорбентів.

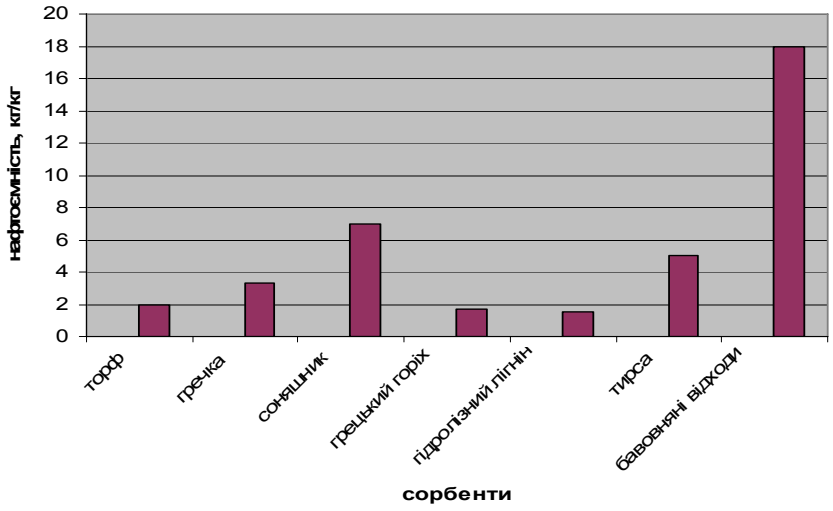


Рис. 3. Нафтоємності органічних сорбентів

Із рис. 3. видно, що органічні сорбенти мають високі поглинальні властивості. Так, наприклад, кілограм тирси здатен поглинати до 5 кг нафтопродуктів, лушпиння соняшнику – до 7 кг, а бавовняних відходів – до 18 кг нафтопродуктів.

Для покращення нафтопоглинальних властивостей таких сорбентів як лушпиння соняшнику та гречки одним з найкращих і достатньо ефективних методів є використання високих температур [2]. Дані наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Вплив температури на нафтоємність сорбентів

Сорбент	Параметри обробки		Вихід сорбенту, %	Нафтоємність, кг/кг
	Час впливу, хв	Температура, ºС		
лушпиння гречки	20	150	89	3,34
	10	450	19,6	0,66
лушпиння соняшнику	15-30	300-400	40-50	6-8

Для ефективнішого поглинання нафтопродуктів сорбентами із тирси та гідролізного лігніну слід використовувати, як модифікатори, мінеральні кислоти, органічні та неорганічні сполуки [1]. Дані досліджень наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вплив мінеральних, органічних сполук на нафтоємність сорбентів

Сорбент	Реагент впливу	Нафтоємність, кг/кг
Тирса	Вихідна сировина	4,3
	Соляна кислота	5,0
	Фосфорна кислота	5,3
	Азотна кислота	4,4
	Сірчана кислота	6,6
	Гідроксид натрію	5,0
	Сульфанілова кислота	5,0
	Сульфо-саліцилова кислота	6,3
	Гліцерин	4,5
	Парафін	8,3
Гідролізний лігнін	Вихідна сировина	1,5
	Каустична сода	1,85
	Аміачна вода	3

Як вихідну сировину було відібрано тирсу з розміром частинок 0,5-2,5 мм.

Як видно із наведених результатів, мінеральні та органічні сполуки значно покращують нафтоємність тирси, а каустична сода та аміачна вода – нафтоємність гідролізного лігніну. У зв'язку з цим відкриваються нові можливості і перспективи використання органічних, мінеральних та неорганічних сполук для підвищення сорбційної здатності тирси та гідролізного лігніну як вихідних матеріалів для отримання нафтових сорбентів.

Окрім розглянутих способів впливу на нафтопоглинальні властивості сорбентів, потрібно звернути увагу на найпростіший спосіб – подрібнення собційного матеріалу, збільшення площі поглинальної здатності по відношенню до нафти та нафтопродуктів. При подрібненні може досягатися критичний розмір частинок сорбенту, коли процес змочування нафтою припиняється і сорбція не відбувається. Справжня межа подрібнення у технології

виробництва нафтових сорбентів залежить від природи матеріалу, що використовується і складає не менше 0,1 мкм. Збільшення ступеня дисперсності доцільно при використанні таких сорбентів як торфу, шкарлупи грецького горіха, тирси. Дані залежності нафтоємності торфу від збільшення ступеня його дисперсності представлено на рис. 4.

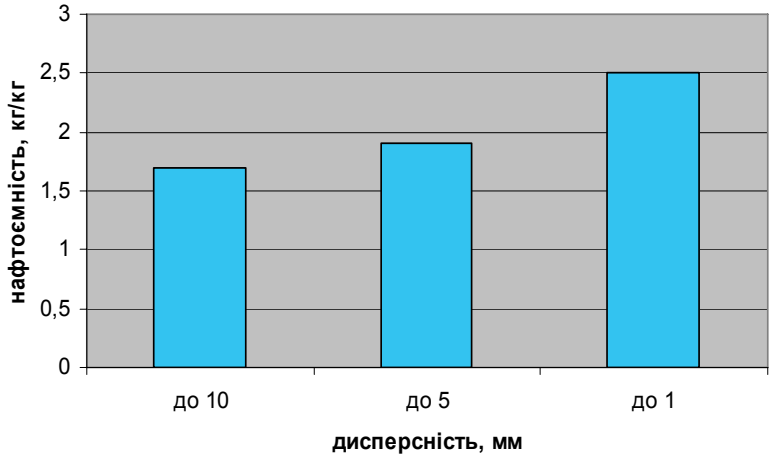


Рис.4. Вплив ступеня дисперсності торфу на його нафтоємність

Із рис. 4 видно, що залежність між нафтопоглинальною здатністю торфу і збільшенням ступеня дисперсності цього сорбенту має прямо пропорційний характер.

Висновки

Із наведеного матеріалу випливає висновок про доцільність та необхідність розробки та дослідження методів, що покращують нафтопоглинальні властивості органічних сорбентів на основі рослинної сировини, що представляють практичний інтерес для підприємств авіапаливозабезпечення.

Список літератури

1. Каменщиков Ф.А. Нефтяные сорбенты / Ф.А. Каменщиков, Е.И. Богомольный. – Москва-Ижевск : НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2005. – 268 с.

2. Земноухова Л.А. Изучение сорбционных свойств шелехи риса и гречихи по отношению к нефтепродуктам / Л.А. Земноухова, Е.Д. Шкорина, И.А. Филиппова // Химия растительного сырья. – 2005. – №2. – С. 51–54.

3. Багровская Н.А. Сорбционные свойства модифицированных древесных опилок / Н.А. Багровская, Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, С.А. Лилин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2006. – № 1. – С. 1–7.

4. Швец Д.И. Углеродные сорбенты растительного происхождения для очистки воды от нефти / Д.И. Швец, О.В. Кравченко, Н.М. Опенько, Г.Т. Ситкарев // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №4. – С. 29–32.

УДК 665.733.003.13

І.В. Дрогобицька, асп., С.В. Бойченко, д.т.н., проф.
В.П. Захарчук, доц., Л.М. Черняк, к.т.н.,
(Національний авіаційний університет, Україна).

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МІНІМІЗАЦІЇ ВТРАТ ЛЕТКИХ ФРАКЦІЙ ВУГЛЕВОДНІВ НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОПРОДУКТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Наведено огляд та аналіз методів і технологій зниження втрат світлих нафтопродуктів від випаровування в процесі зберігання та перекачування. Обґрунтовано перспективність застосування еластичних газгольдерів-накопичувачів вітчизняного виробництва та низькотемпературних машин Стірлінга.

Викиди парів легких фракцій вуглеводнів (ЛФВ) в атмосферу різко погіршують екологічне становище в районах розташування резервуарних парків. Пари ЛФВ переносяться вітром до житлових і промислових об'єктів, що призводить до значного перевищення їх гранично допустимих концентрацій. Висока концентрація ЛФВ в робочій зоні під час зливо-наливних операціях збільшує ризики вибухів і пожеж, що в основному і обумовлює максимально високий рівень пожежної небезпеки для об'єктів по перевалці нафтопродуктів.

Нафта та нафтопродукти від видобутку до споживача проходять до 20 циклів перевалки, кожна з яких викидає в атмосферу пароповітряну суміш (ППС), що дорівнює за обсягом кількості переваленного продукту. При цьому в одному кубічному метрі ППС міститься від 0,6 (при 0^0С) до 1,5 кг (при 25^0С) ЛФВ, що еквівалентно відповідно 1-2 літрам відновленого бензину.

Принципово новий підхід до проблеми уловлювання ЛФВ при транспортуванні, зберіганні та заправці може бути реалізованим на основі способу розділення пароповітряної суміші за рахунок конденсації пари легких вуглеводнів у контактному теплообміннику при барботажі пароповітряної суміші через шар охолодженого продукту. У якості охолоджуючого середовища при цьому використовується рідкий азот.

Раніше цей спосіб не застосовувався на практиці через труднощі доставки рідкого азоту до місця зберігання нафтопродуктів.

Найбільш перспективним шляхом у розв'язанні екологічних і енергетичних проблем є розробка, виробництво та широке впровадження енергоперетворюючих систем на основі машин Стірлінга (двигуни і холодильні машини Стірлінга). Теоретично двигуни, що працюють за циклом Стірлінга, потенційно найбільш високоефективні машини з усіх існуючих двигунів і холодильних машин. Перспективи використання машин Стірлінга у різних галузях енергетики стали очевидними для усіх промислово розвинутих країн світу. Провідними країнами в області проектування і створення машин Стірлінга є США, Велика Британія, Японія, Німеччина, Швеція та Нідерланди.

Машини Стірлінга – це машини, що працюють по замкненому термодинамічному циклу, у якому циклічні процеси стискання і розширення відбуваються при різних рівнях температур, а керування потоком робочого тіла здійснюється шляхом зміни його об'єму [3].

Машини, що працюють за циклом Стірлінга – це перетворювачі енергії прямого і зворотного циклів:

прямий цикл (двигуни, Стірлінг-генератори; насоси, нагнітачі);

зворотній цикл (кріогенні машини, машини помірного холоду, теплові насоси).

Конструктивно машини Стірлінга представляють собою поєднання в одному агрегаті компресора, детандера і теплообмінних пристроїв: теплообмінники навантаження (нагрівача чи конденсатора), регенерат-тора та холодильника. У якості робочого тіла використовується гелій або азот, який у внутрішньому контурі машини здійснює прямий чи зворотній термодинамічний цикл. Машинам Стірлінга властиві висока ступінь екологічної чистоти, як робочих тіл, так і відпрацьованих середовищ, що утворюються під час їх роботи; а також

енергетична ефективність. Перевагами цих машин є висока енергетична ефективність; широка універсальність самого термодинамічного циклу, який дозволяє при різному конструктивному виконанні створювати як перетворювачі прямого циклу (двигуни), так і зворотного циклу (холодильні і криогенні машини).

Низькотемпературні холодильні машини Стірлінга високоефективно працюють в діапазоні до -250 ° С, що дозволяє скраплювати при атмосферному тиску весь спектр легких вуглеводнів. Ефективність застосування низкотемпературних машин Стірлінга для охолодження і конденсації газоподібних вуглеводнів доведена багаторічною експлуатацією систем реконденсації на закордонних газовозах.

Досвід застосування цих пристроїв показав їх високу ефективність і швидку (1-2 роки) окупність, особливо при роботі з відносно невеликим обсягом продукту.

Застосування еластичних резервуарів-газгольдерів дозволяє вирішити питання скорочений втрат нафтопродуктів і забруднення навколишнього середовища парами вуглеводнів при “великих і малих диханнях” з мінімальними трудовитратами і без безпосереднього втручання в роботу резервуарного парку.

Для установки еластичних газгольдерів-компенсаторів до кінців магістралі газовирівнювальної обв'язки резервуарного парку підключається колектор гнучкого повітропроводу, який забезпечує з'єднання еластичних газгольдерів з газовирівнювальною системою.

Під час приймання пального (або при сезонно-добовому нагріванні) пароповітряна суміш витискується з вільного об'єму резервуарів і надходить в еластичні резервуари. Під час зливу пального з резервуару повітря для наповнення вільного об'єму надходить з газгольдерів, які працюють в якості “дихальних клапанів”.

Застосування еластичних газгольдерів дає можливість скоротити втрати бензину на 95% в процесі зливо-наливних операцій.

Еластичні газгольдери виготовляються з полімерних композитних матеріалів, мають високу експлуатаційну надійність та високі бар’єрні властивості до парів і газів, стійкі до сонячної радіації та хімічних реагентів.

Еластичні газгольдери-накопичувачі, це відносно нове, комплексне і гранично економічне розв’язання проблеми рекуперації парів ЛФВ. Газгольдери-накопичувчі можуть бути виконані у вигляді внутрішньої еластичної діафрагми у корпусі сталевого резервуара, чи окремого купольного газгольдера або еластичного резервуару-газгольдера.

У середині спеціального резервуара РГС розміщується плівковий мішок, який слугує газгольдером. Внутрішній простір газгольдера сполучається з атмосферою. Всередині газгольдера знаходиться атмосферне повітря. При наливі продукту у РГС або при «малих диханнях» замість парогазової суміші бензину викидається чисте повітря з мішка. Замість мішка може бути використана мембрана, яка герметично закріплена за екваторіальному периметрі (по стінках) РГС, що відокремлює продукт від газового простору (чистого повітря). Мембрана виконує функцію понтона. Це дозволяє виключити втрати АЗС від "малих дихань" і при зливі нафтопродукту з бензовозу.

Еластичні газгольдери-компенсатори розташовуються на території нафтобаз, НПЗ, нафтоналивних терміналів, АЗС та інших об'єктів зберігання та розподілення світлих нафтопродуктів. Для застосування на об’єктах паливозабезпечення пропонується використання газгольдерів-компенсаторів у комбінації з вакуумно-конденсатною системою рекуперації стабільного газового конденсату. Оснащений газгольдерами-рекуператорами об’єкт паливозабезпечення може отримує до 1500 літрів конденсату з кожної тисячі кубометрів перевалки нафти або бензину.

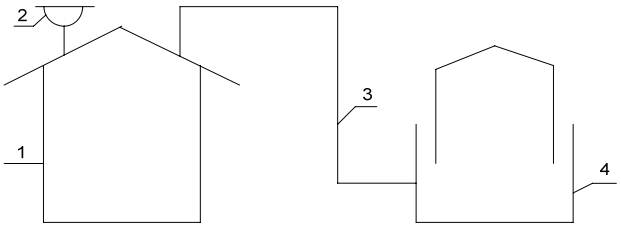


Рис.1. Принципова схема системи уловлювання ЛФВ резервуарного парку: 1-резервуар з бензином; 2-дихальний клапан; 3-газова обв'язка; 4-газгольдер низького тиску.

На Рис.1 представлена принципова схема уловлювання ЛФВ резервуарного парку об'єкта паливозабезпечення із застосуванням газовирівнювальної системи, еластичних газгольдерів та паралельно задіяних ланок компресорної установки і низькотемпературної машини Стірлінга.

Газгольдери розміщуються на будь-якому придатному для цих цілей ділянці резервуарного парку, так і всередині резервних резервуарів. До них надходить парогазова суміш з внутрішньої порожнини резервуарів зберігання при підвищенні температури за рахунок природного нагрівання ("малі дихання") протягом денного часу доби, а також при великих диханнях в процесі заповнення паливом резервуарів. Пари повертаються назад у резервуари при зниженні температури їх газового простору у вечірній і нічний час або при відпуску продукту споживачам. Подібні системи можуть використовуватися як на нафтобазах, так і на АЗС.

При досягненні загального тиску в газовирівнювальній системі до заданої величини, вмикається компресорна установка уловлювання легких фракцій. Компресорна установка оснащена теплообмінниками із зливними пристроями, автоматичною системою видалення конденсату, ємністю для накопичення конденсату і насосом для перекачування конденсату. Принцип дії заснований на ступінчастому стисненні паро повітряної суміші з подальшим охолодженням, в результаті чого відбувається конденсація парів нафтопродукту. Конденсат збирається в накопичувальній ємності з якої закачується в резервуар під шар продукту.

При зниженні загального тиску в газовирівнювальній системі до заданої величини, компресорна установка вимикається.

Висновки

При визначенні системи заходів по відверненню втрат від випаровуваввння необхідно враховувати фізико-хімічні властивості нафтопродуктів, в першу чергу пружність парів; метеорологічні умови; графіки приймання і відпуску нафтопродуктів.

В умовах сучасного стану технічного забезпечення і економічних можливостей об'єктів паливозабезпечення України найбільш ефективними є системи уловлювання ЛФВ оснащені еластичними газгольдерами-накопичувачами (компенсаторами) вітчизняного виробництва, компресорними установками та низькотемпературними машинами Стірлінга.

Список літератури

1. *Бойченко С.В.* „Технологічні основи енергоощадності в процесах транспортування та зберігання мото-рних палив". Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – Київ.: НАУ, 2004р.-32 с.

2. Современная АЗС „Экономный стирлинг ", июнь, 2004 г.

3.http://physicstoys.narod.ru/page/vvedenie.html

УДК 662.74:662.66.016

Н.А. Десна, Д.В. Мирошниченко к.т.н. (Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт «УХИН», Украина)

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ИХ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТЬЮ

В результате проведенных исследований установлено, что насыпная плотность угольных концентратов, вследствие повышения их влажности и степени окисленности, может достигать 1 т/м^3, что необходимо учитывать при заполнении силосов закрытого угольного склада.

Основное назначение угольных складов на коксохимических заводах – создание запасов угля, обеспечивающих нормальную работу производства, а также сглаживание и компенсация неравномерности доставки углей на завод.

Преимуществами складов закрытого типа являются компактность, полная механизация перегрузочных операций, возможность использования склада как дозировочного отделения, защищенность угля от ветра, атмосферных осадков и отсутствие потерь угля при перегрузочных операциях.

В последнее время на некоторых предприятиях, использующих закрытые склады, участились случаи обнаружения достаточно крупных недостач угольного сырья. Целью нашего исследования является обнаружение причины данных недостач на базе КХП ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», а также разработка Инструкции по учету остатков угольных концентратов в силосах закрытого склада угля, которая бы предотвратила появление указанных недостач.

Коксохимическое производство ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» включает в себя углеподготовительный цех, имеющий в своем наличии закрытый склад угля, состоящий из 68 силосов, вследствие чего решение данной проблемы для этого предприятия особенно актуально.

При обычной практике остатки на закрытом складе замеряются путем перемножения заданной величины насыпной плотности (в технологическом регламенте углеподготовительного цеха указана величина 0,75 т/м^3) угольного концентрата и объема, который он занимает в силосе. Учитывая это, основное исследование было направлено на определение насыпной плотности угольных компонентов, участвующих в сырьевой базе КХП ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Величина насыпной плотности является важной технологической характеристикой углей, оказывающей существенное влияние на производительность коксовых батарей, качество кокса и выход химических продуктов коксования. В литературе достаточно широко освещены вопросы влияния различных факторов на насыпную плотность углей. В основном это касается влажности, зольности и гранулометрического состава [1 - 3]. Также некоторые авторы [4] отмечают существенное изменение насыпной плотности углей от их срока хранения, то есть степени окисленности. Так, после хранения шихт на Кемеровском заводе в течение 3,5 месяцев увеличение насыпной плотности составляет 3,7 %. В результате окисления того же угля в сушильном шкафу при температуре 130-140 ^{0}С в течение 72 часов его насыпная плотность увеличилась на 8,5-10,6 % [4]. Исследования показали, что в начальный период хранения угля в штабелях до 30-45 дней насыпная плотность в зависимости от марки угля увеличивается на 3-14 %; в период хранения от 45 до 60 дней она относительно уменьшается, особенно у газовых и длиннопламенных углей; в дальнейшем, при хранении до 90-135 дней насыпная плотность опять повышается на 2-5 % в зависимости от марки угля и условий хранения. Определение насыпной плотности угольных концентратов проводилось одновременно на двух уровнях – в малом аппарате и в силосах.

Пробы 16 угольных концентратов, входящих в заводскую сырьевую базу были

подвержены определению насыпной плотности в малом аппарате, установленном на предприятии. Методика определения насыпной плотности угольных концентратов и угольной шихты фактической влажности и крупности основана на определении массы угля, заполнившего мерный контейнер (V=0,01 м^3) аппарата после сбрасывания с высоты 2000 мм. Определение насыпной плотности в силосе происходило следующим образом: в опорожненный бункер закрытого склада закачивался угольный концентрат; проводились замеры высоты угля в нем в шести точках при помощи шнура с грузом (лота); по градуировочной таблице определялся объем, занимаемый в силосе данным концентратом. Одновременно с этим по весам фирмы «Шенк» определялась масса закачиваемого в силос угля. Насыпная плотность данного концентрата в силосе путем деления его массы на занимаемый объем.

Необходимо отметить, что степень окисленности оценивалась по методу ИГД АН СССР - УХИНа «Определение степени окисленности углей». Согласно этому методу, для характеристики степени окисленности испытуемого угля определяют максимальную и минимальную температуры возгорания его путем добавки к навеске угля бензидина, обладающего свойством восстанавливать первоначальную температуру возгорания свежего неокисленного угля (максимальный предел) и путем низкотемпературного окисления угля пергидролем (минимальный предел). На основании полученных результатов рассчитывают степень окисленности (d_o, %) угля по формуле:

$$d_o = \frac{T_{B1} - T_B}{T_{B1} - T_{B2}} \cdot 100$$

где T_{B1} - максимальная температура возгорания по бензидину, или, что, то же, температура возгорания свежего неокисленного угля, ^{0}C;

T_{B2} – минимальная температура возгорания, т.е. температура возгорания угля, окисленного при заданных условиях пергидролем, ^{0}C;

T_B – температура возгорания исследуемого угля, ^{0}C.

В упрощенном виде определяется только разность температур между максимальной температурной возгорания по бензидину и температурой возгорания исследуемого угля, ^{0}C, а полученные результаты оценивались по условной шкале:

- уголь с показателем степени окисленности Δt ^{0}C до 7 ^{0} условно принимается за неокисленный;
- при Δt ^{0}C от 7 до 12 ^{0} уголь слегка окисленный;
- при Δt ^{0}C более 12^0 уголь окислен.

Для исследования были отобраны 7 угольных концентратов марки «Ж» (компания «Укркокс», ЦОФ «Киевская»), 2 угольных концентрата смеси марок «КЖ+К+КО» (ЦОФ «Восточная», Казахстан), 6 угольных концентратов марки «К» (ОФ «Донецксталь-МЗ», компания «Укркокс», ЦОФ «Северная», Россия) и один угольный концентрат смеси марок «К+КО+ОС» (ЦОФ «Северная», Россия). Всего 16 проб. В таблице 1 приведены максимальные, минимальные и интервал значений показателей качества исследованных углей.

Таблица 1

Значения и интервал показателей качества углей

Показатель	Символ, ед. измерения	Значение		
		максимальное	минимальное	интервал
1. Общая влага	W^r_t, %	23,3	6,6	16,7
2. Влага аналитической пробы	W^a, %	13,2	0,7	12,5
3. Зольность	A^d, %	15,4	4,4	11,0
4.Степень окисленности	Δt, ^{0}C	54,0	1,0	53,0
5. Средний диаметр	$d_{ср}$, мм	15,76	1,76	14,0
6. Насыпная плотность в малом аппарате	$(BD)^r$, кг/м^3	975	824	151
7. Насыпная плотность в силосе	$(BD)^r_c$, кг/м^3	979	852	127

Исходя из данных таблицы 1, можно констатировать, что общая влага изменялась от 6,6 до 23,3 %, влага аналитической пробы от 0,7 до 13,2 % , зольность от 4,4 до 15,4 %, средний диаметр от 1,76 до 15,76 мм, степень окисленности от 1 до 54 ^{0}C, значения насыпной плотности исследованных угольных концентратов в силосе составляли величины 0,852-0,979 т/м^3.

Учитывая данное обстоятельство, становится ясным, что обнаруженные недостачи являются следствием того факта, что насыпная плотность угольных концентратов значительно превышает нормативную на предприятии – 0,75 т/м^3.

Можно подсчитать, что при изменении насыпной плотности загружаемого в силос (V=2700 м^3) материала от 0,75 до 0,98 т/м^3 его масса увеличивается от 2025 до 2548 т или на 25,8%. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации складов закрытого типа на коксохимических производствах Украины.

Для устранения данных невязок представляется необходимым определение причины повышения насыпной плотности угольных концентратов, а также разработка метода определения или расчета насыпной плотности для замера остатков угольного сырья.

Коэффициенты парной корреляции исследованных взаимосвязей между технологическими показателями угольных концентратов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты парной (r) корреляции исследованных связей

-	W^r_t	W^a	A^d	Δt	d_{cp}	BD^r
W^r_t	-	0,864	0,497	0,893	0,206	0,666
W^a	0,864	-	0,317	0,966	0,364	0,783
A^d	0,497	0,317	-	0,301	-0,275	0,384
Δt	0,893	0,966	0,301	-	0,263	0,792
d_{cp}	0,206	0,364	-0,275	-0,312	-	0,263
BD^r	0,666	0,783	0,384	0,792	-0,312	-

Исходя из приведенных в таблице данных, можно сделать вывод, что в условиях данной выборки наиболее тесно с насыпной плотностью коррелируют следующие показатели качества угля:

- степень окисленности (r=0,792);
- аналитическая влага (r=0,783);
- рабочая влага (r=0,666).

Величины зольности (r=0,384) и среднего диаметра (r=0,263) менее тесно связаны с насыпной плотностью углей.

График зависимости между насыпной плотностью и степенью окисленности углей представлен на рис. 1.

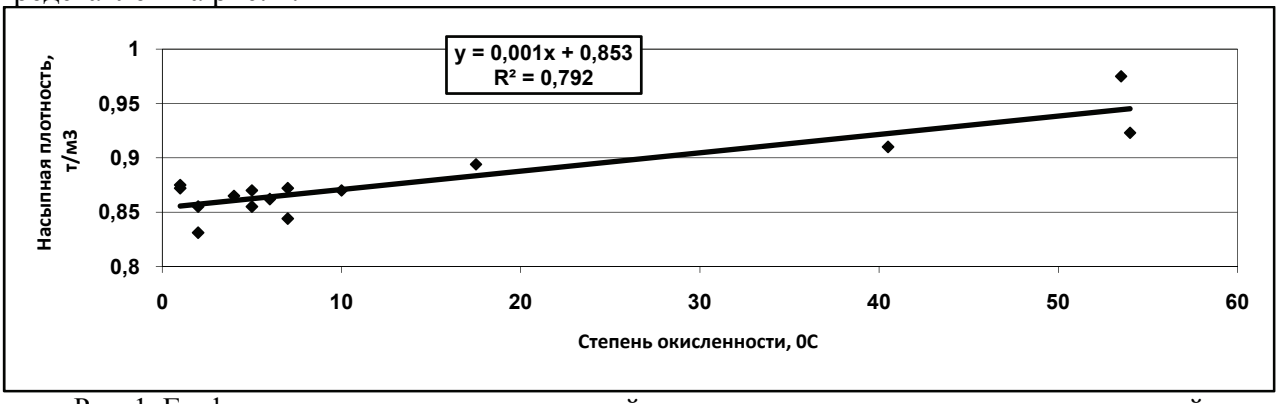


Рис. 1. График зависимости между насыпной плотностью и степенью окисленности углей

Анализируя график и приведенную на рисунке математическую зависимость, можно констатировать, что увеличение степени окисленности угольного концентрата на 10 ^{0}C приводит к росту его насыпной плотности на 0,017 т/м^3.

Это явилось следствием того факта, что, в связи с повышением требований к качеству кокса и сложившейся ситуацией с истощением отечественных коксующихся углей,

украинские коксохимические предприятия (в том числе и КХП ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог») вынуждены вводить в сырьевую базу коксования угли ближнего (Россия, Казахстан) и дальнего (США, Австралия, Канада и т.д.) зарубежья, а также угли малых предприятий Украины, которые во многом окислены.

По нашему мнению механизм увеличения насыпной плотности углей вследствие повышения их степени окисленности может выглядеть следующим образом.

Окисление угля сопровождается ростом общей и аналитической влажности в результате физической и химической сорбции ее на поверхности угольных частиц. На поверхности угольных частиц вода образует тончайшую пленку, которая благодаря силам смачивания удерживает находящиеся рядом зерна как бы слипшимися. По мере увеличения влажности (окисленности) угольной массы пленка воды на зернах увеличивается, сила сцепления ослабевает, что позволяет зернам двигаться свободнее и укладываться плотнее. В конечном итоге это приводит к увеличению насыпной плотности угольных концентратов в силосах.

На основании проведенных исследований разработана Инструкция по учету остатков угольных концентратов в силосах закрытого склада угля углеподготовительного цеха КХП ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», основные положения которой следующие:

Замер остатков угольных концентратов (т) в силосах закрытого склада производится путем умножения объема ($м^3$), занимаемого углем в силосе, на его насыпную плотность ($т/м^3$).

Определение насыпной плотности угольных концентратов производится непосредственно в силосах закрытого склада 2 раза в год (1-15 октября и 1-15 апреля), а также, независимо от времени года, для вновь поступивших угольных компонентов по указанной выше методике.

При невозможности определения насыпной плотности угольного концентрата непосредственно в силосе (BD^r_C), насыпную плотность определяют в малом аппарате и пересчитывают по формуле:

$$BD^r_C=494{,}551+0{,}508BD^r,\ т/м^3$$

где BD^r – насыпная плотность, определенная в малом аппарате.

В целом, по итогам данного исследования можно сделать следующие основные выводы:

1. Насыпная плотность угольных концентратов, вследствие повышения их влажности и степени окисленности может достигать 1 $т/м^3$, что необходимо учитывать при эксплуатации силосов закрытого склада угля.

2. Необходимо включить в схему контроля прибывающих угольных концентратов определение степени их окисленности и учитывать данный показатель при заполнении бункеров закрытого угольного склада.

Список литературы

1. *Калач Н. И.* О влиянии различных факторов на насыпную массу угольной шихты // Кокс и химия. – 1976 - №9 – С.9-10

2. *Златин Л. Е., Ишутина Л. М., Кузеванова А. В., Штейн А. Л. и Денисов А. М.* Оптимальное измельчение и насыпная масса угольной шихты // Кокс и химия. – 1972 - №5 – С.6-9

3. *Златин Л. Е., Ишутина Л. М., Швед В. С., Денисов А. М. Кузеванова А. В.* Влияние различных факторов на насыпную массу углей и шихт // Кокс и химия. – 1974 - №3 – С.8-10

4. *Агроскин А.А., Григорьев С.М., Петренко И.Г., Питин Р.Н.* Насыпной вес углей для коксования. Изд-во АН СССР, Москва, 1956.

УДК 662.749.38

Ф.Ф. Чешко, к.т.н., Э.Б. Цыгичко, Л.П. Банников, к.т.н. (УХИН, Украина)

РАСШИРЕНИЕ ОБЪЕМА ВЫРАБОТКИ ПЕКА-СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ

В работе обоснована актуальность и изложены принципы увеличения объема производства электродного пека для получения алюминия. Суть разработанного принципа заключается во внесении в каменноугольную смолу в процессе ее ректификации химически-активной добавки, которая способствует переводу в состав пека наиболее высокомолекулярных компонентов антраценовой фракции.

В настоящее время в алюминиевой промышленности ощущается дефицит пека-связующего, служащего материалом для самообжигающихся анодов (компонентом т. наз. анодной массы) [1]. Данная проблема актуальна для фирм США, Европы, России и др. стран, занимающих лидирующие позиции в мировом производстве алюминия.

Украина не располагает значимым промышленным потенциалом в данной области, однако является крупным поставщиком на международный рынок электродного пека. Последний производят из фракций каменноугольной смолы (КУС), не выкипающих при температурах $\leq$ 390-400 ^{o}C, и представляющих собой донный продукт процесса ее ректификации (среднетемпературный пек, СТП). В свою очередь, КУС является побочным продуктом производства металлургического кокса. В силу своей развитой черной металлургии, Украина располагает значительными ресурсами КУС и мощностями по ее переработке, что и определяет заметные позиции на мировом рынке каменноугольного пека.

Дисбаланс между производством и спросом на каменноугольный пек – в том числе и для алюминиевой промышленности – определяет стремление фирм-потребителей к поиску альтернативных источников связующих материалов. Так, например, в мировой практике известны попытки перевода предприятий на использование нефтяных пеков. Положительный опыт их применения имеется в США, Канаде. Подобные попытки предпринимались и в СССР. В 1988-89 гг. на Днепровском и Иркутском алюминиевых заводах были испытаны промышленные партии нефтяных пеков фирмы «Ашланд петролеум» с температурой размягчения 65 и 105 ^{o}C. В 1991 г. специалистами ГУП «Институт нефте-химпереработки РБ» была реализована на ОАО «НУНПЗ» в опытно-промышленных масштабах технология производства нефтяного пека из крекингового сырья. По результатам испытаний потребители признали целесообразность применения нефтяного пека только в смеси с каменноугольным [2, 3]. Таким образом, каменноугольный пек в силу ряда своих специфических свойств до настоящего времени остается незаменимым электродным связующим.

Поэтому гораздо более перспективным (особенно для условий Украины) направлением решения проблемы увеличения объемов выработки электродного пека является расширение сырьевой базы его производства за счет более легких фракций каменноугольной смолы. В первую очередь в этом плане представляет интерес так называемая антраценовая фракция (интервал выкипания 300-400 ^{o}C), используемая в настоящее время в качестве сырья для технического углерода.

Целым рядом работ, в т.ч. УХИНа, доказано, что на основе этого сырья путем применения специальных технологических приемов может быть получен материал, по технологическим свойствам не уступающий каменноугольному пеку [4-7].

Принимая средний выход антраценовой фракции от каменноугольной смолы равным 17 %, можно сделать вывод, что только в условиях одного коксохимического предприятия при годовой переработке 200 тыс. т смолы упомянутый вид сырья может обеспечить дополнительное производство 30000 т пека на каменноугольной основе.

При производстве компаундированного связующего, содержащего до 50 % традиционного пека, эта цифра может быть еще увеличена (за счет увеличения выхода пекоподобных компонентов из антраценовой фракции при ее совместной переработке с пеком).

В то же время следует заметить, что перечисленными выше работами исследовалась индивидуальная переработка антраценовой фракции либо ее подача в СТП при его переработке в электродное связующее. Такой подход обеспечивает значительный прирост выхода готового продукта. Однако с точки зрения всего комплекса потребительских свойств электродного пека представляется целесообразной разработка способа введения антраценовой фракции в СТП, минимально искажающего физико-химическую систему последнего. Механическое смешение в этом плане не является оптимальным вариантом.

Исходя из вышеизложенного, более приближенным к оптимальному представляется организация процесса переработки КУС таким образом, чтобы компоненты антраценовой фракции переходили в пек непосредственно на стадии термического фракционирования смолы.

Здесь следует упомянуть, что в настоящее время практически на всех отечественных предприятиях этот процесс осуществляется методом т. наз. однократного испарения, по которому разделение невыкипающей части КУС и смеси испаряемых фракций осуществляется одномоментно – при поступлении смолы, нагретой до 390-400 ^{o}C, в испаритель. Таким образом, самым простым решением было бы соответствующее снижение температуры ректификации смолы. Однако в этом случае среднетемпературный пек имеет слишком низкие значения технологических показателей, определяющих его пригодность к производству на его основе электродного связующего. К таковым, в частности, относятся выход коксового остатка, массовая доля наиболее высокомолекулярных компонентов, нерастворимых в толуоле и хинолине (соответственно, α- и α_1-фракций) и др. Дальнейшая переработка подобных пеков в электродное связующее требует специальных технологических приемов, вследствие чего ее осуществление на действующем оборудовании соответствующих цехов крайне затруднено.

Поэтому нами была разработана технология увеличения выхода СТП при ректификации КУС путем внесения в нее перед термофракционированием химически-активной добавки. Влияние последней заключается в инициировании термохимических процессов, приводящих к полимеризации и поликонденсации компонентов антраценовой фракции. Температура кипения продуктов подобных реакций возрастает, и они переходят в невыкипающий остаток, т.е. СТП.

В табл. 1 представлены данные по влиянию добавки на процесс термофракционирования КУС, полученные на лабораторной установке для разгонки смолы по методике, применяемой для сравнительных анализов различных смол [8].

Таблица 1

Результаты лабораторных исследований влияния добавки на выход СТП

Содержание фракций, %, выкипающих в интервале:	Массовая доля добавки, %			
	0	0,5	1,0	2,0
до 180^{o}C	1,1	1,4	1,0	1,0
180-200^{o}C	0,8	0,7	1,2	1,5
200-230^{o}C	13,1	13,7	13,0	13,4
230-300^{o}C	11,1	9,3	10,2	10,0
300-360^{o}C	10,4	10,3	10,0	9,9
360-380^{o}C	11,2	10,9	7,5	8,0
Выше 360^{o}C (пек)	51,1	52,6	56,1	55,1
потери	1,2	1,2	1,0	1,1

Как видно из приведенных данных, в условиях эксперимента внесение добавки способствует приросту выхода пека на величину до 5 % от массы каменноугольной смолы (в

условиях одного предприятия при переработке 200 тыс. т смолы в год это даст до 10 тыс. т дополнительного товарного продукта). Прирост выхода пека происходит, главным образом, за счет наиболее высокомолекулярной части антраценовой фракции (т. наз. вторая антраценовая фракция), выкипающей в пределах 360-380 ^{o}C – это наглядно демонстрируют зависимости, представленные на рисунке.

Учитывая так называемый масштабный фактор, есть все основания предполагать, что при применении данной добавки на промышленном оборудовании положительный эффект будет более выраженным [9]. Это предположение подтверждают результаты опытно-промышленных испытаний разработанного приема в условиях действующих промышленных установок разгонки каменноугольной смолы.

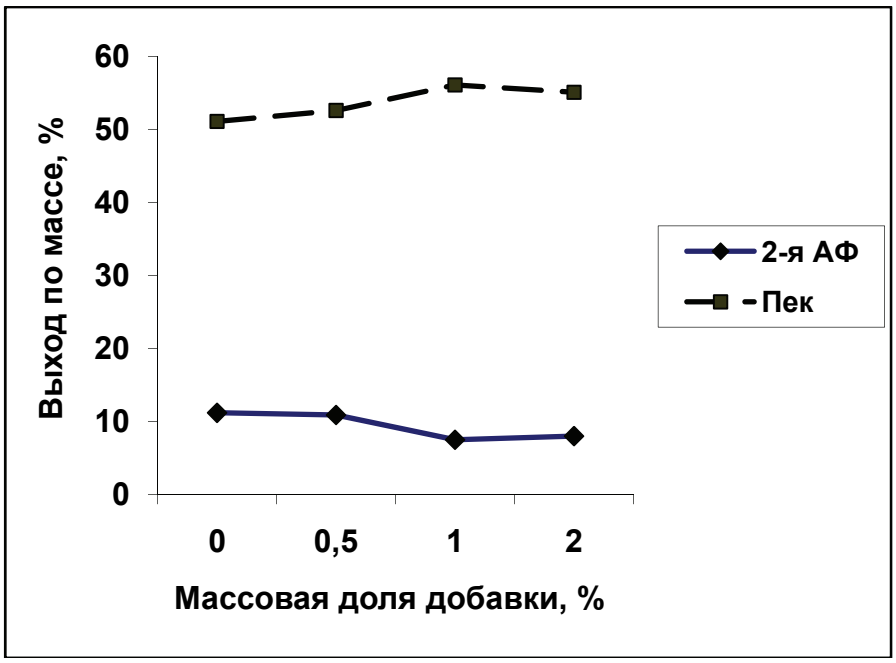


Рис.1. Зависимость выхода пека и второй антраценовой фракции от количества добавки, внесенной в КУС перед ректификацией

Испытания проводились как в наиболее распространенном в Украине процессе непрерывной ректификации, так и на периодической кубовой установке. Достигнутый прирост выхода пека превысил результат лабораторных исследований соответственно более чем в 7 раз и в 6,6 раз [9, 10].

Влияние добавки на наиболее значимые показатели качества полученных СТП представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние добавки на качество получаемого СТП

Показатели качества пека	СТП, полученный	
	без добавки	с добавкой
Температура размягчения, ^{o}C	80,0	80,0
Выход летучих веществ	58,3	57,5
Массовая доля α-фракции, %	27,5	28,5
Массовая доля α_1-фракции, %	8,2	8,8
Массовая доля золы, %	0,50	0,55
Массовая доля серы, %	0,48	0,51

Как видно из приведенных данных, пек из смолы с добавкой при равном с СТП из исходной смолы значении температуры размягчения характеризуется несколько более низким выходом летучих веществ и большим содержанием высокомолекулярных фракций группового состава. Подобное изменение свойств пека является положительным фактором с точки зрения производства электродного связующего. Некоторое увеличение массовой доли

серы в пеке с добавкой не играет решающей роли, так как значение этого показателя остается в рамках нормативных требований потребителей.

В заключение следует заметить, что технико-экономическая оценка разработанного процесса показала его рентабельность.

Выводы

1. Разработан технологический принцип, позволяющий увеличить объем выработки пека-связующего на каменноугольной основе для производства алюминия.
2. Помимо увеличения выхода пека разработанный прием позволяет улучшить его потребительские свойства.
3. Реализация метода не требует дополнительного оборудования.

Список литературы

1. Обзор рынка каменноугольного пека в СНГ. Издание 6-ое, дополненное и переработанное. – Москва: ИнфоМайн, август 2010 г. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://megaresearch.ru/files/demo_file/6243.pdf.

2. Производство нефтяного пека / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://5ka.su/ref/history/0_object80593.html.

3. *Хайрудинов И.Р.* Опыт производства и применения нефтяных пеков. Тематический обзор / *Хайрудинов И.Р.* [и др.]. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1994. – 48 с.

4. *Белкина Т.В.* О термохимических превращениях антраценовой фракции / *Белкина Т.В., Привалов В.Е., Степаненко М.А.* // Кокс и химия. – 1979. – № 8. – С. 35-38.

5. *Гоголева Т.Я.* Химия и технология переработки каменноугольной смолы / *Гоголева Т.Я., Шустиков В.И.* – М.: Металлургия, 1992. – 256 с.

6. Пат. 22097А Україна, МПК С10С 3/00. Спосіб одержання мезофазно-мезогенного високотемпера-турного пеку із антраценової фракції / *Шустиков В.І., Чешко Ф.Ф., Пітюлін І.Н.* [и др.] / опубл. 30.04.98. Бюл. № 2.

7. *Питюлин И.Н.* Научно-технологические основы создания каменноугольных углеродсодержащих материалов для крупногабаритных электродов / *Питюлин Игорь Наркисович.* – Харьков: ИПЦ «Контраст», 2004. – 480 с.

8. *Глузман Л.Д.* Лабораторный контроль коксохимического производства / *Глузман Л.Д., Эдельман И.И.* – М.: Металлургия, 1968. – 472 с.

9. *Чешко Ф.Ф.* Влияние масштабного фактора на термохимические превращения компонентов каменноугольной смолы / *Чешко Федор Федорович* // Углехимический журнал. – 2010. – № 1-2. – С. 61-67.

10. *Базов С.В.* Управление качеством электродного пека / *Базов С.В., Тарасюк Ю.Я., Бука А.А. Питюлин И.Н., Цыгичко Э.Б.* // Углехимический журнал. – 2007. – № 5. – С. 67-7

УДК 541.49+665.766

А.П. Ранський, доктор хімічних наук, О.А. Гордієнко, Н.О. Діденко, Т.С. Тітов, М.В. Євсєєва, кандидат хімічних наук, С.В. Бойченко**, доктор технічних наук*
(Вінницький національний технічний університет, Україна
**Вінницький національний медичний університет, Україна*
***Національний авіаційний університет, Україна)*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ N, S-ВМІСНИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ТА ЇХ МЕТАЛ-ХЕЛАТІВ В ІНДУСТРІАЛЬНИХ ОЛИВАХ

Авторами наведено огляд головних напрямків синтезу N, S-вмісних органічних сполук (ароматичних і гетероциклічних тіоамідів; похідних діалкілдитіокарбамінової кислоти; ксантогенатів), їх метал-хелатів або комплексів зі змішаним лігандоутворенням загальної формули ML_2, $M(HL)X_2$, $M(HL)_2X_2$. Показано, що дані сполуки є перспективними поліфункціональними присадками до індустріальних олив, які забезпечують високі експлуатаційні характеристики.

Сучасні технології, машини і механізми висувають до мастильних матеріалів цілий ряд жорстких вимог за навантажувальними, протизносними, протизадирними властивостями, густині, стійкості до окислення та корозії, а також токсикологічній безпеці по відношенню до людини та довкілля. Чисті оливи та мастила не в змозі задовольнити таким вимогам, тому виникає нагальна потреба вводити до складу базових олив хімічні добавки (присадні матеріали). Задача створення поліфункціональних присадних матеріалів в світовій практиці вирішується за кількома напрямками:

– введення до складу, як правило, однієї органічної сполуки (присадного матеріалу) з декількома функціональними групами (карбоксильною, амінною, гідроксильною, трихлорметильною, тіоамідною, дитіокарбамідною, дитіофосфатною тощо);

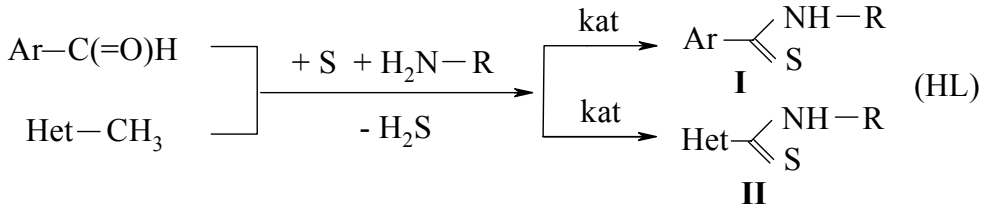
– введення декількох органічних сполук (пакету присадних матеріалів), що можуть мати декілька або одну раніше відзначену функціональну групу.

Перший напрямок не виправдав себе, оскільки в процесі тертя такі присадні матеріали швидко окислюються, взаємодіють з продуктами реакцій окислення і випадають із олив у вигляді суспензій або твердих речовин. Дещо по-іншому поводять себе координаційні сполуки, зазвичай метал-хелати, що мають низькі значення добутку розчинності та високі температури плавлення. В процесі тертя вони стійкі, не порушується їх хімічна структура, а при незначній дисоціації самі продукти цього процесу, наприклад, арилалкілтіокарбамідат-аніон, самі по собі є активними присадними компонентами, що покращують експлуатаційні характеристики базових олив та мастил.

В другому варіанті (пакет присадних матеріалів) їх частка в оливах та мастилах досягає до 30 % від загального об’єму, що призводить до суттєвого їх подорожчання. Пошук нових ефективних вітчизняних присадних матеріалів, що мають поліфункціональні властивості, дає змогу суттєво скоротити їх процентний вміст в базових оливах та мастилах і в кінцевому варіанті зменшити їх собівартість, отримати суттєву економію мастильних матеріалів, металу та електроенергії.

За останні 20 років нами були синтезовані і досліджені як присадні матеріали до індустріальних олив (И-20, И-20А, И-40, И-40А, И-50, ИГП-114) багаточисельні сульфур- та нітрогенвмісні органічні сполуки (заміщенні тіосечовини, ксантогенати, дитіокарбамати, тіоаміди) та їх метал-хелати.

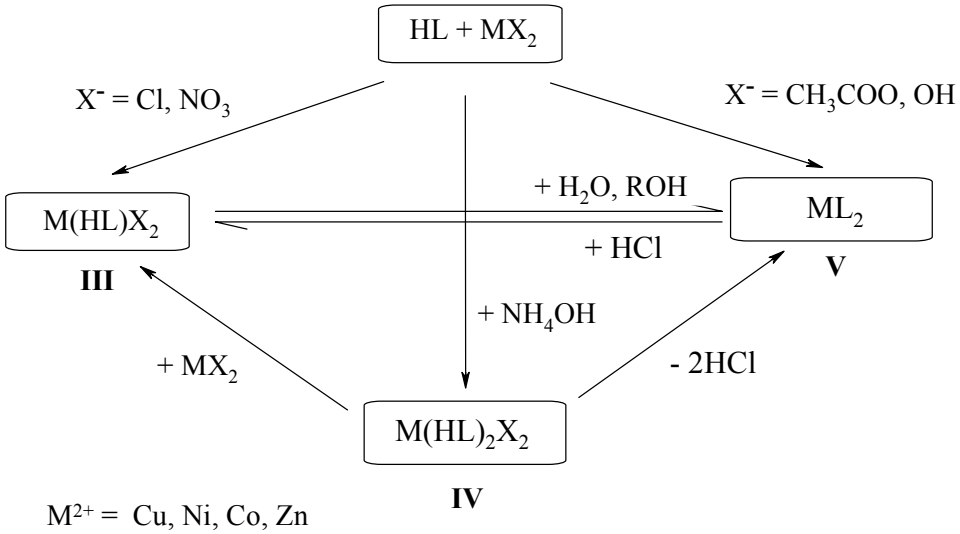
Досліджені ароматичні та гетероциклічні тіоаміди, відповідно сполуки **I** та **II**, синтезували за схемою [1, 2]:



Ar = C_6H_5, $C_6H_4CH_3$-2, $C_6H_4CH_3$-4, $C_6H_4OCH_3$-2, $C_6H_4OCH_3$-4, $C_6H_4OC_2H_5$-2, $C_6H_4OC_2H_5$-4, $C_6H_4C_2H_5$-2, $C_6H_4C_2H_5$-4, C_6H_4Br-2, C_6H_4Cl-4;

Het = піридил-2, хіноліл-2, бензтіазоліл-2, бензімідазоліл-2

Метал-хелати (**III** – **V**) деяких перехідних 3d-металів та синтезованих раніше ароматичних і гетероциклічних тіоамідів отримували наступним чином [3 – 7]:

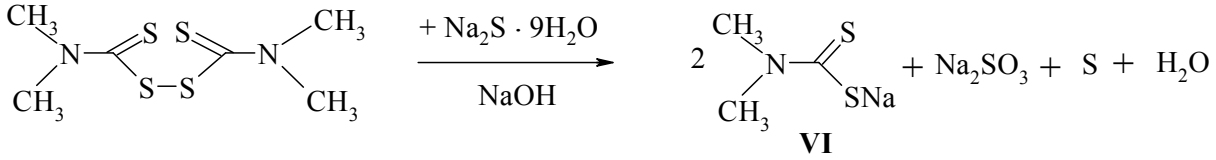


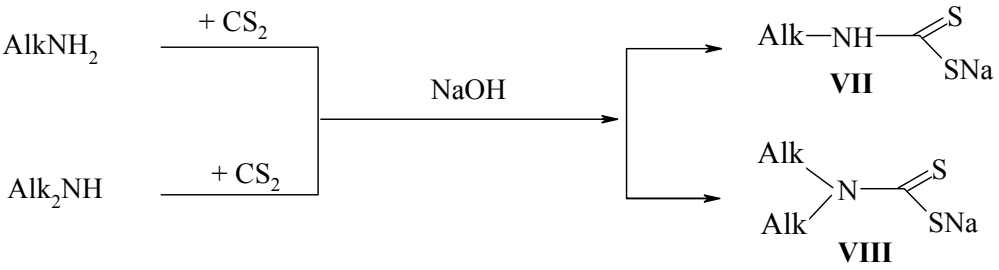
M^{2+} = Cu, Ni, Co, Zn

X^- = Cl, NO_3, $1/2SO_4$

Для отримання метал-хелатів (**III** – **V**) брали розчинні у воді солі, катіони яких реалізовували ефект вибіркового переносу.

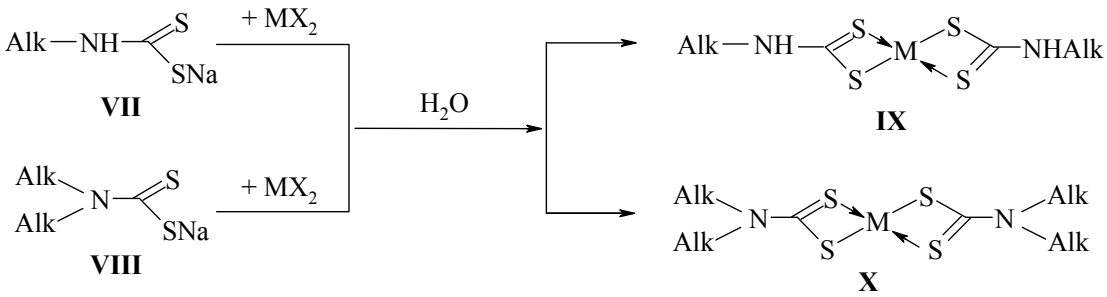
Солі дитіокарбамінової кислоти (**VI** – **VIII**) отримували реагентною переробкою непридатних пестицидних препаратів Тіурам і Фентіурам, або взаємодією промислового сірковуглецю з лужним розчином первинних або вторинних алкіламінів [8 – 11]:





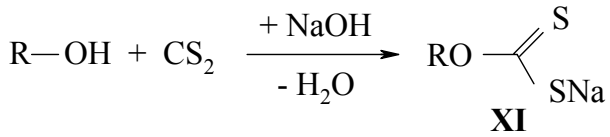
Alk = CH_3, C_2H_5, C_3H_7

Отримані натрієві солі **VI** – **VIII** при взаємодії з водними розчинами солей MX_2 утворювали відповідні хелати **IX** та **X** [11, 12]:



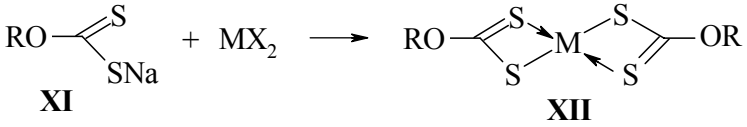
M^{2+} = Co, Cu, Zn, Ni, Fe;
X^- = Cl, NO_3, $1/2SO_4$

Іншою модифікацією реакції біполярної молекули сірковуглеця є отримання ксантогенатів **XI** як присадних матеріалів до індустріальних олив [13]:



R = CH_3, C_2H_5

а їх метал-хелатів **XII** – взаємодією з водним розчином солей 3d-металів:



Синтезовані N, S-вмісні органічні сполуки **I**, **II**, **VI** – **VIII**, **XI** та їх метал-хелати **III** – **V**, **IX**, **X**, **XII** досліджували як протизносні, протикорозійні, протизадирні, антифрикційні та антиокислювальні добавки до раніше зазначених індустріальних олив. Протизносні (Ig) і антифрикційні (f_{TP}) властивості синтезованих сполук визначали на машині тертя типу СМЦ-2 з парами тертя ″колодка – ролик″ із швидкістю ковзання 3,0 м/с та шляхом тертя 3×10^3 м. Матеріал ролика – сталь 45, колодки – БрАЖ 9-4. Коефіцієнт взаємного перекривання дорівнював 0,13. Початкова шершавість 0,30 – 0,62 мкм для стального зразка і 0,62 – 0,80 мкм – для бронзового. При дослідженнях знос реєстрували ваговим методом на аналітичних вагах
2 класу точності типу ВЛА-200 за ГОСТ 24104-80. Температуру в зоні тертя вимірювали хромель-копелевою термопарою, а силу тертя – з допомогою тензобалки.

Антиокислювальні властивості мастильних композицій досліджували за допомогою автоматизованої системи тестування інгібіторів (АСТІ) на прикладі модельних реакцій ініційованого окислення оливи И-20 при температурі 160 °С. Ініціатором виступав дикумілпероксид. Порівняння антиокислювальної стабільності мастильних композицій проводили за двома параметрами: інтенсивної дії присадки ($w_{поч}$ – початкова швидкість окислення мастильних композицій в дослідних умовах) і тривалості дії присадки (Oτ – час, за який мастильна композиція поглинає певну кількість кисню). В дослідних умовах ця кількість дорівнювала 0,1 моль/л.

Отримані результати досліджень показали, що для цілого ряду наведених сполук **I** – **XII** характерні поліфункціональні властивості в складі індустріальних олив. Так, для присадок ПМ ДХТИ-1, ПМ ДХТИ-2, ПМ ДХТИ-3, ПМ-ДХТИ-4 характерні високі протизносні (Ig), антифрикційні (f_{TP}) та антиокислювальні властивості ($w_{поч}$, Oτ). Наприклад, присадні матеріали серії ПМ ДХТИ в складі досліджених індустріальних олив за протизносними і антифрикційними властивостям значно перевершують промислову присадку цьогож класу ДФ-11 і в 2,3 рази перевершують її за антиокислювальними властивостями.

Висновки

1. Дослідження нових нуклеофільних каталізаторів (kat) дозволило розробити методи

синтезу нових раніше малодоступних ароматичних та гетероциклічних тіоамідів, а також дослідити їх як поліфункціональні присадки до індустріальних олив.

2. Нові технологічні підходи дозволили отримати із вторинної технічної сировини діалкілдитіокарбамати, їх метал-хелати та дослідити їх як присадні матеріали, що покращують протизносні, антифрикційні та антиокислювальні властивості індустріальних олив.

3. На основі синтезованих N, S-вмісних органічних сполук та їх метал-хелатів запропоновані нові мастильні композиції, що мають поліфункціональні властивості і за своїми експлуатаційними характеристиками перевершують промислові присадки: протизносні і антифрикційні (ДФ-11, МКФ-18), антиокислювальні (Іонол).

Список літератури

1. *Ранский А. П.* Исследование аринальарилиминов и метилгетаренов с серой и ариламинами: Дис. … канд. хим. наук: 02.00.03. – Днепропетровск, 1985. – 156 с.

2. *Ранский А. П., Бовыкин Б. А., Артюхова Е. П.* Синтез гетаренальарилиминов // Украинский химический журнал. – 1988. – Т. 54, № 3. – С. 528 – 531.

3. *Ранский А. П.* Координационные соединения некоторых 3d-металлов с ароматическими и гетероциклическими тиоамидами: Дис. … докт. хим. наук: 02.00.01. – Днепропетровск, 2003. – 334 с.

4. *Ранский А. П., Бовыкин Б. А., Коляда В. И.* Комплексообразование меди(II) с N-арилтиохинальдинамидами // Координационная химия. – 1993. – Т. 19, № 9. – С. 717 – 721.

5. *Ранский А. П., Бовыкин Б. А., Карцев В. Г., Алиев З. Г.* Комплексообразование меди(II), кобальта(II), никеля(II) с N-арилтиопиколинамидами // Изв. АН России. Сер. химия. – 1993. – № 9. – С. 1546 – 1550.

6. *Ranskiy A. P., Bovykin B. A., Koljada V. I.* Complexation of Cu(II) Co(II) and Ni(II) with N-Arylthiobenzamides // Rus. J. Coord. Chem. – 1993. – V. 19, No. 3. – P. 217 – 219.

7. *Ранский А. П.* Синтез комплексных соединений кобальта(II) на основе N-арилтиохинальдинамидов // Вопросы химии и хим. технологии. – 1998. – № 2. – С. 16 – 19.

8. *Ранський А. П., Сандомирський О. В., Кучук М. В., Авдієнко Т. М.* Утилізації пестициду Фентіурам. Хроматографічний метод контролю // Хімічна промисловість України. – 2004. – № 2. – С. 52 – 55.

9. *Ранський А. П., Сандомирський О. В., Петрук В. Г., Петрук Г. Д., Васильківський І. В.* Реагентне перероблення та хроматографічний контроль вторинних розчинів пестициду “Фентіурам” // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 3. – С. 34 – 37.

10. *Ранский А. П., Тхор І. І., Петрук В. Г., Охтіна О. В.* Химия дитиокарбаматов. Сообщение II. Десульфирование тиурамдисульфидов действием нуклеофильных реагентов // Вопросы химии и хим. технологии. – 2005. – № 6. – С. 46 – 48.

11. Пат. 43463 Україна, МПК9 C 01 B 21/00. Спосіб очищення бензольної фракції коксохімічного виробництва від сірковуглецю / *Ранський А. П., Лук'яненко В. В., Лук'яненко А. В., Бондарчук В. М.* – № u200811294; заяв. 18.09.08; опубл. 25.08.09, Бюл. № 16.

12. Пат. 43462 Україна, МПК9 C 01 B 21/00. Спосіб очищення бензольної фракції коксохімічного виробництва від сірковуглецю / *Ранський А. П., Лук'яненко В. В., Лук'яненко А. В., Бондарчук В. М.* – № u200811292; заяв. 18.09.08; опубл. 25.08.09, Бюл. № 16.

13. *Ранський А. П., Євсєєва М. В., Гордієнко О. А.* Органічна хімія. Теорія та лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 209 с.

УДК 541.49+678.043.59

Т. С. Тітов, О. А. Гордієнко
(Вінницький національний технічний університет, Україна)

РЕАГЕНТНЕ ВИЛУЧЕННЯ СІРКОВУГЛЕЦЮ БЕНЗОЛЬНОЇ ФРАКЦІЇ КОКСОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ШЛЯХОМ УТВОРЕННЯ НАТРІЄВИХ СОЛЕЙ ДІАЛКІДИТІОКАРБАМІНОВОЇ КИСЛОТИ ТА КІНЦЕВИХ ДІАЛКІЛДИТІОКАРБАМАТІВ 3d-МЕТАЛІВ

В статті розглянуто розроблену технологію виділення високотоксичного сірковуглецю з бензольної фракції коксохімічного виробництва. Отримані діалкілдитіокарбамати металів досліджені як прискорювачі сірчаної вулканізації поліізопрену та 1,3-бутадієну.

Підприємства коксохімічної промисловості є невід'ємною складовою металургійного промислового комплексу. В той же час коксохімія – одна з галузей промисловості, яка значно забруднює навколишнє середовище.

Нагрівання вугілля без доступу повітря до 900-1050 °С призводить до його термічного розкладання з утворенням летких продуктів і твердого залишку – коксу. Основні продукти коксування: кокс (96-98 % вуглецю); коксовий газ (60% водню, 25% метану, 7% оксиду вуглецю (II) та ін). Побічні продукти: кам'яновугільна смола (бензол, толуол), аміак (з коксового газу) та ін. Леткі продукти виводяться і надходять в загальний газозбірник, де з них конденсується смола та аміачна вода. З газу, що не конденсується, виділяють аміак і легкі ароматичні вуглеводні (головним чином бензол). З метою отримання добрив аміак пропускають через розчин сірчаної кислоти до утворення сульфату амонію, що використовується в сільському господарстві. Ароматичні вуглеводні виділяють шляхом поглинання їх розчинником і подальшим фракційним розділенням дробною розгонкою. З кам'яновугільної смоли шляхом фракціонування отримують також гомологи бензолу, фенол (карболову кислоту), нафталін та ін. Склад кам’яновугільної смоли наведено в таблиці 1.

Коксовий газ після очищення застосовується як паливо в промислових печах, оскільки містить багато горючих речовин з високою теплотворною здатністю. Він використовується також як хімічна сировина. Наприклад, з коксового газу виділяють водень, який широко використовується в синтетичній практиці [1].

Таблиця 1

Склад кам’яновугільної смоли [2]

Фракція	Вихід, % від маси смоли	Інтервали кипіння, °С	Густина при 20°С, $^{кг}/_{м}^{3}$	Речовини, що виділяються
Легка	0,2-0,8	до 170	900-960	бензол та його гомологи, сірковуглець
Фенольна	1,7-2,0	170-200	1000-1010	феноли, піридинові основи
Нафталінова	8,0-10,0	210-230	1010-1020	нафталін, тіонафтен
Важка (поглинаюча)	8,0-10,0	230-270	1050-1070	метилнафталіни, аценафтен
Антраценова	20,0-25,0	270-360 (та до 400)	1080-1130	антрацен, фенатрен, карбазол та ін..
Пек	50,0-65,0	вище 360	1200-1300	пірен та інші високо конденсовані ароматичні сполуки

Крім цього при роботі коксохімічних батарей виділяється легка бензольна фракція, що містить до 30 % сірковуглецю. Сірковуглець – важка безбарвна рідина. Чистий свіжо

перегнаний сірковуглець має ефірний запах, але при тривалому зберіганні запах стає гострим, нагадуючи редьку. Його густина складає 1,29 $^{г}/_{мл}$ при 0 °С, в твердому стані – 1,53$^{г}/_{мл}$. Сірковуглець плавиться вже при -111,6 °С, а кипить при 46 °С. Незалежно від способу отримання сірковуглецю його виробництво відноситься до особливо небезпечних, що обумовлено високою токсичністю сірковуглецю (ГДК парів сірковуглецю у виробничих приміщеннях у різних країнах складає від 10 до 60 $^{мг}/_{м^3}$, смертельна доза сірковуглецю складає 10 $^{г}/_{м^3}$), а також високою пожежонебезпекою сірковуглецю, що має дуже низьку температуру спалаху та самозаймання, здатністю сірковуглецю електризуватись, утворювати вибухонебезпечні суміші з киснем повітрям в широких межах концентрацій. Пари сірковуглецю спричиняють ураження головним чином нервової системи, а довготривала робота в атмосфері сірковуглецю із перевищенням ГДК може призвести до хронічних отруєнь, що проявляються в різноманітних формах нервових та психічних розладів [3].

Для знешкодження сірковуглецю, що міститься в бензольній фракції, практикується його спалювання в складі пічного палива:

$$CS_2 + 3O_2 \longrightarrow CO_2 + 2SO_2 \qquad (1)$$

При недостатній кількості кисню можливе утворення CS, COS та парів сірки, а також перебіг побічних реакцій:

$$CS_2 + 3SO_3 \longrightarrow COS + 4SO_2 \qquad (2)$$

$$CS_2 + SO_2 \longrightarrow CO_2 + {}^3/_2S_2 \qquad (3)$$

Таким чином, в результаті спалювання сірковуглецю утворюється велика кількість високотоксичних сполук сірки.

Більш прийнятними методами знешкодження сірковуглецю є наступні:

а) окислення перманганатом калію при нагріванні з утворенням сульфатів двох металів та елементної сірки:

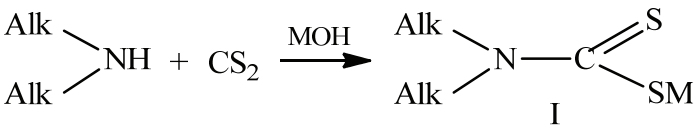
$$4KMnO_4 + 5CS_2 + 6H_2SO_4 \longrightarrow 4MnSO_4 + 2K_2SO_4 + 5CO_2 + 10S + 6H_2O \qquad (4)$$

б) гідроліз сірковуглецю водяною парою при температурі 400-450 °С:

$$CS_2 + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 2H_2S \qquad (5)$$

В останньому випадку утворюється високотоксичний сірководень [4].

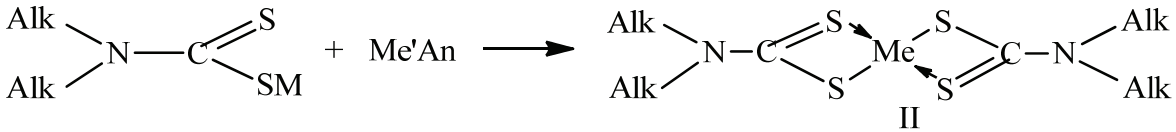
Раніше нами було розроблено двостадійну (однореакторну) технологію утилізації сірковуглецю в складі бензольної фракції Ясинівського КХЗ (м. Макіївка), що включала утворення солей діалкілдитіокарбамінової кислоти [5]:



I (6)

де, $Alk = CH_3, C_2H_5, C_3H_7, C_4H_9$; $M = K^+, Na^+, NH_4^+$

та наступне їх перетворення у відповідні діалкілдитіокарбамати деяких 3d-металів за схемою [6]:



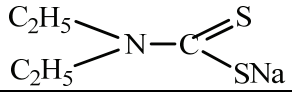
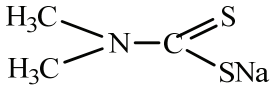
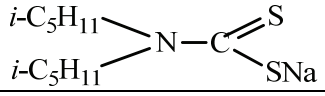
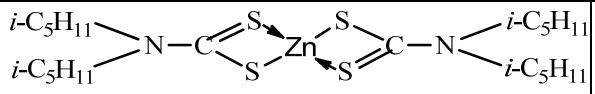
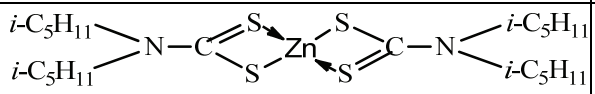
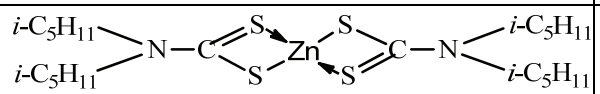
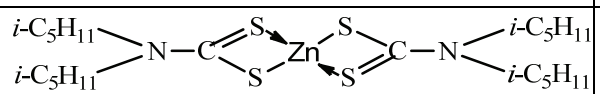
II (7)

де, $Me' = Cu^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}\ Mn^{2+}, Fe^{2+}, Sn^{2+}, Pb^{2+}$; $An = Cl^-, NO_3^-, {}^1/_2SO_4^{2-}$

Деякі фізико-хімічні константи отриманих сполук наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Деякі фізико-хімічні константи отриманих сполук

№ п/п	Структурна формула сполуки	Брутто-формула	Молекулярна маса	Колір сполуки	Температура плавлення, °С	Вихід, %
діалкілдитіокарбамати натрію						
1		$C_5H_{10}S_2NNa$	171	світло-коричневий	90	95,8
2		$C_3H_6S_2NNa$	143	білий	122	84,9
3		$C_{11}H_{22}S_2NNa$	365	жовтувато-білий	100	67,0
діалкілдитіокарбамати деяких 3d-металів						
4		$C_{22}H_{44}S_4N_2Zn$	529	біло-рожевий	112	79,2
5		$C_{22}H_{44}S_4N_2Cu$	528	темно-коричневий	110	71,3
6		$C_{22}H_{44}S_4N_2Ni$	523	світло-зелений	154	63,4
7		$C_{22}H_{44}S_4N_2Co$	523	зелений	238	76,3

Отримані дитіокарбамати металів можна використовувати:

а) як ультраприскорювачі вулканізації гумових сумішей на основі натуральних та синтетичних каучуків та латексів;

б) як селективні флотаційні реагенти в гірничодобувній промисловості [4].

Одним із важливих напрямків розвитку гумотехнічних виробів є здешевлення виробництва їх складових інгредієнтів. Враховуючи важливість концепції екологічно чистих технологій та необхідність реалізації природоохоронних засобів, надзвичайно актуальним є добування таких інгредієнтів шляхом реалізації замкнутих технологічних циклів із забезпеченням мінімізації відходів на заключній стадії. Розроблений процес технології виділення (хімічного зв'язування) сірковуглецю і є частиною цієї загальної концепції. Хімізм перетворень, як правило, добре досліджено, а сама технологія не потребує значних капіталовкладень, або спеціального хімічного обладнання. Такі перетворення ідуть при нормальних умовах, забезпечуючи при цьому високий вихід кінцевих продуктів.

В продовження цих робіт нами були досліджені сполуки I та II як індивідуальні прискорювачі сірчаної вулканізації поліізопрену та 1,3-бутадієну. Дослідження діалкілдитіокарбаматів (II) деяких 3d-металів як індивідуальних прискорювачів вулканізації поліізопрену та 1,3-бутадієну проводили, використовуючи модельні композиції наступного складу (в масових частках): СКИ-3 (100), сірка (1,0), оксид цинку (5,0), стеаринова кислота (2,0), досліджуваний прискорювач ($2{,}5\text{-}10^{-3}$ моль).

Вулканізаційну активність досліджуваних прискорювачів порівнювали з ефективністю відомих (промислових) органічних прискорювачів вулканізації з такою ж еквівалентною концентрацію. Встановлено, що вулканізуюча активність отриманих метал-хелатів суттєво

залежить від природи катіону металу: $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+}$. При цьому сполуки I, до складу яких не входять катіони перехідних 3d-металів, практично не проявляють властивостей, характерних для прискорювачів сірчаної вулканізації, наприклад, поліізопрену[7].

Висновки

1. Удосконалена технологія реагентного знешкодження (хімічного зв'язування) високотоксичного сірковуглецю в складі бензольної фракції, що утворюється при коксуванні вугілля, шляхом утворення діалкілдитіокарбаматів лужних та деяких перехідних 3d-металів.

2. Отримані сполуки досліджені як індивідуальні прискорювачі сірчаної вулканізації поліізопрену та 1,3-бутадієну.

3. Встановлено, що вулканізуюча активність метал-хелатів суттєво залежить від природи катіону металу отриманих метал-хелатів діалкілдитіокарбамінової кислоти.

Список літератури

1. *Сысков К. И.* Коксохимическое производство / *Сысков К. И., Королёв Ю. Г.* – М. : Высшая школа, 1969. – 150 с.

2. *Коляндр Л.Я.* Улавливание и переработка химических продуктов коксования / *Коляндр Л.Я.* – Харьков, 1962. – 472 с.

3. Химия и технология сероуглерода / [*Пеликс А. А., Аранович Б. С., Петров Е. А., Котомкина Р. В.*] – Л. : Химия, 1986. – 224 с.

4. Получение дитиокарбаматов металлов при обезвреживании сероуглерода, образующегося на коксохимических предприятиях Украины / *О. В. Резниченко, М. В. Евсеева, А. П. Ранский* [и др.] // Сотрудничество для решения проблемы отходов : 7-я Международная конф., 8-9 апреля 2010 г. : тезисы докл. – Харьков, 2010. – С. 23.

5. Пат. 43463 Україна, МПК[9] C 01 B 21/00. Спосіб очищення бензольної фракції коксохімічного виробництва від сірковуглецю / *Ранський А. П., Лук'яненко В. В., Лук'яненко А. В., Боднарчук В. М.*; заявник та патентовласник *Ранський А. П., Лук'яненко В. В., Лук'яненко А. В., Боднарчук В. М.* – № u200811294 ; заявл. 18.09.2008 ; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

6. Пат. 43462 Україна, МПК[9] C 01 B 21/00. Спосіб очищення бензольної фракції коксохімічного виробництва від сірковуглецю / *Ранський А. П., Лук'яненко В. В., Лук'яненко А. В., Боднарчук В. М.*; заявник та патентовласник *Ранський А. П., Лук'яненко В. В., Лук'яненко А. В., Боднарчук В. М.* – № u200811292 ; заявл. 18.09.2008 ; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

7. Пат. 20133A Україна, МПК[6] B 09 B 3/00. Спосіб переробки високотоксичних речовин / *Сухий М. П., Ранський А. П., Овчаров В. І., Шаповалова Л. В., Рябченко І. В., Орел О. М.*; заявник та патентовласник Український державний хіміко-технологічний університет. – № 95083672 ; заявл. 04.08.1995 ; опубл. 25.12.1997, Бюл. № 6.

УДК 542.9+547.16

Р.В. Петрук, аспірант, А.П. Ранський, д.х.н., проф.
(Вінницький національний технічний університет, Україна)

КОМПЛЕКСНА ПЕРЕРОБКА ЕКОЛОГІЧНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ФОСФОРОВМІСНИХ ПЕСТИЦИДНИХ ПРЕПАРАТІВ

В роботі представлено методи термічної та реагентної переробки фосфоровмісних пестицидних препаратів (ФПП), проілюстровано залежність знешкодження пестицидних препаратів залежно від часу реакції та її температури, описано шляхи використання продуктів реакції в різних галузях діяльності людини.

Під час зберігання пестицидних препаратів вони попадають в підземні і ґрунтові води. А потім через в рослин і тварин в продукти харчування та організм людини, сприяючи виникненню різноманітних захворювань і отруєнь. Більшість пестицидів залучаються до основоположних процесів обміну речовини (фотосинтез, утворення АТФ, функції та будова мембрани) і тому їх дія не обмежується однією групою організмів. У світовій практиці не існує спеціально розроблених загальноприйнятих методів утилізації пестицидних препаратів. Тому розробка методів утилізації старих запасів заборонених до використання фосфоровмісних препаратів є надзвичайно актуальною задачею.

Метою даної роботи є теоретична розробка реагентного методу утилізації ФПП на прикладі «Гліфосату» з використанням кінцевих продуктів в різних галузях діяльності людини, а також дослідження перебігу процесу термічного знешкодження пестицидів.

Серед найбільш небезпечних токсичних сполук, неопізнаних, змішаних та знятих з виробництва є фосфорорганічні пестицидні препарати стосовно по діючих речовин.

Основна частина

Існує багато методів знешкодження ПП, але найбільш поширеними і ефективними є саме методи термічного знешкодження з забезпеченням екологічної чистоти газових викидів[1-2].

Термічні методи є більш універсальними і можуть застосовуватись для всіх класів ПП. При цьому вони є не лише енергоємними, а й матеріалоємними процесами знешкодження. Реагентні методи використовуються якщо вміст діючої речовини складає 50 % та більше, що є економічно виваженим та оправданим.

Дослідження впливу температури на процес реагентного знешкодження пестицидного препарату.

Для вивчення впливу температури на процес знешкодження [3-4] ФПП у відновлювальному середовищі було відібрано температурний інтервал 800-1100°С. В цьому інтервалі відновлення протікає в твердій фазі. Тривалість дослідів становила 60 хв. Експериментальні дослідження здійснювалися при 50% витраті метану і наважці пестициду 1 г. Результати досліджень представлено в табл.1 та графічно на рис.1. Із отриманих даних видно, що знешкодження ФПП при температурі 800°С перебігає з достатньо високою швидкістю. З підвищенням температури процес перебігає надзвичайно інтенсивно і при температурі 1000°С ступінь знешкодження відповідно становить 97,7%.

Таблиця1

Вплив тривалості процесу на ступінь знешкодження ФПП

Температура, °С		800	850	900	950	1000	1050	1100
ε, %	τ=30 хв	94,12	95,09	95,47	95,82	96,13	94,96 оплавл	94,10 оплавл
	τ=60 хв	95,24	96,07	96,80	97,39	97,70	94,96 оплавл	94,10 оплавл
	τ=90 хв	95,59	96,60	97,02	97,41	97,75	94,96 оплавл	94,96 оплавл

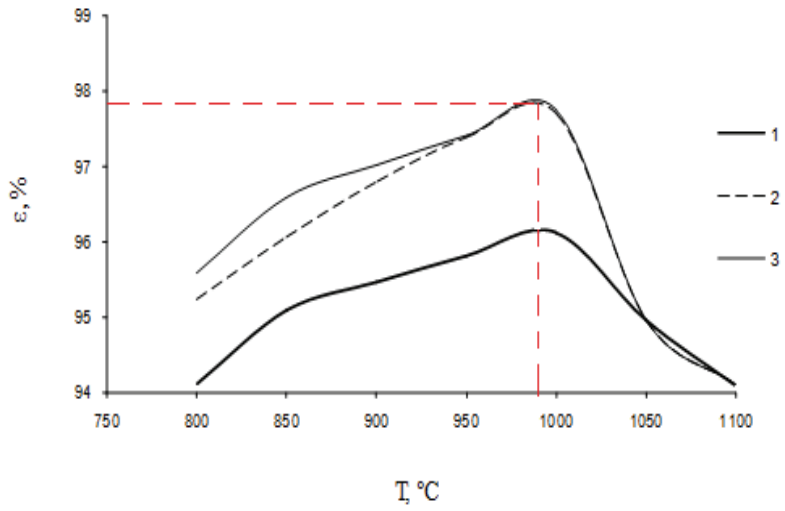


Рис. 1. Графік залежності ступеня знешкодження ФПП від температури процесу (1 – τ=30 хв, 2 – τ=60 хв, 3 – τ=90 хв)

В інтервалі температур 800-850°С приріст ступеня знешкодження становить 0,83%, а в інтервалі температур 950-1000°С приріст складає всього 0,31%. Зменшення приросту ступеня відновлення з підвищенням температури зв'язано, ймовірно, з наближенням процесу до рівноважного стану, а настільки незначне збільшення ступеня знешкодження при підвищенні температури на 50°С вказує на дифузійну область протікання процесу знешкодження ФПП у відновлювальному середовищі.

Підвищення температури вище 1050°С не призводить до збільшення ступеня знешкодження у зв'язку з оплавленням і спіканням ФПП. Оплавлення ФПП зумовлено не тільки порівняно низькою температурою їх плавлення, а й, очевидно, утворенням евтектичних сумішей. Отже, найвищий ступінь знешкодження ФПП досягається при температурі близько 1000°С.

Дослідження впливу тривалості процесу реагентного знешкодження.

Одним із основних факторів, що визначає інтенсивність процесу знешкодження, є його тривалість, за яку досягається максимальний вихід кінцевого продукту. З метою вивчення впливу тривалості процесу на ступінь знешкодження ФПП метаном нами було проведено серію дослідів[3]. Зміну швидкості знешкодження ФПП від тривалості процесу представлено в табл.2 та на рис.2.

Таблиця 2

Вплив тривалості процесу на ступінь знешкодження ФПП

Час, хв		15	30	60	90	120
ε, %	T=800°C	46,72	94,12	95,24	95,59	96,03
	T=850°C	53,10	95,09	96,07	96,60	96,63
	T=900°C	55,21	95,47	96,80	97,02	97,05
	T=950°C	56,38	95,82	97,39	97,41	97,45
	T=1000°C	57,08	96,13	97,71	97,75	97,78

Результати дослідів, які привелені на рис.2, свідчать, що зі збільшенням тривалості процесу ступінь знешкодження ФПП зростає. Так, при температурі 950°С і тривалості процесу 30, 60, 90 хв. ступінь знешкодження ФПП відповідно становить 95,82%, 97,39%, 97,41%. Якщо порівняти ступінь знешкодження ФПП за 60 і 90 хв., то видно, що він зростає на зовсім незначну величину 0,02%. Отже, оптимальна тривалість процесу знешкодження становить 60 хв., і збільшувати час термічного знешкодження ФПП немає сенсу, адже зростання ступеня знешкодження при цьому є незначним.

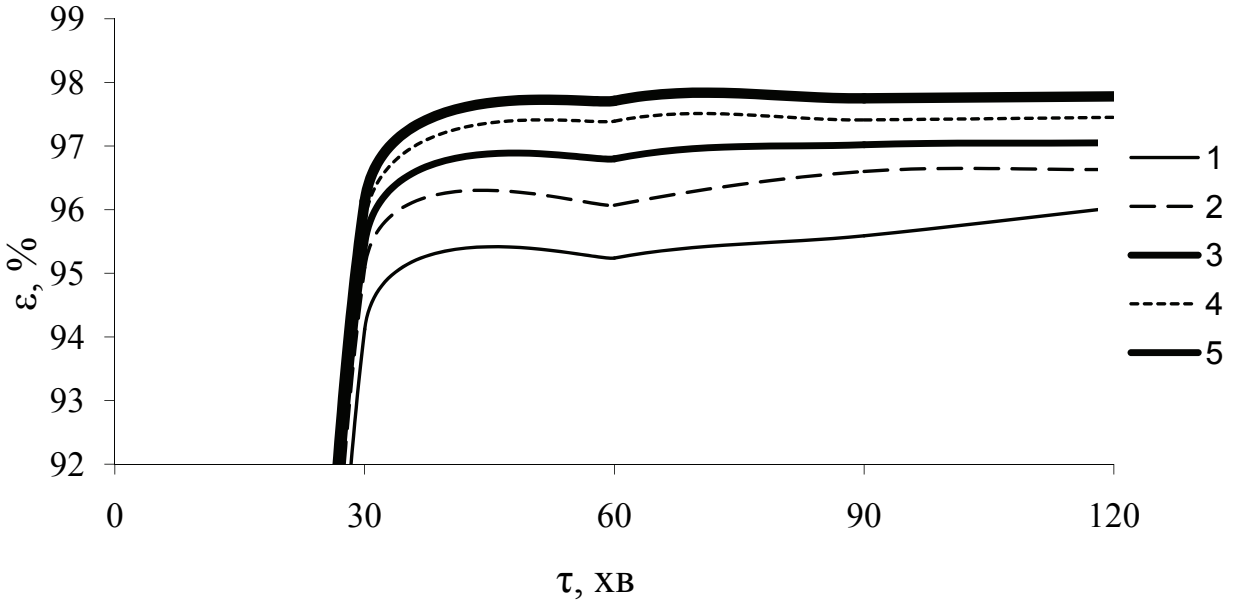
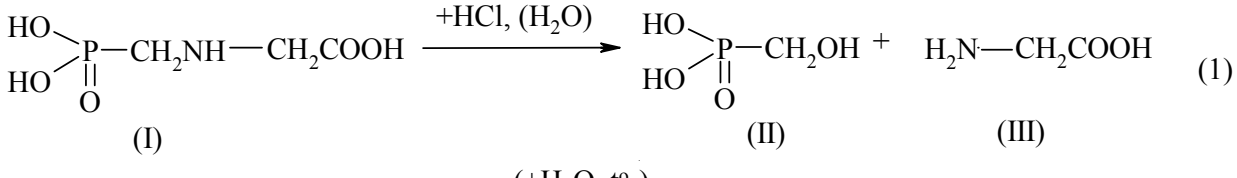


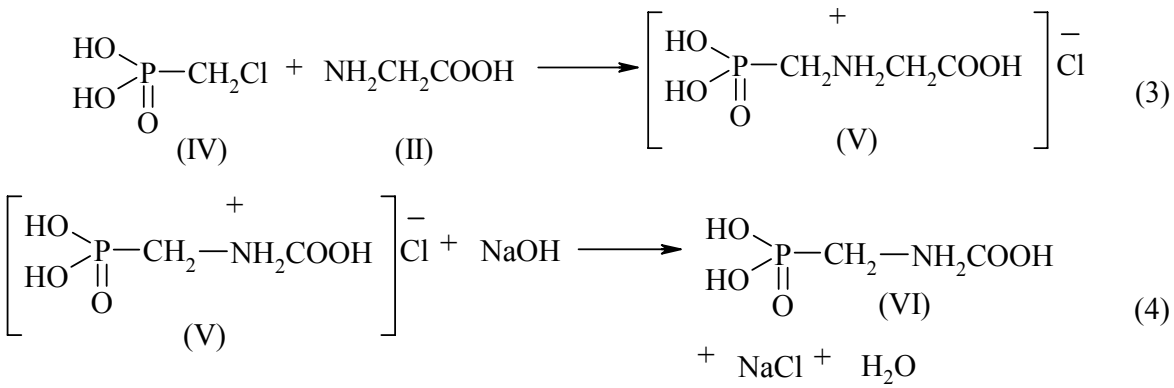
Рис. 2. Графік залежності ступеня знешкодження ФПП від тривалості процесу (1– T=800°C, 2 – T=850°C, 3 – T=900°C, 4 – T=950°C, 5 – T=1000°C)

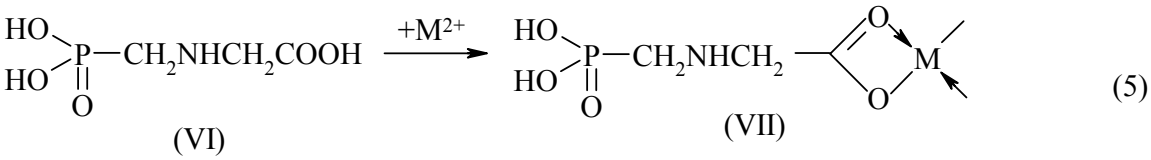
Реагентне знешкодження ФПП.

Первинні результати реагентного знешкодження одного із представників фосфорорганічних ПП є «Гліфосату»(кислотний гідроліз) наведені за схемою:



Окрім основної схеми гідролізу(реакції 1,2), на нашу думку можливе проходження реакцій 3,4 де в результаті відщеплення зв'язку C-N проходить приєднання молекул HCl(утворення інтермедіату V), який потім при дії лугу утворює похідну карбамінової кислоти (VI), а далі при дії солей 3d-металів хелати (VII).





(VI) (VII) (5)

Крім того подальший гідроліз сполуки (II) при нагріванні дає ортофосфорну кислоту та метиловий спирт, які дуже поширені в хімічній промисловості. По токсичному впливу на довкілля продукти гідролізу значно поступаються вихідному «Гліфосату».

Ортофосфорна кислота може бути використана як технічний реактив, а гліцин можна використати для реагентної переробки та знешкодження токсичного пестицидного препарату (IV) – хлорметилфосфатної кислоти. Продукт цих перетворень сполука (VI) може бути використана, в свою чергу, в якості «хімічних пасток» при вилученні майже всіх катіонів металів, включаючи й важкі, при хімічній нейтралізації гальванічних стоків та промислових вод гальванічного виробництва тощо. Таким чином, наведені схеми реакцій (1) – (5) вказують на можливість комплексної переробки не лише фосфорорганічних ПП, а й інших високотоксичних відходів різних виробництв, що мають в своєму складі токсичні фосфоровмісні сполуки а тому такий підхід є, на наш погляд, перспективним і цікавим для майбутніх досліджень.

Висновки

1. При проведенні термічного знешкодження фосфоровмісних пестицидних препаратів найвищий ступінь знешкодження ФПП досягається при температурі близько 1000°С, при цьому оптимальна тривалість процесу термічного знешкодження становить 60 хв.

3. Запропонована схема гідролізу ПП із класу ФОС з послідуючим хімічним зв’язуванням продуктів гідролізу та можливим їх повторним використанням в різних галузях промисловості (машинобудівна та гірничодобувна промисловість).

4. Запропонована комплексна схема знешкодження високотоксичних хімічних сполук різних промислових виробництв (коксохімічне виробництво, машинобудування та гальванічне виробництво) з метою покращення екологічного стану в Україні.

Список літератури

1. Ранский А.П., Сандомирский А.В., Прокопчук С.П., Петрук Р.В. Хроматографический контроль и термическое обезвреживание высокотоксичных органических веществ. Экологические нормы. Правила. Информация. – Москва: Экобезопасность, 2010.- С.47-51.

2. Прокопчук С.П., Петрук Р.В. Утилізація залишків хлорвмісних пестицидів// Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2006, №5. – С.45-49.

3. Екологічні аспекти термічного знешкодження непридатних отрутохімікатів. Монографія /Під ред. *Петрука В.Г.* .- Вінниця: “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2006.-254с.

4. Термическое обезвреживание фосфорсодержащих пестицидных препаратов в восстановительной бреде. *Петрук В.Г.,Скоробогач І.Л., Петрук Р.В. Наукові* праці ВНТУ. – Електронне науково-спеціалізоване видання, 2008.- №3.

УДК 621.891:539.375(043.2)

В. Хуфенбах, проф.,д. инж., К. Кунце, д. инж., Н. Модлер, д. инж.
(ILK, Технический университет Дрездена, Германия),
А.У. Стельмах, к.т.н.
(Национальный авиационный университет, Украина)

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕГКИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ МАШИН

Совместными триботехническими испытаниями в лабораториях ILK TU Дрезден (Германия) и НАУ (Украина) доказана возможность и перспективность использования армированного волокнами по технологии ILK TU Дрезден полипропилена на основе полуфабриката TWINTEX®. Установлено существенное повышение износостойкости деталей при скольжении.

Современное машиностроение неуклонно требует энергоресурсосбережения путем уменьшения массы деталей механизмов. На смену металлическим деталями конструкций приходят легкие полимерные элементы [1…5]. Это позволяет существенно снизить энергетические затраты на транспорте и таким образом улучшить экологическую обстановку. Использование лёгких трибосистем наиболее актуально и перспективно в авиационной и космической технике [6].

Технологии изготовления полимерных деталей машин позволяют существенно (в несколько раз) облегчать конструкции при сохранении их функциональных свойств, в т.ч. прочности, надежности и долговечности. Неподвижные элементы конструкций из легких полимерных материалов на сегодня широко используются в различных видах транспорта и других машинах. Применение таких материалов в качестве шарниров и узлов трения с позиций трибологии контактного взаимодействия поверхностей полимерных деталей требует глубоких исследований.

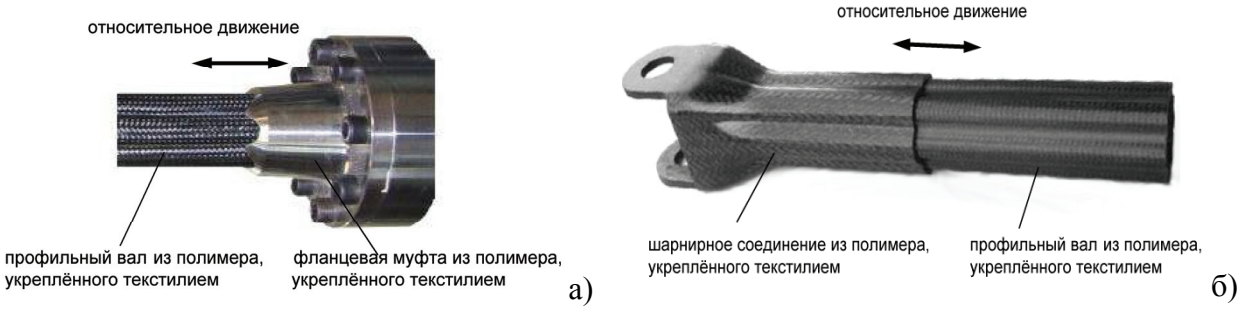


Рис.1 Трибологическая пара вал-втулка в аксиально не фиксированных шлицевых соединениях: а) «композитный вал – стальная втулка»; б) «композитный вал – композитная втулка»

Известно, что полипропилен (ПП) является одним из наиболее перспективных материалов для изготовления деталей узлов трения (трибосистем). ПП - относительно недорогая стандартная пластмасса, прочностные характеристики которой считаются неудовлетворительными, но их можно значительно улучшить путем армирования стекловолокном. Такой подход открывает новые возможности его применения в узлах трения, где до сих пор использовались более дорогие полимерные материалы, например, полиамид или поликапроамид. Как перспективные, рассматриваются ПП-гомополимеры, армированные текстильными стекловолокнами.

В рамках представленной работы для сравнения с другими модификациями полипропилена был выбран комбинированный материал на основе полуфабриката TWINTEX®.

Конструктивные элементы из текстильно-армированного полипропилена на практике в ряде случаев могут отличаться высокой сложностью и функциональной интегрированностью, причем инженерия всё чаще сталкивается с ограниченными

сведениями о трибологических свойствах этих материалов. Так, например, подвижное соединение вала и втулки (рис. 1) в целом удовлетворяет конструктивным требованиям к композитным материалам, где контактирующие поверхности в месте посадки должны перемещаться аксиально, т.е. реализовывать реверсивное трение скольжения.

Использование дешевых и легких полимерных материалов в узлах трения возможно только при условии улучшения их механических свойств, в том числе перераспределения контактных напряжений с учетом условий эксплуатации трибосистем. Как проектирование, так и создание трибологически-нагруженных узлов из новых материалов требует лабораторного моделирования всех звеньев конструктивно-технологических процессов от идеи до ее верификации. Для этого необходимо создать опорную базу данных как механических, так и трибологических свойств, включающих характеристические и функциональные параметры полимерных материалов, получаемых различными технологическими приёмами.

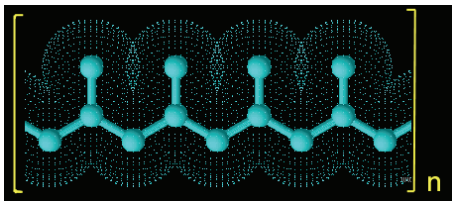
Целевое изменение исходных механических и трибологических свойств полиэтиленовых композиций с научно обоснованными концептами связано с увеличением стоимости серийных изделий, однако это может быть оправдано огромным потенциалом лёгких и прочных машин в перспективе.

Матрицей композита служил полипропилен (PP1 HD 120M производства Borealis), обладающий сбалансированными механическими свойствами. Для реализации хорошей адгезии между волокном и матрицей полипропилен-гомополимер был дополнительно модифицирован путем насыщения ангидридом малеиновой кислотой (2 % масс. Exxelor 1015 производства Exxon Mobil Corporation) [1].

Полипропилен-сополимер Moplen EP240T (LyondellBasell Industries), как материал сравнения, также был модифицирован вышеуказанным веществом, повышающим прочность сцепления компонентов. Армирующим материалом служили стекловолокна класса E, произведенные и шлихтованные в институте Leibniz-Institut Polymerforschung Dresden e.V. (IPF), г.Дрезден.

Таблица 1

Краткая характеристика механических свойств изотактического гомополимера

Структура (изотактический ПП)	Описание и свойства
	ПП-гомополимеризат может иметь в макромолекуле как изотактическое (частично кристаллическая структура – 70-80%), так и синдиотактическое или атактическое расположение боковой группы метила. Синдиотактические и атактические ПП менее жесткие, низкокристаллические, более прозрачные, вязкие и ударопрочные.

Поведение материалов при длительной статической или квазистатической нагрузках				
Напряжение при растяжении σ_Z, [N/mm^2]	Модуль ползучести E_C, [Н/мм^2] $E_{C(1)}$, (1 h)	$E_{C(3)}$,(1000h)	Устойчивость против ползучести C_C	Отношение для аппроксимации, интерполяции или экстраполяции модуля ползучести $E_C(t)$:
1	955	560	0,58	$E_C(t) = E_{C(1)} \cdot \left[1 - \frac{1}{3} \cdot (1 - c_C) \cdot \lg\left(\frac{t}{t_1}\right)\right]$
2	850	495		
5	795	460		

Для проведения трибологических исследований систем, созданных на базе текстиля из бесконечных ПП-волокон, использовался двухмиллиметровый пластинчатый полуфабрикат коммерческой фирмы Vetrotex. Также применялся продукт TWINTEX® P PP60 2970 1/1 BF с такими свойствами: составная часть стекловолокна – 60 % масс.; тип армирующего

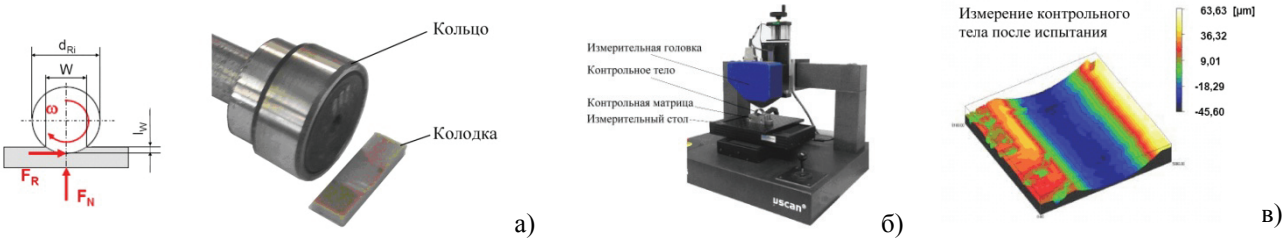
материала – черная стекло-ровинг-ткань (полотняное плетение, 50/50%), удельный вес 1485 г/м^2.

Образцы, армированные короткими стекловолокнами (30% волокна), изготавливались литьем под давлением, причем гранулят ПП производился компаундированием на экструдере с двойной улиткой. На первом этапе изготовления однонаправленных плетений к филаменту сопрягался ПП, как матричный материал, который затем перерабатывался со стекловолокнами в гибридную пряжу. Однонаправленность волокна (67%) достигалась с помощью специальной технологии обмотки, а их внедрение в пластинчатые полупродукты производилось горячим прессованием.

Исследования механических свойств матричных материалов показали, что армирование ПП стекловолокном повышает его прочность и жесткость. Полученные результаты (модули растяжения, ползучести, потерь, упругости и др.) вносились в базу данных в виде таблицы на примере изотактического ПП (табл.1).

На мультифункциональном испытательном стенде ILK TU (г. Дрезден) были проведены сравнительные испытания указанных выше метериалов на триботехнические свойства, как по промышленному стандарту DIN ISO 7148, так и в условиях, близких к реальным режимам работы узлов трения. В качестве примера на рис.2,(а) представлена модель радиального подшипника скольжения с линейным контактом типа "колодка-кольцо".

Основные параметры процесса трения в эксперименте (температура и момент сил трения) контролировались во время испытаний, а распределение износа по дорожке трения измерялось после них. Для оценки структуры износа, как правило, используют различные современные оптические системы. В стандартных методиках трибологоческих испытаний (модельные испытательные системы согласно ISO 7148 немецкого промышленного стандарта) для автоматизации анализа износа применяются разработанные в институте легких конструкций (ILK) специальное устройство и программное обеспечение. На рис.2,(б) приведены внешний вид измерительной системы *µScan* и результаты измерений до и после испытаний (рис.2,в). С помощью данного оборудования и соответствующего программного обеспечения можно не только визуализировать дорожку трения и изношенного участка, но и точно определить распределение износа и характерные его значения в виде коэффициента износа.



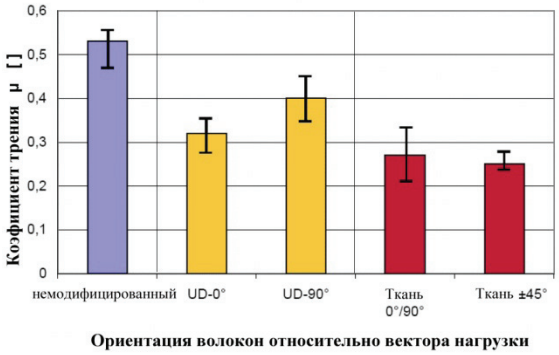
а) б) в)

Рис.2 Схема и модель радиального подшипника скольжения стального вала по колодке (образцы ПП) трибологической испытательной системы "колодка-кольцо" по стандарту G176-03 ASTM или ISO 7148-2 (а), микроскоп µScan (б) и вид дорожки скольжения с износом образца (в)

Триботехническим испытаниям подвергались ПП, армированные коротковолокнистыми нитями, а также ПП с длинными волокнами, ориентированными под различными углами между направлением скольжения и направлением волокон (0^o, 45^o, 90^o).

Результаты испытаний (рис.3) показали, что армирование текстильными стекловолокнами ПП-гомополимеров является эффективным способом повышения износостойкости и уменьшения трения. Уже сегодня существует высокий спрос современного машиностроения на лёгкие и дешевые трибосистемы. Установлено, что армирование стекловолокном, наряду с улучшением характеристик прочности и жёсткости, положительно влияет и на трибологические свойства.

Коэффициенты трения ПП-гомополимера



Коэффициенты износа ПП-гомополимера

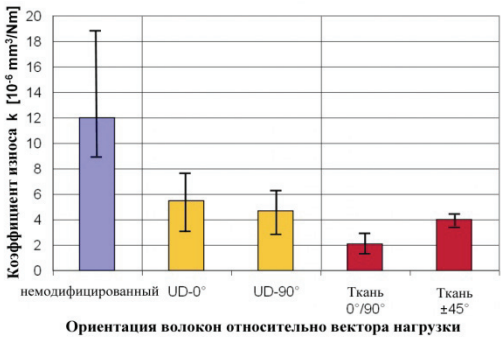


Рис.3. Сравнение трибохарактеристик ПП в зависимости от ориентации стекловолокон

Так, существенно повышается износостойкость (при условии, что сопрягаемая деталь пары трения изготовлена из закалённой полированной стали). Зависимость коэффициента трения от угловой ориентации армирующих волокон позволяет сделать предположение о необходимости учета влияния газовой смазки. При трении в граничных слоях воздуха процессы подчинены компрессионно-вакуумному механизму [7], наблюдавшемуся в среде жидких смазочных материлов с конфузорным сжатием граничных слоёв и их вакуумированием в диффузорных областях контакта. Предполагается, что весьма перспективным путём дальнейшего повышения эффективности лёгких полимерных трибосистем может стать укладка на поверхностях трения длинноволокнистых нитей в определённом, наиболее трибологически эффективном, 3D плетении с соответстующей ориентацией микроканалов. По сути это позволит управлять вторичными течениями граничных слоев и перераспределением давления в трибоконтакте. Оптимизация последних приведёт к существенному повышению износостойкости и уменьшению трения в полимерных трибосистемах. Таким образом, применение лёгких материалов для изготовления деталей узлов трения становится новым и перспективным направлением трибологии лёгких полимерных материалов.

Список литературы

1. *Hufenbach, W.; Biwje, J.; Langkamp, A.; Kunce, K.:* Development of Bearing Material and High Performance Bearings for Dry Applications Under Harsh Operating Conditions, *11th European Conference on Composite Materials*, May 31 – June 3, 2004, Rhodes, Greece, S. 413.

2. *Brodowsky, H.M.; Jenschke, W.; Mäder, E.:* Characterization of Interphase Properties by Frequency-Dependent Cyclic Loading of Single Fibre Model Composites, *Journal of Adhesion Science and Technology 24 (2010),* S. 237–253.

3. *Michaeli, W.:* Einführung in die Kunststoffverarbeitung, *Carl Hanser Verlag,* 2007.

4. *Kunze, J.:* Kriechbeständigkeit – ein Kennwert für das Kriechverhalten, *Kunststoffe* 1/2004, S. 330–31.

5. *Ehrenstein, G. W.:* Mit Kunststoffen konstruieren, 3. Auflage, *Hanser Verlag,* München Wien, 2007.

6. Hufenbach, W.; Kunze, K.: Tribologische Kenngrößen in kurzer Zeit ermitteln, *Industrieanzeiger* 38 (1998), S. 60–61.

7. *Стельмах А.У.* Возникновение контактных струйных течений в условиях граничной смазки и механизм их образования. – Деп. В ГНТБ Украины 14.04.2009, №20 – Ук2009. – 43с.

УДК 514.8:620.191.35(043.2)

Klaus Kunce PhD (ILK TU Dresden, Germany)
O. Stelmakh,. PhD, K. Badir, D. Stelmakh
(National aviation university, Ukraine)

EXPERIMENTAL COMPARISON OF DIFFERENTIAL-PHASE METHOD AND METHOD OF DYNAMIC FOCUSING IN DEFINING OF ROUGHNESS PARAMETERS OF SURFACES

In this work you can find information about differential-phase method and method of autofocusing, which are used on differential-phase laser scanning profilograph-profilometer (DFLSPP) and microscope «MICROSCAN» correspondently. Also is considered experimental comparison of defining of 3D micro- and nano-geometrical surface conditions and standardized roughness parameters of surface with the help of those methods.

Almost all modern machines and mechanisms consist of friction nodes, which realize contact interaction of details with working surfaces in relative motion between each other. From tribology of boundary greasing it is known that there is great influence of surface roughness on tribological properties of rolling or sliding tribosystems. Due to this fact during production of details different quantitative methods for determination of roughness parameters are widely used (such as profilograph-profilometer CALIBR-201, "TEYLOR HOBSON", "SURTRONIC-10". Contac methods allow describing micro-geometrical surface structure only according to single profiles and they can't give information about volumetric surface condition, which is very important during friction in dependence of direction of exploitation and influence on wear resistance of tribosystem.

Nowadays contactless optical methods and equipment such as laser contactless differential-phase method and method of dynamic focusing (in DFLSPP of Ukrainian production [2] and microscope "$\mu scan$" of German production correspondently) are used instead of contact, less informative and destroying methods. This new equipment and methods can give essentially new, qualitative and quantitative information about volumetric 3D micro- and nanometric geometrical surface condition. In this work are presented results of experimental investigations of rough surfaces done with a help of DFLSPP and $\mu scan$.

Today for controlling of working surface roughness of details with friction nodes contact methods still are used. In contact method needle with a circular diameter 2…4 mkm slides on a surface of sample in a linear direction. This method can be used for determination of wear traces after tribotechnical tests.

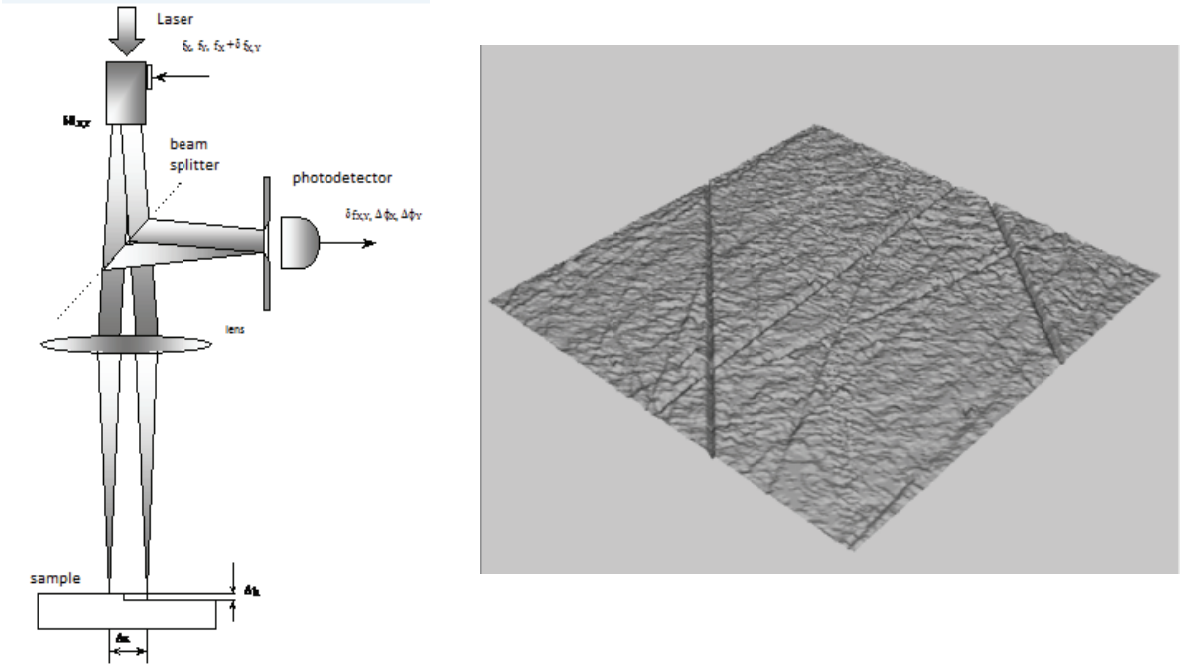
After experiments done on friction machine with a constant linear contact radial deviations are more then 1 micrometer, axial- 0,1 micrometer. That is why we can say that one of the main factors, which influence on results of tribological experiments of lubricating materials, is external structure of working surface of samples after friction.

But usage of contact method can provide us with necessary information about structure of surface, and can't give full information about surface, such as roughness in a direction of sliding. This information have influence on character and value of wear [1].

Moreover, equipment which is based on contact method can scan surface only in one linear direction. In such conditions it is very hard to make volumetric estimation of surface structure. Indentor (needle) which is used for estimation of friction surface have circular radius (approximately 2 micrometers). That is connected with technological features and design of equipment and sensitive elements, which realize this contact method. Because of that we have such consequences like that hardware can't fix geometrical character of surface if it has roughness less than diameter of needle. That is why only contactless optical method can provide us with full information about 3D volumetric surface structure.

DFLSPP of Ukrainian production was created for reception of true information about surface structure and reception of differential-phase picture. Principle of action of this equipment is based on acoustic-optical scanning of object with the help of laser beam, which is divided in two orthogonal directions in crystal of parateluryte. During scanning this beams are reflected from surface creating 3D differential-phase picture (pic. 1).

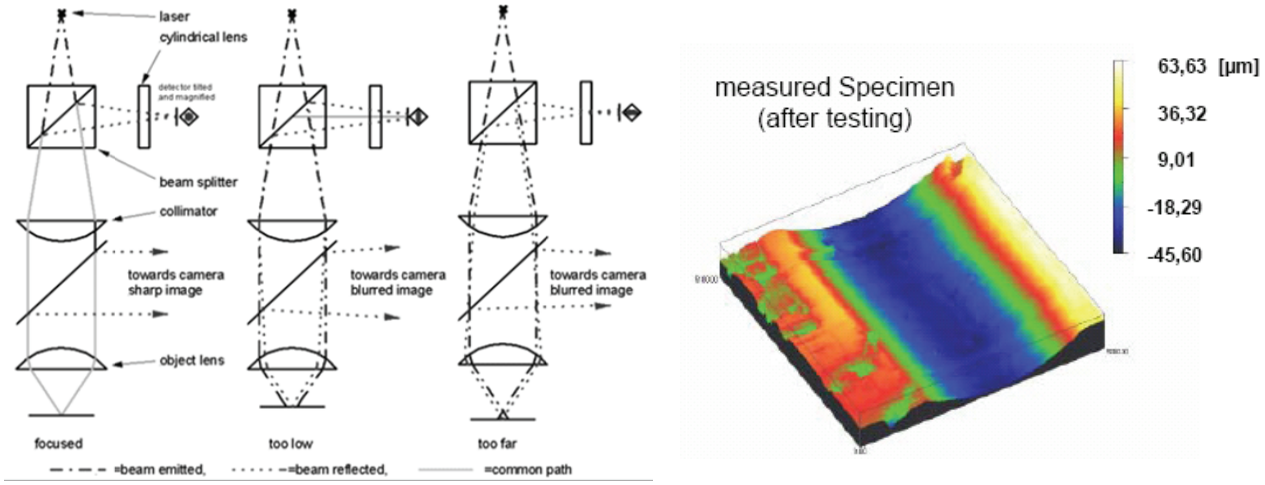
For investigation of phase changing from reflected light waves in surrounding is used differential-phase method. This method allows creating optical scheme tolerant to vibrations.



Pic.1. Laser contactless differential-phase method

Method is based on reception information about local difference of phases of two beams (basic and alarm), from which we can receive information about local curvature of wave front surface by scanning and integrating of defined values [3].

METHOD OF DYNAMIC FOCUSING Microscope µscan of German production by firm NanoFocus [4] was created for the same purposes as DFLSPP. But principle of action of this microscope is not the same. It has focusing sensor and movable lens, which provide auto-focusing by moving of lens along measurement scale (pic.2).



Pic.2. Method of dynamic focusing method

Investigated object moves under laser beam with the set speed and information about moving of movable lens in dependence of height of surface relief goes to computer. The more focused points we will have the better picture will be received. The maximal investigated area is 10x10 cm^2.

EXPERIMENTAL DEFINITION OF POSSIBILIES OF DFLSPP AND "MICROSCAN"

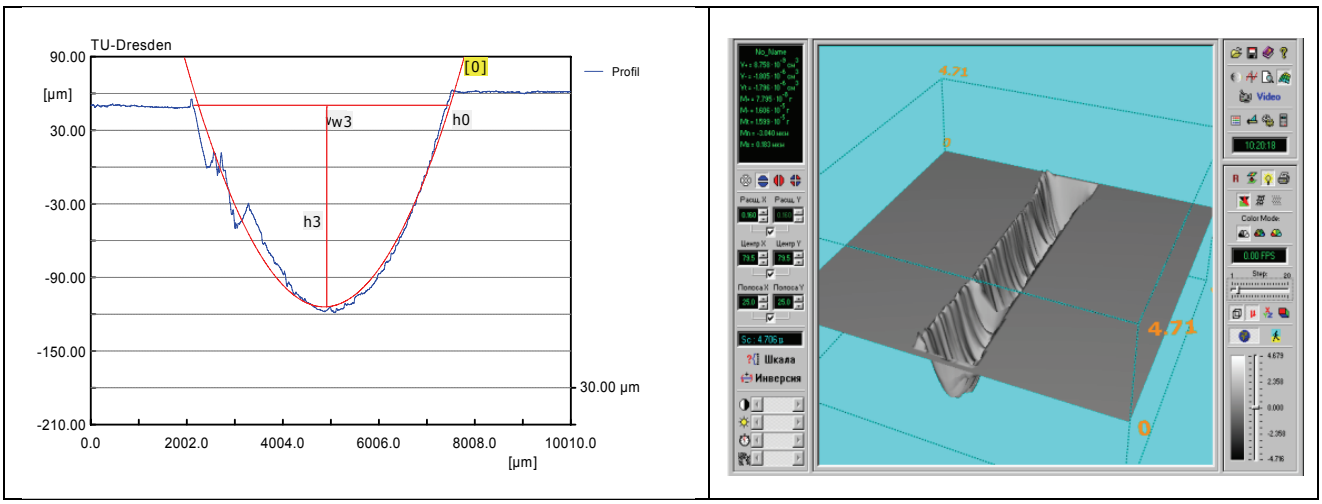
Important peculiarity of DFLSPP and microscope μscan is possibility to define and calculate volumetric structure of rough surfaces. Software of that equipment allows defining main roughness parameters of investigated surfaces of samples. Both microscopes have different methods of calculation, that is why they also have different technical characteristics. Thus on DFLSPP can be calculated standardized roughness parameters of samples in a range 0,005…0,320 micrometers and on μscan in a range 0,025…1250 micrometers (Table1). But on microscope μscan this calculated roughness parameters are also compared with international standards ISO, which can be chosen for different materials.

Also it has to be mentioned, that very important parameter during investigations of the sample is its reflection ability. For DFLSPP can be also investigated objects with reflection ability less then 50%, bun in this case lenses on profilograph-profilometer should be changed.

Table 1. Technical characteristic of microscopes

№	Technical parameters	Microscope			
		DFLSPP		μscan	
		Type of objective lens			
		PLAN, F=6,3, A=0,65	PLAN, F=16, A=0,3	autofocus	
				AF2	AF5
	Max.scanning area, mm	2,5×2,5 0,8×0,8	5×5 3×3	100×100	
	X, Y- resolution, mcm	0,8	0,6	1	1
	Curvature of surface, degree/mcm	20	8	26	19
	Reflection coefficient of the surface, %	≥50		0…100	
	Height of measured step of relief, mcm	≤0,32		≤1500	
	Resolution for relief, nm	≤10		≥25	
	Type of scanning	Acousto-optical		mechanical	

Microscopes Nanofokus and LDFSPP are used for definition size of deterioration of modeling bearings of sliding after friction in laboratory conditions. In the pic. 3 are presented profile of trek after friction, received on a microscope Nanofokus in the laboratories of the Tribotechnics of ILK TU Dresden and 3D image of a trek after friction received on LDFSPP in laboratories Nanotribotehnology NAU Kiev.



a) b)

Pic. 3. Profile of trek after friction by NANOFOCUS (a) and 3D view of trek after friction by LDFSPP (b)

CONCLUSION

Choosing equipment for estimation roughness parameters consumer need technical and economical comparison of this equipment to decide which one is better for purchase. Comparison of technical abilities had shown that differential-phase method has next advantages:

- Is insensitive to vibrations;
- Microscope can provide measurements of surface parameters to 1 nm on height of relief;
- Investigated object is immovable;
- Object with any size can be investigated.

But in this method we don't have autofocus and have not so big working range (height of relief can be measured in range 1…320 nm). Disadvantages of differential-phase method are realized in method of autofocus. And we can name its advantages:

- Wide measurement range;
- Autofocus;
- Sample with surface with any reflection coefficient can be investigated.

In method of dynamic focusing we have next disadvantages:

- Sensitivity on height of relief is smaller then in DFLSPP;
- Mechanical scanning, which lead to vibrations and decrease sensitivity of microscope.

Comparison of all this advantages and disadvantages, general technical characteristics and price of this equipment show that such investigations are very important for consumers for making of an optimal choice of microscope for work in definite conditions.

References

1. Стельмах О.У., Кияшко С.М., Смірнов Є.М., Ільченко Л.М., Колєнов С.О., Сидоренко О.Ю. Лазерний скануючий профілограф-профілометр ДЕДАЛ-ЛСПП / Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»- К., 2005.

2. Патент 217 9328 C1 РФ, МКИ 7G02 B21/00, G01 B11/30. Способ дифференциально-фазовой профилометрии и/или профилометрии и устройство для его реализации / С.Н. Кияшко (РФ), Е.Н. Смирнов, Л.Н. Ельченко, С.А. Коленов, А.У. Стельмах (Украина) - №2001116525/28; Заявлено 19.06.01; Опубл. 10.02.02, Бюл. №4. – С. 15.

3. Колєнов С. О. Аналіз викривлень хвильового фронту лазерним диференційно-фазовим методом. Автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.05 / Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка. —К., 2003.

4. http//:www.nanofocus.com

УДК 621.891(045)

К.К. Бадир, Т.Т. Ибраимов, Д.А. Стельмах
(Национальный авиационный университет, Украина)

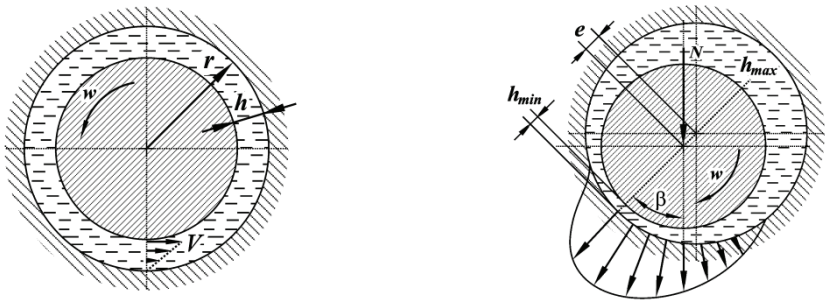
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛАСТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ И КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНОЙ ГИПОТЕЗ ТРЕНИЯ

Сравнение основных положений ЭГД-теории и компрессионно-вакуумной гипотезы трения указывает на существенные отличия представлений о физике процессов и явлений, протекающих в граничных слоях, что подтверждено экспериментально и свидетельствует о необходимости пересмотра ряда понятий и определений в трибологии.

Во второй половине XX века проводились исследования по поиску научно-обоснованных методов, позволяющих повысить несущую способность подшипника, в котором реализовывался эффект «масляного клина», используемого в гидродинамической теории смазки (ГДТС), где трибосистемы и теоретически и практически безызносны. В ходе этих работ было выдвинуто положение, основанное на учете упругих деформаций реальных конструкционных материалов, рассчитываемых по формулам Герца, что теоретически позволяло несколько увеличить осевые нагрузки в подшипниках, так как площадь контакта при этом увеличивалась. Контактно-упруго- или эласто- гидродинамическая (ЭГД) теория трения А.И.Петрусевича, А.М.Эртеля, А.Н.Грубина и др., как и ГДТС предполагает работу ЭГД-трибосистемы при более высоких нагрузках теоретически безызносно. На основе совместного решения гидродинамической и упругодеформационной задач взаимодействия среды и поверхностей трибоконтакта, с учетом протекающих в смазке реологических термодинамических процессов, получены зависимости для оценки силы трения и других параметров трибосистем. Однако на практике коэффициент трения реальных трибосистем на один два порядка больше расчетных, а его значение достигает 0,01-0,10, что характерно для следующего еще более нагруженного режима - трение в условиях граничной смазки. При этом рассчитанные по формулам ЭГДТС трибосистемы, хоть и с малой интенсивностью, но изнашивались, что поясняют пуско-остановочными циклами эксплуатации узлов, на которых, полагают, что трение протекает в условиях граничной смазки.

В соответствии с ЭГД-теорией возникающие гидродинамические давления, действуя на упругие трущиеся поверхности, вызывают их деформации. Величины деформаций определяются величинами и распределением давлений по поверхности, то есть эпюрой давления. Исходя из такого базового суждения, решались, и по сей день, решаются задачи, связанные с гидродинамикой движущейся жидкости, ограниченной двумя трущимися поверхностями. «При этом жидкость движется стесненно, толщина смазочного слоя весьма мала» [1]. То есть, проблему трибологии в рамках ЭГД решали, исходя из двух основных положений: жидкость в контакте трибосистемы находится под высоким давлением, а несущая способность смазочных материалов определяется толщиной смазочного слоя в контакте. Классическая графическая интерпретация гидродинамического эффекта в радиальном подшипнике скольжения с ЭГД-контактом представлена на рис. 1, где эпюра давлений внутри смазочного слоя отождествляется с распределением контактных напряжений, возникающих в поверхностях шипа и подшипника.

В этих работах трение рассматривается, как сопротивление движению адсорбированных на движущихся поверхностях вала слоёв жидкой среды смазки, которые неподвижны относительно движущейся поверхности вала. Их движению препятствуют другие близлежащие молекулярные слои среды, которые вовлекаются в движение, передают импульс другим и так далее. По мере удаления от поверхности движение слоёв среды затухает, и на некотором удалении от перемещающейся поверхности среда будет находиться в объёмном состоянии относительного покоя.



а б

Рис. 1. Классическая схема возникновения давления в смазочном слое, которое отождествляется с контактными напряжениями в рамках ЭГД-теории смазки, где V – скорость в граничных слоях ньютоновской жидкости, h – толщина смазочного слоя, e – эксцентриситет, ω – угловая скорость

Главным критерием реализации гидродинамического и эластогидродинамического режимов трения является минимальная толщина смазочного слоя, которая, экспериментально в динамике определялась не прямыми измерениями, а косвенными. Так, её оценку производят по электрической ёмкости системы поверхность-смазочная плёнка-поверхность и интеференционно-оптическим методом по интерференции света В статике, то есть при сжатии поверхностей без трения, точные измерения производили рентгеновским методом по ширине рентгеновского пучка, проходящего, через контактный зазор. При этом давления, развиваемые в смазочных слоях смазки, во время трения, в динамике не измерялись, они отождествлялись с контактными напряжениями, рассчитываемыми по Г.Герцу.

Серийные конструкционные материалы, например, стальные имеют модуль упругости 212000 МПа. При статическом сжатии осевой модуль упругости метиленовых цепей молекул углеводородных жидкостей, адсорбированных на поверхности твёрдой подложки, оказался равным модулю упругости алмаза. При трении, по данным 15 групп ученых [1] смазочный слой не теряет несущую способность до максимальных герцевских напряжений 3000 МПа. Следовательно, в статических условиях сжатия конструкционные и смазочные материалы обладают гигантской упругостью и прочностью, а экстремальными условиями работы трибосистем из этих материалов считаются: при трении качении 500 МПа и 40 МПа - при скольжении. То есть, конструкционный материал способен выдерживать нагрузки при сжатии на 2-3 порядка выше конструкторских расчетных нагрузок, при которых эксплуатируются детали узлов трения, смазочный слой обладает ещё большей прочностью, а при трении слой разрушается и происходит изнашивание поверхностей. Следовательно, в контакте происходят такие физические процессы, которые приводят к разрушению не только смазочного слоя, но и адсорбированных мономолекулярных граничных слоёв смазки.

Если бы удалось увеличить контактные удельные давления в узлах трения хотя бы на порядок, то габариты, например, трансмиссий уменьшились бы в три раза. Но непреодолимым препятствием на пути использования высокой теоретической несущей способности материалов в трибосистемах и уменьшения их энерго- и металлоёмкости остаются проблемы трения и изнашивания.

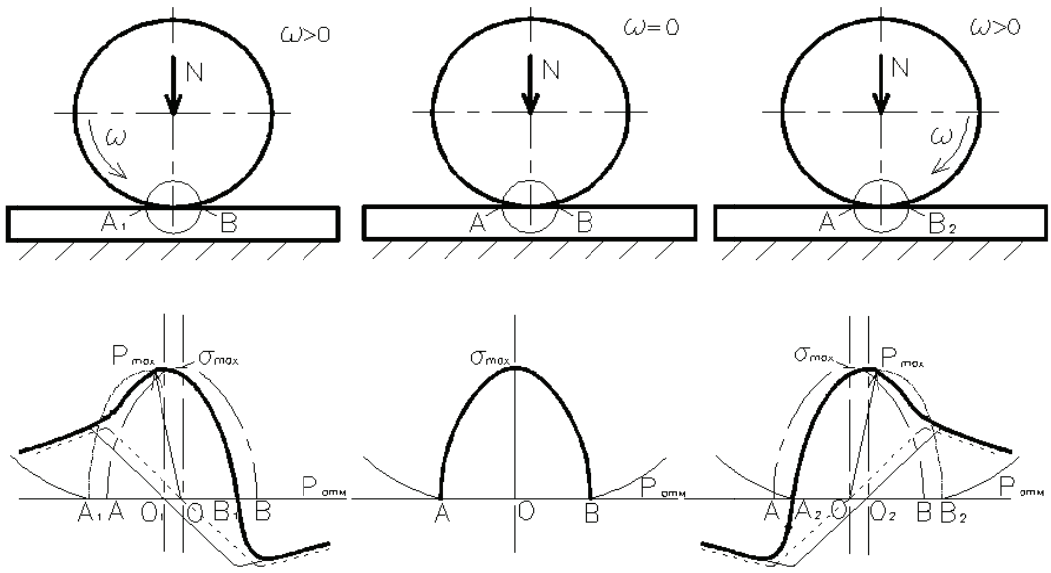
Самая распространённая и теоретически обоснованная эластогидродинамическая теория смазки включает в себя ряд известных основных положений (табл.1). Обращает на себя внимание тот факт, что путем измерения толщины смазочного слоя судят о давлении, возникающей в нем при трении. Как показали прямые измерения давления в граничных слоях ЭГД-контакта, в них возникает характерное конфузорное сжатие и диффузорное разрежение, что легло в основу компрессионно-вакуумной гипотезы трения, основные положения которой не согласуются с ЭГД-теорией.

Таблица 1

Сравнение основных положений эластогидродинамической и компрессионно-вакуумной гипотез трения

№ пп	Положения эластогидродинамической теории смазки	Положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения
1	Ресурс областей ЭГД-контакта определяется предельно допустимой толщиной смазочного слоя, которая должна превышать сумму высот микронеровностей контактирующих поверхностей.	Толщина смазочного слоя в ЭГД-контакте не отражает его трибологические свойства, так как в диффузорных областях даже при малых скоростях скольжения происходит разрежение смазочной среды, что приводит к ее фазовому переходу из жидкого с масловоздушное состояние.
2	Считается, что смазочная пленка в контакте, образованная жидкой средой, является однофазной ньютоновской жидкостью на протяжении всего контакта.	Смазочная пленка в ЭГД-контакте, а именно в его диффузорной области, не является однофазной ньютоновской средой, а представляет собой масловоздушную субстанцию (два граничных слоя трущихся поверхностей с паровоздушным вакуумированным пространством между ними).
3	Пленка смазки в ЭГД-контакте практически параллельна в его центральной части и сужается в районе выхода движущейся поверхности из него.	Пленка ЭГД-контакта, образованного криволинейными поверхностями при сжатии, не параллельна в его центральной части, а является адекватным отражением гуковской упругой деформации граничных слоев.
4	Напряжения в поверхностях ЭГД-контакта, рассчитываемые по Г.Герцу, равны давлению в смазочном слое при трении.	Давление в смазочном слое в конфузорной области контакта увеличивается, а в диффузорной – уменьшаются относительно давления окружающей среды и не равны контактным напряжениям.
5	Контактные напряжения в поверхностях соответствуют расчетным значениям по Г.Герцу и отмечается наличие второго максимума давления (так называемый пик Петрусевича) в области выхода подвижного элемента трибосистемы из ЭГД-контакта.	Так как давление в смазочном слое не тождественно поверхностным контактным напряжениям, определяемым по Г.Герцу, то «контактные напряжения», «давление в смазочном слое» и «давления на трущихся поверхностях» являются разными параметрами.
6	Считается, что толщина слоя смазочного материала в ЭГД-контакте, как определяющий критерий работоспособности узлов трения, находится в диапазоне 0,1….1 мкм при герцевском давлении 1 ГПа, а время прохождения смазки через контакт составляет 10^{-3} ….10^{-5}с.	В отличие от ЭГД-теории, в рамках компрессионно-вакуумной гипотезы трения через ЭГД-контакт смазочная среда поступает из конфузорной в диффузорную область ровно в том количестве, сколько его находится в минимальном зазоре, в том числе и в упруго-напряженном состоянии сжатия.

Экспериментально доказано [2], что при трении в смазочном слое относительно его минимального зазора самопроизвольно возникает сжатие смазочных слоев в конфузорной и их растяжение – в диффузорной областях ЭГД-контакта. Таким образом, давление в смазочном слое не тождественно поверхностным контактным напряжениям, определяемым по Г.Герцу (рис.2). Это значит, что понятия «контактные напряжения», «давление в смазочном слое» и «давления на трущихся поверхностях» нуждаются в коррекции в соответствии с экспериментальными данными, положенными в основу компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания.



а) б) в)

Рис. 2. Схемы скольжения вала по плоскому подшипнику: против часовой стрелки (а), в статике без трения (б) по часовой стрелке (в) с контактом АВ, под нагрузкой N, скоростью вращения вала ω и схемы распределения (внизу соответственно) «контактных» напряжений σ, а также их смещения; давления в смазочном слое p и давления, возникающего на поверхности вала, с учетом давлений в смазочном слое при атмосферном давлении $P_{атм}$

Таким образом, в ЭГД-контакте одновременно возникает две области давлений около зоны с минимальной толщиной смазочного слоя: повышенного – в зоне сужающегося контакта до минимальной толщины смазки, и разрежения – в зоне расширяющегося зазора. Эти давления порождают соответствующие силы, действующие на вал в зоне минимальной толщины смазочного слоя, которые направлены в сторону скольжения и таким образом создаётся не только так называемая гидродинамическая подъёмная сила, приподнимающая вал (рис.1) в конфузорном канале смазки, но и ещё одна сила всасывающая вал разряженной средой в диффузорном канале радиального подшипника скольжения (рис.3).

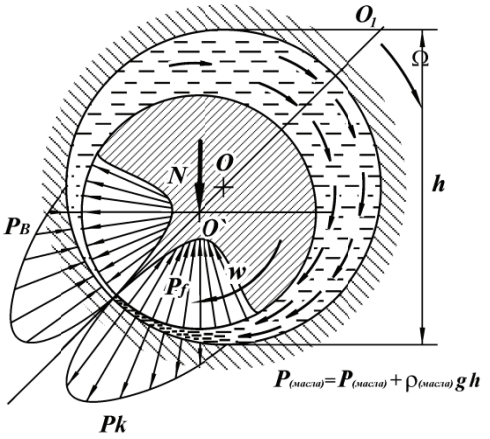


Рис.3. Схема возникновения гидродинамического эффекта с позиций компресионно-вакуумной гипотезы природы трения

Сравнение основных положений ЭГД-теории и компрессионно-вакуумной гипотезы трения указывает на существенные отличия представлений о физике процессов и явлений, протекающих в граничных слоях, что подтверждено экспериментально и свидетельствует о необходимости пересмотра ряда понятий и определений в трибологии.

Список литературы

1. *Коднир Д.С.* Контактная гидродинамика смазки деталей машин М.: Машиностроение, 1976. – 304 с.

2. *Стельмах А.У.* Возникновение контактных струйных течений в условиях граничной смазки и механизм их образования. Нац. авиац. ун-т. – Киев, 2009.– Рус. Деп. В ГНТБ Украины 14.04.09, №20 – Ук 2009. – 43 с.

УДК 514.8:620.191.35(043.2)

Е.Н. Смирнов, к.ф.-м.н., С.А. Коленов, к.ф.-м.н.,
Ю.В. Пильгун (Киевский национальный
университет им. Тараса Шевченко, Украина),
А.В. Кущев
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО МИКРОСКОПА-ПРОФИЛОМЕТРА

При использовании лазерного сканирующего дифференциально-фазового микроскопа-профилометра ЛДФСМП с чувствительностью по профилю 1 нм существенно повышается воспроизводимость получаемых результатов в ходе экспериментальных испытаний смазочных материалов на противоизносные и антифрикционные свойства, как на стадии контроля 3D топографии исходных трущихся поверхностей, так и при измерении величины износа.

Эффективность современных машин во многом зависит от качества обработки рабочих поверхностей комплектующих деталей. К таким рабочим поверхностям деталей машин относятся поверхности, которые при эксплуатации определяют эксплуатационное качество машин и механизмов и характеризуются большим спектром показателей в зависимости от условий их эксплуатации:

- поверхности трибосистем качения, скольжения или верчения, контактные поверхности металлообработки и т.п., которые определяют ресурс узлов трения, их надёжность и другие характеристики: износостойкость, сила трения, общий уровень вибраций, шум, коэффициент детонации, стойкость инструмента и качество обработки деталей машин и т.д. (особенно при высоких скоростях и удельных давлениях на контактах);

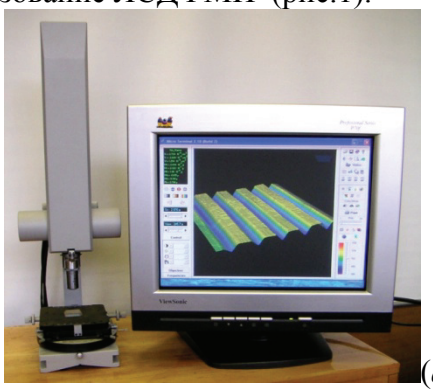
- поверхности деталей гидро- и (или) газодинамических систем, которые образуют с рабочим телом (рабочая жидкость, перегретый пар, воздух и др.) гидро- и (или) газодинамическую контактную пару, при эксплуатации которой процессы, протекающие в пограничных слоях, определяют потери и эффективность гидравлического агрегата, системы, или гидравлической пары, например внутренние поверхности продуктопроводов, гидросистем, поверхности гребных винтов, поверхности обшивок водоплавающих объектов, лопаток гидравлических турбин и т.п.; или поверхности деталей газодинамических систем, например, лопаток компрессоров или турбин, поверхности других деталей, образующих газовоздушный тракт газотурбинных двигателей, то же в турбоэлектрогенераторах, обшивка самолёта, ракеты, снаряда или другого летающего объекта и т д., особенно при высоких скоростях истечения рабочего тела;

- поверхности деталей радиоэлектронных приборов и других электрических машин (антенны, провода и т.п.), где качество поверхностей определяет их функциональную эффективность за счёт радиоэлектронных и магнитных процессов, протекающих в приповерхностных слоях (особенно на высоких частотах радиоэлектронных и (или) электрических сигналов).

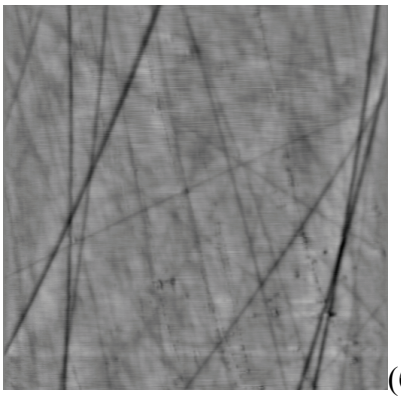
Критериями качества поверхностей деталей машин являются параметры шероховатости. В современном машиностроении наиболее широко используются контактные методы сканирования поверхностей механическим щупом. Получаемый таким образом профиль на профилографах или уровень осцилляций щупа в определённом направлении анализируется и определяется его характеристики в удобном виде системы параметров R_a, R_z, R_{max}, S_m или др. Эти параметры стандартизованы соответствующими ГОСТами и регламентируются конструкторской и технологической документацией производства. Традиционно в мировой практике машиностроения используются различные контактные профилографы-профилометры, работающие на принципе ощупывания

поверхности индентором весьма внушительных размеров (радиус скругления щупа от 4мкм). При контактном измерении, кроме того, что поверхность повреждается, получаемая при этом информация - весьма скудная: оценивается качество поверхности лишь по вертикальному отклонению щупа, скользящего по вершинам лишь одного сечения профиля, не проникая во все впадины; на большинстве приборов щуп осциллирует относительно также осциллирующей базовой поверхности, что не позволяет корректно описать даже один профиль, не говоря о принципиальной невозможности объёмно описать конфигурацию поверхности.

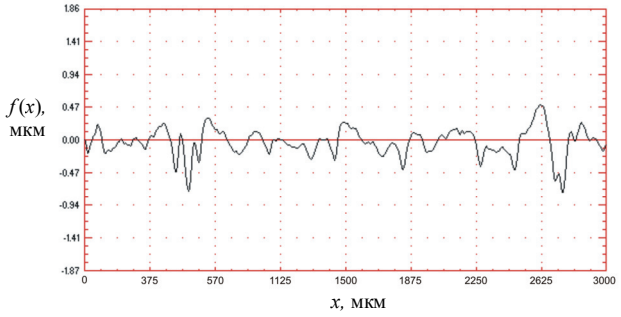
В качестве одного из возможных вариантов решения данной проблемы предлагается использование ЛСДФМП (рис.1).



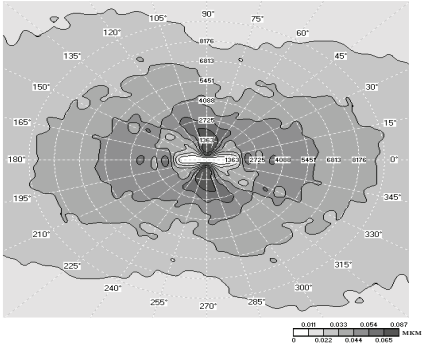
(*а*)



(б)



(*в*)



(г)

Рис. 1. Исследование шероховатости тестовой поверхности с параметром шероховатости R_a 0,15 мкм.*а)* Внешний вид микроскопа-профилометра ЛСДФМП, *б)* двумерное изображение рельефа тестовой поверхности, восстановленного из данных, полученных двумерным дифференциально-фазовым методом; *в)* профиль тестовой поверхности; *г)* двумерное распределение дисперсии тестовой поверхности по направлению для отдельных спектральных составляющих пространственного спектра поверхности (по радиусу - пространственные частоты в $см^{-1}$)

В этом приборе предполагается реализация дифференциально-фазового метода исследований, обеспечивающего высокую чувствительность к изменению профиля поверхности по высоте (до 1 ангстрема) и хорошую виброзащищенность, в сочетании с использованием быстродействующих двухкоординатных акустооптических устройств управления лазерным излучением [1]. Это всё в совокупности должно давать возможность получать двумерную дифференциально-фазовую информацию о поверхности объекта исследования путем его растрового сканирования. Это должно позволять не только проводить исследования параметров данной поверхности в любом направлении с минимальными затратами времени и высокой точностью, но и вводить новые двумерные параметры для описания свойств поверхности, которые до сих пор не рассматривались в связи с трудоемкостью их получения. Так, например, существующие методы определения параметров шероховатости поверхности являются либо одномерными, т. е. измеряющими шероховатость вдоль одного профиля поверхности или направления (механический метод, методы светового и теневого сечения, растровый метод), либо по площади освещаемого поверхность светового пятна (рефлектометрический метод). Эти методы предполагают, что

исследуемая поверхность является случайной и однородной. Но на самом деле реальные поверхности характеризуются особенностями поведения шероховатости, в частности, по направлению, так как характер шероховатости поверхности в значительной степени зависит от способа ее обработки.

Триботехнические исследования, проведенные в научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ показали, что угловая пространственная зависимость параметров шероховатости является весьма важным фактором при трении. Например, износостойкость, сила трения, контактная температура трибосистемы сильно зависят от пространственного амплитудно-частотного распределения микрогеометрии рабочих поверхностей относительно направления их эксплуатации. В этой связи микроскоп-профилометр дает возможность легко получить представление о периоде или пространственной частоте шероховатости в заданном направлении (рис.2). Кроме того, собственные предварительные результаты исследования показали большие перспективы использования ЛСДФМП для измерений локальных дефектов поверхностей, в том числе и оценки объемного износа деталей машин, что весьма актуально, в частности, при лабораторных триботехнических испытаниях.

Экспериментально установлено, что именно объёмная пространственная шероховатость поверхностей трения несёт информацию об её триботехнических свойствах. При исследовании влияния шероховатости на эффективность веществ-организаторов безадгезионного трения экспериментально было установлено, что один из наиболее распространенных параметров шероховатости R_a не несет информацию о свойствах поверхности при трении. То есть, один из наиболее распространённых стандартизованных параметров шероховатости R_a, которые определяются по одному и/или по нескольким профилям, характеризуют лишь среднее отклонение выступов и впадин относительно средней линии и не несут информацию о геометрии вершин выступов. А ведь именно поверхность вершин выступов вступает в контактные взаимодействия с поверхностью другого тела посредством граничных слоев при трении. Нами была проведена серия следующих экспериментов: образующая цилиндров контробразцов после шлифования на круглошлифовальном станке подвергалась полировке последовательно различными алмазными пастами зернистостью 40, 20, 10, 5, 3 и 1. Параметр R_a таких поверхностей после измерений на профилометре «Калибр 283» был менее 0,02 мкм. Одни контробразцы после этого подвергались шлифованию на круглошлифовальном станке, после чего параметр R_a находился в пределах 0,47…0,53 мкм, т.е. приблизительно 0,5 мкм.

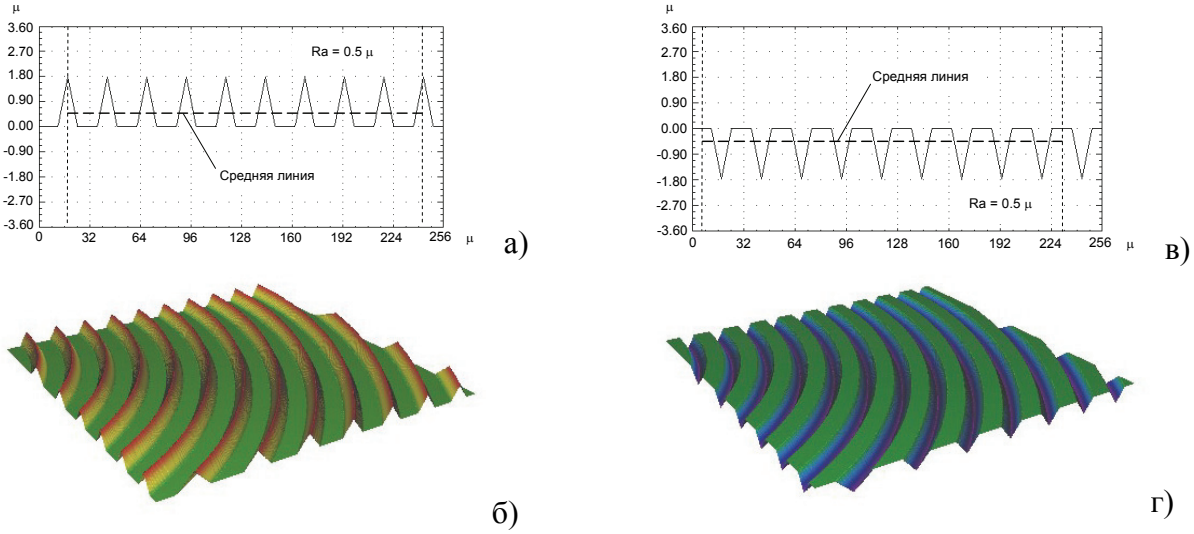


Рис.2. Модельная поверхность, имеющая геометрию в форме выступов (профиль а) и её 3D вид (б), а также в форме впадин (в) и её 3D вид (г) с одинаковым параметром шероховатости R_a 0,5 мкм

Другие полированные контробразцы подвергались шлифованию путём их вращения и прижатия к поверхности образующей цилиндра обычной наждачной бумаги с зернистостью, соответствующей №№ 2, 5,7, 10 последовательно, до тех пор, пока величина Ra не достигла

0,5 мкм. Такое значение параметра Ra было достигнуто при шлифовании наждачной бумагой №10. После этого контробразцы с одинаковым значением величины Ra, равным 0,5 мкм, но поверхности которых получены различными технологическими приемами, подвергались трению по неподвижному плоскому образцу с одинаковой шероховатостью (менее 0,02 мкм). Испытания проводились в среде диалкилбензолового масла. Трение контртела, обработанного на круглошлифовальном станке, характеризовалось начальным износом 5 мкм и интенсивностью изнашивания 7 мкм в час. При этом величина коэффициента трения находилась в пределах 0,15…0,2, температура трения достигала 98^{o}C. При трении контробразцов, полученных другой технологией, (с таким же параметром Ra) начальный износ достигал 1 мкм, интенсивность изнашивания 0,3 мкм в час, коэффициент трения не превышал 0,1, а температура не превышала 75^{o}C.

Такое разительное отличие триботехнических свойств поверхностей с одинаковым параметром шероховатости Ra, измерянным на стандартном профилометре, связана с тем, что процедура шлифования алмазным кругом на круглошлифованом станке при встречном вращении контробразцов и круга приводит к формированию на поверхности выступов. А при шлифовании вращающихся контробразцов путем прижатия неподвижного шлифовального материала приводит к образованию впадин. Следовательно, в первом случае вершины выступов имели геометрию, близкую к геометрии режущей кромки резца (рис.2 а,б), а во втором случае вершины выступов имели геометрию плоских платформ и шероховатость в этом случае по Ахматову А.С. названа каньенообразной (рис.2 в,г).

Исследование шероховатости поверхностей, полученных различными технологическими путями, контактными профилографами-профилометрами типа «Калибр» не показали каких-либо принципиальных различий ни по профилограммам, ни путем профилометрирования. То есть лишь использование бесконтактного лазерного сканирующего дифференциально-фазового акустооптического профилографа-профилометра ЛСДФМП позволило установить принципиальную разницу состояния поверхностей, полученных различными технологическими приемами. На рис.2(б) и рис.2(г) (под профилограммами) показаны трехмерные изображения поверхностей контробразцов, полученных на ЛСДФМП, которые свидетельствуют о том, что параметр шероховатости Ra не отражает фактического состояния поверхности принципиально, т.е. является несостоятельным. Кроме этого, качественно новая информация о пространственном состоянии поверхностей деталей машин, получаемая на микроскопе-профилометре ЛСДФМП позволит разрабатывать новые технологические приёмы доводки рабочих поверхностей с наиболее эффективной эксплуатационной микрогеометрией. Это крайне необходимо для машиностроения при изготовлении трущихся деталей машин, лопаток турбин и компрессоров, деталей прецизионной техники и т.д.

Внедрение ЛСДФМП в испытательно-измерительный трибологический комплекс «NAU Friction Wear Test System» позволило существенно уменьшить погрешность получаемых трибологических характеристик конструкционных и смазочных материалов, а именно показателей их противоизносных и антифрикционных свойств, с 30 до 9%. Таким образом, путем использования ЛСДФМП с высокой чувствительностью по профилю (1 нм) в трибологических испытаниях, существенно повышается воспроизводимост получаемых результатов, как на стадии контроля 3D топографии исходных трущихся поверхностей, так и при измерении величины износа,

Список литературы

1. Патент RU 2179328 C1; 7 G02B21/00, G01B11/30 Способ дифференциально-фазовой профилометрии и/или профилографии и устройство для его реализации. *Кияшко С.Н., Смирнов Е.Н., Ильченко Л.Н., Коленов С.А., Стельмах А.У.* Опубликовано 2002.02.10, дата начала отсчета действия патента 2001.06.19.

УДК 62.229.315 (043.2)

А.В. Кущев, Р.А. Шевченко к.т.н., проф.,
В.П. Коба., Е.Г. Ковальчук
(Национальный авиационный университет, Украина)

ФИЗИКА ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Показано, что наиболее эффективным способом очистки трущихся поверхностей подшипников качения является бесконтактное магнтно-турбулентне воздействите как на поверхности, так и на микрочастицы ферромагнитной и другой природы, а физика процесса такой очистки заключается в перемагничивании поверхностей тел различной массы с фиксированной частотой.

В производстве и в техобслуживании трибосистемы качения подвергают очистке. Известны различные методы и технологий удаления загрязнений. С учетом конструктивных и технологических различий, а также особенностей эксплуатации подшипников, наибольшее распространение получили ультразвуковые методы их очистки. При этом для разрыхления и ослабления связей загрязнений с подложкой, и последующего их удаления используют преимущественно гидродинамическое воздействие. Как показали результаты исследований [1, 2], даже такой относительно эффективные методы не всегда обеспечивают требуемый уровень чистоты. В первую очередь эта задача актуальна для приборных и других прецизионных подшипников.

С целью повышения эффективности существующих и разработки новых методов и технологий очистки узлов машин и механизмов в лаборатории нанотриботехнологий НАУ был проведен ряд исследований, направленных на построение основы физико-математической модели поведения частиц загрязнений и изучения влияния сил, воздействующих в процессе очистки на компоненты загрязнений рабочих поверхностей подшипника. В качестве объекта исследования был выбран шарикоподшипник серии 203. Характер потока моющей жидкости, проходящей через подшипник, поддерживался турбулентным, как наиболее распространенный в известных методах и способах. Реализуется его способность эффективно реструктурировать загрязнения и удерживать их в потоке моющей среды.

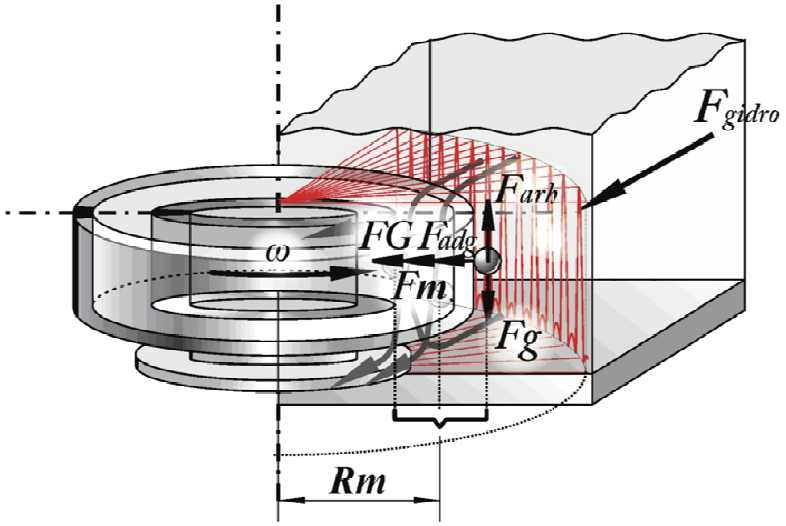


Рис.1. Силы, действующие на частицу при очистке подшипника

С учетом этих условий, следует обратить внимание на то, что при очистке известными методами на частицу, находящуюся на поверхности тракта качения подшипника, действуют

следующие силы (рис.1): гравитационная составляющая F_g, кулоновские силы *FG* сила Архимеда F_{arh}, сила гидродинамического сопротивления F_{gidro}, сила адгезии F_{adg}, магнитная составляющая доменов F_m [1].

Кулоновские силы отражают взаимодействие двух тел с массами *m1* и *m2*

$$F_g = \frac{m_1 m_2}{4\pi g_0 r^2}, \text{ (Н)}, \qquad (1)$$

где

$$g_0 = 1{,}19 \cdot 10^9 \left[\frac{кг \cdot c^2}{м^3} \right], \qquad (2)$$

r- расстояние между телами.

В качестве моющей среды преимущественно используются углеводородные жидкости и поверхностно активные вещества. Керосины относят к низкомолекулярным углеводородным соединениям. Молекулы керосина в среднем содержат 8 метиленовых групп (рис.2), [3].

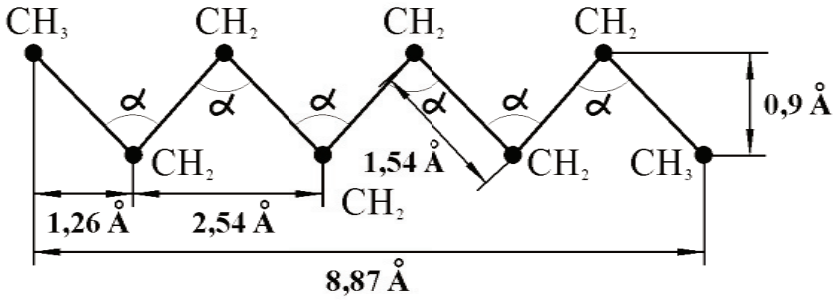


Рис.2. Структура молекулы керосина

Таким образом, расстояние между поверхностями, смоченными мономолекулярным слоем керосина составит 1,774 нм. Масса частицы диаметром 0,1...10 мкм находится в диапазоне $0{,}4 \cdot 10^{-21}$ … $0{,}4 \cdot 10^{-14}$ кг. С учетом этих значений из формулы (1) следует, что для частицы загрязнения размером 0,1...10 мкм гравитационная составляющая в среде керосина для случая с подшипником серии 203 (масса внутреннего кольца – 0,038 кг) будет находиться в диапазоне от $3{,}23 \cdot 10^{-16}$ до $3{,}23 \cdot 10^{-9}$ Н и зависит от размера частицы.

Силу Архимеда F_{arh}, воздействующую на частицу в промывающем растворе, описывает выражение

$$F_{arh} = \rho q V \qquad (3)$$

Сила гравитационного притяжения Земли действующие на частицы загрязнения определяются их размерами $F=g_0*((m_1*m_2)/(r^2))$, $F= mg_0$, и составляют в для указанных выше условий $0{,}39 \cdot 10^{-20}$ ...$0{,}39 \cdot 10^{-13}$ *Н*. С учетом разделения частиц загрязнений мономолекулярным слоем керосина, адгезионной составляющей силы можно пренебречь.

Силы Ван-дер-Ваальса проявляются на расстоянии диаметров атомов. Так как расстояние между поверхностями частицы и обоймы не менее 2-х длин молекул керосина, то силами межатомного притяжения также можно пренебречь.

Исходя из изложенного выше, основной силой воздействующей на загрязнения в процессе очистки поверхности является гидродинамическая сила. Согласно формуле Н.Е. Жуковского [5] сила лобового сопротивления частицы сферической формы в потоке моющей среды составляет

$$F_x = 0{,}2 \cdot \pi \cdot d_ч^2 \cdot \rho \cdot \Delta u^2 \qquad (4),$$

где $d_ч$ – диаметр частицы, м; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; Δu – скорость потока жидкости относительно частицы, м/с.

В случае использовании в качестве моющей среды керосина при скорости потока Δu = 1,2 м/с, достаточной для образования турбулентного характера течения в каналах подшипника качения, сила лобового сопротивления рассматриваемой частицы составит от $7{,}24\cdot10^{-12}$ до $7{,}24\cdot10^{-8}$ Н.

Необходимо также учитывать, что с уменьшением размера фракций загрязнения требуется увеличение минимально достаточной для отрыва средней скорости потока. Экспериментальное и теоретическое исследования подтверждают уменьшение скорости движения моющей жидкости в приграничных слоях а также то, что значительное количество особо мелких частиц затенено неровностями поверхности. Существенно, что шероховатость может служить и турбулизатором потока. Наличие в таком течении поперечных пульсаций скоростей жидкости (в поперечном сечении) способствует переносу твердых частиц в массе моющей среды и поддержанию их во взвешенном состоянии. [4].

При условии формирования взвеси фрагментов загрязнения обеспечивается перемещение элементарных объемов жидкости указанными пульсациями скоростей $\upsilon`_{oz}$ Следовательно, сила сопротивления подъему Fy определяется формулой Стокса

$$F_y = 3\pi\mu d_ч \upsilon'_{OZ} \qquad (5)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, м$^{-1}$·кг·с$^{-2}$; $d_ч$ - диаметр частицы, м; $\upsilon`_{oz}$ - скорость поперечной пульсации, м/с.

Тогда, для частиц диаметром $0{,}1...10\cdot10^{-6}$ м в керосине (при 20 °С μ = 12,8; ρ = 800 кг/м^3) при Δu = 1,2 м/с сила сопротивления подъему составит $1{,}5\cdot10^{-5}...1{,}5\cdot10^{-3}$ *Н*. Следовательно, при определенном значении скорости $\upsilon`_{oz}$ (степени турбулизации потока) худшие условия для подъема в потоке будут для крупных и тяжелых частиц взвеси. При ламинарном течении жидкости ($\upsilon`_{oz}$ = 0) подъем частиц и удержание их в объеме во взвешенном состоянии сильно затруднено.

С учетом этого фактора гидродинамическая составляющая воздействующих сил примет вид

$$\vec{F}_{gidro} = \vec{F}_x + \vec{F}_y . \qquad (6)$$

Сложный профиль сепаратора и принудительное вращение подвижных элементов трибосистемы качения в процессе очистки способствуют образованию турбулентных течений, вместе с тем существенно снижают скорость переноса жидкости на рабочих поверхностях дорожек и тел качения, что ограничивает применение для очистки трибосистем качения от микро- и субмикрозагрязнений гидродинамическое воздействие в качестве основного действующего фактора.

Анализ литературных источников, а также результаты проведенных авторами экспериментов показали, что на границах доменов конструкционных материалов имеют место достаточно сильные магнитные поля, что вместе с остаточной намагниченностью деталей в значительной степени препятствует [2] отрыву и удалению с из рабочих поверхностей частиц загрязнений ферромагнитной природы.

С учетом этого рассматриваемую систему можно представить совокупностей пар диполей (рис.3.).

Для частицы m_1 загрязнения, на поверхности которого магнитная индукция В составляет 10 мТл (при допущении идентичности материала загрязнения и деталей подшипника), напряженность магнитного поля примет вид:

$$H = \frac{B}{(\mu_0\mu_m)} = 1{,}45(А/м) \qquad (7),$$

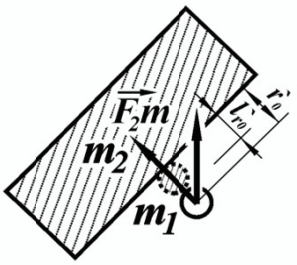


Рис. 3 Магнитное взаимодействие частицы загрязнения ферромагнитной природы с обоймой подшипника

Тогда намагниченность будет соответствовать

$$M_m = \frac{B}{\mu_0} - H = 7956{,}3(A/м) \qquad (8)$$

Для рассматриваемой частицы с объемом V_{m1} в диапазоне от $5{,}24 \cdot 10^{-22}$ до $5{,}24 \cdot 10^{-16}$ м^3 и объема обоймы подшипника $V_{m2} - 4{,}9 \cdot 10^{-6}$ м^3 момент диполя равен

$$P = M_m \cdot V = ql \qquad (9)$$

Магнитная сила взаимодействия частицы в поле внутреннего кольца подшипника составит

$$F_m = \frac{\mu_0 q_1 H}{4\pi} \qquad (10)$$

и для рассматриваемого случая будет принимать значения от $2{,}9 \cdot 10^{-14}$ до $2{,}9 \cdot 10^{-7}$ *Н*.

Выводы

1. Отрыв частиц загрязнений размером менее 5 мкм с деталей сложных и затененных рабочих поверхностей а также удержание их во взвеси моющего раствора крайне затруднено.
2. Причиной снижения эффективности очистки известными методами есть сложный профиль полостей трибосистем качения, затрудняющий удаление частиц микро-, субмикро- и наноуровня.
3. Сопоставление сил удержания частиц загрязнений на поверхностях трибосистем качения подтвердило необходимость особого рассмотрения магнитного взаимодействия исследуемых объектов на доменном уровне.

Список использованной литературы

1. *Аксьонов О. Ф., Стельмах О.У., Костюнік Р. Є., Кущев О. В*. Електромагнітна складова утворення феромагнітних забруднень.//Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ 2006. – Вип.46. – С. 91 – 102.

2. *Аксьонов О. Ф., Костюнік Р. Є., Кущев О. В.* Підвищення функціональної якості підшипників кочення шляхом електромагнітного очищення.//Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ 2008. – Вип.49. – Т. 1. С.9 – 13.

3. *Аксенов А.Ф.* Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости.– М.: Транспорт., 1965. – 171 с.

4. *Белянин П.Н., Данилов В.М.* Промышленная чистота машин. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.

УДК 621.891:539.375(043.2)

И.Ф. Кравченко, В.Г. Ананьев, П.А. Колесник,
А.Б. Единович (ГП «Ивченко-Прогресс», Украина)
А.Ф. Аксёнов, д.т.н., проф., А.У. Стельмах, к.т.н.
(Национальный авиационный университет, Украина)

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РЕДУКТОРОВ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХФАЗНОЙ МАСЛОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Стендовые испытания двигателей ТВ3-117ВМА-СБМ1 в условиях обильного смазывания радиальных подшипников передних редукторов показали, что выкрашивание осей сателлитов происходит после 1000 часов, а эксплуатация восьми двигателей с доработками по организации двухфазной масло-воздушной смазки редукторов свидетельствует об отсутствии признаков выкрашивания осей при суммарной наработке более 5000 моточасов.

Разработка, конструирование и организация производства новых серийных авиационных летательных аппаратов требует значительных материальных затрат. Поэтому при создании нового летательного аппарата всегда рассматривается возможность использования в его составе серийно выпускаемых агрегатов, которые хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации и по техническим характеристикам соответствуют предъявляемым требованиям в составе нового изделия. При создании новых типов самолётов Ан-140, Ан-148 и Ан-158 в КБ «Ивченко-Прогресс» разрабатывались двигатели ГТД ТВ3-117ВМА-СБМ1 и Д-436-148 на базе существующих ТВ3-117ВМА и Д-436.

Для обеспечения необходимого для подшипников качения роторов и редукторов ГТД и ВСУ теплового режима [1] применяется система смазки и охлаждения с прокачкой десятков и сотен литров в минуту, в то время как для обеспечения смазки поверхностей трения без учета теплонапряженности требуются всего миллилитры [2]. В работах [3,4] указывается, что потери на трение в подшипниках с масловоздушным смазыванием смазкой масляным туманом существенно снижаются (до трех раз), хотя интенсивность теплоотвода в воздушно-масляную фазу также уменьшается. Из этого следует, что охлаждающая жидкая (однофазная) среда в трибоконтакте, обеспечивая теплоотвод от него, в это же время является причиной увеличенного тепловыделения.

Повышение износостойкости и ресурса высокооборотных трибосистем качения при уменьшении количества смазочного материала, подаваемого в зону контакта в виде масловоздушной смеси, не находит своего однозначного объяснения с позиции известных теорий, гипотез и положений о трении и изнашивании. Общепризнанная эластогидродинамическая (ЭГД) теория смазки [5…8] включает в себя ряд положений, исходя из которых, для повышения ресурса трибосистем необходимо реализовывать обильное смазывание контакта и избегать возможности возникновения условий масляного голодания. Тем не менее, практика высокоскоростных трибосистем качения и скольжения показала, что в ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к интенсивному изнашиванию поверхностей, их выкрашиванию или термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным.

В 2007 году была выдвинута гипотеза о компрессионно-вакуумной природе трения [9,10], исходя из которой, в ЭГД-контакте протекают значительно более сложные процессы, чем взятые за основу в эластогидродинамической теории смазки. В работах [9, 10] представлены экспериментальные данные, которые легли в основу компрессионно-вакуумной гипотезы о природе трения и трибокавитационном механизме изнашивания. Основным положением этой гипотезы является самопроизвольное возникновение относительно минимального зазора каждого элементарного трибоконтакта двух характерных областей. В области уменьшения зазора по направлению скольжения и/или качения, т.е.

конфузорной, происходит повышение давления в граничных слоях смазки и возникновение вторичного течения, противоположного направлению вращения. В этой области при высоких скоростях трение происходит между набегающими с движущейся поверхности слоями граничной смазки и слоями вторичного обратного течения, вызванного градиентом давлений в сужающейся зоне трибоконтакта. Применительно к трению качения, гидродинамические процессы в граничных слоях протекают аналогично трению скольжения. На рис.1 показана схема возникновения области повышенного +ΔР и пониженного -ΔР давления в граничных слоях смазки (ось $P_{ос.}$) и векторы вторичных течений смазки: компрессионных $\upsilon^{компр.}$ и вакуумных $\upsilon_{вак.}$, направленных противоположно набегающим смазочным слоям при давлении окружающей среды равном атмосферному $Р_{атм.}$ (пересечение осей x и $P_{ос.}$) и распределение давлений смазочного слоя на поверхности ролика. Пунктиром показано распределение упругих контактных напряжений по Г.Герцу без смазки, в среде воздуха (зазор – условный). Если наблюдать за качением ролика по кольцу по схеме, представленной на рис.1, когда контакт относительно наблюдателя неподвижен, то в конфузорной области набегающие с движущимися поверхностями ролика и дорожки кольца потоки по мере приближения к минимальному зазору будут встречать сопротивление вторичных течений, направленных противоположно движению. При этом через минимальный зазор в соответствии с физическим законом сохранения количества вещества, смазка пройдёт в количестве не превышающем имеющегося вещества в зоне максимальных контактных напряжений, где граничные слои максимально упруго деформированы. В диффузорной области контакта будет происходить разрежение прошедших через минимальный зазор слоёв смазки, понижение в них давления относительно давления окружающей среды, например атмосферного. Как следствие, здесь вторичные вакуумные течения будут направлены из среды в контакт и также против движения. Соответственно на ролик будут действовать давления сжатых и разреженных слоев смазки, как показано на рис.1 в виде эпюры давлений.

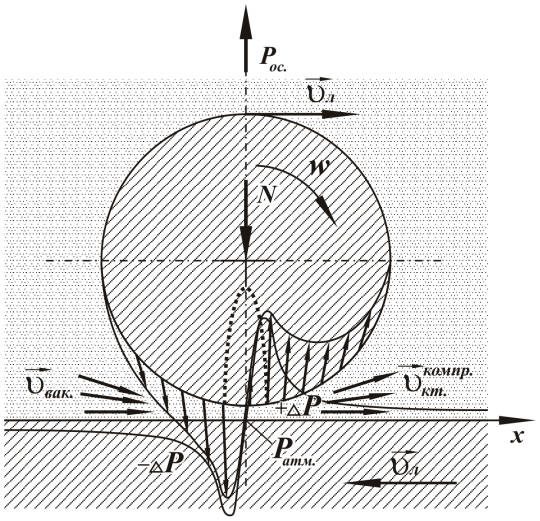


Рис.1 Схематическое возникновение компрессионных и вакуумных гидродинамических процессов в граничных слоях смазки при трении качения ролика по кольцу

Результаты лабораторных исследований, а также основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы процесса трения были использованы при выборе режима подачи смазочного материала в роликовые подшипники сателлитов переднего редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1, который является маршевым для самолетов Ан-140. Стендовые испытания опытных двигателей подтвердили необходимость доработки главного редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1 с целью повышения его ресурса и надежности, так как наблюдалось повреждение осей подшипника-сателлита по дефекту выкрашивания. После испытаний и разборки редукторов было установлено, что поверхность рабочего сектора качения роликов была значительно меньше (в 2 раза) расчетной. Конструкторами было принято решение уменьшить радиальный зазор подшипников сателлитов с 0,015…0,035 мм

до 0,005…0,025 мм, что позволило уменьшить сектор бесконтактного торможения роликов смазкой и сепаратором в нерабочей и бесконтактной с осью области, где ролики находились в состоянии инерционного вращения. При этом подвод смазки оставался прежним – через те же 2 отверстия на беговой дорожке и с тем же расходом (рис. 2,а), то есть смазывание трибоконтактов осуществлялось более обильно, чем ранее - с большим зазором.

При стендовых испытаниях обнаружено, что выкрашивание поверхностей качения при прочих равных условиях и уменьшении зазора, происходит менее интенсивное, чем при больших зазорах. В ходе анализа результатов мнения специалистов относительно возникшей проблемы разделились: с позиций эластогидродинамической теории смазки требуется увеличить расход масла для более обильного смазывания и снижения теплонапряженности трибоконтактов путем более интенсивного отвода тепла. С позиций компрессионно-вакуумной гипотезы трения [9,10], необходимо снижать вязкость смазочной среды, например, путем перевода ее в двухфазное состояние.

Исходя из основных положений компрессионно-вакуумной гипотезы трения, аргументация использования масловоздушной смазочной среды в высокоскоростных редукторах заключалась в следующем. Основным источником выделения тепла является трение интенсивных набегающих граничных и вторичных течений смазочных слоев в конфузорных областях трибоконтактов. Для улучшения теплового режима зоны контакта необходимо отказаться от обильного смазывания и применить масловоздушную смесь, объемная вязкость и плотность которой существенно (на порядок) меньше, чем у базового масла. Использование двухфазной смазочной среды обеспечит уменьшение степени разрежения и снижение интенсивности трибокавитации, которая также является источником теплоты и причиной кавитационного разрушения поверхностей.

Проанализировав основные положения ЭГД-теории и компрессионно-вакуумной гипотезы трения, было принято решение в пользу последней и реализована смазка двухфазной средой подшипников сателлитов переднего редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1. Для этого была произведена конструкторская доработка (рис.2б) роликовых подшипников сателлитов, а именно: масло, с тем же расходом, подавалось не на дорожки качения, а через каналы на торцы роликов. При этом на больших частотах вращения роликов (4000 об/мин) образуется двухфазная смазочная среда в виде масловоздушной смеси. Стендовые испытания на ОАО «Мотор Сич» проводились на двигателях с серийными номерами 317001 и 317013 в течение 2007-2009 гг. и подтверждают существенное повышение ресурса главных редукторов без признаков усталостного выкрашивания поверхностей качения осей сателлитов. Такая конструктивная доводка была внедрена на восьми двигателях ТВ3-117ВМА-СБМ1, которые в настоящее время находятся в эксплуатации. На протяжении более одного года при суммарной наработке более 5000 ч съемов редукторов по дефекту выкрашивания осей сателлита не происходило. Использование масловоздушной смазывающей среды – эффективный путь снижения потерь на трение и теплонапряженности высокоскоростных трибосистем опор и редукторов ГТД. Экспериментально подтверждается, что трение набегающих граничных слоев смазки с движущейся поверхностью и слоев смазки вторичных течений, возникающих в диффузорной области контакта, а также кавитация в конфузорной являются основными причинами разогрева высокоскоростных трибосистем с ЭГД-контактами. Выделению из смазочной среды масловоздушной фазы, наряду с барботажем, способствуют процессы разрежения смазки в диффузорных областях контакта, то есть трибокавитация, когда степень разрежения достигает значений меньше давления насыщенных паров масла. Стендовые испытания ТВ3-117ВМА-СБМ1 на ОАО «Мотор Сич» и ГП «Ивченко-Прогресс» показали, что при уменьшении зазоров в роликовом подшипнике и при том же расходе масла на дорожках качения ресурс передних редукторов двигателя несколько увеличивался, однако выкрашивание не прекращалось. При использовании масловоздушной смазки, вместо струйной подачи масла на беговую дорожку признаков разрушения поверхностей обнаружено не было. Эксплуатация восьми двигателей с конструкторскими доработками по

организации смазки масловоздушной смесью показала, что при увеличении ресурса осей сателлитов передних редукторов двигателей ТВ3-117ВМА-СБМ1 более чем в 5 раз, признаки их выкрашивания не обнаружены, а редуктора работают надёжно и устойчиво.

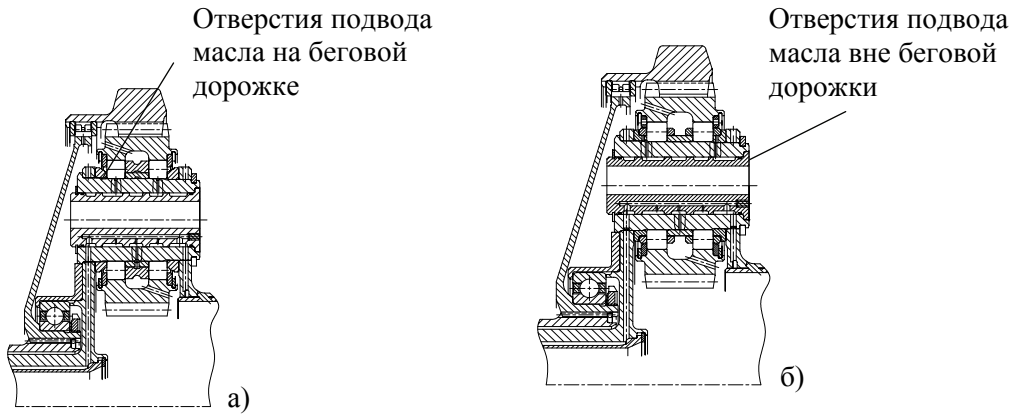


Рис. 2 Схема подвода смазки в подшипники главного редуктора двигателя ТВ3–117ВМА–СБМ1: а) исходная конструкция; б) доработанная конструкция подшипника сателлита

Приведенные результаты исследований подтверждают справедливость компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания, свидетельствуют об их научно-технической состоятельности, в частности применительно к термонагруженным и высокоскоростным трибосистемам современных ГТД, а также перспективность их использования при проектировании трибосистем авиационного двигателестроения.

Список литературы

1. Ковеза Ю.В., Никитин С.В,.Пшеничных С.И. О решении тепловой задачи применительно к обычным и гибридным подшипникам качения газотурбинных двигателей. Ж. «Авиационно-космическая техника и технология», 2008, №10 (57). – С.132-135.

2. Демидович В.М. Исследование теплового режима подшипников ГТД.- М.: Машиностроение, 1978.- 172 с.

3. Основы теплопередачи в авиационной технике /Под ред. Кошкина В.К. – М.: Оборонгиз, 1960. – 389с.

4. Ли Сейрег. Расчет коэффициента трения в контактах скольжения и качения // Современное машиностроение. – 1989. – Серия Б, №12.- С.148-152.

5. Kenneth C Luderma, Arbor A. Friction, wear, lubrication. A Textbook in Tribology. – CRC Press, Inc. - Boca Raton, New York, London, Tokyo. – 1996. – 257 p.

6. Грубин А.Н. Основы гидродинамической теории смазки тяжелонагруженных криволинейных поверхностей. – М.: Машгиз., 1949. – 150 с.

7. Петрусевич А.И. Основные выводы из контактно-гидродинамической теории смазки // Изв. АН СССР ОТН. – 1951, №2. – С.209-223.

8. Сомов В.А. Смазка машин и механизмов (Особенности смазки деталей дизелей) // Трение, износ, смазка. Том 11, №1, март 2009г. с.17.

9. Стельмах А.У. Компрессионно-вакуумный механизм адгезионного трения и изнашивания. – Деп. в ГНТБ Украины. - 07.07.2008, №109 – Ук 2008. – 28 с.

10. Стельмах А.У. Возникновение контактных струйных течений в условиях граничной смазки и механизм их образования. – Деп. В ГНТБ Украины 14.04.09, №20 – Ук 2009г. – 43 с.

УДК 621.891:539.375(043.2)

А.Ф. Аксенов, д.т.н., проф., А.У. Стельмах, к.т.н.,
К.К. Бадир, Д.Д. Хуссейн
(Национальный авиационный университет, Украина)

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИБОСИСТЕМ С ЭГД-КОНТАКТОМ

Показано, что агрегатное состояние смазочных материалов в ходе их трибологических испытаний является одним из первостепенных факторов, определяющих силу трения и интенсивность изнашивания модельных трибосистем. Барботаж и кавитационные явления в контактах при определенных условиях (скорость скольжения, нагрузка) приводят к возникновению масловоздушной смеси, что необходимо учитывать при оценке качества смазочных материалов.

Исследования подтвердили важность и перспективность учета упругости материалов, что привело к развитию эластогидродинамической теории (ЭГДТ) трения, когда высокие давления в масляном клине вызывают упругую деформацию контактирующих тел, в результате чего величина зазора между деталями возрастает (рис.1).

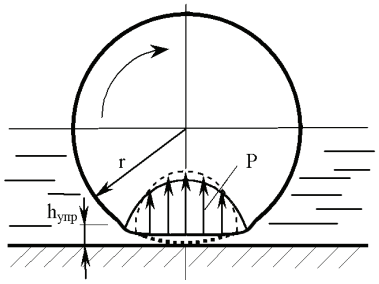


Рис. 1. Схема эластогидродинамического эффекта в подшипнике скольжения

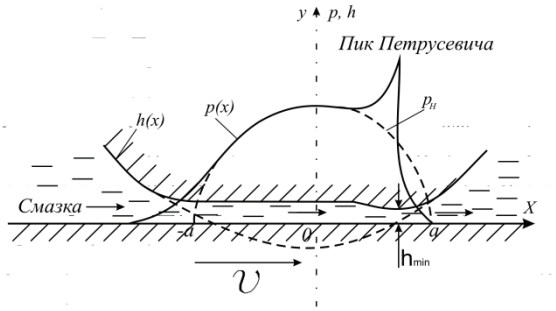


Рис. 2 – Характерные признаки ЭГД-контакта [1]

Самую распространённую и теоретически обоснованную эластогидродинамическую (ЭГД) теорию смазки представляют с помощью классической схемы ЭГД-контакта (рис.2). Неподвижная плоская поверхность при сжатии и без перемещения с неподвижной поверхностью h_x реализует контакт протяженностью *[-aOa]*. Под действием сил сжатия без трения в поверхностях возникают контактные напряжения $p_{н.}$, а при движении со скоростью V давление в граничном слое p_x отождествляется с контактными напряжениями, где выделяют наличие пика Петрусевича в области выхода движущейся поверхности из контакта, где толщина смазочного слоя h_{min} минимальна.

ЭГД-теория построена на следующих основных положениях.

1. Ресурс областей ЭГД-контакта определяется предельно допустимой толщиной смазочного слоя, которая должна превышать сумму высот микронеровностей контактирующих поверхностей.

2. Считается, что смазочная пленка в контакте, образованная жидкой средой, является однофазной ньютоновской жидкостью на протяжении всего контакта.

3. Пленка смазки в ЭГД-контакте практически параллельна в его центральной части и сужается в районе выхода движущейся поверхности из него.

4. Напряжения в поверхностях ЭГД-контакта отождествляются с давлением в смазочном слое.

5. Контактные напряжения в поверхностях соответствуют расчетным значениям по Г.Герцу и отмечается наличие второго максимума давления (так называемый пик Петрусевича) в области выхода подвижного элемента трибосистемы из ЭГД-контакта.

6. Считается, что толщина слоя смазочного материала в ЭГД-контакте, как определяющий критерий работоспособности узлов трения, находится в диапазоне 0,1….1 мкм при герцевском давлении 1 ГПа, а время прохождения смазки через контакт составляет 10^{-3} ….10^{-5}с.

Из базовых положений ЭГД-теории смазки следует, что для повышения ресурса трибосистем необходимо реализовывать обильное смазывание контакта и избегать возможности возникновения условий масляного голодания. Теоретически трение ЭГД-контакта является безызносным, однако реальная эксплуатация трибосистем качения и скольжения показала, что все они изнашиваются, что объясняют неустойчивостью режима трения на пусковых режимах. В ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к увеличению интенсивности изнашивания и выкрашивания поверхностей или к термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения более интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным способом и, как показала практика, является причиной дополнительного теплообразования.

Экспериментально установлено, что с увеличением скорости скольжения в ЭГД-контакте сила трения в области малых скоростей возрастает. Затем, достигнув максимальных значений, уменьшается, что объясняют уменьшением вязкости масляного клина за счет увеличения температуры в смазочном слое. Известно, что при исследовании влияния скорости качения на реологические характеристики трансмиссионных смазочных материалов показали, что эффективная вязкость смазочного слоя с увеличением скорости существенно уменьшается, а толщина смазочного слоя увеличивается. Это объясняет повышение эффективности смазки за счет снижения напряжений сдвига смазочных слоев и локализации вектора напряжения сдвига в них, где влияние твердых поверхностей минимально.

Путём совместного решения гидродинамической и упруго-деформационной задач взаимодействия среды и поверхностей трибоконтакта, с учетом реологических термодинамических процессов, протекающих в среде, были получены формулы для силы трения и других параметров трибосистем. Эти зависимости оказались настолько громоздкими, что в практике конструкторско-инженерных расчетов они не используются. Коэффициент трения реальных трибосистем на один два порядка больше расчетных и достигает значений 0,01-0,1, что характерно для следующего, еще более нагруженного режима – трения в условиях граничной смазки. При этом поверхности хоть и с очень малой интенсивностью, но изнашиваются, особенно в пуско-остановочных циклах эксплуатации узлов.

Учитывая упругую деформацию поверхностей трения, ЭГД-теория трения между двумя поверхностями трактуется, как сопротивление перемещению одних слоёв смазки, движущихся в направлении движения поверхностей, относительно других слоёв, находящихся в покое. При реализации гидро- и эластогидродинамического эффектов в трибосистемах скольжения коэффициент трения привлекательно мал 0,0001 и 0,005 соответственно, но габариты таких подшипников слишком велики, а удельные нагрузки слишком малы, чтобы их использовать во всех узлах трения. Даже при незначительном повышении нагрузки трибосистема становится крайне неустойчивой и начинает входить в режим, выделенный в трибологии как отдельная отрасль знаний - трение в условиях граничной смазки.

Авторы ЭГД-теории контактной гидродинамики смазки деталей машин (Н.Д.Коднир) сетовали на отсутствие средств быстрого расчета контактных напряжений с учетом шероховатостей поверхностей, физико-химических свойств конструкционных и смазочных материалов и других факторов из-за громоздкости формул. Сейчас имеется быстродействующая вычислительная техника и современная математическая программная среда, которые позволяют с лёгкостью производить самые сложные расчеты параметров практически любых динамических процессов, в том числе и процессы трения в трибосистемах и практически мгновенно. Однако на практике многочисленные

теоретические наработки в области трения и изнашивания практически нигде не используются. На наш взгляд, это связано с недостаточно полным представлением о самой природе процесса трения.

Многочисленные экспериментальные данные и опыт эксплуатации трибосистем с ЭГД-контактами показал, что они на практике не есть безызносными, что предполагает теория ЭГДТС. С малой интенсивностью, но поверхности изнашиваются.

Обращает на себя внимание термоэффект, который был обнаружен и изучался профессором Н.Ф.Дмитриченко. При трении качения, в динамике, достоверно наблюдалось возникновение в смазочном слое зоны с повышенной температурой, которая находилась в области входа поверхностей в ЭГД-контакт, то есть перед контактом. Объяснить такое распределение температур, когда принято считать, что самое интенсивное тепловыделение происходит в области выхода поверхностей из контакта, с позиций существующих теорий не удаётся. Поэтому обнаруженное явление рассматривается, как эффект.

Экспериментальные данные, полученные в лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ, легли в основу компрессионно-вакуумной гипотезы о природе трения и трибокавитационном механизме изнашивания. Основным положением этой гипотезы является самопроизвольное возникновение относительно минимального зазора каждого элементарного трибоконтакта двух характерных областей. В области уменьшения зазора по направлению скольжения и/или качения, т.е. конфузорной, происходит повышение давления в граничных слоях смазки и возникновение вторичного течения, противоположного направлению движения. В этой области при высоких скоростях трение происходит между набегающими с движущейся поверхности слоями граничной смазки и слоями вторичного обратного течения, вызванного градиентом давлений в сужающейся зоне трибоконтакта.

В диффузорной области увеличения зазора по направлению качения и/или скольжения, происходит разрежение граничных слоев и уменьшение давления в них относительно давления окружающей среды до значений, равных и меньших давления насыщенных паров смазочной среды. Здесь возникает вторичное течение, направленное из окружающей среды в контакт и против движения. Эти течения также вызваны градиентом давлений, но отрицательным в направлении движения. При этом в диффузорных областях ЭГД-контактов, особенно при высоких скоростях (больше 0,1 м/с), происходит нарушение однородности смазочного слоя с образованием маслопаровоздушных полостей пузырьковой кавитации, которая характеризуется самопроизвольным возникновением паровоздушных пузырьков и их схлопыванием у поверхности трения, что также приводит к её нагреву.

В отличие от ЭГД-теории, компрессионно-вакуумная гипотеза трения основана на принципиально новых положениях:

1. Толщина смазочного слоя в ЭГД-контакте не отражает его трибологические свойства, так как в диффузорных областях даже при малых скоростях скольжения происходит разрежение смазочной среды, что приводит к ее фазовому переходу из жидкого с масловоздушное состояние. Следовательно, о какой-либо, в том числе минимальной толщине субстанции неопределенного масло - паровоздушного агрегатного состояния говорить не приходится. Поэтому минимально допустимая толщина смазочного слоя не может служить однозначным критерием ресурса трибосистем с ЭГД-контактом.

2. Смазочная пленка в ЭГД-контакте, а именно в его диффузорной области, не является однофазной ньютоновской средой, а представляет собой масловоздушную два граничных слоя трущихся поверхностей с паровоздушным вакуумированным пространством между ними.

3. Пленка ЭГД-контакта, образованного криволинейными поверхностями при трении, не параллельна в его центральной части, а является адекватным отражением распределения герцевских контактных напряжений, под действием которых она упруго деформируется. То есть, минимальная толщина слоя в статических условиях сжатия будет находиться в области максимальных контактных напряжений.

4. Экспериментально наблюдаемая в области выхода поверхности трения из контакта минимальная толщина смазочного слоя и отмечаемый в соответствии с ЭГД-теорией пик контактных напряжений Петрусевича вызваны вакуумированием смазочного слоя в диффузорной области контакта.

5. В процессе трения в смазочном слое относительно его минимального зазора самопроизвольно возникает сжатие смазочных слоев в конфузорной и их растяжение – в диффузорной областях ЭГД-контакта. Таким образом, давление в смазочном слое не тождественно поверхностным контактным напряжениям, определяемым по Г.Герцу. Это значит, что понятия «контактные напряжения», «давление в смазочном слое» и «давления на трущихся поверхностях» необходимо скорректировать в соответствии с экспериментальными данными, положенными в основу компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания.

6. В отличие от ЭГД-теории, в рамках компрессионно-вакуумной гипотезы трения через ЭГД-контакт смазочная среда поступает из конфузорной в диффузорную область ровно в том количестве, сколько его находится в минимальном зазоре, в том числе и в упруго-напряженном состоянии сжатия, что не противоречит закону сохранения количества вещества.

Для проверки эффективности использования масловоздушной смеси в трибосистеме скольжения был проведен ряд экспериментов на лабораторных машинах трения АСБ-01 и АСБ-02 [10], где в качестве рабочей среды использовались моторные масла МС-20 и ИПМ-10. Применение паровоздушной масляной суспензии, по сравнению с ее жидким однофазным состоянием, приводило к существенному (на 20-30%) уменьшению сил трения и на 5…7^0С снижению температуры нагрева среды при прочих равных условиях трения (нагрузка, скорость). На рис.3 представлен вид однофазной жидкой среды в начале трения при частоте вращения модельного вала 200 мин$^{-1}$ при отсутствии трибоконтакта и самопроизвольного ее перехода в двухфазное маслопаровоздушное состояние через 10 минут трения после создания линейного трибоконтакта, что привело к образованию двухфазной маслопаровоздушной смеси в диффузорной области контакта, что, в свою очередь, привело к самопроизвольному увеличению скорости до 350 мин$^{-1}$. В течение этих 10 минут наблюдалось насыщение объема масла микропузырьками, образованными в диффузорной области ЭГД-контакта. При этом сила трения скольжения уменьшалась на 30…40%.

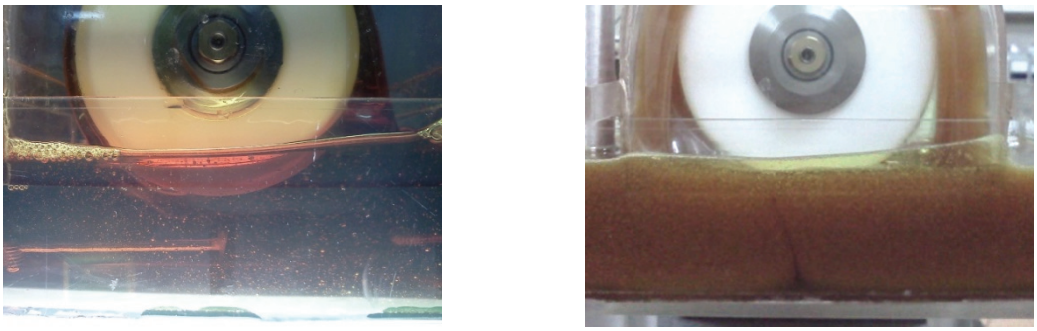


Рис.3 – Вид однородной однофазной прозрачной смазочной среды в однофазном (а) и двухфазном (б) состояниях: а - при отсутствии трибоконтакта и постоянной частоте вращения модельного вала 200 мин$^{-1}$; б - образование двухфазной непрозрачной маслопаровоздушной смеси при трибокавитации в линейном контакте после 10 минут трения и частоте вращения вала до 350 мин$^{-1}$, которая увеличилась за счет двухфазности смазочной среды

Таким образом, показано, что агрегатное состояние смазочных материалов в ходе их трибологических испытаний является одним из первостепенных факторов, определяющих силу трения и интенсивность изнашивания модельных трибосистем. Барботаж и кавитационные явления в контактах при определенных условиях (скорость скольжения, нагрузка) приводят к возникновению масловоздушной смеси, что необходимо учитывать при оценке качества смазочных материалов.

УДК 621.891:539.375(043.2)

А.Ф. Аксенов, д.т.н., проф.,
К.К. Бадир, Р.К. Аль-Тамими, Д.А. Стельмах
(Национальный авиационный университет, Украина)

КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНЫЙ МЕХАНИЗМ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ

Представленный компрессионно-вакуумный механизм трения применим для каждого из трёх самостоятельных разделов трибологии – гидродинамического, эластогидро-динамического трения, а также при трении в условиях . граничной смазки, а использование этих сведений позволит по-новому подойти к решению проблем трения и изнашивания

Исходя из результатов экспериментальных исследований молекулярной физики граничного трения, эпитропные слои жидкой среды, которые образуются на лиофильных поверхностях твёрдых тел при их статическом сжатии, разрушить невозможно, вплоть до контактных напряжений упругости самых прочных сталей и даже алмаза [1..3]. Следовательно, при трении адсорбированных на поверхностях граничных слоёв, их разрушение и изнашивание поверхностей связано с определённым физическим процессом возникновения условий деструкции молекул эпитропных приповерхностных жидко-кристаллических (ЭЖК) структур, что приводит к фрикционному взаимодействию практически сухих участков рабочих поверхностей трибосистем их адгезии и изнашиванию. В соответствии с выдвинутой гипотезой о компрессионно-вакуумной (КВ) природе трения [4], такие условия возникают в диффузорных участках трибоконтактов, где установлено возникновение и протекание процесса разрежения и вакуумирования среды. Как известно [1], именно вакуумирование является самым эффективным и широко используемым методом для очистки поверхностей твёрдых тел от молекул жидкой среды.

На рис.1 показана схема уменьшения максимальных контактных напряжений в поверхностях за счет наличия на них эпитропных ЭЖК-слоёв смазочной среды путем увеличения площади и соответствующего уменьшения и перераспределения контактных поверхностных напряжений в статических условиях сжатия.

В поперечном сечении контакт бесконечно длинного вала 1 с поверхностью неподвижного подшипника скольжения 2 находится в покое при атмосферном давлении окружающей среды P_{oc}=0,1МПа. В среде воздуха под действием силы N_g поверхности упруго деформируются, создают линейный контакт $А_аБ_а$ с шириной b_a и в них возникают контактные напряжения σ_a, с распределением по Г.Герцу (рис.1). Когда лиофильные поверхности смочены смазочной средой и также сжаты силой N_g, то они упруго деформируются посредством одноосно сжатых эпитропных граничных слоев смазки, которые имеют некоторую толщину d [3]. В этих слоях развивается давление, равное поверхностным напряжениям σ_d, оно уменьшает напряжение, возникающее в поверхностях на воздухе, и перераспределяется так же симметрично относительно оси приложенной нагрузки N_g, как и в поверхностях σ_d, что приводит к расширению контакта $А_аБ_а$ с шириной b_a до $А_dБ_d$ с шириной b_d. То есть сжатые поверхностями молекулярные ЭЖК-слои жидкости воспринимают лишь осевые сжимающие давления, а их толщина тем меньше, чем выше контактные напряжения. ЭЖК-слои, имеющая свойства кристаллической субстанции, при деформировании подчиняются закону Гука. При этом у кромок ЭЖК-контакта $А_dБ_d$, контактные напряжения будут соответствовать давлению окружающей среды, например, атмосферному, а толщина граничных ЭЖК-слоёв будет максимальной и равной 2d. Следовательно, контакт сжатых поверхностей с ЭЖК-слоями смазки $А_dБ_d$ представляет собой зазор, симметрично сужающийся от кромок $А_d$ и $Б_d$ до середины, где давление ЭЖК-слоёв и контактные напряжения поверхностей максимальны.

Взяв вышеприведенные начальные условия формирования упругого контакта поверхности, образующей цилиндр ролика и плоской грани параллелепипеда, которые

разделены также упруго одноосно-напряженными двумя граничными ЭЖК-слоями толщиной d за основу, процесс трения скольжения вала, вращающегося вокруг своей оси в жидкой среде, с позиций КВ-гипотезы представляется следующим образом.

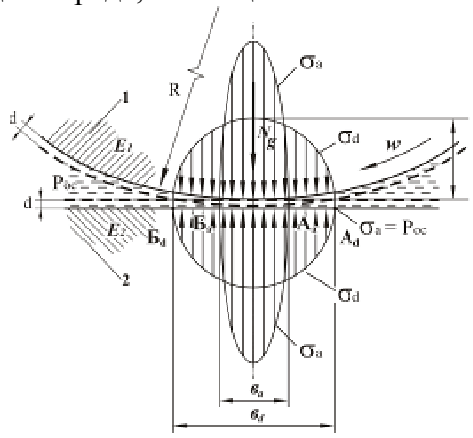


Рис.1 Схема образования линейного контакта $А_аБ_а$ шириной b_a поверхности, образующей цилиндр ролика 1 и поверхности плоской грани параллелепипеда 2 под действием осевой силы N_g и возникновение в них контактных напряжений σ_a на воздухе и его расширение до $А_dБ_d$ с шириной b_d и соответствующим уменьшением контактных напряжений до σ_d с учетом наличия на поверхностях ЭЖК-слоёв толщиной d

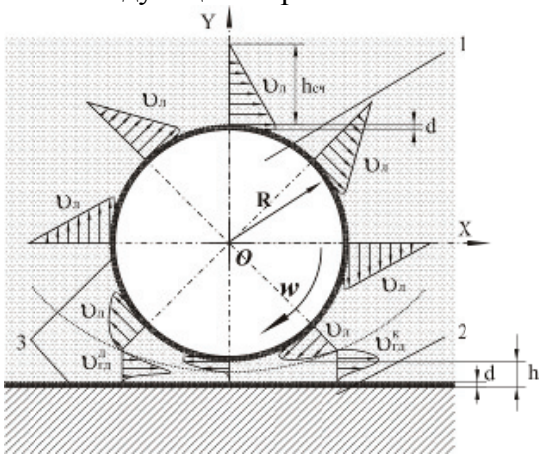


Рис. 2. Схема возникновения вторичных гидродинамических течений (конфузорного $\vec{\upsilon}^{к}_{гд}$ и диффузорного $\vec{\upsilon}^{к}_{гд}$) в зазоре h между вращающимся роликом 1 и плоской гранью параллелепипеда 2 с ЭЖК-слоями 3, толщиной d, над которыми на высоте $h_{сх}$ структурно-чувствительные граничные слои жидкости имеют пренебрежимо малую скорость

Рассмотрим вращение вала 1 (рис. 2) вокруг своей оси со скоростью ω в жидкой среде в нормальных атмосферных условиях с давлением окружающей среды P_{oc}=0,1МПа. В случае отсутствия какого-либо препятствия около поверхности образующей цилиндр вала, эпюры скоростей граничных слоёв смазочной среды будут иметь вид, характерный, например, Ньютоновской жидкости в виде прямоугольника (рис. 6). Максимальную линейную скорость $\vec{\upsilon}_л$ будут развивать ЭЖК-слои, которые имеют некоторую толщину d, так как они характеризуются свойствами анизоторопных кристаллических структур [3]. В начале движения ЭЖК-слоёв начинается их трение по слоям покоящейся в объёме изотропной жидкости. Близлежащие к ЭЖК-слоям молекулы среды также начинают перемещаться, но с меньшей скоростью. По мере удаления сенсора давления от поверхности при определённой линейной скорости $\vec{\upsilon}_л$ поверхности вала (примем малые скорости до 0,5 м/с) на некотором расстоянии $h_{сч}$ движение молекул среды будет крайне мало, а датчики давления на этом расстоянии будут указывать на практическое отсутствие изменения давления и течения жидкости. То есть движущиеся с поверхностью структурно-чувствительные граничные слои смазки в бесконечном объёме жидкой среды характеризуются некоторой высотой эпюры скоростей. На этой высоте $h_{сч}$ по нормали к поверхности, образующей цилиндр вала, чувствительность сенсоров к движению фрагментов среды снижается до 1 мм вод. ст., и теоретически можно предположить, что на расстоянии $h_{сч}$ скорость движения молекул жидкой среды практически равна нулю. В наших экспериментах [4] с помощью датчиков давления в среде моторных, гидравлических и других технических масел измеренная высота структурной чувствительности граничных слоёв $h_{сч}$ не превышала 2 мм. Это значит, что движение самых дальних слоёв масла от поверхности становилось не существенным уже на расстоянии до 1 мм при малых скоростях. На больших расстояниях от поверхности жидкость оставалась однофазной сплошной средой и без воздушной фазы.

При приближении препятствия к поверхности, образующей цилиндр вращающегося вала, в том числе и измерительного зонда, например, на плоской поверхности параллелепипеда, до расстояния меньше двух высот структурной чувствительности

граничных слоёв среды $h_{сч}$ возникают вторичные течения среды (рис.2). В сужающемся по направлению движения вала зазоре, то есть в конфузорной его области, происходит истечение среды из него в обратную движению вала сторону со скоростью $\vec{\upsilon}_{гд}^{\,к}$. В расширяющейся части зазора, то есть в диффузорной области, происходит втекание жидкости в зазор со скоростью $\vec{\upsilon}_{гд}^{\,о}$ из объёма. Эти течения возникают в силу повышения давления в конфузорной области зазора, до зоны его минимальной величины, где оно резко уменьшается до атмосферного. После этого в диффузорной части зазора происходит соответствующее разрежение среды. Сжатие и разрежение среды, а также возникающие соответствующие вторичные течения из зазора и в зазор, направленные обратно вращению вала, приводят к росту потерь мощности электропривода, что подтверждается экспериментально.

Если продолжать перемещать плоскую преграду к ролику и приложить внешнюю нагрузку сжатия, то начнется контактное трение ЭЖК-слоёв вала с ЭЖК-слоями плоской поверхности. На рис.3 представлена схема такого трения с распределением давлений в граничных слоях и возникновением контактных конфузорных и диффузорных течений, обратных направлению движения вала.

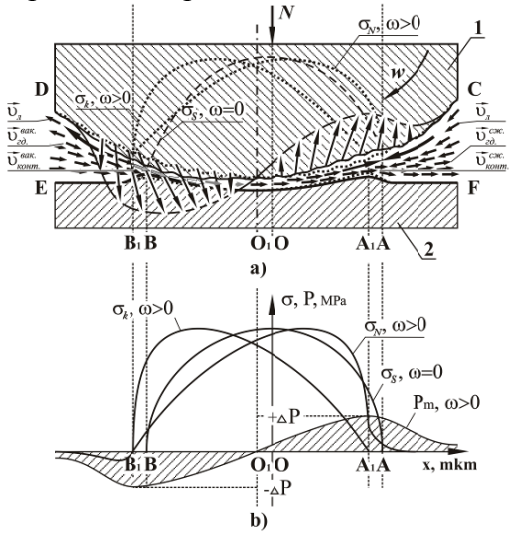


Рис. 3. Образование контактных вторичных компрессионных и вакуумных течений граничных слоёв смазки, направленных обратно скольжению. а) Схема гидродинамических процессов в трибосистеме скольжения «ролик 1 – подшипник 2» и смещение неподвижного контакта АОВ в направлении скольжения в зону $A_1O_1B_1$; b) распределение контактных напряжений в поверхностях трения σ_s без движения (ω=0); распределение давлений в граничных слоях смазки P_m при трении (ω›0); суммарное гидродинамическое давление граничной смазки и контактных напряжений, возникающих между контактирующими поверхностями $\sigma_к$ при трении (ω›0); суммарное поле реактивных напряжений, действующих нормально только на поверхность движущегося ролика σ_R при трении (ω›0).

Перед входом вала в контакт в области CFAC, то есть в конфузорной части контакта ЭЖК-слоёв жидкой среды (от сечения АА до сечения ОО), образуются вторичные гидравлические течения среды, направленные в сторону, обратную движению вала. Они вызваны компрессией набегающих адсорбированных на поверхности вала слоёв смазки, которые движутся вместе с ней в контакт с максимальной скоростью, равной линейной скорости скольжения $\vec{\upsilon}_л$ вращающейся поверхности. Первое обратное движению вала вторичное гидродинамическое течение возникает задолго до контакта. Оно образуется за счет упругих деформаций граничных слоёв, путем принудительного уплотнения молекул, то есть их сжатия в конфузорной приконтактной области CFAC, и направлено в обратную движению вала сторону со скоростью $\vec{\upsilon}_{гд}^{\,сж}$, за счет геометрического сужения канала, как показано ранее на рис.6. Экспериментально это наблюдается и фиксируется с помощью измерительного зонда давления при вращении вала вблизи (на некотором измеряемом расстоянии между валом и плоской поверхностью) как в жидкой, так и в газообразной среде.

Если, не останавливая вращение вала, приложить осевую нагрузку и создать упругий контакт АБ эпитропными слоями смазки (рис.3), то в конфузорной части контакта АО возникнет второе дополнительное обратное течение молекул граничных слоев от области минимального зазора OO_1 и максимального одноосного давления сжатия, равного σ_{max}, до кромки входа вала в контакт AA_1, где давление превышает атмосферное на величину степени сжатия граничных слоёв в приконтактной конфузорной области CFAC.

Это вторичное контактное течение начинается из зоны входа ролика в контакт AA_1, то есть из самой кромки касания деталей с граничными слоями среды до зоны OO_1 с максимальными контактными напряжениями σ_{max}, то есть из области минимального зазора граничных ЭЖК-слоёв смазки, и проистекает принудительно. Оба течения обратной компрессионной струи ОА и набегающих адсорбированных слоёв смазки СА у самой передней кромки контакта A_1A входят практически в лобовое столкновение. То есть, происходит процесс, подобный известному в гидродинамике гидравлическому тарану, но в отличие от классического – однократного, гидротаран в случае подшипника скольжения непрерывен.

На выходе ролика из контакта по направлению скольжения в области BB_1 возбуждаются также два противоположных течения, но вакуумированием или растяжением ЭЖК-слоёв. Одно из них представляет собой адсорбированные молекулярные слои на поверхностях, в том числе ролика, с остаточными фрагментами смазки в минимальном зазоре, которые движутся вместе с поверхностью ролика из области от минимального зазора OO_1 в область выхода его из контакта BB_1 со скоростью $\upsilon_{л.}$. Этот граничный слой оказывается в расширяющемся диффузорном канале, проходя путь от зоны OO_1 до BB_1, где по пути движения происходит разрежение среды, то есть вакуумирование. Второй поток формируется из молекул среды, находящихся вблизи зазора BB_1 в объёме с давлением окружающей среды $P_{атм.}$. У самой кромки выхода ролика из контакта с плоскостью BB_1 объёмные фрагменты среды устремляются из области B_1E в зону пониженного давления граничных слоёв BB_1 со скоростью $\vec{\upsilon}_{конт}^{сж}$, откуда поверхностью ролика выносятся разреженные фрагменты среды, которые, в свою очередь, пройдя путь от зоны OO_1 до BB_1 под действием отрицательного градиента давлений оказались в диффузорном канале.

Таким образом, показано, что гидродинамические эффекты трения в режиме граничной смазки обусловлены образованием областей, как с повышенным, так и с пониженным давлением в смазочном слое. Обоснованы перемещения зоны контакта трибосистемы скольжения, вызванные перераспределением давления в соответствующих конфузорной и диффузорной областях повышенного и пониженного давления контакта. Показано, что контактом двух смазанных поверхностей, сжатых с некоторой осевой силой, являются упруго деформированные эпитропные жидко-кристаллические слои жидкости. В ЭЖК-контакте смазочный слой в статических условиях нагружения ведёт себя как высокопрочное и высокоупругое твёрдое тело, а в условиях высоких контактных градиентов давлений и скоростей – как жидкость.

Представленный компрессионно-вакуумный механизм трения применим для каждого из трёх самостоятельных разделов трибологии – гидродинамического, эласто-гидродинамического трения, а также при трении в условиях граничной смазки, а использование этих сведений позволит по-новому подойти к решению проблем трения и изнашивания.

Список литературы

1. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения.– М.:Физматгиз, 1963.– 472 с.

2. *Коднир Д.С.* Контактная гидродинамика смазки деталей машин М.: Машиностроение, 1976. – 304 с.

3. *Алтоиз Б.А., Дейнека В.Т.* Измерение параметров граничного слоя жидкости теплоносителя, влияющих на интенсивность теплообмена // Научно-технический сборник «Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры». – Одесса, 2003. – Вып.1. – 29-33 с.

4. *Стельмах А.У.* Возникновение контактных струйных течений в условиях граничной смазки и механизм их образования. Нац. Авиац. ун-т. – Киев, 2009. – Библиогр.: 14 назв. – Рус. Деп. В ГНТБ Украины 14.04.09, №20 – Ук 2009. – 43 с.

УДК 621.891(043.2)

А.Ф. Аксенов д.т.н., проф., В.С. Бондарь, Е.Г. Ковальчук, В.П. Коба
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПРИБОРЫ ТРЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ О МЕХАНИЗМЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Разработанные новые приборы трения скольжения в линейном контакте АСБ-01 и АСБ-02 с оптическим каналом съема информации о механизме трения позволяют визуально наблюдать за течениями смазки в областях входа модельного вала в контакт и выхода из него. Такая новая информация дает возможность изучать изменения агрегатного состояния смазки, наблюдать зарождение вторичных течений, турбулентность и трибокавитацию.

Трибосистема, например радиальный подшипник скольжения (80% всех узлов трения в технике) является высоко динамичной системой, хотя состоит лишь из трёх элементов (вал или шип, втулка или подшипник и среда) и реализует трение под воздействием всего двух внешних факторов: сила сжатия двух поверхностей в контакте и скорость их относительного скольжения. Для наблюдения тех или иных динамических явлений в сложных многофакторных системах, к которым относится трибосистема, разрабатывается и создается специальная исследовательская аппаратура, позволяющая из всего многообразия протекающих процессов вычленить те главные, которые представляют научный интерес. Однако многие явления, которые подлежат изучению, зачастую скрыты от прямого наблюдения в силу непрозрачности элементов механических систем конструкций, внутри которых протекают те или иные процессы. К таким системам относятся узлы трения или трибосистемы. Детали узлов трения машин традиционно изготавливаются из непрозрачных различных стальных конструкционных материалов и сплавов цветных металлов, их трущиеся поверхности образуют трибоконтакт, где и протекает вездесущее явление природы – трение, тщательно скрытое от прямых наблюдений.

Природа и физика трения по сей день являются предметом научных дискуссий. Для их изучения разработано множество лабораторных приборов, с помощью которых исследователи проверяют выдвигаемые новые идеи и гипотезы, ищут те или иные экспериментальные закономерности, моделируют конкретные проблемные трибосистемы с целью повышения их эффективности. Благодаря таким лабораторным машинам трения получают различные зависимости, анализируя которые, формулируют новые положения о физических процессах, протекающих при трении. На их основе возникают и развиваются новые теории, вооружившись которыми инженер мог бы конструировать трибосистему с учетом условий эксплуатации.

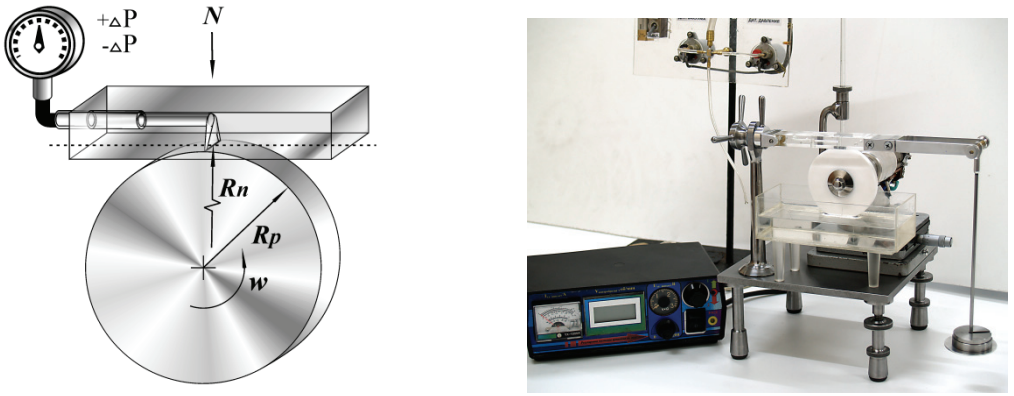
Однако сегодня с уверенностью можно констатировать тот факт, что разработка и создание современных новых машин и механизмов практически во всех конструкторских бюро происходит традиционно: модификация хорошо работавших в эксплуатации изделий, созданных на основе многолетних собственных эмпирических результатов лабораторно-стендовых и ходовых испытаний, путём множественных стендовых проб и ошибок. Трибосистемы, как неотъемлемые и ключевые элементы конструкций, хорошо работавшие при длительной эксплуатации в предыдущих изделиях, также претерпевают некоторую модификацию, но не принципиальную. Другими словами, современные теоретические разработки трибологии практически не используются на практике, они носят в основном пояснительный и в лучшем случае - прогнозный характер. Ранее, лет сорок назад, авторы теорий трения, например, контактной гидродинамики смазки деталей машин [1], сетовали на отсутствие средств быстрого расчета контактных напряжений с учетом шероховатостей поверхностей, физико-химических свойств конструкционных и смазочных материалов и других факторов из-за громоздкости формул. Сейчас имеется быстродействующая вычислительная техника и современная математическая программная среда, которые

позволяют с лёгкостью производить самые сложные расчеты параметров практически любых динамических процессов, в том числе и процессов трения в трибосистемах, практически мгновенно. Однако на практике многочисленные теоретические наработки в области трения и изнашивания фактически не используются. На наш взгляд, это связано с недостаточно полным представлением о самой природе процесса трения.

Таким образом, в трибологии граничной смазки, также как и в других ее разделах (эласто- и гидродинамические режимы трения), контактные течения граничных слоёв не рассматривались из-за отсутствия экспериментальных сведений о них.

Существующие известные теории, гипотезы и положения о трении и изнашивании трибосистем стали классическими и не подвергаются сомнению. На их основе строились соответствующие методики и техника экспериментов, которые полностью обеспечивали экспериментальное подтверждение соответствующих теорий. Поэтому получаемые отклонения результатов экспериментов от теоретических обоснований относились к разряду ошибок, погрешностей измерений и пр., а экспериментальная техника исследований создавалась традиционно: машины трения для определения толщины смазочного слоя, приборы трения для измерения реологии смазочных материалов, приборы определения электрических свойств жидкостей в условиях сжатия и т.д. К таким классическим приборам можно отнести одну из первых разработок [2]. Все последующие машины трения, по сути, были модификациями этой машины, где толщина смазочного слоя измерялась по величине электрического пробоя, разности электрических потенциалов и пр., то есть косвенно. Возможность исследования контактного давления и течений в смазочной среде на таких приборах не предусматривалась. Проникнуть в контакт и сканировать по нему узкими приёмными каналами, которые мгновенно засоряются продуктами износа, для измерения давления действительно весьма сложная инженерная задача. Но главной причиной практического отсутствия исследований гидродинамики в контакте трибосистем всё же является непоколебимость авторитетных теорий трения, которые не учитывали течения граничных слоёв смазки в трибоконтакте, кроме как перемещение молекул, адсорбированных на трущихся поверхностях вместе с поверхностями. По сей день считается, что давление в смазочном слое в зоне контакта двух поверхностей полностью отражает и соответствует контактным напряжениям на поверхностях, рассчитываемым по Герцу и всегда выше атмосферного, что не совсем верно.

Новая компрессионно-вакуумная гипотеза природы трения в условиях граничной смазки [3] опирается на экспериментальные данные, полученные при трении стальных поверхностей с наногеометрическим уровнем шероховатости, где выявлены контактные струйные течения смазки, направленные в обратную сторону скольжения, как и любая другая нуждается в дополнительных экспериментальных доказательствах. Схема и внешний вид разработанной и изготовленной лабораторной машины трения скольжения АСБ-01 с физически прозрачными деталями модельной трибосистемы представлены на рис.1. В качестве модели цапфы подшипника скольжения использовался плоский параллелепипед, изготовленный из органического стекла, каждая грань которого полировалась до полной прозрачности. Разновысотность неровностей нижней рабочей поверхности этого параллелепипеда после полировки не превышала 20 нм. В качестве модели шипа (вала подшипника скольжения) использовался диск наружным диаметром 80 мм и толщиной 9 мм, изготовленный из фторопласта-4. Этот образец закреплялся на валу, установленном на двух опорах качения в корпусе, и приводился во вращение двигателем постоянного тока через планетарный редуктор и центральное шлицевое соединение. Рабочая, то есть трущаяся поверхность, образующая цилиндр фторопластового ролика (контробразца), шлифовалась, без разборки привода и без снятия ролика с опор. Это сводило радиальные и осевые биения рабочей поверхности до уровня таковых вала, установленного на двух разнесённых шарикоподшипниках (не более 0,1 мкм). Разновысотность неровностей рабочей поверхности была менее 50 нм.



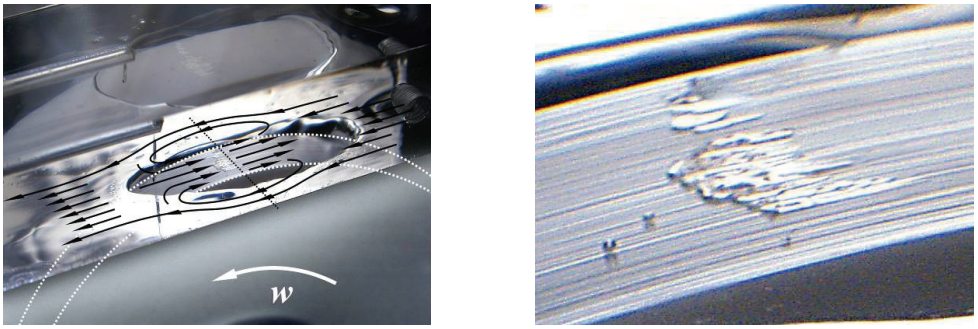
а) б)

Рис.1. Схема (а) и внешний вид (б) машины трения скольжения АСБ-01 с физически прозрачной трибосистемой

Контакт рабочей поверхности, образующей цилиндр ролика, при первом соприкосновении с плоской гранью параллелепипеда с помощью регулировочных винтов устанавливался на верхней поверхности ролика так, чтобы визуально образовывался равномерный контакт. Подача модельной смазочной среды в зону контакта производилась из заполненной ею ванночки, в которую была погружена нижняя часть ролика путём подхвата поверхностями вращающегося ролика. Так как прозрачный параллелепипед располагался сверху над роликом, то это позволяло легко наблюдать контактные течения при реализации трения скольжения.

Подавляющее большинство исследовательских машин трения традиционно изготавливается так, чтобы зона контакта была полностью погружена в смазочную среду, которая своим объёмным гидромеханическим течением при трении скрывает от прямого наблюдения течения, возникающие непосредственно в зоне контакта. Кроме этого практически все реальные трибосистемы скольжения реализуют контакт в нижнем секторе вала. Для исследований контактной гидродинамики подхватывающая схема подачи рабочей среды и верхнее положение контакта, хотя и редко встречающаяся на практике, более привлекательна, чем традиционное нахождение контакта внизу и его полное погружение в среду. Поэтому, кроме прибора трения АСБ-01, нами был разработан и изготовлен лабораторный прибор АСБ-02 с нижним положением контакта, погружаемого в смазочную среду.

На рис.2 показаны линии тока жидкости в контактной зоне при трении скольжения ролика по плоской грани параллелепипеда и образование кавитационных полостей–трибокавитация.



а) б)

Рис.2. Линии тока смазочной среды (а) и трибокавитация (б), наблюдаемые в динамике при трении на лабораторном приборе АСБ-01 с оптическим каналом съема информации

На рис.3 представлены данные распределения давлений, измеряемых приемным устройством, изготовленным внутри прозрачного образца с выходом на рабочую

поверхность, позволяющие получить экспериментальные зависимости влияния исходных параметров трибосистемы на силу сопротивления движению, что оценивается измерительными приборами. Для изготовления каналов измерения давления прозрачный элемент трибосистемы является наиболее приемлемым, так как позволяет производить непрерывный мониторинг состояния приемного устройства и каналов на предмет отсутствия их загрязнений, которые приводят к дросселированию.

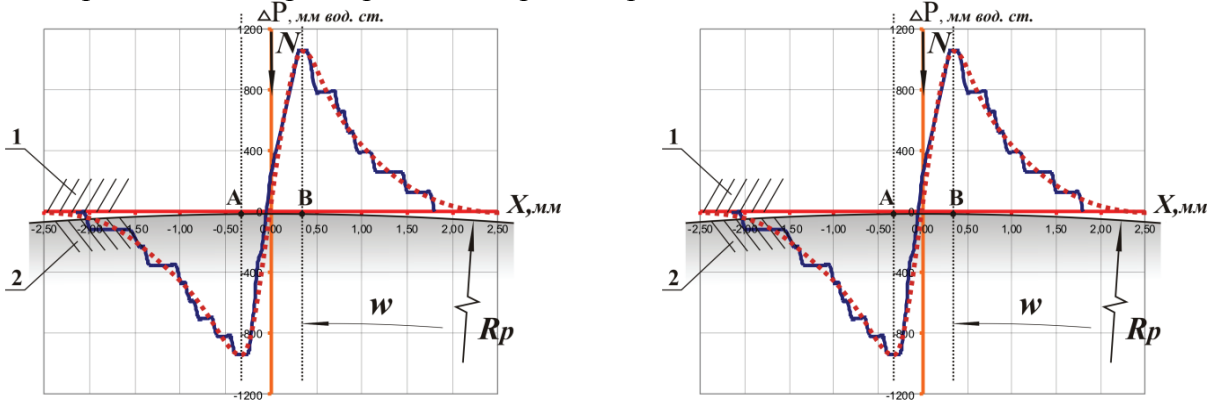


Рис.3. Распределение перепада давления в граничных слоях керосина ТС-1 относительно атмосферного ΔP, т.е. разница между измеренным и атмосферным давлением по координате сканирования X перпендикулярно контакту при скольжении, где [AB] – ширина линейного контакта контробразца *1* и ролика *2* радиусом R_p, ω - частота вращения, N – осевая нагрузка, X – координаты сканирования: *а)* вращение по часовой стрелке; *б)* вращение против часовой стрелки

Приборы трения АСБ-01 и АСБ-02 запатентованы [4]. Они позволяют получать новую информацию о контактно-гидродинамических течениях в граничных слоях, трибо-кавитационных явлениях в диффузорной области контакта, вести постоянный мониторинг состояния премного устройства определения локального давления в граничных слоях и его распределения путем сканирования контактных и околоконтактных областей благодаря реализации в них дополнительного оптического канала съема информации. В свою очередь, это позволит создавать новые технологические приемы по повышению эффективности бесконтактных и контактных трибосистем скольжения, а также разрабатывать новые смазочные материалы и присадки к ним по критерию порога трибокавитации. Благодаря исследованиям контактно-гидродинамических процессов на приборах АСБ-01 и АСБ-02 в научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ разработаны основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибо-кавитационного механизма изнашивания, которые находят свое подтверждение.

Список литературы

1. Коднир Д.С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин М., «Машиностроение», 1976. – 304 с.

2. Прибор для непрерывного измерения толщины смазочного слоя в подшипнике скольжения. Авторское свидетельство № 91589 на изобретение. Бюллетень изобретений, 1950, № 16, Авт.: Д.С.Коднир, Л.М.Ронин, М.Д.Медвинский, Э.Ф.Зоммер.

3. Стельмах А.У. Компрессионно-вакуумный механизм адгезионного трения и изнашивания. – Деп. в ГНТБ Украины. - 07.07.2008, №109-Ук2008. –28 с.

4. Положительное решение №1514/ЗУ/11 от 14.01.2011 о выдаче декларационного патента на полезную модель «Прибор определения трибореологических характеристик трения скольжения в условиях граничной смазки» авторов Стельмах А.У., Бондарь В.С. и др.

УДК 621.891:539.375(043.2)

А.Ф. Аксенов, д.т.н., проф., Р.А. Шевченко, к.т.н., проф., В.А. Радзиевский
(Национальный авиационный университет, Украина)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ И СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ

Показано, что образование масло-воздушной суспензии, вызванное увеличением скорости вращения вала, приводит к увеличению на порядок коэффициентов сжатия и растяжения исходно жидкой смазочной сред, что в свою очередь обусловливает уменьшение степени сжатия смазочных слоёв в конфузорной и понижение степени их разрежения в диффузорной областях контакта, что является причиной снижения интегральной вязкости и силы трения

Зависимость сил трения от скорости скольжения является одной из главных характеристик трибоконтакта. В трибологии ее принято называть «характеристикой трения» [1] и рекомендуется учитывать при конструировании трибосистем. Экспериментальные данные, полученные в различных лабораториях, свидетельствуют о вариациях силы трения при увеличении скорости скольжения в зависимости от условий. В одних случаях она практически не изменяется, в других – возрастает, в-третьих – уменьшается, а в условиях жидкостного трения при обильном смазывании контакта с увеличением скорости скольжения, как правило, наблюдается увеличение коэффициента трения до некоторого максимального значения, после которого сила трения уменьшается. При достижении критической скорости сила трения начинает возрастать, вплоть до схватывания [2-4].

Влияние скорости скольжения υ на изменение силы трения видно из диаграммы Герси-Штрибека (рис.1), представляемой в виде зависимости коэффициента трения μ от характеристики подшипника, то есть от безразмерной величины $\lambda=\eta\upsilon/p$, где η - вязкость, p – осевая нагрузка. Эта характеристика по своей сути [2] отражает толщину смазочного слоя. При значении $\lambda=\lambda^*$, соответствующем минимуму коэффициента трения μ, происходит переход от граничного трения к жидкостному. Кривая интенсивности изнашивания I показывает, что при $\lambda>\lambda^*$ контакт деталей размыкается, и износ теоретически исчезает [2].

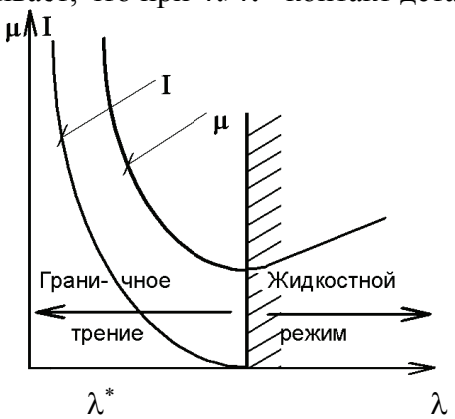


Рис.1. Диаграмма Герси–Штрибека

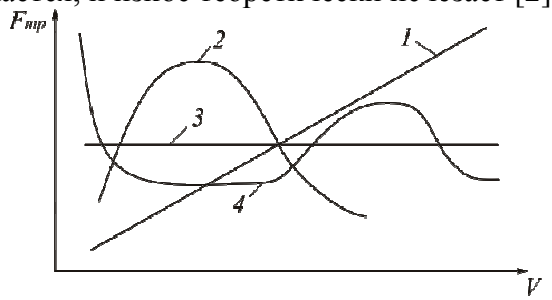


Рис.2. Зависимость коэффициента трения μ о от скорости скольжения υ в моторных маслах: 1 – линия Н.П.Петрова [8]; 2 – по Д.С.Кодниру [4]; 3 – адгезионно-деформационная теория граничного трения [3]; 4 – по Б.И.Костецкому [8]

Многочисленные экспериментальные данные об ЭГД-контакте со смазкой жидкими маслами свидетельствуют о нелинейной зависимости силы трения от скорости скольжения: в области малых и средних скоростей сила трения возрастает до максимума, а с дальнейшим повышением скорости она уменьшается [3,4]. Такое изменение силы трения в ЭГД-теории противоречиво. При повышении скорости скольжения в несущем смазочном слое ЭГД-контакта давление возрастает, что приводит к увеличению его толщины, вязкости и силы трения. При увеличении скорости температура смазки повышается, толщина ее слоя и несущая способность уменьшаются, чем и объясняют некоторое увеличение силы трения до

максимума (рис.2) и повышение силы трения в области средних скоростей скольжения (0,2…0,5 м/с).

Дальнейшее повышение скорости скольжения, исходя из ЭГД-теории, приводит к более интенсивному локальному росту температуры и понижению вязкости масла, чем и объясняют снижение силы трения. Однако такое видение экспериментально не подтверждается, так как объёмная температура масла увеличивается лишь на несколько градусов, а измерить гипотетически высокую локальную температуру в смазочном слое ЭГД-контакта (более 100 ^{0}C) пока не удавалось.

Эластогидродинамическая теория смазки изложенная в [4-7], базируется на ряде известных основных положений, характеризуемых ЭГД-контакт. На рисунке 3 представлена зависимость давления p в смазочном слое толщиной h от расстояния по оси X относительно центра нагрузки O при движении плоской поверхности со скоростью V. Плоская подвижная поверхность с неподвижной поверхностью h_x образуют контакт протяженностью *[-aOa]*, где без трения возникают контактные напряжения $p_н$, при трении - p_x, и минимальная толщина смазочного слоя соответствует области выхода полуплоскости OX из контакта с поверхностью h_{min}.

Из основных положений ЭГД-теории смазки (рис.3) следует, что для повышения ресурса трибосистем необходимо реализовывать обильное смазывание контакта и избегать возможности возникновения условий масляного голодания. Теоретически трение ЭГД-контакта является безызносным, однако при эксплуатации трибосистемы качения и скольжения изнашиваются, что объясняется неустойчивостью режима трения в пуско-остановочные периоды работы. В ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к увеличению интенсивности износа поверхностей, их выкрашиванию или к термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения более интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным и, как показала практика, стает причиной дополнительного теплообразования особенно при высоких скоростях качения или скольжения (больше 10 м/с).

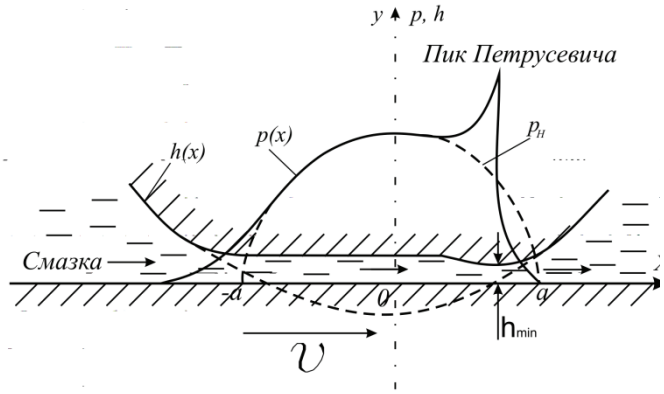


Рис 3. Зависимость давления p в смазочном слое толщиной h от расстояния (ось X) от центра нагрузки O при движении плоской поверхности со скоростью V в контакте с неподвижной поверхностью h_x протяженностью *[-aOa]*, где без трения возникают контактные напряжения $p_н$, при трении - p_x, а минимальная толщина смазочного слоя h_{min}.

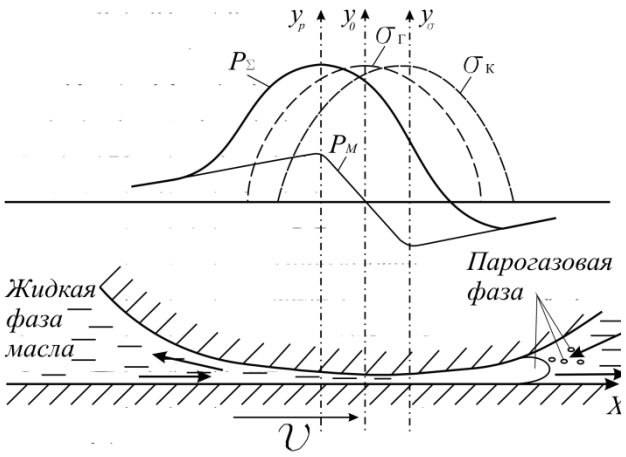


Рис.4. Схема контактно-гидродинамических процессов с позиций компрессионно-вакуумной теории трения [10]

Вопрос о нелинейности поведения силы трения с ростом скорости скольжения или качения в жидкой смазочной среде, не находит удовлетворительного объяснения с точки зрения ЭГД-теории и по сути остаётся открытым.

В данной работе сделана попытка объяснить нелинейность характеристики подшипников с позиций компрессионно-вакуумной гипотезы (КВ) о природе трения [9,10]. Исходя из КВ гипотезы, процессы, протекающие в эластогидродинамическом контакте, представляются несколько более сложными (рис.4). При движении нижней плоской

поверхности со скоростью V в конфузорной области из-за набегающего потока граничных слоев возникают вторичные, обратные движению течения смазочной среды (показано стрелками). В диффузорной, расширяющейся области, при определенных скоростях возникает маслопаровоздушная фаза смазки и вторичные, обратные движению, течения из среды в контакт. Это происходит в соответствии с экспериментально-наблюдаемой закономерностью распределения давления в смазочном слое $P_м$, которое в конфузорной области выше, а в диффузорной ниже давления окружающей среды. При этом реактивные давления, возникающие на поверхности неподвижного криволинейного трибоэлемента P_Σ, представляют собой сумму герцевских напряжений $\sigma_г$ и давления в смазочном слое $P_м$, а контактные напряжения $\sigma_к$ следует рассматривать, как разницу герцевских напряжений $\sigma_г$ и давления в смазочном слое $P_м$. При этом под термином «контактные напряжения», следует понимать те напряжения, которые возникают лишь в области разрежения, то есть в диффузорной части контакта, так как в конфузорной – поверхности раздвигаются граничными слоями с высоким давлением. Характеристики сил трения при скольжении в среде авиационного моторного масла МС-20 проводились на лабораторном приборе трения АСБ-01 [2]. Линейный контакт создавался поверхностью образующей цилиндр ролика (модель вала) с плоской гранью неподвижного параллелепипеда (модель подшипника скольжения). В неподвижном образце было вмонтировано приемное устройство в виде щели с сечением 0,3х5 мм. Осевая нагрузка составляла 20 Н, ширина контакта – 9 мм. Контакт помещался в специальную ванночку, которая заполнялась маслом МС-20. На расстоянии 2 мм от самого контакта в области входа вала в контакт размещалось приемное устройство в виде щели, которое через внутренние каналы образца-параллелепипеда сообщалось с датчиком давления. Это позволило экспериментально определять давление Р в конфузорной области контакта и величину силы трения $F_{тр}$ по изменению мощности электропривода постоянного тока при различных скоростях скольжения одновременно. Оптическая прозрачность неподвижного образца и ванночки, изготовленная из стекла, позволяли наблюдать за течениями в околоконтактной области, а также за агрегатным состоянием масла МС-20.

Линейная скорость скольжения поверхности образующей цилиндр фторопластового ролика изменялась плавно от 0,4 до 2,5 м/с, с шагом 0,2м/с и выдержкой в течение 10 минут, когда все параметры стабилизировались. При постоянной осевой нагрузке 2 Н, комнатной температуре и атмосферном давлении окружающей среды измерялись давление смазки через приёмное устройство и потери мощности электропривода. Графики зависимостей силы трения $F_{тр0}$ и давления ΔP_0 в слоях смазки от скорости скольжения через 1 минуту после установления определенной скорости $\upsilon_л$, представлены на рис.4. Аналогичные зависимости были получены при тех же скоростях, но через 10 минут трения.

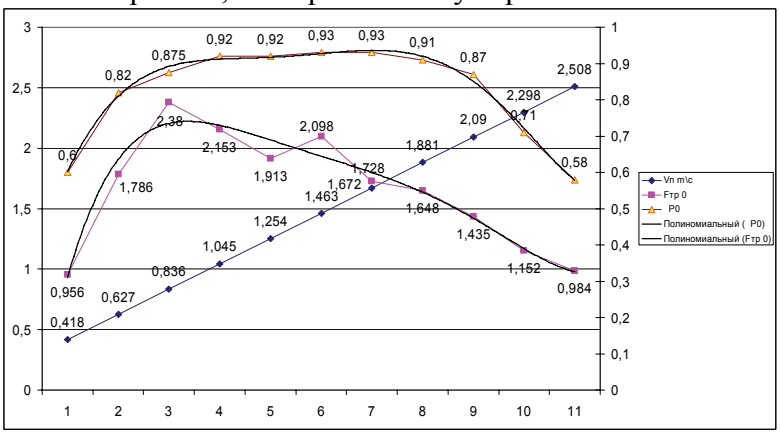


Рис.4. Зависимость силы трения $F_{тр}0$ и избыточного давления ΔP_0 от скорости линейного скольжения $\upsilon_л$ через 1 минуту после выхода на скоростной режим

Как видно из полученных зависимостей (рис.4), при данных условиях трения в режиме жидкостной смазки с увеличением скорости сила трения возрастает от 0,1 до 0,6 м/с, после чего наблюдается ее уменьшение. Давление в конфузорной области контакта ведет себя

аналогично: синхронно с силой трения возрастает до максимальных значений, после чего оно уменьшается также как и сила трения. Визуальное наблюдение показало, что с увеличением скорости в прозрачном масле МС-20 происходило возникновение воздушных пузырьков. Во времени их количество возрастало. Повышение скорости скольжения приводило к росту интенсивности их образования в масле МС-20. При скорости 0,6 м/с масло теряло прозрачность и при дальнейшем увеличении частоты вращения ролика превращалось в непрозрачную однородную масловоздушную смесь в виде суспензии белого цвета. Объёмная температура масла к концу серии испытаний повышалась на 4 ^{0}С.

Таким образом, использованием масловоздушной смеси вместо гомогенной однофазной жидкой смазки достигается повышение эффективности трибосистем, что подтверждает основные положения компрессионно-вакуумной (КВ) гипотезы о природе трения [8,9]. Это явление наблюдается при пуске холодных двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Выводы: 1. Причиной нелинейного изменения силы трения (увеличения до максимума и дальнейшего уменьшения) при увеличении скорости скольжения ЭГД-контакта, обильно смазанного моторным маслом является переход его из гомогенного прозрачного жидкого состояния в мезогенную масло-воздушную фазу суспензии.

2. Образование масловоздушной суспензии, вызванное увеличением скорости вращения вала, приводит к увеличению коэффициента сжатия и растяжения исходно жидкой смазочной среды. Уменьшение сил сжатия смазочных слоёв в конфузорной области контакта и разрежения в диффузорной приводит к снижению интегральной вязкости, скорости вторичных обратных течений, температуры и силы трения.

3. При проведении трибологических лабораторных испытаний смазочных материалов следует учитывать фактическое фазовое состояние смазочной среды (особенно при испытаниях смазочных материалов и присадок к ним на средних и больших скоростях). Фазовое состояние смазочных материалов может оказывать существенное влияние на результаты при оценке эффективности смазок с разными реологическими свойствами.

Список литературы

1. *Ахматов А.С.* Молекулярная физика граничного трения.– М.:Физматгиз, 1963.– 472 с.

2. *Гаркунов Д.Н.* Триботехника: Учебник для студентов втузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.

3. *Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.* Основы расчетов на трение и износ.- М.: Машиностроение, - 1977. – 526 с.

4. *Коднир Д.С.* Контактная гидродинамика смазки деталей машин М.: М., 1976– 304 с.

5. *Ковеза Ю.В., Никитин С.В,.Пшеничных С.И.* О решении тепловой задачи применительно к обычным и гибридным подшипникам качения газотурбинных двигателей. Ж. «Авиационно-космическая техника и технология», 2008, №10 (57). – С.132-135.

6. *Kenneth C Luderma, Arbor A.* Friction, wear, lubrication. A Textbook in Tribology. – CRC Press, Inc. - Boca Raton, New York, London, Tokyo. – 1996. – 257 p.

7. *Демидович В.М.* Исследование теплового режима подшипников ГТД.- М.: Машиностроение, 1978.- 172 с.

8. *Б.И.Костецкий* Трение, смазка и износ в машинах – «Техніка», 1970, 396 с.

9. *Стельмах А.У.* Компрессионно-вакуумный механизм адгезионного трения и изнашивания– Деп. в ГНТБ Украины. - 07.07.2008, №109-Ук 2008.–28 с.

10. *Стельмах А.У.* Возникновение контактных струйных течений в условиях граничной смазки и механизм их образования. Нац. авиац. ун-т. – Киев, 2009.– Рус. Деп. В ГНТБ Украины 14.04.09, №20 – Ук 2009. – 43 с.

УДК 621.891, 620.194

О.О. Міщук, к.ф.-м.н, А.В. Богайчук, М.П. Цаплій, асп.,
(Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА»)
Ю.Г. Горпинко (ВАТ «АЗМОЛ», Україна)

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕТЕРОГЕННОГО КОЛОЇДНОГО МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

За результатами дослідження процесів тертя сталевих пар під впливом багатофункціонального мастильного матеріалу в змінюваних навантажувально-швидкісних та температурних режимах тертя розроблено нову методологію визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу, що відзначається функціональною оперативністю та об'єктивністю висновків.

Більшість сучасних методів оцінювання змащувальної ефективності мастильних матеріалів базується на використанні сталевих пар тертя. Процеси перетворення структури поверхневих шарів сталі, зумовлені інтенсивними імпульсними напруженнями поверхонь тертя металу в контактній зоні, вже за відносно невисоких температур здатні суттєво змінювати інтенсивність зношування та антифрикційні характеристики пар тертя. Різноманітні навантажувально-швидкісні та температурні режими обумовлюють різні умови перетворення структури поверхні тертя сталі. Ефективність мастильного матеріалу, оцінювана під час трибологічних випробувань, значною мірою є наслідком його здатності впливати на подібну релаксаційну перебудову поверхневого шару сталі, що є суттєво нерівноважною. За різних режимів тертя один і той же мастильний матеріал починає виявляти різні механізми механохімічного впливу на поверхню металу.

Ймовірнісний характер вказаних процесів й створює проблему неоднозначного визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу за умови використання різних методів трибологічних випробувань. Водночас, різні типи мастильного матеріалу можна оцінювати за характером перетворення структури поверхневого шару сталі. Звідси виникає можливість систематизації механізмів поверхневої механохімічної активності мастильного матеріалу та побудови об'єктивних рейтингів його змащувальної ефективності.

Метою роботи було дослідження перебудови поверхневих шарів сталі під впливом багатофункціонального мастильного матеріалу в змінюваних навантажувально-швидкісних та температурних режимах тертя, узагальнення процесів та розроблення нової методології визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу, що відзначалась би функціональною оперативністю та об'єктивністю висновків.

Досягненню мети сприяв вибір та розроблення зразків мастильних матеріалів (тест-об'єктів), здатних бути ефективними в усіх режимах роботи вузлів тертя, тобто проявляти своєрідну багатофункціональність, здатність утворювати поверхневі захисні плівки різного типу за змінних умов експлуатації. Перспективним напрямом забезпечення багатофункціональності мастильного матеріалу є використання технологій виготовлення, що обумовлюють наявність у цього матеріалу комплексу кислотно-основних (кислотно-лужних, якщо враховувати вплив частки води) властивостей. Ефективним, зокрема, є синтез кислих продуктів омилення жирних кислот, наприклад, кислих мил. Кислі мила створюються за умов неповного омилення кислот внаслідок використання речовин з розгалуженою структурою молекул та утворення внутрішньо та міжмолекулярних комплексів мило-кислота. На відміну від вільних кислот реакційна здатність карбоксильної групи в такому комплексі обмежується стерично, що обумовлює подовжений термін її існування навіть у лужному, загалом, середовищі. Матеріал, створений із застосуванням комплексів кислих мил, не виявляє за нормальних умов корозійної дії на сталь та мідь, але в умовах експлуатації ефективно взаємодіє з поверхнею металу, прискорюючи формування захисних структур, та

проявляє покращені антифрикційні та протизношувальні властивості за різних режимів тертя.

Іншою актуальною тенденцією є розробка нових багатофункціональних матеріалів з використанням оксидних сполук, зокрема, порошкуватих оксидів перехідних металів. Однією з характерних властивостей цих сполук є доволі висока твердість їх частинок. Водночас відомо, що поверхня частинок вказаних порошкуватих оксидних сполук складається з низки кислотних та лужних центрів. Це обумовлює можливості різної взаємодії оксидних частинок з робочою поверхнею металу та мастильним середовищем, протікання процесів комплексотворення та формування багатофункціональних поверхневих комплексів. Відзначимо, однак, що закономірності та механізми дії кислотно-лужних комплексів у складі мастильних матеріалів під час зміни режимів тертя все ще, загалом, вивчено недостатньо.

Використання вказаних тест-зразків мастильних матеріалів в умовах зміни режимів тертя дозволило виявити з використанням методів інструментального дослідження поверхонь твердого тіла, включаючи спектральні методи, закономірності нелінійних змін інтенсивності зношування сталевої пари тертя, пов'язані з одночасним протіканням різних пружноативованих процесів: розвитку дислокаційної структури поверхневого шару під впливом високих імпульсних напружень у контактній зоні та дифузії легувальних домішок, розкладу та перебудови початкової структури сталі, що призводить до різкого зменшення амплітуди напружень, та перерозподілу вуглецю, як головного чинника формування різних фаз та субструктур сталі.

Дослідження протизношувальних характеристик мастильного матеріалу виявили, фактично, особливу здатність мастильного матеріалу сприяти суттєвому зниженню контактних напружень у початкові моменти тертя. Наступні механохімічні перетворення в контактній зони тертя вже не здатні, здебільшого, настільки кардинально вплинути на значення оцінюваного діаметру сліду зношування сталевих куль. Як засвідчили результати проведених досліджень, зменшення початкових контактних напружень різними методами є шляхом до отримання достовірнішої інформації.

За результатами вказаного циклу досліджень розроблено наукові засади нової методології визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу та на основі пристрою тертя типу Falex розроблено експериментальний комплекс трибологічних досліджень процесів у контактній зоні тертя.

З метою вивчення механізмів поверхневої механохімічної активності мастильного матеріалу дослідження проводять у порядку зростання енергетики механохімічних процесів у достатньо широких діапазонах навантажувально-швидкісних та температурних параметрів тертя. Це дозволяє оперативно оцінювати внески різних процесів формування поверхонь тертя і стає важливим інструментом визначення сумісності мастильних матеріалів та їх компонентів, оптимізації їх експлуатаційних властивостей та сфери застосування.

Експериментальний комплекс трибологічних досліджень дозволяє оцінювати енергетичні (силу тертя), температурні та електричні характеристики контактної зони пари тертя. Ідея методу полягає у визначені навантажувально-швидкісних режимів, у межах яких проявляються відповідні механізми поверхневої активності мастильного матеріалу. Зміна механізму відображається на змащувальній ефективності мастила та супроводжується досить різкою зміною вимірюваних характеристик контактної зони тертя.

Висновки

Виявлено, що зміна навантажувально-швидкісних та температурних режимів тертя сталевої пари відображається на характері структурних перетворень поверхневого шару сталі в контактній зоні та призводить до зміни механізмів поверхневої механохімічної активності мастильного матеріалу, що впливає на його змащувальну ефективність.

Розроблено методологію та створено експериментальний комплекс трибологічного дослідження механізмів формування поверхневих структур, що забезпечують змащувальну ефективність гетерогенного колоїдного мастильного матеріалу.

УДК 621.891, 620.194

О.О. Міщук, к.ф.-м.н, А.В. Богайчук, М П. Цаплій, асп.,
(Український науково-дослідний інститут нафтопереробної промисловості «МАСМА»)
Ю.Г. Горпинко (ВАТ «АЗМОЛ», Україна)

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕТЕРОГЕННОГО КОЛОЇДНОГО МАСТИЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

За результатами дослідження процесів тертя сталевих пар під впливом багатофункціонального мастильного матеріалу в змінюваних навантажувально-швидкісних та температурних режимах тертя розроблено нову методологію визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу, що відзначається функціональною оперативністю та об'єктивністю висновків.

Більшість сучасних методів оцінювання змащувальної ефективності мастильних матеріалів базується на використанні сталевих пар тертя. Процеси перетворення структури поверхневих шарів сталі, зумовлені інтенсивними імпульсними напруженнями поверхонь тертя металу в контактній зоні, вже за відносно невисоких температур здатні суттєво змінювати інтенсивність зношування та антифрикційні характеристики пар тертя. Різноманітні навантажувально-швидкісні та температурні режими обумовлюють різні умови перетворення структури поверхні тертя сталі. Ефективність мастильного матеріалу, оцінювана під час трибологічних випробувань, значною мірою є наслідком його здатності впливати на подібну релаксаційну перебудову поверхневого шару сталі, що є суттєво нерівноважною. За різних режимів тертя один і той же мастильний матеріал починає виявляти різні механізми механохімічного впливу на поверхню металу.

Ймовірнісний характер вказаних процесів й створює проблему неоднозначного визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу за умови використання різних методів трибологічних випробувань. Водночас, різні типи мастильного матеріалу можна оцінювати за характером перетворення структури поверхневого шару сталі. Звідси виникає можливість систематизації механізмів поверхневої механохімічної активності мастильного матеріалу та побудови об'єктивних рейтингів його змащувальної ефективності.

Метою роботи було дослідження перебудови поверхневих шарів сталі під впливом багатофункціонального мастильного матеріалу в змінюваних навантажувально-швидкісних та температурних режимах тертя, узагальнення процесів та розроблення нової методології визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу, що відзначалась би функціональною оперативністю та об'єктивністю висновків.

Досягненню мети сприяв вибір та розроблення зразків мастильних матеріалів (тест-об'єктів), здатних бути ефективними в усіх режимах роботи вузлів тертя, тобто проявляти своєрідну багатофункціональність, здатність утворювати поверхневі захисні плівки різного типу за змінних умов експлуатації. Перспективним напрямом забезпечення багатофункціональності мастильного матеріалу є використання технологій виготовлення, що обумовлюють наявність у цього матеріалу комплексу кислотно-основних (кислотно-лужних, якщо враховувати вплив частки води) властивостей. Ефективним, зокрема, є синтез кислих продуктів омилення жирних кислот, наприклад, кислих мил. Кислі мила створюються за умов неповного омилення кислот внаслідок використання речовин з розгалуженою структурою молекул та утворення внутрішньо та міжмолекулярних комплексів мило-кислота. На відміну від вільних кислот реакційна здатність карбоксильної групи в такому комплексі обмежується стерично, що обумовлює подовжений термін її існування навіть у лужному, загалом, середовищі. Матеріал, створений із застосуванням комплексів кислих мил, не виявляє за нормальних умов корозійної дії на сталь та мідь, але в умовах експлуатації ефективно взаємодіє з поверхнею металу, прискорюючи формування захисних структур, та

проявляє покращені антифрикційні та протизношувальні властивості за різних режимів тертя.

Іншою актуальною тенденцією є розробка нових багатофункціональних матеріалів з використанням оксидних сполук, зокрема, порошкуватих оксидів перехідних металів. Однією з характерних властивостей цих сполук є доволі висока твердість їх частинок. Водночас відомо, що поверхня частинок вказаних порошкуватих оксидних сполук складається з низки кислотних та лужних центрів. Це обумовлює можливості різної взаємодії оксидних частинок з робочою поверхнею металу та мастильним середовищем, протікання процесів комплексотворення та формування багатофункціональних поверхневих комплексів. Відзначимо, однак, що закономірності та механізми дії кислотно-лужних комплексів у складі мастильних матеріалів під час зміни режимів тертя все ще, загалом, вивчено недостатньо.

Використання вказаних тест-зразків мастильних матеріалів в умовах зміни режимів тертя дозволило виявити з використанням методів інструментального дослідження поверхонь твердого тіла, включаючи спектральні методи, закономірності нелінійних змін інтенсивності зношування сталевої пари тертя, пов'язані з одночасним протіканням різних пружноативованих процесів: розвитку дислокаційної структури поверхневого шару під впливом високих імпульсних напружень у контактній зоні та дифузії легувальних домішок, розкладу та перебудови початкової структури сталі, що призводить до різкого зменшення амплітуди напружень, та перерозподілу вуглецю, як головного чинника формування різних фаз та субструктур сталі.

Дослідження протизношувальних характеристик мастильного матеріалу виявили, фактично, особливу здатність мастильного матеріалу сприяти суттєвому зниженню контактних напружень у початкові моменти тертя. Наступні механохімічні перетворення в контактній зони тертя вже не здатні, здебільшого, настільки кардинально вплинути на значення оцінюваного діаметру сліду зношування сталевих куль. Як засвідчили результати проведених досліджень, зменшення початкових контактних напружень різними методами є шляхом до отримання достовірнішої інформації.

За результатами вказаного циклу досліджень розроблено наукові засади нової методології визначення змащувальної ефективності мастильного матеріалу та на основі пристрою тертя типу Falex розроблено експериментальний комплекс трибологічних досліджень процесів у контактній зоні тертя.

З метою вивчення механізмів поверхневої механохімічної активності мастильного матеріалу дослідження проводять у порядку зростання енергетики механохімічних процесів у достатньо широких діапазонах навантажувально-швидкісних та температурних параметрів тертя. Це дозволяє оперативно оцінювати внески різних процесів формування поверхонь тертя і стає важливим інструментом визначення сумісності мастильних матеріалів та їх компонентів, оптимізації їх експлуатаційних властивостей та сфери застосування.

Експериментальний комплекс трибологічних досліджень дозволяє оцінювати енергетичні (силу тертя), температурні та електричні характеристики контактної зони пари тертя. Ідея методу полягає у визначені навантажувально-швидкісних режимів, у межах яких проявляються відповідні механізми поверхневої активності мастильного матеріалу. Зміна механізму відображається на змащувальній ефективності мастила та супроводжується досить різкою зміною вимірюваних характеристик контактної зони тертя.

Висновки

Виявлено, що зміна навантажувально-швидкісних та температурних режимів тертя сталевої пари відображається на характері структурних перетворень поверхневого шару сталі в контактній зоні та призводить до зміни механізмів поверхневої механохімічної активності мастильного матеріалу, що впливає на його змащувальну ефективність.

Розроблено методологію та створено експериментальний комплекс трибологічного дослідження механізмів формування поверхневих структур, що забезпечують змащувальну ефективність гетерогенного колоїдного мастильного матеріалу.

СЕКЦІЯ 19.

КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

УДК 681.51

В.Н. Азарсков, д.т.н., профессор,
Л.С. Житецкий, к.т.н, профессор,
Л.Н. Блохин, д.т.н., профессор,
(Національний авіаційний університет, Україна)

АДАПТИВНОЕ СУБОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТОМ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВХОДОМ

Рассмотрена адаптивная система управления, содержащая некоторый дискретный линейный стационарный объект с произвольными ограниченными возмущениями, управляющий вход которого ограничен в определенных пределах. Установлены достаточные условия, гарантирующие глобальную асимптотическую устойчивость и одновременно субоптимальность замкнутой системы. Приведены численные примеры и результаты моделирования.

Введение

Все реальные системы управления содержат некоторую нелинейность, например, такую, как насыщение по управляющему входу. Поэтому стандартные цели управления, включая, в частности, регулирование должны быть удовлетворены при наличии этих ограничений. К сожалению, во многих ситуациях динамические системы с ограничениями на величину управляющего сигнала могут оказаться неустойчивыми, если такое ограничение не принято во внимание при проектировании системы. Таким образом, достижение желаемых целей управления в системах с обратной связью, содержащих элементы насыщения по управлению, представляется очень важной проблемой как с теоретической, так и с практической точек зрения. В случае параметрических неопределенностей, требующих применения адаптивного подхода, устойчивость и высокое качество управления замкнутых систем с ограничением по амплитуде – сложная задача, нуждающаяся в повышенном внимании.

Методы адаптивного управления были активной областью исследования в течение прошлых десятилетий. Устойчивость так же, как и оптимальность (субоптимальность) и робастность адаптивного управления линейными стационарными объектами без ограничений на величину управляющего воздействия изучались и представлялись в нескольких работах, см., например, [1–6]. Устойчивость в смысле предельной ограниченности (диссипативности) применительно к дискретным адаптивным системам управления, содержащим вход с насыщением, для определенного класса объектов с использованием подхода прямого управления, приводятся в [7–14]. Во всех этих работах, однако, не было доказано, что ошибка по выходу и последовательности управляющих воздействий сходятся. Оказывается, что хотя эти сигналы остаются ограниченными, такие системы управления, возможно, не асимптотически устойчивы, даже когда объект, параметры которого известны, является строго устойчивым и минимально-фазовым. Более того, в отличие от подобных систем без ограничения по входу ни оптимальность, как в [6], ни субоптимальность, как в [1; 5], не могут быть достигнуты при произвольных ограниченных возмущениях, если их "уровень" является достаточно большим, в то время тогда как они будут оставаться асимптотически устойчивыми, когда возмущения отсутствуют.

Значительный прогресс в обеспечении желательного предельного поведения адаптивных систем управления с ограничением по входу типа насыщения был достигнут в работе [15]. Авторы этой работы получили условие, при котором при отсутствии возмущений, ошибка по выходу сходится к нулю, а управляющий вход перестает выходить на насыщение спустя конечный промежуток времени. Новые результаты были получены этими же авторами для случая ограниченных возмущений некоторого класса в работе [16]. К сожалению введенные в этой работе ограничение на эти возмущения практически не поддается проверке. Таким образом, в настоящее время отсутствуют достаточно

эффективные алгоритмы адаптивного управления дискретными объектами с произвольными ограниченными возмущениями при наличии ограничений по управляющему входу. Более определенно, вопрос о том, могут ли быть достигнуты в этих случаях желательные асимптотические свойства, в частности субоптимальность, пока еще не решен.

Предлагаемая работа касается случая адаптивного регулирования дискретного линейного стационарного объекта с произвольными ограниченными возмущениями, управляющий вход которых находится в определенных пределах. Основное внимание сосредоточено на определении достаточных условий, при которых гарантируются глобальная асимптотическая устойчивость и одновременно субоптимальность системы.

Постановка задачи

Управляемый объект является дискретной системой с одним входом и одним выходом, которая может быть описана линейным разностным уравнением

$$A(q^{-1})y_t = B(q^{-1})u_t + v_t, \tag{1}$$

где $\{y_t\}$, $\{u_t\}$ и $\{v_t\}$ обозначает последовательности выхода, управляющего входа и внешнего возмущения, соответственно;

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \cdots + a_n q^{-n}, \tag{2}$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + \cdots + b_n q^{-n} \tag{3}$$

- полиномы от оператора q^{-1} сдвига на один интервал дискретности, причем $b_1 \neq 0$, $|a_n| + |b_n| > 0$.

Предполагается, что коэффициенты полиномов (2), (3) неизвестны, а возмущение v_t является неизмеряемым.

Сделаем следующие предположения.

A1) Порядок объекта n известен.

A2) Передаточная функция $W_0(z^{-1}) := B(z^{-1}) / A(z^{-1})$ не имеет неустойчивых полюсов и нулей, т. е. объект асимптотически устойчив и строго минимально-фазовый.

A3) Известна выпуклая компактная область $\Omega \subset \mathbf{R}^{2n}$, к который принадлежит $2n$-мерный вектор коэффициентов

$$\theta = [a_1, \ldots, a_n, \; b_1, \ldots, b_n]^T.$$

A4) Последовательность возмущений $\{v_t\}$ ограничена по модулю некоторым ε, которое должно быть известно:

$$|v_t| \le \varepsilon \qquad \forall t. \tag{4}$$

Как и в работе [2], последовательность управлений $\{u_t\}$ ограничена по амплитуде:

$$-\infty < u_{\min} \le u_t \le u_{\max} < +\infty, \tag{5}$$

где $u_{\min}$ и $u_{\max}$ – минимальный и максимальный уровни управляющего сигнала.

Пусть y^* ($y^* \equiv \text{const}$) обозначает желаемый выход y_t. Тогда ошибка системы будет определятся как

$$e_t := y^* - y_t. \tag{6}$$

Далее потребуются следующие определения, введенные в [1, определение 4.1.1].

Определение 1. Последовательность $\{u_t\}$ называется оптимальной, если достигается цель управления в форме

$$\limsup_{t\to\infty} |e_t| \le \varepsilon. \tag{7}$$

Определение 2. Последовательность $\{u_t\}$ называется субоптимальной, если

$$\limsup_{t\to\infty} |e_t| \le \varepsilon + \delta, \tag{8}$$

где δ – произвольное достаточно малое положительное число, выбираемое конструктором.

Задача состоит в том, чтобы получить условия, при которых простой адаптивный алгоритм управления, подобный [6], при наличии ограничений (5) может гарантировать достижение цели (8) с учетом [6] для любого $\delta > 0$ и $y^* < \infty$.

Неадаптивный случай

Прежде чем приступать к построению адаптивного регулятора, исследуем, существует ли решение проблемы регулирования при отсутствии параметрической неопределенности. С этой целью введем переменную

$$u_t' = \frac{1}{b_1}[y^* + a_1 y_t + \ldots + a_n y_{t-n} - b_2 u_{t-1} - \ldots - b_n u_{t-n+1}] \tag{9}$$

которая является сигналом, сформированным обычным регулятором [1;2]. Тогда с учетом (5) управляющее воздействие u_t определяется так:

$$u_t = \text{sat}\{u_t'\}. \tag{10}$$

Здесь

$$\text{sat}\{x\} = \begin{cases} x_{\max} & \text{при} \quad x > x_{\max}, \\ x & \text{при} \quad x_{\min} \le x \le x_{\max}, \\ x_{\min} & \text{при} \quad x < x_{\min} \end{cases} \tag{11}$$

– нелинейность типа насыщения.

Заметим, что для вычисления u_t' в (9) используются сигналы $u_{t-1}, \ldots, u_{t-n+1}$, а не сигналы u_{t-1}', …, u_{t-n+1}', как в линейном случае.

Очевидно, что если $A(z^{-1}) = 0 \Rightarrow |z| < 1$, то замкнутая система (1), (9) – (11) всегда будет диссипативной. Учитывая, что ограничения (5) дают

$$|\Delta u_t'| \le u^+, \tag{12}$$

где

$$\Delta u_t' = u_t' - u^0, \quad u^+ = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{2}, \tag{13}$$

а

$$u^0 = \frac{u_{\min} + u_{\max}}{2}, \tag{14}$$

и используя (1) вместе с (4), в рамках современной теории управления можно записать

$$\|u\|_\infty := \sup_{0 \le t < \infty} |u_t| \le \max\{|u_{\min}|, |u_{\max}|\},$$

$$\|y\|_{ss} := \limsup_{t \to \infty} |y_t| \le W_0(1)u^0 + \|W_0\|_1 u^+ + \left\|A^{-1}\right\|_1 \varepsilon < \infty.$$

В этих выражениях $\|\cdot\|_\infty$ и $\|\cdot\|_1$ – соответствующие ℓ_∞ - и - ℓ_1 нормы;

$\|\cdot\|_{ss}$ обозначает полунорму.

Однако ограниченность последовательностей $\{u_t\}$ и $\{y_t\}$ не означает еще асимптотическую глобальную устойчивость этой системы в смысле существования их пределов, когда t стремится к ∞ (при произвольных начальных условиях). Рассмотрим пример, иллюстрирующий это утверждение.

Пример 1. Пусть $n = 2$, $u_{\min} = 4{,}0$, $u_{\max} = 10{,}0$, а полиномы $A(q^{-1}) = 1 + 1{,}5q^{-1} + 0{,}95q^{-2}$ и $B(q^{-1}) = 0.1q^{-1} - 0{,}05q^{-2}$ выбраны, так чтобы удовлетворить А2). Использовались следующие условия: $y^* = 0{,}5$, $y_{-1} = -10{,}0$. При $y_{-2} = 2{,}0$, $u_{-1} = 10.0$, $u_{-2} = 10{,}0$ поведение системы, показывающее, что $\{u_t\}$ и $\{y_t\}$ могут не сходиться даже когда полиномы $A(z^{-1})$ и $B(z^{-1})$ строго устойчивы, представлено на рис. 1.

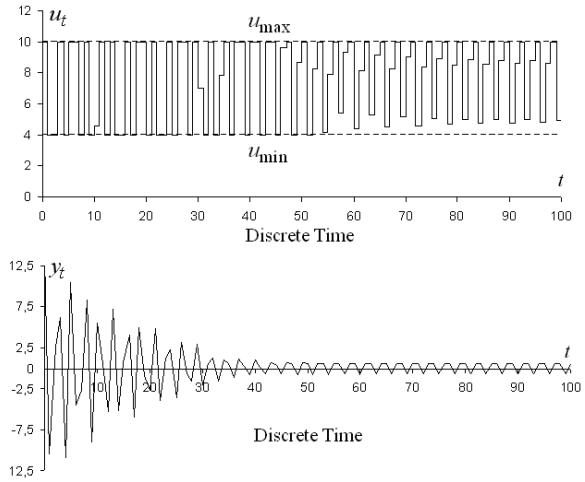


Рис. 1. Поведение неадаптивного регулятора в примере 1

Определение 3. Нелинейная замкнутая система с обратной связью при любом конечном y^* и $v_t \equiv 0$ называется асимптотически устойчивой в большом (глобально), если пределы

$$u_\infty = \lim_{t\to\infty} u_t, \qquad y_\infty = \lim_{t\to\infty} y_t$$

существуют для всех начальных условий в пределах компактного множества.

Чтобы установить условия глобальной устойчивости системы, перепишем (9) следующим образом:

$$y^* + [A(q^{-1}) - 1]y_t = b_1 q^{-1} u_t' + [B(q^{-1}) - b_1 q^{-1}]u_t. \tag{15}$$

Умножая обе части (15) на $A(q^{-1})$ и используя (1), при $v_t \equiv 0$ получаем

$$b_1 A(q^{-1}) q^{-1} u_t' = A(q^{-1}) y^* - [B(q^{-1}) - b_1 A(q^{-1}) q^{-1}]u_t. \tag{16}$$

Соотношение (10) – (14) позволяют записать

$$u_t = \text{sat}\,\{\Delta u_t'\} + u^0, \tag{17}$$

где $\text{sat}\{\Delta u_t'\}$ – нелинейность типа насыщения в форме (11) с симметрическими границами $x_{\min} = -u^+$ и $x_{\max} = u^+$. Используя эти уравнения с учетом (17), получим уровнение системы, эквивалентной замкнутой системе с обратной связью (1), (9) – (11). Эта система становится подобной нелинейной системе, которая исследовалась Я. З. Цыпкиным [17] и изображена на рис. 2. Ее разомкнутый контур включает нелинейность $\text{sat}\{\Delta u_t'\}$ и линейную динамическую часть, передаточная функция которой $H(z^{-1})$ определяется из (16) как

$$H(z^{-1}) = \frac{b_1^{-1} B(z^{-1}) - A(z^{-1}) z^{-1}}{A(z^{-1}) z^{-1}}. \tag{18}$$

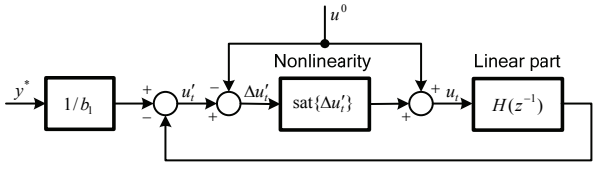


Рис. 2. Конфигурация системы для исследования устойчивости

Поскольку знаменатель $H(z^{-1})$ устойчив, а $\text{sat}\{\Delta u_t'\}$ является секторной нелинейностью, то здесь применим классический частотный критерий устойчивости Цыпкина [17]. Этот критерий позволяет установить окончательный результат, формулируемый следующим образом.

Теорема 1. Пусть полином $A(z^{-1})$ устойчив. Тогда достаточное условие глобальной асимптотической устойчивости системы (1), (9) – (11) определяется неравенством

$$1 + \min_{0\le\omega\le\pi} \operatorname{Re} H(e^{-j\omega}) > 0, \tag{19}$$

в котором $H(e^{-j\omega})$ - частотная характеристика, полученная подстановкой $z = \exp(j\omega)$ в (18).

Следствие. Система (1), (9) – (11) устойчива в смысле определения 3, если

$$\|H\|_\infty < 1. \tag{20}$$

Доказательство этого положения следует из (20) и определения ℓ_∞ - нормы

$$\|H\|_\infty := \sup_{0\le\omega\le\pi} |H(e^{-j\omega})|.$$

Геометрическая интерпретация условия (19) дана на рис. 3. Видно, что в случаях (a) и (b) глобальная асимптотическая устойчивость гарантируется, тогда как в случае (c), где вектор θ порождает полиномы, данные в примере 1, это свойство системы может не иметь место (см. рис. 1). Заметим, что случай (b) соответствует условию (20).

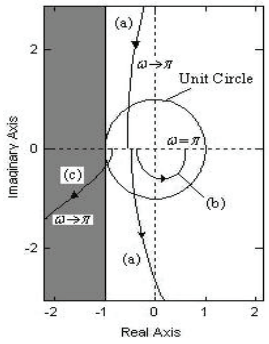


Рис. 3. Годографы $H(z^{-1})$ при нескольких θ:

(a) $\theta = [1{,}5;\ 0{,}95;\ 0{,}1;\ 0.08]^T$; (b) $\theta = [0{,}7;\ 0{,}2;\ 0{,}1;\ 0{,}02]^T$; (c) $\theta = [1{,}5;\ 0{,}95;\ 0{,}1;\ -0{,}05]^T$

Можно показать, что если $A(z^{-1}) \equiv 1$, а $B(z^{-1})$ представляет собой так называемый гиперустойчивый полином, удовлетворяющий требованию

$$|b_1| > |b_2| + \cdots + |b_n|, \tag{21}$$

то соотношение (20) всегда выполняется.

Можно также доказать, что при отсутствии возмущения в условиях теоремы 1 цель управления (7), при $\varepsilon = 0$ достигается, при чем

$$\lim_{t\to\infty} u_t = y^* W_0(1)^{-1},$$

если

$$u_{\min} \le y^* W_0(1)^{-1} \le u_{\max},$$

где $W_0(1) = B(1) / A(1)$ - статический коэффициент усиления объекта. Однако, при наличии возмущения, амплитуда ε которого является достаточно большой, эта цель не может быть достигнута в общем случае. Этот факт подтверждается примером 2.

Пример 2. Пусть $n = 2$, $u_{\min} = 0$, и $u_{\max} = 10{,}0$, $y^* = 0{,}5$, а полиномы $A(z^{-1})$ и $B(z^{-1})$ порождаются вектором θ, соответствующим случаю (a) на рис. 3. Управляющий воздействие и выход объекта в замкнутой системе (1), (9) – (11) с возмущением v_t, представляющим собой псевдослучайную переменную в интервале множества $[-0{,}2,\ 0{,}2]$, показаны на рис. 4. Можно наблюдать, что время от времени происходит насыщение, при котором ошибка e_t может превысить допустимые границы, равные 0,2. В этом случае цель (7) не достигается.

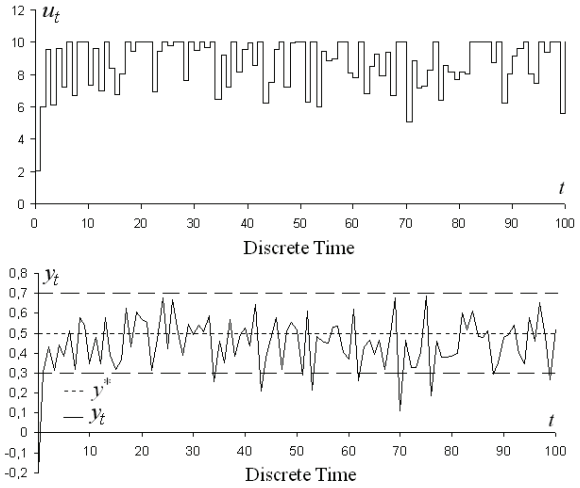


Рис. 4. Поведение неадаптивного регулятора в примере 2

Пусть $u_{\max} = -u_{\min} = u^+$. Предположим, что решение уравнения $B(q^{-1})u_t = 0$ удовлетворяет соотношению

$$|u_t| < u^+ \sigma^t \qquad (t = 0,1,\ldots) \tag{22}$$

с некоторым $\sigma \in (0,\ 1)$ и любых начальных $u_{-1},\ldots,u_{-n}$ из диапазона $[-u^+,\ u^+]$. Можно показать, что при этом дополнительном условии справедлив следующий результат.

Теорема 2. При условии, если $y^* = 0,\ u_t \in [-u^+,\ u^+]$ и в дополнение к условиям теоремы 1 удовлетворяется (22), то имеется некоторое $\varepsilon^* > 0$, достаточно малое для того чтобы удовлетворить соотношение

$$\varepsilon^* \left(\left\| W_{v/u} \right\|_1 + \left\| \overline{A} \right\|_1 \right) \le u^+,$$

такое, что $0 \le \varepsilon \le \varepsilon^*$, цель (7) будет достигнута, где $\left\| W_{v/u} \right\|_1$ и $\left\| \overline{A} \right\|_1$ обозначают ℓ_i-нормы передаточной функции $W_{v/u}(z^{-1}) = \overline{A}(z^{-1}) / B(z^{-1})$ и полинома $\overline{A}(z^{-1}) = A(z^{-1}) - 1$, соответственно.

Из-за ограничения объема доказательство этой теоремы опущено.

Заметим, что условие (22) удовлетворяется, в частности, в специальном случае, определяемом условием (21).

Синтез адаптивного регулятора

Закон адаптивного управления выбирается посредством замены неизвестных коэффициентов a_i и b_i в (9) их оценками $a_i(t)$ и $b_i(t)$, соответственно, как

$$u_t' = \frac{1}{b_1(t)} [y^* + a_1(t) y_t + \ldots + a_n(t) y_{t-n} - b_2(t) u_{t-1} - \ldots - b_n(t) u_{t-n+1}]. \tag{23}$$

Алгоритм адаптации для оценивания вектора

$$\theta_t = [a_1(t),\ldots,a_n(t),\ b_1(t),\ldots,b_n(t)]^T$$

описывается формулой

$$\theta_t = \mathrm{Pr\,oj}\left\{ \theta_{t-1} + \gamma_t \frac{\varphi_{t-1}}{\left\| \varphi_{t-1} \right\|^2} f(\tilde{e}_t, \varepsilon, \varepsilon^0) \right\}, \tag{24}$$

где $\mathrm{Pr\,oj}$ обозначает оператор проектирования, необходимый, чтобы гарантировать $\theta_t \in \Omega\ \ \forall t$;

$$\tilde{e}_t = y_t - \theta_{t-1}^T \varphi_{t-1} \tag{25}$$

– ошибка предсказания, зависящая от предыдущего вектора оценки θ_{t-1} и вектора регрессии

$\varphi_{t-1} = [-y_{t-1}, \ldots, -y_{t-n},\ u_{t-1}, \ldots, u_{t-n}]^T$;

$f(\cdot,\cdot,\cdot)$ представляет собой модифицированную функцию нечувствительности, изображенную на рис. 5 и определяемую следующим образом:

$$f(\tilde{e}_t, \varepsilon, \varepsilon^0) = \begin{cases} \tilde{e} - \varepsilon, & \text{если} \quad \tilde{e} > \varepsilon^0, \\ 0, & \text{если} \quad |\tilde{e}| \le \varepsilon^0 \quad (\varepsilon^0 > \varepsilon), \\ \tilde{e} + \varepsilon, & \text{если} \quad \tilde{e} < -\varepsilon^0; \end{cases} \tag{26}$$

γ_t – коэффициент, выбираемый из диапазона

$$0 < \gamma' \le \gamma_t \le \gamma'' < 2 \tag{27}$$

с некоторыми фиксированными γ' и γ'' так, чтобы $b_1(t)$ в (23) было отличным от нуля; $\|\cdot\|$ обозначает евклидову норму вектора.

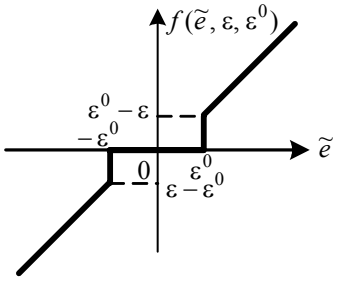


Рис. 5. Модифицированная функция нечувствительности

Отличительная особенность адаптивного управления с ограничением состоит в том, что $e_t \not\equiv -\tilde{e}_t$, тогда как при отсутствии ограничений управления по насыщению имеем $e_t \equiv \tilde{e}_t$.

Свойства сходимости формулируются в следующей лемме.

Лемма. Если полином $A(z^{-1})$ строго устойчив, а $-u^+ \le u_t \le u^+$, то алгоритм оценивания (24) – (27) с любым $\varepsilon^0 > \varepsilon$ сходится за конечное время t^* так, что: (i) $\theta_t \equiv \theta_{t^*} = \theta^*$ для всех $t \ge t^*$, где $\theta^* \in \Omega.$; (ii) $\limsup_{t\to\infty} |\tilde{e}_t| \le \varepsilon^0$ (независимо от того, как генерируется $\{u_t\}$).

Доказательство. См. теорему 2.1.1а в [1].

Замечание. Как и при отсутствии ограничения, оценки $a_i(t)$ и $b_i(t)$, которые замораживаются при $t \in [t^*,\ \infty)$, могут, не быть близкими к их истинным значениям a_i и b_i, соответственно. Однако желаемое качество управления в форме (8) пока еще не гарантируется из-за того, что $e_t \not\equiv -\tilde{e}_t$ (в отличие от случая неограниченного управления). Чтобы показать это свойство, будет представлен некоторый модельный пример. Для сравнения также проводится моделирование адаптивной системы управления без ограничения.

Пример 3. Результаты моделировании при $n = 2,\ u_{\min} = 0,\ u_{\max} = 10{,}0,\ y^* = 1{,}0,$ $A(z^{-1}) \equiv 1,\ B(z^{-1}) = 0{,}1z^{-1} + 0{,}08z^{-2},\ \theta_0 = [0,\ 0,\ 0{,}09,\ 0{,}192]^T$ с таким же возмущением $\{v_t\}$, в как примере 2, и $\varepsilon^0 = 0{,}35$ представлены на рис. 6.

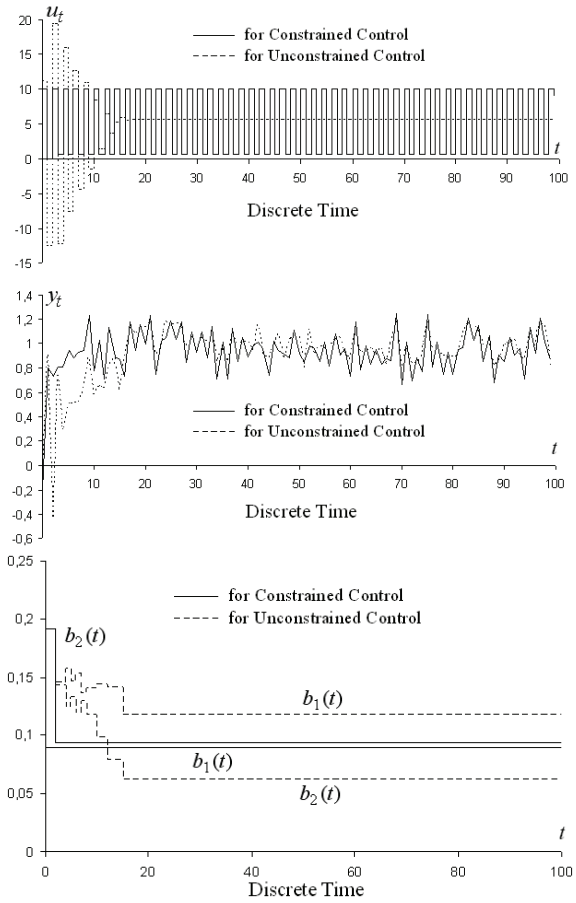


Рис. 6. Поведение адаптивных регуляторов в примере 3

Можно заметить, что субоптимальное поведение адаптивной системы в случае ограниченного входа может не быть достигнуто (в отличие от случая неограниченного входа).

Основной результат

Пусть A', B' и A'', B'' будут полиномами, порожденными некоторыми θ' и θ'' из Ω. Чтобы установить достаточное условие, при котором может быть обеспечено субоптимальное управление в случае ограниченного входа, потребуется следующее дополнительное предположение относительно Ω.

A5) область Ω такова что: (i) полиномы A', B', устойчивы для любых $\theta', \theta'' \in \Omega$; (ii) полином $\widetilde{B} = B' + A'B'' - A''B'$ устойчив; (iii) условие

$$1 + \min_{\theta_1, \theta_2 \in \Omega} \min_{0 \le \omega \le \pi} \operatorname{Re} H(\theta_1, \theta_2, e^{-j\omega}) > 0$$

удовлетворяется при $H(\theta_1, \theta_2, z^{-1}) = [(b_1'')^{-1} \widetilde{B}(z^{-1}) - A'(z^{-1})] / A'(z^{-1}) z^{-1}$; (iv) решение уравнения $B''(z^{-1}) u_t = 0$ удовлетворяет (22).

Основной результат формулируется следующим образом.

Теорема 3. В условиях предположений A1) – A5) при $\varepsilon^0 = \varepsilon + \delta$, $y^* = 0$ адаптивный регулятор, описанный уравнениями (23) – (27), имеет свойства: (1) цель (8) достигается; (2) управляющий вход прекращает выходить на насыщение после конечного переходного периода.

Доказательство проводится так же, как и доказательство теоремы 2 с использованием результатов леммы.

Моделирование

Модельный пример, показывающий удовлетворительное поведение адаптивного регулятора, представлен на рис. 7, на котором введено обозначение $\widetilde{\theta}_t = \theta - \theta_t$. Условия моделирования были

выбраны следующим образом: $\varepsilon^0 = 0.3,\ A(z^{-1}) = 1 + 1{,}5z^{-1} + 0{,}95z^{-2},\quad B(z^{-1}) = 0{,}5z^{-1} + 0{,}4z^{-2},$ $\theta_0 = [0,\ 0,\ 0{,}2,\ 0{,}1]^T$ и $y^* = 1{,}0.$

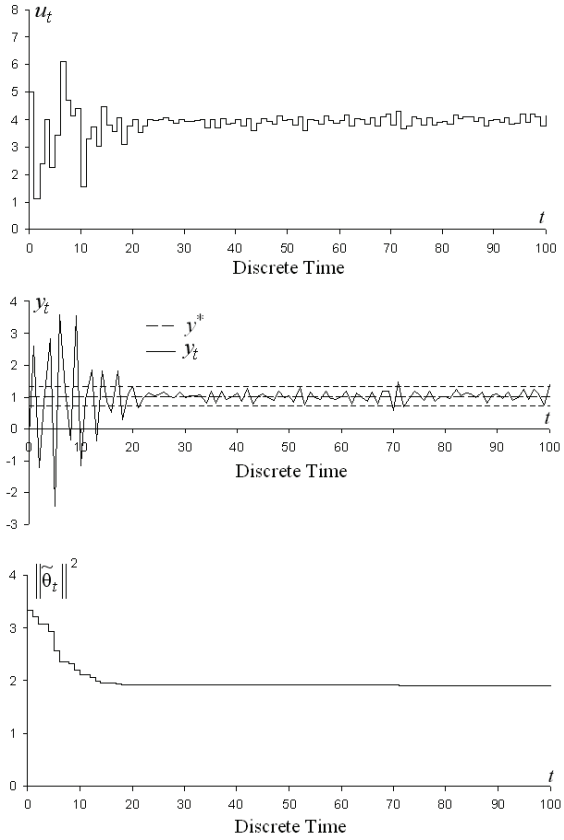


Рис. 7. Адаптивное субоптимальное управление с $\tilde{\theta}_t = \theta - \theta_t$

Заключение

Проведен анализ предельного показателя регулирования дискретной адаптивной системы управления с некоторым ограничением по амплитуде и ограниченным возмущением. Ее основные результаты состоят в следующем: 1) получены достаточные условия, которые гарантируют глобальную асимптотическую устойчивость этой системы; 2) получены достаточные условия, при которых система будет субоптимальной с заданным показателем субоптимальности.

Список литературы

1. *Фомин В.Н.* Адаптивное управление динамическими объектами / В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, В.А. Якубович. – М.: Наука, 1981. – 448 с.

2. *Goodwin G. C.* Adaptive filtering, prediction and control /G. C. Goodwin, K. S. Sin. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984. – 540 p.

3. *Landau, I.D.* Adaptive control / I. D.Landau, R. Lozano, M. M'Saad. – London: Springer, 1997. – 562 p.

4. *Кунцевич В.М* .Синтез оптимальных и адаптивных систем управления. Игровой подход / В.М. Кунцевич, М.М. Лычак. – К.: Наук. думка, 1985. – 248 с.

5. *Азарсков В.Н.* Робастные методы оценивания, идентификации и адаптивного управления / В.Н. Азарсков, Л.Н. Блохин, Л.С. Житецкий, Н.Н. Куссуль. – К.: НАУ. – 2004. – 500 с.

6. *Ortega R.* A note on direct adaptive control of systems with bounded disturbances / R. Ortega, R. Lozano // Automatica. – 1987. – Vol. 23, N 2. – P. 253–254.

7. *Annaswamy A.M.* Discrete-time adaptive control in the presence of input constraints /A.M. Annaswamy, S.P. Karason // Automatica. – 1995. – Vol. 31, N 10. – P. 1421–1431.

8. *Ohkawa F.* Discrete model reference adaptive control system for a plant with input amplitude constraints / F. Ohkawa, Y.A. Yonezawa // Int. J. Control – 1982. – Vol 36**,** N 5. – P. 747–753.

9. *Payne A.N.* Adaptive one-step-ahead control subject to an input-amplitude constraint / A.N. Payne // Int. J. Control. – 1986. –Vol. 43, N 4. P.1257–1269.

10.*Zhiteckij L.S.* Simple adaptive controllers for a discrete-time infinite-dimensional control with saturation constraints and its application / L.S. Zhiteckij, V.I. Skurikhin, N.A. Sapunova L.P. Jakovenko // Preprints of an IFAC Workshop "Adaptive Systems and Signal Processing" (University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK, 26th–28th August, 1998). – 1998. – P. 321–326.

11.*Abramovich D.Y.* On the stability of adaptive pole placement controllers with a saturating actuator / D.Y. Abramovich, G.F. Franklin // IEEE Trans. Automat. Control. – 1990. – Vol. 35, N 3. – P. 303–306.

12.*Feng G.* Stability of input amplitude constrained adaptive pole placement control systems / G. Feng, C. Zhang, M. Palaniswami // *Automatica*. – 1994. – Vol. 30, N 6. – P. 1065–1070.

13.*Zhang C.* Adaptive pole assignement subject to saturation constraints / C. Zhang, R.J. Evans // Int. J. Control. – 1987. – Vol. 46, N 4. – P. 1391–1388.

14.*Zhang C.* Discrete-time saturation constrained adaptive pole assignment control / C. Zhang // IEEE Trans. Automat. Control. – 1993. – Vol. 38, N 8. – P. 1250–1254.

15. *Chaoui F.Z.* Adaptive stabilization and tracking of constrained linear systems / F.Z. Chaoui, F. Giri, M. M'Saad // Preprints of an IFAC Workshop "Adaptive Systems and Signal Processing" (University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, UK, 26th–28th August, 1998). – 1998. – P. 454–459.

16.*Chaoui F.Z.* Adaptive control of input constrained type-1 plants: stabilization and tracking / F.Z. Chaoui F., Giri, M. M'Saad // Automatica. – 2001. – Vol. 37, N 1. – P. 197–203.

17.*Цыпкин Я.З.* Об устойчивости в большом нелинейных импульсных систем / Я.З. Цыпкин // Докл. АН СССР. – 1962. – Т. 145, № 1. – С. 52–58.

УДК 621.369.933: 629.783

А.А. Тунік, д.т.н,
Г.Г. Вальденмайєр, аспірант,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВИКОРИСТАННЯ ПРОЦЕДУРИ ФАКТОРИЗАЦІЇ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЗБІЖНОСТІ ЗАДАЧ КАЛМАНІВСЬКОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

Проведено порівняльний аналіз методу QR-факторизації та методу Бірмана для процедури факторизації коваріаційних матриць. Виведено аналітичні формули для підрахунку складності обчислення кожного з методів. Показано важливість використання процедури факторизації для покращення збіжності задач калманівської фільтрації. Наведено результати моделювання роботи ІСНС з використанням процедури факторизації.

Стрімкий розвиток малої безпілотної авіації призвів до створення сучасних навігаційних систем та систем управління, що володіють значним рівнем надійності та точності роботи і водночас мають незначні габарити та вагу. На сьогоднішній день найпопулярнішим методом створення сучасних навігаційних систем є інтеграція (комплексування) інерційних навігаційних систем (ІНС) та супутникових навігаційних систем (СНС). Комплексування цих систем здійснюється за допомогою алгоритмів оптимального стохастичного оцінювання навігаційних параметрів. Найпоширенішим серед цих алгоритмів є алгоритм калманівської фільтрації (АКФ). Однак, розширений фільтр Калмана (РФК), який застосовується в інтегрованих інерційно-супутникових навігаційних системах (ІСНС), відрізняється складністю, великою кількістю математичних операцій та можливістю втрати збіжності обчислень. Тому, на даний момент, зусилля багатьох дослідників спрямовані на створення алгоритмів РФК, які повинні задовольняти двом протилежним вимогам. З одного боку, дані алгоритми повинні надійно збігатися при виконанні калманівської фільтрації, а з іншого боку, вони повинні характеризуватись мінімальною складністю з точки зору їх реалізації на бортових комп'ютерах. Остання вимога є надзвичайно актуальна в навігаційних системах для малих БПЛА, тому що їх бортове обладнання повинне бути досить дешевим, мало енергоємним та з мінімальними вагою та об'ємом.

Розглянемо алгоритм інтеграції СНС та ІНС за допомогою РФК, що описаний в роботі Ларіна В.Б і Туніка А.А. [4]. Рівняння моделі помилок ІНС у просторі станів має наступний вигляд [1]:

$$\dot{x} = Fx + n, \qquad x = \begin{bmatrix} \mu \\ \delta v \\ \delta r \end{bmatrix}, \qquad F = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ C & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix}, \qquad C = \begin{bmatrix} 0 & -w_3 & w_2 \\ w_3 & 0 & -w_1 \\ -w_2 & w_1 & 0 \end{bmatrix} \tag{1}$$

μ – вектор малого повороту похибки визначення орієнтації, δv, δr – вектори похибок визначення швидкості та координат БПЛА, $w = [w_1, w_2, w_3]^T$ – вектор повного прискорення; n – вектор білого шуму. 0 – нульова матриця відповідного розміру, I – одинична матриця.

В якості дискретного аналога (9) приймається наступне рівняння [2]:

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + n_k, \qquad \Phi_k = I + F\Delta t + \frac{(\Delta t)^2}{2} F^2 = \begin{bmatrix} I & 0 & 0 \\ C\Delta t & I & 0 \\ C\dfrac{(\Delta t)^2}{2} & I\Delta t & I \end{bmatrix} \tag{2}$$

де n_k – вектор випадкових похибок роботи INS. Якщо на k-му такті роботи INS від GPS надходить інформація про оцінку координат і швидкості об'єкта, то має місце наступний процес спостережень:

$$z_k = Hx_k + \xi_k\ , \qquad H = \begin{bmatrix} 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \tag{3}$$

ξ_k – похибка вимірювань.

Якщо корекція помилок INS відбувається на цьому ж такті, то відповідне рівняння зміни помилок (10) матиме вигляд

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + \Gamma_k u_k + n_k, \tag{4}$$

де u_k – коригувальний сигнал. Вибір матриці Γ_k визначає процес корекції. Таким чином, використовуючи співвідношення (3), (4), задачу корекції INS можна формулювати як стандартну лінійно-квадратичну гаусівську задачу. Відомо, що рішення цієї задачі має вигляд

(5)

$$u_k = -D_k \hat{x}_k$$
$$\overline{x}_{k+1} = \Phi_k \hat{x}_k + \Gamma_k u_k$$

де D_k – матриця коефіцієнтів ланцюга зворотного зв'язку визначається видом оптимізуючого функціоналу. Матриця коефіцієнтів підсилення фільтра (K_k), що генерує вектор оптимальної оцінки $\hat{x}_k$, визначається наступним чином (рівняння фільтра):

$$P_k(-) = \Phi_k P_{k-1}(+)\Phi'_k + Q_k^T, \ . \tag{6}$$

$$K_k = P_k(-)H^T\left(HP_k(-)H^T + R_k\right)^{-1} \tag{7}$$

$$P_k(+) = P_k(-) - K_k\left(HP_k(-)H^T + R_k\right)K_k^T. \tag{8}$$

Тут матриці Q_k, R_k є коваріаційний матрицями шумів n_k і ξ_k відповідно. Матриця P_0 — коваріаційна матриця початкової оцінки вектора, вважається заданою.

Як було зазначено попередньо, основною проблемою використання калманівської фільтрації для корекції роботи інтегрованої ІСНС є забезпечення збіжності обчислень. Суттєвою особливістю задачі калманівської фільтрації є те, що коваріаційна матриця змінних стану P є погано обумовленою. До того ж пара матриць Ф та H в алгоритмі РФК є неповністю спостережувана [4]. Ці особливості можуть призвести до накопичення помилки обчислень і як наслідок незбіжності обчислень при виконанні АКФ.

Як відомо, головною причиною втрати збіжності алгоритму РФК є втрата додатньої визначеності коваріаційних апріорної P(–) та апостеріорної P(+) матриць змінних стану РФК [6]. Для того щоб уникнути цього явища, яке призводить до зупинки алгоритму РКФ, всі операції з цими матрицями намагаються приводити в такій формі, щоб уникнути цього явища. Найбільш поширеними методами досягнення цієї мети є факторизації матриць P(–) та P(+) за допомогою узагальнених множників Холецького (МХ). Якщо всі операції в алгоритмі РФК виконувати із використанням МХ, то їх добуток буде завжди додатньо визначеною матрицею. Крім того, використання МХ дозволяє покращити сходимість задачі калманівської фільтрації, оскільки число обумовленості множника Холецького в квадратний корінь раз менше, ніж число обумовленості відповідної коваріаційної матриці.

Існує цілий ряд методів обчислення МХ коваріаційних матриць фільтра Калмана [2]. В статті [4] для корекції роботи інтегрованої навігаційної системи було використано РФК з QR-факторизацією.

Використання методу QR-факторизації для обрахунку МХ є універсальним та якісним методом. Даний метод дозволяє розрахувати множник Холецького несиметричної матриці. Завдяки цій особливості методу QR– факторизації, в статті [4] вираз обрахунку апріорної та апостеріорної матриці змінних стану РФК було розкладено на множники, використовуючи процедуру конкатенації матриць. Таким чином було отримано вираз для обрахунку МХ апріорної та апостеріорної коваріаційних матриць, не обраховуючи самих коваріаційних матриць.

$$p_k p_k^T = m_k \left(I + m_k^T H^T R_k^{-1} H m_k\right)^{-1} m_k^T$$
$$p_k = m_k N_k^{-1}, \qquad (9)$$
$$N_k = \left[I \quad m_k^T H^T \eta_k^{-1}\right]$$

де m_k, p_k, η_k — множники Холецького відповідно матриць $P_k(-), P_k(+), R_k$,

Як видно з рівняння (9), таке спрощення дозволяє працювати лише з МХ коваріаційних матриць в АКФ, а не з самими матрицями, числа обумовленості яких значно вищі. Уникнення процедури обрахунку коваріаційних матриць дозволяє підвищити точність обрахунку в цілому та покращити збіжність обчислень. Однак, така форма обрахунку (конкатенація матриць) збільшує розмір матриці, що в свою чергу призводить до збільшення кількості математичних операцій при обчисленні МХ.

Суттєвим недоліком методу QR-факторизації є те, що він виконує велику кількість математичних операцій для обрахунку МХ :

$$E_{QORT} = \frac{5}{3}n^3 + 2n^2 + \frac{25}{3}n - \frac{5}{3}(n-m)^3 - 2(n-m)^2 - \frac{25}{3}(n-m) + 2n^2 m(n+m+1); \qquad (10)$$

де n, m – розміри коваріаційної матриці. Причиною цього є те, що даний метод при обчисленні МХ оперує з векторами та матрицями.

Для оптимізації процесу обрахунку МХ коваріаційних матриць було запропоновано використати метод Бірмана [3].

Використання методу Бірмана при факторизації коваріаційних матриць дозволяє суттєву зменшити кількість операцій АКФ і відповідно прискорити процес обчислення. Це досягається за рахунок того, що даний метод оперує з елементами матриці, а не з цілими матрицями чи векторами, а також в даному методі відсутня операція обрахунку зворотної матриці та квадратного кореню.

Отже, основною перевагою методу Бірмана перед QR-факторизацією є зменшення кількості операцій при обрахунку МХ.

$$E_{UD} = \sum_{j=1}^{m}\left[m - j + \sum_{i=j}^{m} 2(m-i)\right] = \frac{2}{3}m^3 + \frac{1}{2}m^2 - \frac{7}{6}m \qquad (11)$$

де m – ранг коваріаційної матриці.

Однак, особливістю використання методу Бірмана для факторизації коваріаційної матриці є те, що даний метод можна використовувати лише для розкладання симетричних коваріаційних матриць. Але дана проблема вирішується використанням форми Джозефа для обрахунку апостеріорної коваріаційної матриці змінних стану [2]:

$$P_n(+) = \left[I - K_n H_n\right] P_n(-) \left[I - K_n H_n\right]^T + K_n R_n K_n^T \qquad (12)$$

Хоча обчислення коваріаційних матриць за допомогою форми Джозефа (12) є більш складним і вимагає більшої кількості математичних операцій в порівнянні з конкатенацією матриць, однак використання форми Джозефа має певні переваги. Використання форми Джозефа для обрахунку коваріаційної матриці змінних стану зменшує розміри матриці, що призводить до зменшення кількості математичних операцій при її розкладанні на МХ.

Отже, проаналізувавши вирази (10) та (11) для обрахунку складності обчислення обох методів, можемо стверджувати про те, що метод Бірмана є більш ефективним, тобто потребує меншої кількості операції для обрахунку МХ коваріаційних матриць.

Для порівняння ефективності методу Бірмана та методу QR-факторизації при використанні в задачах Калманівської фільтрації обрахуємо кількість математичних операцій, що необхідні для моделювання кожного з алгоритмів. В результаті проведених моделювань та обчислення кількості математичних операцій було отримано наступні результати:

- АКФ з QR-факторизацією – 292 267 операцій;
- АКФ з факторизацією методом Бірмана – 22 799 операцій.

Проведене порівняння показує, що використання методу Бірмана для факторизації коваріаційних матриць дозволяє суттєво зменшити кількість математичних операцій в АКФ, що в свою чергу зменшує вимоги до обчислювальної техніки та прискорює процес відпрацювання заданого алгоритму.

Однак, якщо заміна методу призведе до суттєвих погіршень якісних характеристик алгоритму, то така заміна буде не бажаною. Для оцінки якості факторизації та визначення накопичення помилки обрахувань МХ, визначимо числа обумовленості апостеріорної коваріаційної матриці змінних стану. Промоделювавши обидва алгоритми роботи ІСНС, отримали наступні результати:

- макс. число обумовленості: метод Бірмана — 959 790, метод QR-факторизації — 959 820;

Отримані результати моделювання показали, що якість роботи фільтра Калмана при використанні факторизації методом Бірмана не погіршилась в порівнянні з використанням QR- факторизації і знаходиться в заданих межах точності та якості корекції роботи інтегрованої навігаційної системи. Підтвердженням надійності роботи методу Бірмана в задачах калманівської фільтрації є його широке та успішне застосування у різноманітних практичних цілях [7].

Висновки

В даній статті було проаналізовано проблему збіжності та складності обчислень АКФ. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано використання процедури факторизації коваріаційних матриць змінних стану РФК. Було розглянуто та проаналізовано два методи факторизації: метод QR-факторизації та метод Бірмана. Проведений аналіз показав, що основною перевагою методу Бірмана є значно менша кількість математичних операцій, необхідних для обчислення МХ, в порівнянні з методом QR- факторизації, що в свою чергу пришвидшує і процедуру факторизації, і процес моделювання алгоритму роботи ІСНС в цілому. Однак, використання методу QR- факторизації дозволяє уникнути процедури обрахунку коваріаційних матриць при оновленні МХ, що призводить до покращення збіжності обчислень АКФ.

Проведене моделювання алгоритмів роботи інтегрованої навігаційної системи з використанням обох методів факторизації показало, що точність розрахунку основних навігаційних параметрів зберігається на достатньому рівні та забезпечується хороша збіжність обчислень АКФ.

Список літератури

1. Grewall M.S., Weill L.P., Andrews A.P. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. A John Wiley & Sons, Inc. Publ., New York, Chichester, Brisbane, Singapore, Toronto, 2001, 392 p.

2. Grewall M.S., Andrews A.P. Kalman Filtering: Theory and Practice. A John Wiley & Sons, Inc. Publ., New York, Weinheim, Chichester, Brisbane, Singapore, Toronto, 2001, 401 p.

3. Bierman G.J. Factorization Methods for Discrete Sequential Estimation. Academic Press, New York, San Francisco, London, 1977, 241 p.

4. Ларин В.Б., Туник А.А. О корректировании работы системы инерциальной навигации. // Проблемы информатики и управления. – 2010. – №4. – с.

5. Ларин В.Б. Задачи определения ориентация твердго тела. // Прикладная механика. – 2001. – Т. 37, №7. – с.51-77

6. Watanabe K., Tzafestas S.G. New computationally efficient formula for backward-pass fixed-interval smoother and its UD factorization algorithm. // IEEE Proceedings. — 1989. — Vol. 136, No. 2.— pp.73-78

7. Чернодаров А.В., Енютин В.В.,Патрикеев А.П. Диагностирование интегрированных навигационных систем на основе совместных U-D процедур фильтрации и сглаживания. // Гироскопия и навигация – 2000. – №3(30) – с.34-48

8. Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. – М.:Наука, 1973.– 159 с.

УДК 681.5.01

Л.Н. Блохин, д.т.н., проф.,
О.В. Ермолаева, ассистент,
А.Н. Юрченко, ассистент
(Национальный авиационный университет, Украина)

ЗАДАЧА И АЛГОРИТМ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Ставится и решается задача оптимального комплексирования стохастической навигационной информации подвижных объектов. Эквивалентом качества указанных систем комплексирования полагается точность. Предложен алгоритм синтеза оптимальной структуры комплексирующего вычислителя в многоканальном тракте измерения бортовой навигационной стохастической информации, например, информации о курсе объекта.

На современном этапе создания подвижных объектов и их бортовых кибернетических комплексов учитывают, что движение объекта протекает при сложных стохастических условиях окружающей среды. На объект непрерывно воздействует ряд стохастических возмущающих факторов, характеристики которых недостаточно известны. Такие воздействия приводят к стохастическим отклонениям объекта от заданной или программируемой траектории движения, а также в ориентации объекта. В зависимости от целей движения, решается набор таких ответственных задач, как определение местоположения объекта в пространстве, определение местоположения других движущихся или неподвижных объектов, совершение заданных маневров в пространстве, “жесткая” стабилизация объекта на траектории движения и др. Указанные задачи, как правило, подразделяют на две основные группы: управление движением центра масс объекта (задачи навигации и наведения) и управление движением объекта относительно его центра масс (задачи ориентации и стабилизации). Например, основной задачей навигации является измерения ряда навигационных параметров движения. Следует остановиться на указанных задачах, которые непосредственно отвечают целям настоящей работы, связанным с комплексированием навигационной стохастической информации, получаемой от различных бортовых измерителей. Таким образом, речь идет о синтезе оптимальных систем, обладающих структурной избыточностью, то есть о задаче наилучшего использования сигналов параллельно работающих измерителей одной и той же информации.

Пусть необходимо многомерным линейным стационарным фильтром–вычислителем наилучшим по точности образом отработать входную случайную информацию об одном и том же векторном стационарном случайном процессе $r(t)$, получаемую несколькими группами “неидеальных” измерителей, а результат измерений передать в некоторую систему управления движением. Структурная схема комплексированных измерений представлена на рисунке 1. Здесь приняты следующие обозначения. Блоки K и K_i, $i=\overline{1,q}$, представляют собой матрицы передаточных функций измерителей в основном и комплексирующих каналах измерений. Помехи φ и φ_i, $i=\overline{1,q}$, представляют собой стационарные случайные многомерные процессы с известными динамическими характеристиками.

Фурье–образ программного вектора r, который имеет размерность $n\times 1$, характеризуется известной матрицей спектральных плотностей S_{rr}. Вектор r измеряется группой основных измерителей, имеющих матрицу передаточных функций K. Вектор φ –n–мерный вектор случайных помех, имеющий известные матрицы спектральных плотностей и взаимных спектральных плотностей $S_{\varphi\varphi}$, $S_{r\varphi}$ и $S_{\varphi r}$. Параллельно вектор r измеряется q дополнительными каналами, каждый из которых имеет известную матрицу передаточных функций K_i размерности $\nu_{\text{и}}\times\nu_{\text{и}}$ и ν_i–мерный вектор помех измерений φ_i, представляющий

собой векторный стационарный случайный процесс с известной матрицей спектральных плотностей $S_{q_i q_i}$.

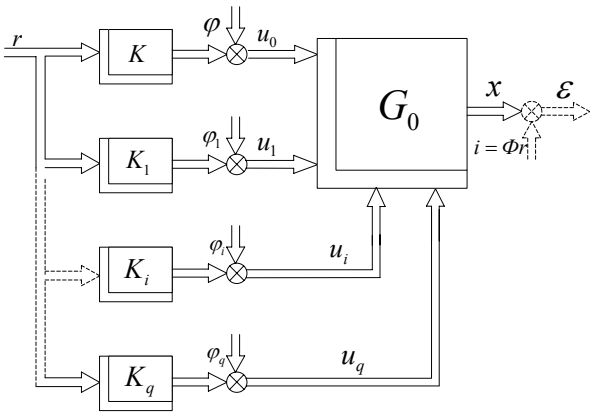


Рис. 1 Структурная схема комплексирующего измерительного тракта

Пусть нумерация каналов упорядочена и соблюдаются условия

$$n \geq \nu_1 \geq \nu_2 \geq \ldots \geq \nu_i \geq \ldots \nu_q \geq 1,\ \sum_{\nu=1}^{q} \nu_i = \nu$$

Как и в работе [1], считается, что на вход i–того измерительного канала поступает сигнал

$u_i = L_i r + \varphi_i$,

где $L_i = [K_i, O_{\nu 1 \times (n-\nu_i)}]$. Следовательно, сигнал u можно записать как

$$u = (Kr + \varphi) + \sum_{i=1}^{q} (L_i r + \varphi_i), \qquad (1)$$

Введем обозначения

$$K_q = \begin{bmatrix} K \\ L \end{bmatrix}_{(n+\nu)\times n};\ L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_q \end{bmatrix}_{\nu \times n};\ \varphi_0 = \begin{bmatrix} \varphi \\ \varphi_1 \\ \vdots \\ \varphi_q \end{bmatrix}_{(n+\nu)\times 1};\ \xi = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_q \end{bmatrix}_{\nu \times 1};\ G_0 = \left[G, G_1, G_2, \ldots G_q\right]_{m\times(n+\nu)}$$

Уравнение (1) можно записать как

$$u = (Kr + \varphi_0) = (\rho_0 + \varphi_0) \qquad (2)$$

и с учетом выражений (2) выход системы представить в виде

$$x = G_0(\rho_0 + \varphi_0), \qquad (3)$$

а желаемый сигнал i в системе как

$$i = \Phi r = \Phi_0 \rho_0, \qquad (4)$$

где $\Phi_0 = \left[\Phi K^{-1}, O_{m\times\nu}\right]$.

Учитывая выражения (3) и (4), вектор ошибки системы запишем в виде

$$\varepsilon = (-\Phi_0 + G_0)\rho_0 + G_0\varphi_0 \qquad (5)$$

Транспонированная матрица спектральных плотностей вектора ошибки по теореме Винера–Хинчина [1] с учетом выражения (5) будет иметь вид

$$S'_{\varepsilon\varepsilon} = \langle \varepsilon\varepsilon_* \rangle = \langle \left[(-\Phi_0 + G_0)\rho_0 + G_0\varphi_0\right] \cdot \left[\rho_{0*}(-\Phi_{0*} + G_{0*}) + \varphi_{0*}G_{0*}\right] \rangle =$$
$$= (-\Phi_0 + G_0)S'_{\rho_0\rho_0}(-\Phi_{0*} + G_{0*}) + (-\Phi_0 + G_0)S'_{\varphi_0\rho_0}G_{0*} + G_0 S'_{\rho_0\varphi_0}(-\Phi_{0*} + G_{0*}) + \qquad (6)$$
$$+ G_0 S'_{\varphi_0\varphi_0} G_{0*}$$

Здесь "′" – знак транспонирования, "*" – символ эрмитова сопряжения, $\langle\ \rangle$ – знак математического ожидания.

Подставим матрицу (6) в функционал системы вида

$$e = \frac{1}{j}\int_{-j\infty}^{j\infty} tr\left(S'_{\varepsilon\varepsilon} R\right) ds \qquad (7)$$

и согласно методу Винера–Колмогорова найдем его первую вариацию, считая в качестве варьируемой функции неизвестную матрицу G. Первая вариация функционала будет иметь вид

$$\delta e = \frac{1}{j}\int_{-j\infty}^{j\infty} tr\{\left[RG_0\left(S'_{\rho 0\rho 0} + S'_{\varphi 0\rho 0} + S'_{\rho 0\varphi 0} + S'_{\varphi 0\varphi 0}\right) - R\Phi_0\left(S'_{\rho 0\rho 0} + S'_{\varphi 0\rho 0}\right)\right]\delta G_{0*} + \delta G_0\left[\left(S'_{\rho 0\rho 0} + S'_{\varphi 0\rho 0} + S'_{\rho 0\varphi 0} + S'_{\varphi 0\varphi 0}\right)G_{0*}R - \left(S'_{\rho 0\rho 0} + S'_{\varphi 0\rho 0}\right)\Phi_{0*}R\right]\} ds \qquad (8)$$

Введя обозначения

$$\mathbf{DD}_* = S'_{\rho 0\rho 0} + S'_{\varphi 0\rho 0} + S'_{\rho 0\varphi 0} + S'_{\varphi 0\varphi 0};\ \mathbf{\Gamma}_*\mathbf{\Gamma} = R;\ \mathbf{T} = T_0 + T_+ + T_- = \Gamma\Phi_0\left(S'_{\rho 0\rho 0} + S'_{\varphi 0\rho 0}\right)D_*^{-1} \qquad (9)$$

Получим условие, обеспечивающее тождественное равенство вариации (8) нулю и одновременно алгоритм синтеза оптимальной структуры G_0 комплексирующего вычислителя на основании исходной информации к задаче, который имеет вид

$$\mathbf{G_0} = \Gamma^{-1}\left(T_0 + T_+\right)D^{-1} \qquad (10)$$

Матрицы Γ_*, Γ, D, D_* в выражениях (9) и (10) – результаты винеровской операции факторизации, матрицы T_0, T_+ и T_- – результаты винеровской операции сепарации.

Таким образом, поставленная задача решена.

Проиллюстрируем эффективность представленных выше алгоритмов комплексирования стохастической навигационной информации [2].

Пусть двумя однотипными измерителями с передаточными функциями $k' = 1$ и $k = k_1$ и некоррелированными помехами измерений, которые представляют собой стационарные шумы с соответствующими спектральными плотностями $S_{\varphi 1\varphi 1} = \frac{\varsigma_2^2}{\pi}$ и $S_{\varphi 2\varphi 2} = \frac{\varsigma_3^2}{\pi}$, измеряют центрированный случайный процесс со спектральной плотностью $S_{rr} = \frac{\varsigma_1^2}{-\pi s^2}$.

Необходимо синтезировать оптимальные структуры фильтров, которые используют информацию одного (первого) измерителя или двух измерителей одновременно.

Предположим, что система передачи данных идеальна, то есть $P^{-1}M = 1;\quad R = 1;\quad C = 1;\quad \Phi = 1$.

Для случая с одним измерителем используем выражения (9). Имеем:

$$\mathbf{\Gamma} = 1;\quad \mathbf{DD}_* = S_{rr} + S_{\varphi\varphi} = \frac{\varsigma_2^2}{\pi}\cdot\left|\frac{s+\gamma_1}{s}\right|^2;\quad \gamma_1 = \frac{\varsigma_1}{\varsigma_2};$$

$$D = \frac{\varsigma_2}{\sqrt{\pi}}\cdot\frac{s+\gamma_1}{s};\quad \mathrm{T}_0 = 0;\quad \mathrm{T}_+ = \left[\frac{\varsigma_1^2}{\pi\left(-s^2\right)}\cdot\frac{\sqrt{\pi}}{\varsigma_2}\cdot\frac{-s}{\left(-s+\gamma_1\right)}\right]_+ = \frac{\varsigma_1}{\sqrt{\pi}}\cdot\frac{1}{s}.$$

После подстановки в алгоритм (10) получим оптимальную структуру фильтра

$$\mathbf{G} = \frac{\gamma_1}{s+\gamma_1} = \frac{1}{\tau_1 s + 1}. \qquad (11)$$

Нетрудно найти и частотную характеристику ошибки системы

$$\mathbf{Ц} - \mathbf{G} = \frac{\tau_1 s}{\tau_1 s + 1}. \qquad (12)$$

После подстановки исходных спектральных плотностей входных сигналов выражений (11) і (12) в функционал (7) определим его минимальное значение

$$e_{1\min} = \frac{1}{j}\int_{-j\omega}^{j\omega}\left[\left|\frac{\tau_1 s}{\tau_1 s+1}\right|^2\cdot\frac{\varsigma_1^2}{-\pi s^2} + \left|\frac{1}{\tau_1 s+1}\right|^2\cdot\frac{\varsigma_2^2}{\pi}\right] ds. \qquad (13)$$

После вычисления интеграла (13) получим относительную минимальную среднеквадратичную ошибку измерения

$$\frac{e_{1\min}}{\varsigma_1^2} = 2\tau_1 . \qquad (14)$$

Теперь рассмотрим случай использования двух измерителей. Найдем сначала один из выражений алгоритма (10) в виде

$$\mathbf{DD}_* = S'_{\rho 0 \rho 0} + S'_{\varphi 0 \varphi 0} = \frac{\varsigma_1^2}{-\pi s^2} \cdot \begin{bmatrix} 1-\tau_1^2 s^2 & k \\ k & k^2 - \tau_2^2 s^2 \end{bmatrix}, \qquad (15)$$

где $\tau_2 = \frac{\varsigma_3}{\varsigma_2}$.

Проведем операцию факторизации матрицы (15) по методу Девиса. После всех необходимых действий можно найти матрицу $\mathbf{D_0}$, то есть

$$\mathbf{D_0} = \frac{\varsigma_1}{\sqrt{\pi s}} \cdot \Phi_1^{-1} \cdot \Phi_2^{-1} \cdot \Phi_0 == \frac{\varsigma_1}{\sqrt{\pi s}} \cdot \begin{bmatrix} \tau_1 s + \frac{\tau_2}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}} & \frac{k\tau_1}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}} \\ \frac{k\tau_2}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}} & \tau_1 s + \frac{\tau_2}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}} \end{bmatrix}. \qquad (16)$$

Подставив в матрицу (9) выражение (16) и другие данные, получим такое выражение:

$$\Phi = \frac{\varsigma_1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{(\tau_2, k\tau_1)}{s\left(-\tau_1\tau_2 s + \sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}\right)}. \qquad (17)$$

Проведя операцию сепарации матрицы (17), получим:

$$\mathrm{T_0} = 0; \quad \mathrm{T_+} = \frac{\varsigma_1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{(\mathrm{A_1}, \mathrm{A_2})}{\mathrm{s}}; \; A_1 = \frac{\tau_2}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}}; \quad A_2 = \frac{k\tau_1}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}}. \qquad (18)$$

После подстановки выражений (16), (18) в алгоритм (10) определим оптимальную структуру комплексирующего фильтра

$$\mathbf{G_0} = \frac{\left(\tau_2^2, k\tau_1^2\right)}{\sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}\left(\tau_1\tau_2 s + \sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}\right)}. \qquad (19)$$

Матриця передаточних функцій помилки системи при відтворенні програми

$$(\mathrm{Ц_0} - \mathbf{G_0})\mathrm{K_0} = \frac{\tau_1\tau_2 s}{\tau_1\tau_2 s + \sqrt{\tau_2^2 + k^2\tau_1^2}}. \qquad (20)$$

Относительная минимальная среднеквадратическая ошибка системы при использовании двух каналов измерений

$$\frac{e_{1\min}}{\varsigma_1^2} = \frac{2\tau_1}{\sqrt{1 + k^2\left(\tau_1 / \tau_2\right)^2}}. \qquad (21)$$

Сравнивая выражения (21) и (14), нетрудно увидеть, что уже при двухканальном измерении процесса и измерителей одного класса ($\tau_1 = \tau_2 = \tau$) выбором усиления во втором канале можно получить на порядок точнее оптимальную измерительную систему, чем при одноканальном измерении.

Список литературы

1. *Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С.* Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации.–К.: Из–во НАУ, 2006.–с.438

2. *Блохин Л.Н., Буриченко М.Ю.* Статистична динаміка систем управління. Підручник. для ВНЗ України. – К.:НАУ,2003. – с. 208

УДК 007.21.(043.2)

Н.И. Делас к.т.н., В.А. Касьянов д.т.н.
(Национальный авиационный университет, Украина)

ГИПЕРБОЛИЧЕСКИЕ РАНГОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В АКТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Получены зависимости, демонстрирующие синергетический характер организации активных систем, который проявляется через универсальность гиперболического закона распределения.

В теории управления социально-экономическими системами выделяют категорию активных систем [1,2,3]. В отличие от пассивных, активные системы содержат хотя бы один элемент, наделенный свойством активности. Это означает, что он обладает свободой выбора своего состояния, свободой выбора цели и субъективной оценкой качества своих действий. Можно утверждать, что поведение активной системы подчинено реализации собственных интересов и предпочтений при наличии внешних и внутренних ограничений.

Теория активных систем развивается уже около сорока лет. Продолжительное время ее основными инструментами исследования являлись теория игр и имитационное моделирование[3]. В последнее десятилетие к изучению динамики активных систем успешно применяется вариационный подход, развиваемый в работах [1,2]. В основе подхода, использующего вариационного принцип, лежит максимум энтропии распределения субъективных предпочтений. Он отражает естественное желание субъекта получить максимально достижимую выгоду при наличии различных ограничений и рисков.

Экспериментальным подтверждением справедливости вариационного подхода служит обширное количество синергетических проявлений, наблюдаемых при анализе различных аспектов активных систем. Наиболее отчетливо эффекты самоорганизации проявляются через гиперболический характер ранговых распределений, присущий самым разнообразным социально-экономическим формам [4,5,6]. Гиперболический характер ранговых распределений носит универсальный характер применительно к сложно-структурированным целостным системам, к каковым и относятся активные системы. В зависимости от отрасли, гиперболический закон распределения носит разные названия. Известны законы Ципфа, Парето, Лотки, Бредфорда, Бенфорда и др. Их общая суть заключается в том, что частота появления i - го вида (класса) обратно пропорциональна его рангу в степени m, близкой к единице ($0{,}7 \le m \le 2$):

$$n_i = \frac{const}{i^m} \qquad (1).$$

В случае $m = 1$ - выражение (1) представляет собой известный закон Ципфа.

Согласно [1,2], субъект распределяет свои предпочтения таким образом, чтобы в зависимости от потребных ресурсов r_i достигался максимум энтропии H. Эффективным алгоритмом, позволяющим учитывать ограничения при поиске экстремума H, служит метод множителей Лагранжа. Применение вариационного принципа позволяет получить канонический закон распределения предпочтений субъекта в виде:

$$\pi_i = c \cdot e^{-\beta \cdot r_i} \qquad (2).$$

Здесь $c = \dfrac{1}{\sum\limits_{i=1}^{K} e^{-\beta \cdot r_i}}$ – константа, обеспечивающая нормировку $\sum\limits_{i=1}^{k} \pi_i = 1$;

β – размерный коэффициент.

После логарифмирования (2), имеем

$$r_i + \frac{1}{\beta} \cdot \ln \pi_i = const \qquad (3).$$

Если справедливо предположение, что каноническое распределение предпочтений субъекта также «вписывается» в универсальность гиперболического закона, то из этого могут быть выведены новые интересные результаты. Хотя справедливость такого предположения еще не имеет неоспоримого экспериментального подтверждения, но косвенных причин так полагать существует достаточно много. Например, закон Ципфа-Мандельброта характеризует распределения предпочтений при выборе слов в процессе написания автором целостного текста; правило «длинного хвоста» Криса Андерсена описывает предпочтения покупателей, приобретающих товары через Интернет; закон Бенфорда – предпочтения в использовании первых значащих цифр в числовых массивах и т.д. Если положить, что субъективное распределение предпочтений, также носит гиперболический характер, то по аналогии с (1) запишем:

$$\pi_i = \frac{const}{i^m} \qquad (4).$$

Тогда из (2) получим зависимость для распределения ресурсов:

$$r_i = r_1 + \frac{m}{\beta} \cdot \ln i \qquad (5).$$

Суммируя по всем значениям i, получим:

$$r_1 = \frac{1}{K} \cdot \left(R_\Sigma - \frac{m}{\beta} \cdot \ln K! \right) \qquad (6), \text{ где}$$

r_1 - ресурсы (может быть также - энергия, время), выделяемые субъектом на реализацию первого основного предпочтения;

$R_\Sigma = \sum_{i=1}^{K} r_i$ - общий объем располагаемых ресурсов;

K - общее число достижимых альтернатив.

Из найденных выражений (5) и (6), можно получить некоторые нетривиальные выводы. В частности, из (5) следует, что субъект сможет наиболее эффективно реализовать стратегию своего выбора, если распределит свои ресурсы по логарифмическому закону (для реализации главной цели будет отведено значительно больше ресурсов).

Распределяя свои предпочтения, субъект, в силу присущей ему природы, стремится достичь большей свободы выбора, следовательно [1,2], максимизирует энтропию:

$$H = -\sum_{i=1}^{K} \pi_i \cdot \ln \pi_i \qquad (7),$$

а, значит, стремится сделать максимальным число достижимых альтернатив K. Из уравнения (6) видно, что значение K зависит от общего объема ресурсов R_Σ и величины той «цены», которую субъект готов заплатить за реализацию своего основного предпочтения r_1.

Рассмотрим еще одну задачу, связанную с ранговыми распределениями в активных системах. Задача состоит в том, чтобы понять, как распределяются ресурсы $r_i = f(i)$ в неоднородном обществе, а также понять, от чего зависит количество K классов при гиперболическом законе рангового распределения численности, выраженном зависимостью (1).

При значении численности i-ого класса, равном n_i, потребляемый этим классом ресурс равен:

$$r_i = \rho_i \cdot n_i \qquad (8).$$

Соответственно $r_1 = \rho_1 \cdot n_1$, где $\rho_i, \rho_1 -$ потребление ресурса одним представителем соответствующего класса.

Ясно, что должно выполняться условие, при котором для наиболее многочисленного (и малоимущего) первого класса индивидуальное потребление ρ_1 не может опускаться ниже какого-то критического уровня ρ_1^*, то есть $\rho_1 \geq \rho_1^*$. Учитывая это условие, зависимость (6) перепишем в виде:

$$\frac{1}{K}\cdot\left(R_\Sigma - \frac{m}{\beta}\cdot \ln K!\right) \geq \rho_1^* \cdot n_1 \qquad (9).$$

В частном случае, при значении показателя $m = 1$, распределение (1) превращается в закон Ципфа: $n_i = \frac{const}{i}$. Значение константы определяется через выполнение условия:

$$\sum_{i=1}^{K} \frac{const}{i} = N \text{, где } N \text{ – общее число индивидуумов.}$$

В итоге имеем:

$$n_i = \frac{N}{i\cdot\sum_{i=1}^{K}\frac{1}{i}} \approx \frac{N}{i\cdot(\gamma + \ln K)} \qquad (10),$$

где $\gamma \approx 0{,}5772\ldots$ – постоянная Эйлера. Подставив (10) в (9), получим:

$$\frac{1}{K\cdot N}\cdot\left(R_\Sigma - \frac{1}{\beta}\ln K!\right)(\gamma + \ln K) \geq \rho_1^* \qquad (11)$$

Из этого неравенства можно получить значение для максимального числа классов $K_{\max}$, при котором индивидуальное потребление ρ_1 представителя самого многочисленного класса не становится ниже некоторого естественного минимального порога ρ_1^*.

Зависимость (5) может быть записана через ресурсы r_K самого малочисленного K-го класса с максимальным индивидуальным потреблением:

$$r_i = r_K + \frac{m}{\beta}\cdot(\ln i - \ln K) \qquad (12).$$

Тогда вместо (6) имеем:

$$r_K = \frac{1}{K}\cdot\left(R_\Sigma - \frac{m}{\beta}\cdot(\ln K! - K\cdot\ln K)\right),$$

В частном случае, когда $m = 1$:

$$\rho_K = \frac{\gamma + \ln K}{N}\left(R_\Sigma - \frac{1}{\beta}\cdot(\ln K! - \ln K)\right) \qquad (13),$$

Здесь принято: $r_K = \rho_K \cdot n_K$. Из (10) определяется численность K - го класса:

$$n_K = \frac{N}{K\cdot\sum_{i=1}^{K}\frac{1}{i}} \approx \frac{N}{K\cdot(\gamma + \ln K)}$$

Подставляя сюда значение $K_{\max}$, с учетом известного приближения Стирлинга

$$\ln K! \approx K\cdot\ln K - K + \frac{1}{2}\cdot\ln 2\pi K),$$

получим зависимость для максимально возможного значения индивидуального потребления представителем самого малочисленного и «богатого» K-го класса:

$$\rho_K = \frac{\gamma + \ln K_{\max}}{N}\left[R_\Sigma + \frac{1}{\beta}\cdot(K_{\max} - 0.5\ln 2\pi K_{\max})\right] \qquad (14).$$

Из (14) следует нетривиальный вывод: господствующий класс обладает тем большим индивидуальным ресурсом, чем шире разнообразие слоев общества (больше количество классов K).

Доклад на конференции будет иллюстрирован статистическими данными и результатами расчетов по приведенным выше формулам.

Список литературы

1. Касьянов В.А. Элементы субъективного анализа. – К.: НАУ, 2003. – 224с.
2. Касьянов В.А. Субъективный анализ: Монография. – К.: НАУ, 2007. – 512с.
3. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Теория активных систем: состояние и перспективы. – М.: Синтег, 1999. – 128с.
4. Кудрин Б.И. Математика ценозов: видовое, ранговидовое, ранговое по параметру гиперболические H-распределения и законы Лотки, Ципфа, Парето, Мандельброта. // Философские основания техники: III. Математический аппарат структурного описания ценозов и гиперболические H-ограничения. Вып. 19. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований, 2002 – С. 357 – 412.
5. Шрейдер Ю.А. Ранговые распределения как системное свойство. // Математическое описание ценозов и закономерности техники. Вып. 1 и вып. 2. «Ценологические исследования». – Абакан: Центр системных исследований, – 1996. – С. 33 – 42.
6. Балацкий Е.В. Ментальные контуры, стратификация общества и цивилизационные волны. // Вестник Российской Академии наук. – 2008. – том 78. – №8. – С. 712 – 725.

УДК 629.3.025.2

О.А. Сущенко, канд. техн. наук, І.В. Чаплай,
(Національний авіаційний університет, Україна)

СИНТЕЗ РОБАСТНОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Запропоновано підхід для синтезу робастних систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, призначених для експлуатації на рухомих об'єктах широкого класу. Представлено модель одного каналу системи стабілізації наземного призначення та наведено результати моделювання. Визначено особливості застосування методу змішаної чутливості для синтезу системи досліджуваного класу.

У наш час зростає складність процесів управління, що супроводжують експлуатацію рухомих об'єктів. При цьому існує важлива проблема стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, які забезпечують вимірювання та визначення інформації, необхідної для управління рухомими об'єктами, навігації та стеження за орієнтирами. Зазвичай до таких процесів надають високі точнісні вимоги, які неможливо задовольнити без стабілізації основи, на якій встановлюються відповідні інформаційно-вимірювальні пристрої.

Слід зазначити, що точнісні характеристики власне інформаційно-вимірювальних пристроїв стрімко покращились за останні роки. Така тенденція потребує відповідного прогресу у засобах їх стабілізації під час експлуатації на рухомих об'єктах. Одним із сучасних підходів до розв'язання цієї проблеми є створення робастних систем.

Вибір методу синтезу суттєвим чином залежить від особливостей системи та умов її експлуатації. При цьому мають місце дві особливості. По-перше, системи досліджуваного типу функціонують в умовах зовнішніх збурень (морського хвилювання, впливу вітру та збурень, зумовлених нерівностями рельєфу дороги для суден, літальних апаратів та наземних рухомих об'єктів відповідно). По-друге, параметри цих об'єктів управління суттєво змінюються у часі.

З урахуванням цих обставин вважається за доцільне вирішувати задачу синтезу системи стабілізації на підставі робастного управління. Головною задачею синтезу робастних систем досліджуваного типу є пошук закону стабілізації, спроможного забезпечувати точнісні характеристики системи у заданих межах незважаючи на наявність невизначеностей у математичному описі системи. Ця невизначеність може бути зумовлена багатьма факторами, а саме зовнішніми збуреннями, похибками визначення передавальної функції системи, а також немодельованою динамікою.

Існує підхід до створення робастних систем, заснований на визначенні сингулярних величин передавальної функції системи та мінімізації відповідної норми [1]. Цей підхід до проектування робастних систем управління взагалі та систем стабілізації зокрема може бути реалізований автоматизованими засобами оптимального проектування, а саме: розширеним пакетом Robust Control Toolbox обчислювальної системи MATLAB. Постановку проблеми робастного управління у канонічній формі [2] представлено на рис. 1.

Для збуреної системи, представленої на рис. 1, рівняння стану та виходу є такими:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}_1\mathbf{u}_1 + \mathbf{B}_2\mathbf{u}_2;$$

$$\mathbf{y}_1 = \mathbf{C}_1\mathbf{x} + \mathbf{D}_{11}\mathbf{u}_1 + \mathbf{D}_{12}\mathbf{u}_2;$$

$$\mathbf{y}_2 = \mathbf{C}_2\mathbf{x} + \mathbf{D}_{21}\mathbf{u}_1 + \mathbf{D}_{22}\mathbf{u}_2.$$

Постановка задачі робастного управління може бути узагальнена об'єднанням номінального об'єкту та збурення, як це показано на рис. 2.

Відповідно до рис. 2 проблема проектування H_∞-регуляторів може бути сформульована у такий спосіб [2]. Для заданого розширеного об'єкта $\mathbf{P}(s)$ із математичним

описом у просторі станів необхідно визначити стабілізувальний регулятор для об'єкта управління у контурі зворотного зв'язку

$$\mathbf{u}_2(s) = \mathbf{F}(s)\mathbf{y}_2(s),$$

який мінімізує H_∞-норму замкненої передавальної матричної функції

$$\mathbf{T}_{y_1u_1}(s) = \mathbf{P}_{11}(s) + \mathbf{P}_{12}(s)(\mathbf{I} - \mathbf{F}(s)\mathbf{P}_{22}(s))^{-1}\mathbf{F}(s)\mathbf{P}_{21}(s),$$

тобто $\| T_{y_1u_1} \|_\infty = \sup_\omega \sigma_{\max}(T_{y_1u_1}(j\omega)) < 1$, де $\sigma_{\max}$ – є максимальне сингулярне число.

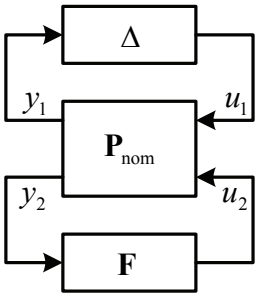


Рис. 1. До постановки задачі синтезу робастної системи: $\mathbf{P}_{11nom}$, $\mathbf{P}_{12nom}$ $\mathbf{P}_{21nom}$ $\mathbf{P}_{22nom}$ – передавальні функції номінального об'єкта; $\mathbf{F}$ - передавальна функція регулятора.

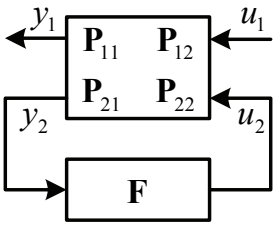


Рис. 2. Узагальнена постановка задачі робастного управління

Для кількісного оцінювання запасів стійкості та частотних характеристик системи використовуються сингулярні числа замкнутих передавальних матричних функцій [7]

$$\mathbf{S}(j\omega) \overset{def}{=} (\mathbf{I} + \mathbf{F}(j\omega)\mathbf{P}(j\omega))^{-1},$$

$$\mathbf{R}(j\omega) \overset{def}{=} \mathbf{F}(j\omega)(\mathbf{I} + \mathbf{F}(j\omega)\mathbf{P}(j\omega))^{-1},$$

$$\mathbf{T}(j\omega) \overset{def}{=} \mathbf{F}(ju_l)\mathbf{P}(ju_l)(\mathbf{I} + \mathbf{F}(j\omega)\mathbf{P}(j\omega))^{-1}.$$

Матриці $\mathbf{S}(j\omega)$ та $\mathbf{T}(j\omega)$ називаються функціями чутливості та додаткової чутливості. Сингулярні числа функції чутливості визначають ступінь придушення збурень, оскільки вона являє собою передавальну функцію замкнутої системи від збурення до вихідного сигналу.

Після вибору вагових матричних передавальних функцій досліджувана система розширюється за рахунок включення рівнянь цих функцій. Розширена передавальна функція системи описується структурною схемою, представленою на рис. 3.

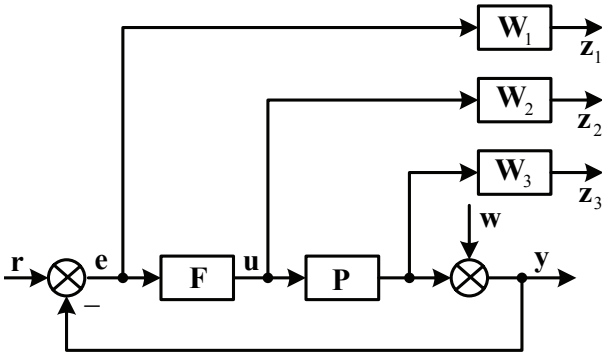


Рис. 3. Розширена передавальна функція системи: $\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \mathbf{z}_3$ – додаткові виходи

При використанні метода змішаної чутливості вимоги до ослаблення збурень та забезпеченню запасу стійкості зводяться до єдиної вимоги [3]

$\| \mathbf{T}_{y_1 u_1} \|_\infty \le 1$,

де $$\mathbf{T}_{y_1 u_1} \overset{def}{=} \begin{bmatrix} \mathbf{W}_1 \mathbf{S} \\ \mathbf{W}_2 \mathbf{R} \\ \mathbf{W}_3 \mathbf{T} \end{bmatrix}$$

являє собою функцію вартості методу змішаної чутливості. Ця назва зумовлена тим, що вона штрафує функції чутливості та додаткової чутливості одночасно.

Запропонований підхід може бути розглянутий на прикладі синтезу робастної системи стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв, призначеної для експлуатації на наземних рухомих об'єктах. Досліджувана система може бути представлена у просторі станів моделлю вигляду:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u},$$

де $\mathbf{x}$ – вектор змінних стану; $\mathbf{u}$ – вектор управлінь; $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D}$ – матриці, що характеризують властивості системи, управлінь спостережень та збурень, $\mathbf{y}$ – вектор спостережень або у розгорнутій формі:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_{\text{e}} \\ \dot{\varphi}_{\text{imd}} \\ \varphi_{\text{e}} \\ \varphi_{\text{imd}} \\ U \end{bmatrix}; \qquad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} M_{\text{un}} \\ U_{\text{PWM}} \end{bmatrix}; \qquad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} \varphi_{\text{imd}} \\ U \end{bmatrix}; \qquad \mathbf{B}^{\text{T}} = \begin{bmatrix} 0 & \dfrac{-1}{J_{\text{imd}}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dfrac{1}{T_{\text{arm}}} \end{bmatrix};$$

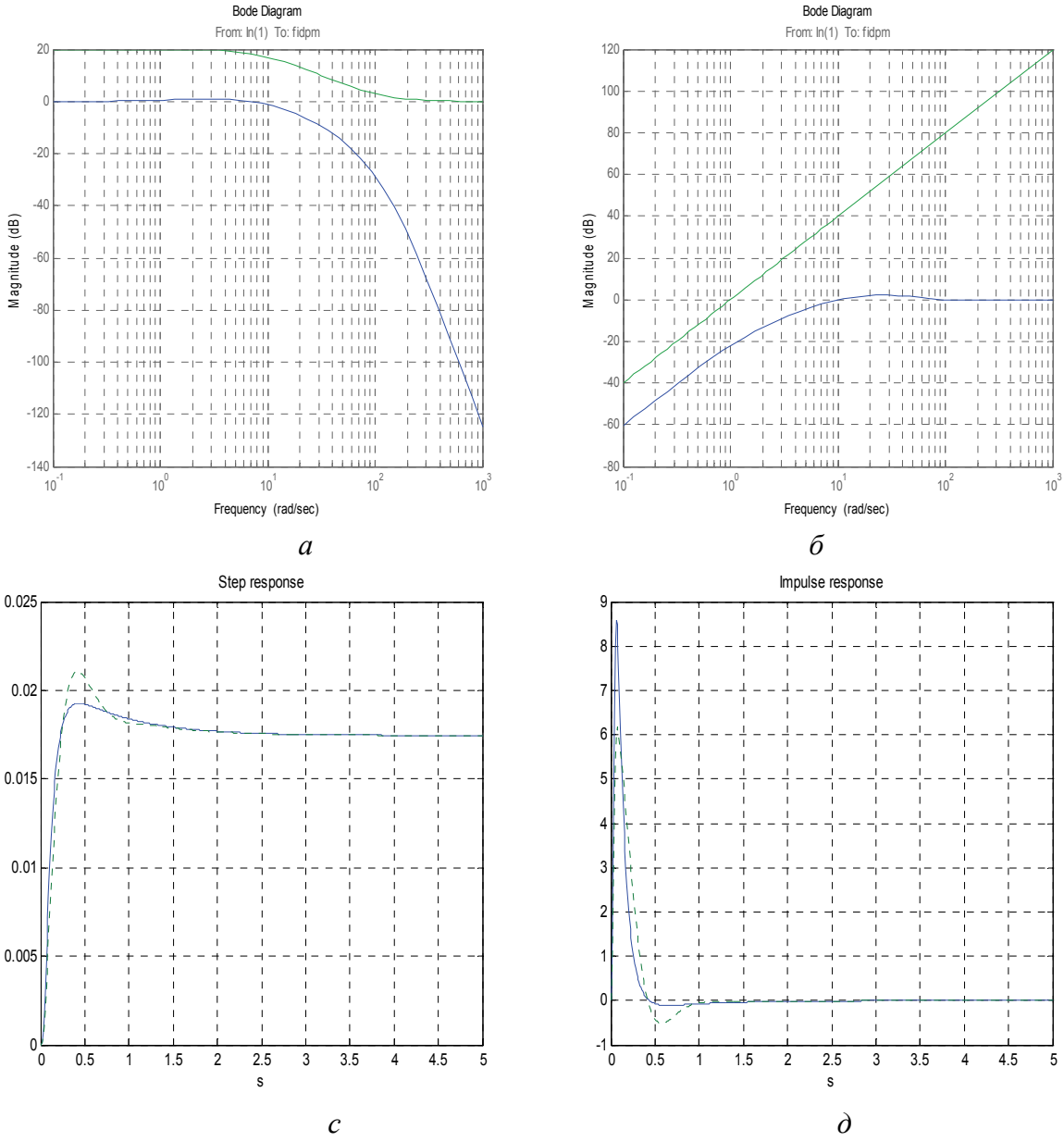
$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \ \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \dfrac{-f_{\text{e}}}{J_{\text{e}}} & 0 & \dfrac{-c_r}{n_{\text{r}}^2 J_{\text{e}}} & \dfrac{-c_{\text{r}}}{n_{\text{r}} J_{\text{e}}} & \dfrac{c_{\text{m}}}{R_{\text{arm}} J_{\text{e}}} & 0 & 0 \\ 0 & J_{\text{imd}} & \dfrac{c_{\text{r}}}{n_{\text{r}} J_{\text{imd}}} & \dfrac{-c_{\text{r}}}{J_{\text{imd}}} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \dfrac{-c_{\text{e}}}{T_{\text{e}}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dfrac{-1}{T_{\text{e}}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & T_{\text{g}}^2 & 2\zeta T_{\text{g}} \end{bmatrix},$$

де J_{e} – момент інерції двигуна; φ_{e} – кут повороту двигуна; M_{r} – номінальний момент опору двигуна; c_m – стала моменту навантаження на валу двигуна; R_{arm} – опір обмоток якоря двигуна; U – напруга обмоток якоря двигуна; J_{imd} – момент інерції робочого модуля; φ_{imd} – кут повороту робочого модуля; M_{f} – номінальний момент тертя в опорах робочого модуля; M_{un} – момент неврівноваженості; c_{r} – жорсткість редуктора; n_{r} – передавальне число редуктора; U_{PWM} – напруга широтно-імпульсного модулятора; c_{e} – стала ерс; T_{e} – стала двигуна; T_{g} – стала гіротахометра; ξ – коефіцієнт загасання; $f_{\text{imd}}, f_{\text{e}}$ – коефіцієнти лінеаризованих моментів тертя робочого модуля та двигуна відповідно.

У розширеному пакеті Robust System Toolbox цей підхід реалізується за допомогою команди hinfopt.

Результати синтезу системи стабілізації представлені на рис. 4.



а *б*

с *д*

Рис. 4. Результати синтезу робастного регулятора методом змішаної чутливості: *а* – функція чутливості та ваговий коефіцієнт W_1^{-1}; *б* – функція додаткової чутливості та ваговий коефіцієнт W_3^{-1}; *г* –реакція номінальної та збуреної систем на стрибкоподібний сигнал; *д* – реакція номінальної та збуреної систем на імпульс

Висновки.

Подано постановку задачі H_∞-синтезу для систем стабілізації інформаційно-вимірювальних пристроїв широкого класу, призначених для експлуатації на рухомих об’єктах . Визначено вагові передавальні функції та проведено процедуру синтезу робастної системи стабілізації методом змішаної чутливості.

Список літератури

1. *Zhou K.* Robust and Optimal Control / Zhou K., Doyle J., Glover K., – New Jersey.: Prentice-Hall, 1995. – 586 p.

2. *Burns R.* Advanced Control Engineering / Burns R. – Oxford.: Butterworth-Heinemann, 2001. – 411 p.

3. *Glover K.* State Space Formulae for all Stabilizing Controllers that satisfy an H_∞-norm Bound and Relations to Risk Sensitivity/ Glover K., Doyle J. //Systems and Control Letters. – 1988. – No 11. – P. 168–172.

UDC 681.586.2

O.A. Sushchenko, Cand. of Sc .(Eng.), S.V. Karasyov
(*National Aviation University, Ukraine*)

REVIEW OF MODERN STATUS AND DEVELOPMENT TRENDS OF MICROELECTROMECHANICAL SENSORS FOR CONTROL SYSTEMS

Review of the MEMS sensors status was researched. Based on a sensor's characteristics analysis the recommendation for considered sensors application in the control systems for the vehicles of the wide class and the systems for measuring devices stabilization were given. The main trends of modern MEMS gyros development were characterized.

Development of the MEMS sensors is one of the main directions for the modern instrument making industry. Such sensors have the wide area of implementation, for example, the automotive transport, stabilization of platforms with mounted on them measuring instruments, control systems for vehicles of the wide class, inertial measuring units for the inertial navigation systems. The process of such sensors development continues today. It is characterized by increasing of the accuracy performances, improvement of the operational functionalities, price reduction and sensor technology advancement. At the same time the simplicity of exploitation and low cost of these sensors are attractive for complex systems designers. That is why it is of current importance to analyze the status and main trends of further development of the sensors that are the basic measuring instruments for the complex control and stabilization systems. It is worth noting that the most significant achievements were done in the area of accelerometers development. Maybe it's connected with high need of them in the automotive industry. As regards the angular rate sensors, every two years it is observed characteristics perfection by order without price reduction [1].

The review of the MEMS sensors production status. Such inertial sensors as the gyroscopic angular rate ones and accelerometers belong to the basic MEMS sensors produced on the base of the silicon technology. In the modern technical documentation the gyroscopic angular rate sensors are named as the rate gyros.

The principle of operation of majority of the MEMS gyros is based on the vibratory mechanical element ability to take up rotation. Such sensors have not revolving parts and don't use bearings that lighten their miniaturization and production. The vibratory gyroscopes firstly were demonstrated in early 80-s. In the beginning they represent the quartz angular rate sensors, that were remarkable because of the high accuracy performances, but their production was very complex. After successful presentation of the silicon accelerometers, the efforts of developers were concentrated on creation of the silicon gyro sensors. In 1991 the first silicon rate gyro of the Charles Stark Draper Laboratory produced by the commercial technology was presented.

Depending on performances the MEMS gyros are divided into three categories such as inertial, tactical and rate gyros [1], the characteristics of which are presented in table 1. Within last decade the considerably great efforts of designers were concentrated on development of the last group gyros, mostly, due to its implementation in the automotive industry.

By features of construction the vibratory gyroscopes are divided into the sensors of rotation by Z axis (vertical axis) and by X/Y axes (axes in the horizontal plane); the sensors based on implementation of the vibratory mass or ring; the sensors that measure linear or rotary vibration; the sensors that are based on usage of single- or dual-mass tuning fork [2]. The production technologies of such sensors are divided into bulk-silicon, poly-silicon and mixed. The action mechanisms are divided into electrostatic, electric and piezoelectric. The Coriolis sensors are divided into such groups as electrostatic, electromagnetic and piezoelectric.

As a rule, the MEMS sensor contains the auto-tuning resonator, mounted at the sensing axis and the micro-sensor, mounted at the measuring axis. It is necessary to mark that a sensor's characteristics greatly depend on possible variations during assembling and production as well on such external actions as the linear acceleration and temperature. Also it is important to mention that up to now the attention of the MEMS sensors designers was given to production of the sensible

elements and demonstration of their characteristics by means of the test bench. That is why the price reduction with the high performances conservation needs great efforts of the specialists.

Table 1

Comparative analysis of performances for gyros of the different types

Parameter	Rate gyro	Tactical gyro	Inertial gyro
Angle random walk, $^o/\sqrt{h}$	> than 0,5	0,5 – 0,05	< 0,001
Bias drift, $^o/h$	10 – 1000	0,1 – 10	< 0,01
Scale factor accuracy, %	0,1 – 1	0,01 – 0,1	< 0,001
Full scale range, $^o/s$	50 – 1000	> 500	> 400
Max shock, *g*	10^3	$10^3 – 10^4$	10^3
Bandwidth, Hz	> 70	100	100

The characteristics of gyros of the top four world producers the market share of which is more then 95% are given below.

Robert Bosch is the world leader in designing and production of the silicon vibratory gyroscopes. This company covers more than 50% of the automotive industry and related application market. Both Z and X/Y axes angular rate gyros are designed and produced by this company [3].

BEI Systron Donner is the major producer of sensors for the automotive industry. The gyros of this company production are based on usage of the solid quartz inertial sensors. These MEMS sensors are used for angular rate measurement. They are based on the vibratory tuning forks usage and piezoelectric principle of operation and information transformation [4].

Analog Devices has been working in area of MEMS gyros for a long time and has patents on many modifications of tuning forks [5]. The company has been introduced a line of the integrated angular rate sensors ADXRS, in which the mass is attached to the poly-silicon frame, that allows it to resonate only in one direction. The capacitive silicon sensing elements mounted at the printed-circuit substrate measure resonating mass drift due to the Coriolis acceleration.

Silicon Sensing Systems [6] develops MEMS gyros with electromagnetic principle of operation and data accessing by means of the permanent magnet located over a sensor. The current flowing through connectors creates a force that influence on the ring resulting in its resonating. The ring Coriolis movement is caught by inducted voltages as the magnetic field is cut off by connectors.

The listed above producers sensors characteristics are given in table 2 [1].

Table 2

Comparative analysis of the main producers features

Company	Axis	Technology	Drive	Sense	Package type	Seal type
Bosch	Z	bulk	electromagnetic	capacitive	metallic	atmosphere
Bosch	X/Y	poly-silicon	electrostatic	capacitive	metallic	vacuum
BEI	Z	quartz	piezoelectric	piezoelectric	metallic	atmosphere
Silicon Sensing	Z	bulk	electromagnetic	electromagnetic	metallic	vacuum
ADI	Z	poly-silicon	electrostatic	capacitive	ceramic	atmosphere

As for Russia the design of MEMS gyro with the accuracy performance 0,1 – 0,01 $^o/s$ was started by the Central Research Institute «Electropribor» in 2001. Development is based on the gyro of the disk type. The motion control and data accessing is implemented by means of the capacitive sensors. Construction of the MEMS vacuum silicon sensor was developed by the Central Research Institute «Electropribor», but production process is implemented by Tronics having great experience in production of MEMS accelerometers. The comparative analysis of the developed gyro and Analog Devices gyro ADXRS150 show the conformity of the characteristics, except the electronic noises, which were 4 times greater than those of ADXRS150. It is worth noting that

Analog Devices ADXRS150 and ADXRS300 MEMS gyros which differ by the measurement range are the most widespread at the Ukrainian market.

One of the most actual applications of such sensors is control systems for vehicles and stabilization systems for measuring devices exploited at these vehicles. For this application search of MEMS gyros must be implemented by such criteria as the measuring range, sensitivity threshold and resistance to the external disturbances including shocks.

Among the Analog Device's gyros it is interesting to consider the programmed rate gyro ADIS16251 with the low energy consumption level [5]. This sensor has the digital output that lightens its usage in the discrete systems. The measuring instrument includes the temperature sensor, the gyroscopic sensor, the conversion unit, the calibration and digital processing units, the input/output device, the self-test and digital check units. Unfortunately the sensitivity requirements are fulfilled only for the rate gyros with the insufficient measuring range. So, measuring ranges $\pm$ 80, $\pm$ 40, $\pm$ 20 ^{o}/s are characterized by the sensitivities 0,01832, 0,00916 and 0,00458 ^{o}/s / bit.

For above mentioned area of application it is useful to concentrate attention on the Systron Donner's rate gyros. QDARS is the small-size biaxial MEMS measuring unit on the basis of two rate gyro GyroChip. Among other producer's sensors must be mentioned QRS11, single axis gyro SDG1000, quartz tuning fork gyro GYROCHIP/QRS14, single axis gyro LCG50 structurally formed as a separate unit. Basic performances of the rate gyros are defined by the measuring range, sensitivity threshold and bandwidth. These characteristics for the Systron Donner's rate gyros QRS11-000100-101, SDG1000, QRS14-00100-103 are $\pm$ 100; $\pm$ 200; $\pm$ 100 ^{o}/s, 0,004; 0,0025; 0,004 ^{o}/s, 60; 100; 50 Hz correspondingly.

Gyros QRS11-000100-101 may have another measuring ranges, widened bandwidth and temperature range. Gyro LCG50-00100-100 includes the built temperature sensor.

The Honeywell's biaxial MEMS gyro GG5200 [7] is of interest from the point of view the mentioned applications. This sensor measures angular rate in the horizontal and vertical planes.

Gladiator Technologies produces small-size silicon biaxial MEMS gyros G20 [8] with low energy consumption and with high operation life. Built-in vibration isolation system allows resisting external vibrations and shocks. It is worth noting that gyros of such types are produced in several standard measuring ranges: $\pm$ 75, $\pm$ 150, $\pm$ 300 ^{o}/s, at the same time there are modifications differed from standards. It is possible to use the above mentioned sensor for the platform's stabilization. Performances of these sensors (table 3) are sufficiently proper for application in systems for stabilization of the measuring devices intended for exploitation at the vehicles of the wide class.

Table 3

Performances of the gyros suitable for measuring devices stabilization

Performance	GG5200	G20-075-100	G50Z-100-100(200)
Measuring range, ^{o}/s	$\pm$ 360	$\pm$ 75	$\pm$ 100
Resolution, ^{o}/s	0.003	–	$\leq$ 0,005
Bandwidth, Hz	100	100	50
Mass, g	60	30	< 30
Readiness time, s	< 1	-	< 0,05
Angle random walk, ^{o}/s / $\sqrt{\text{Hz}}$	-	0,05	0,014
Scale factor mV/(^{o}/s)	25	15	20
Alignment accuracy, mrad	$\pm$ 17	$\pm$ 17,5	< 4
Power supply	5 V, < 200 mA	–	5 V $\pm$ 5%, 35 mA
Temperature range, ^{o}C	-45 – +85	-45 – +85	-55 – +100
Max shock, g	40	500	500

The main disadvantage for gyros of such type is the alignment error $\pm 1^{o}$. The single-axis gyro G50Z [8] produced by the same company has no this disadvantage.

Trends of the MEMS rate gyros development. The current status of MEMS technology development is characterized by the following main directions: design of the multiaxial measuring units; integration with an accelerometer; presence of the digital interface; usage of the built-in temperature sensors, test and calibration facilities.

The appearance of the biaxial angular rate sensors positively influenced on dimensions of the inertial measuring units created on its base. As a rule, such sensors contain service electronics that gives them functional completeness and improves performances.

Nowadays become more and more popular sensors that measure both the angular rate and acceleration. In the technical literature they are named the gyro-accelerometers. Such sensors are more informative, moreover it is possible to improve accuracy characteristics of the gyro by means of correction from the accelerometer. Such principle is used in creation of the single-axis measuring unit VRS-E132-1AD [9], which consists of the vibratory gyro and the solid state accelerometer. For correction implementation the output signal of the gyro is integrated and compared with the output signal of the accelerometer. The obtained error signal passes through the filter with the large time constant and then is used for the gyro feedback. The filter allows minimizing the short-term errors of the accelerometer. Besides, the obtained error signal may be used for damping the gyro. Such sensors are especially effective for the systems, intended for usage at vehicles.

The sensor's characteristics have some statistical variations due to production imperfection. Furthermore, ageing processes in the different sensors are implemented with different rates. Also MEMS gyro signals require zero drift compensation. Therefore in order to obtain the high performances it's important to use the correction devices. At that units of different complexity may be used beginning on the filters and ending on the PID and robust controllers. It is necessary to mark that many sensors have built-in facilities of performance improvement. That is why the built-in temperature compensation systems are so widespread.

Conclusions

The status of development of the modern MEMS angular rate sensors was analyzed. The main features of operation principle, structure and production were characterized. Sensors that are appropriate for using in the systems for stabilization of the measuring devices exploited at the vehicles were described. The main trends of the MEMS sensors development were represented.

References

1. *S. Nasiri.* A Critical Review of MEMS Gyroscopes Technology and Commercialization Status. http://www.invensense.com/shared/pdf/MemsGyroComp.pdf

2. *N. Yazdi, F. Ayazi, and K. Najafi.* Micromachined Inertial Sensors.– Proc IEEE.– 1998.– Vol. 86.– No. 8.– P.1640-1659.

3. Bosch gyroscope sensors in automotive applications. http://www.boschsensortec.com.

4. *С. Сысоева*. Автомобильные гироскопы.//«Компоненты и технологии».- 2007.-.No. 1.

http://kit-e.ru/articles/sensor/2007_1_40.php

5. *А. Власенко.* Микромеханические датчики Analog devices iMems //«Компоненты и технологии». -2005. – No. 6. http://www.kit-e.ru/articles /sensor/2005_6_50.php

6.*С.Горнев, Н.А.Зайцев, М.Ф.Равилов, И.М.Романов, С.О.Ранчин*. Обзор микрогироскопов сформированных по технологии поверхностной или объемной микромеханики.//«Нано- и микросистемная техника».– 2005.– No.4. http://www.microsystems.ru/files/publ/461.htm.

7**.** New two axis MEMS rate gyro package for pointing and stabilization, and flight control applications.–N61-6576-000.-2010. http://www51.honeywell.com/aero/GG5200_Gyro.pdf

8. G20 two axis MEMS gyro. http://www.gladiatortechnologies.com

9. Single axis vertical reference system VRS-E132-1AD.

http://www.watson-gyro.com/files/vertical_gyro_VRS-E132-1AD_manual.pdf.

UDC 681.5.01.

V.A. Apostolyuk, PhD, V.M. Boiko
(National Aviation University, Ukraine)

INTEGRATED SYSTEM OF INCIDENCE ANGLE MEASUREMENT

Synthesis of the integrated system for incidence angle measurement is described. Two pitot tube sensors measurement are used for incidence angle determination. For reducing errors the integration with the accelerometer sensor is provided. The stationary multidimensional filter is created due to this purpose

Angle of attack is quite simply the angle between the wing chord and the oncoming air that the wing is flying through. This is an important concept, as aircraft wings stall when angle of attack gets too large, at a value known as the “critical” angle of attack. As pilots are taught in flight training, an aircraft can stall at any speed if this critical angle of attack is exceeded. Hence, a great way to avoid stalls is to not let the angle of attack reach critical, and the best way to avoid critical angle of attack is to know value of incidence angle is in the first place.

There are two basic approaches to increasing accuracy of flight parameters measuring. First is to use more accurate sensors and cost of it becomes prohibitively large. An alternative approach that has received much attention in recent years, and is suitable for many applications, is known as integrated systems. This technique employs some additional source of information, external from the given system, to improve the accuracy of the measuring system. Careful selection of fundamental characteristics leads to low cost, but potentially very accurate.

In integrated system approach the principle of system redundancy is used. If problem of measuring the same processes can be solved in several ways, system redundancy takes place. The angle of attack value can be obtained from two independent sensors: pitot tube and accelerometer. To reduce measuring errors, the stationary multidimensional filter can be synthesized.

As the base of integrated system of incidence angle measurement the pitot tube sensors system implement.

The pitot tube is mounted on the aircraft so that the center tube is always pointed in the direction of travel and the outside holes are perpendicular to the center tube. Since the outside holes are perpendicular to the direction of travel, these tubes are pressurized by the local static air pressure with practically no effect from the movement of the aircraft. The center tube, however, is pointed in the direction of travel and is pressurized by the total of the local static air pressure and air pressure coming from the movement of the aircraft (air velocity). The pressure transducer measures the difference in total and static pressure.

Using Bernoulli's equation, aircraft velocity (airspeed) with help of pitot tube can easily be measured:

$$p_t = \left(p_s + r\frac{v^2}{2} \right) \tag{1}$$

$$v^2 = \frac{2(p_t - p_s)}{r} \tag{2}$$

Here r is the air density, v is the velocity, p_t is the total pressure, p_s is the static pressure.

The main approach of constructing of pitot tube sensors system is usage of two (perpendicular located) pitot tubes. One of which determine V_x and another V_z (Fig.1). Where V_x and V_z is the components of total velocity vector V_0.

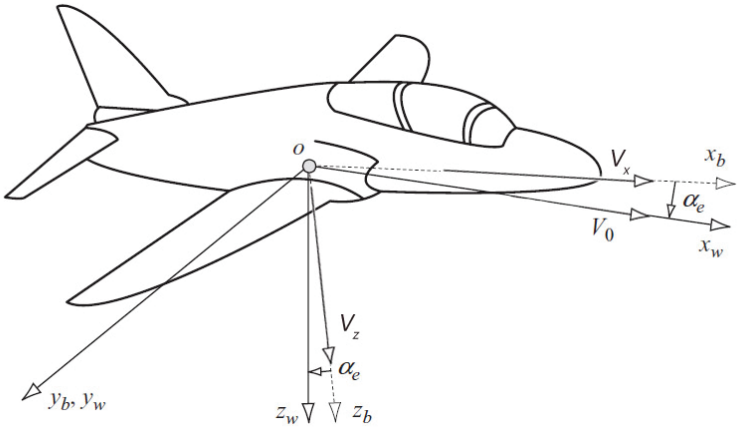


Fig. 1.Body ($ox_by_bz_b$) and wind ($ox_wy_wz_w$) moving axis systems

The following representation of incidence angle calculation is found:

$$\alpha = \arctan\frac{V_x}{V_z} \tag{3}$$

The second element of Integrated system of incidence angle measurement is accelerometer, which measures vertical acceleration a_z of the plant. Vertical acceleration directly proportional to the incidence angle This relation is shown in equation (4)

$$\frac{a_z}{g} = n\frac{\mathrm{L}}{\mathrm{W}} \approx \frac{\left(C_{L_0} + C_{L_\alpha}\alpha\right)\overline{q}\mathrm{S}}{W} \tag{4}$$

Here a_z is the vertical acceleration, L is the lift, W is the airplane weight, C_{L_0} is the lift coefficient (airplane) for zero angle of attack, $C_{L_\alpha} = \frac{\partial C_L}{\partial \alpha}$ is the variation of airplane lift coefficient with angle of attack, $\overline{q}$ is the airplane dynamic pressure.

Functional scheme of measurement system is shown on Fig. 2.

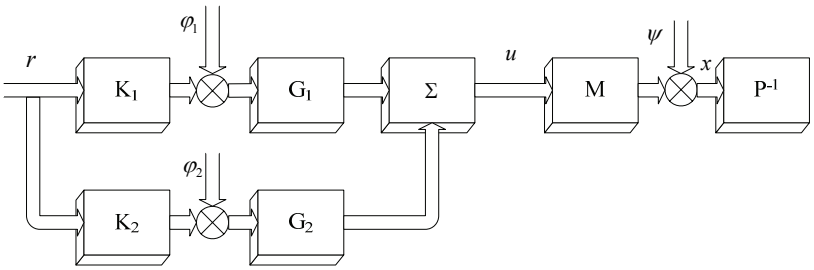


Fig. 2. Functional scheme of Integrated system of incidence angle measurement

Here motion of control object (aircraft in given case) characterizes by matrixes P, M and noiseψ [5]; K_1 is the transfer function of pitot tube system, φ_1 is the pitot tube system sensor noise, $S_{\varphi_1\varphi_1}$ is the power spectral density of accelerometer sensor noise, K_2 is the transfer function of accelerometer, φ_2 is the accelerometer sensor noise, $S_{\varphi_2\varphi_2}$ is the power spectral density of pitot tube system noise, r is the input signal (in given case incidence angle signal), S_{rr} is the power spectral density of input signal.

Power spectral density of the input signal r calculated as white noise, which "colored" by control object. Applying Weiner-Khinchine Theorem, obtain:

$$S_{rr} = W(s) \times S_{\delta} \times W_{*}(s) = W(s) \times \frac{\sigma^2}{\pi} \times W(-s) \tag{5}$$

Here "*" designates Hermite conjugate $S_{\delta} = \frac{\sigma^2}{\pi}$ is the power spectral density of white noise; $W(s)$ is the transfer function of the aircraft, which after the short period approximation [4] $W(s)$ can be represented as:

$$W(s) = \frac{ks + m}{s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2} \tag{6}$$

Analogically, the power spectral densities of sensor noises φ_1 and φ_2 are determined:

$$S_{\varphi_1\varphi_1} = K_1 \times S_{\delta} \times K_{1*} = \frac{\sigma^2}{\pi} \times K_1^2 \tag{7}$$

$$S_{\varphi_2\varphi_2} = K_2 \times S_{\delta} \times K_{2*} = \frac{\sigma^2}{\pi} \times K_2^2 \tag{8}$$

By means of introducing new variables defined as:

$$\begin{gathered} K_0 = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix},\ \varphi_0 = \begin{bmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{bmatrix}, \\ G_0 = (G_1, G_2),\ \rho_0 = K_0 r = \begin{bmatrix} K_1 r \\ K_2 r \end{bmatrix} \end{gathered} \tag{9}$$

The power spectral densities of ρ_0 and φ_0 (assuming, that signals φ_1 and φ_2 are not correlated and cross spectral densities are zeros) defined as:

$$S'_{\rho_0\rho_0} = \begin{bmatrix} S'_{rr}K_1^2 & K_1 S'_{rr} K_2 \\ K_2 S'_{rr} K_1 & S'_{rr}K_2^2 \end{bmatrix},\ S'_{\varphi_0\varphi_0} = \begin{bmatrix} S'_{\varphi_1\varphi_1} & S'_{\varphi_2\varphi_1} \\ S'_{\varphi_1\varphi_2} & S'_{\varphi_2\varphi_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S'_{\varphi_1\varphi_1} & 0 \\ 0 & S'_{\varphi_2\varphi_2} \end{bmatrix} \tag{10}$$

Assume, that the data transfer system is ideal i.e.:

$$\Gamma_{*}\Gamma = M_{*}P_{*}^{-1}RP^{-1}M = 1,\ \Gamma = \Gamma_{*} = 1 \tag{11}$$

we calculate matrix $D_0 D_{0*}$ as follows:

$$D_0 D_{0*} = S'_{\rho_0\rho_0} + S'_{\varphi_0\varphi_0} = \frac{\sigma^2}{\pi} \begin{bmatrix} K_1^2\left(1 + |W|^2\right) & K_1 K_2 |W|^2 \\ K_1 K_2 |W|^2 & K_2^2\left(1 + |W|^2\right) \end{bmatrix} =$$

$$= \frac{\sigma^2}{\pi} \begin{bmatrix} K_1^2\left(1 + \left|\frac{(ks+m)}{(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)}\right|^2\right) & K_1 K_2 \left|\frac{(ks+m)}{(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)}\right|^2 \\ K_1 K_2 \left|\frac{(ks+m)}{(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)}\right|^2 & K_2^2\left(1 + \left|\frac{(ks+m)}{(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2)}\right|^2\right) \end{bmatrix} \tag{12}$$

Factorization of the matrix (12) by the Devis method gives such result:

$$D_0 = \begin{pmatrix} -\frac{K_1}{\sqrt{2}} & -\frac{K_1\left(s^2 + \sqrt{2m^2 + \omega^4} + \sqrt{2}s\sqrt{k^2 + \sqrt{2m^2 + \omega^4} + \omega^2\left(2\zeta^2 - 1\right)}\right)}{\sqrt{2}\left(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2\right)} \\ \frac{K_2}{\sqrt{2}} & -\frac{K_2\left(s^2 + \sqrt{2m^2 + \omega^4} + \sqrt{2}s\sqrt{k^2 + \sqrt{2m^2 + \omega^4} + \omega^2\left(2\zeta^2 - 1\right)}\right)}{\sqrt{2}\left(s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2\right)} \end{pmatrix} \tag{13}$$

Considering that

$$\Phi_0 = \begin{pmatrix} K_1^{-1} & 0 \end{pmatrix} \tag{14}$$

substitute (13) and (10) in the following equation

$$T = T_0 + T_+ + T_- = \Gamma_*^{-1} M_* P_*^{-1} R \Phi_0 S'_{\rho_0 \rho_0} D_{0*}^{-1} \tag{15}$$

Then after execution operation of separation of matrix (15) we can calculate the filter matrix G_0 by the formula:

$$G_0 = \Gamma^{-1}(T_0 + T_+) D_0^{-1} \tag{16}$$

For the real plant with transfer function [3]

$$W(s) = \frac{-1.32802s - 49771.8}{s^2 + 1.988s + 8.0656} \tag{17}$$

the matrix of filter G_0 will be following:

$$G_0 = \frac{\pi}{\sigma^2} \left(\frac{186.601\mathrm{s} + 35189.9}{K_1(s^2 + 375.19\mathrm{s} + 70388)} \quad \frac{186.601\mathrm{s} + 35189.9}{K_2(s^2 + 375.19\mathrm{s} + 70388)} \right) \tag{18}$$

Determine the power spectral density of error with filter:

$$S'_{\varepsilon\varepsilon} = (-\Phi_0 + G_0) S'_{\rho_0 \rho_0} (-\Phi_{0*} + G_{0*}) + G_0 S'_{\varphi_0 \varphi_0} G_{0*} \tag{19}$$

then calculate performance criterion in an integral form as:

$$e = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} Sp[S'_{\varepsilon\varepsilon} R] ds = \ 86.4326 \tag{20}$$

and we can make comparison with performance criterion of pitot tube sensors system:

$$e_{pitot} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} [(-\Phi + P^{-1} M K_1) S'_{rr} (-\Phi_* + K_{1*} M_* P_*^{-1}) + P^{-1} M K_1 S'_{\varphi\varphi} K_{1*} M_* P_*^{-1} + P^{-1} S'_{\psi\psi} P_*^{-1}] \tag{21}$$

$$e_{pitot} = 3.77688 \cdot 10^3$$

Conclusions

Presented above synthesis of the stationary multidimensional filter resulted in filter, that capable to improve performance of pitot tube sensors system by integration the last one with accelerometer sensor. It's shown due to comparison of values performance criterion of system with filter and without it. The further analysis of the application of Kalman Filtering to synthesis integrated system for incidence angle measurement is viewed as a possible future development of the current research.

References

1. http://www.dynonavionics.com/docs/D180_Feature_AOA.html

2. *Titterton, D. H. (David H.)* Strapdown inertial navigation technology. - 2nd ed. - (Radar, sonar, navigations & avionics) 1. Inertial navigation (Aeronautics) 2. Inertial navigation systems I. Title II. Weston, J. L (John L) III. Institution of Electrical Engineers,629.

3. *Michael V.Cook* Flight Dynamics Principles. -2nd ed. - Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP30 Corporate Drive, Suite 400, Burlington, MA 01803, USA.,2007. – 468 p.

4. *Roskam, J* Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls.- 2nd ed. – DARcorporation,U.S.A, 1995. – 576 p.

5. *Блохін Л.М., Бурiченко М.Ю.* Статистична динаміка систем управління: Підручник. – К.: НАУ.2003.-208.

UDC 531.383

V.A. Apostolyuk, PhD, I.V. Ivanenko,
(National Aviation University, Ukraine.)

CROSS-COUPLING COMPENSATION FOR CORIOLIS VIBRATORY GYROSCOPES

In order to solve the problem of undesired cross-coupling compensation for Coriolis vibratory gyroscopes we have to determine structure of the decoupling loop and identify its transfer functions. Performance of the obtained decoupling system will be verified using numerical simulations.

This paper demonstrates decoupling removal for Coriolis vibratory gyroscopes. The task is connected to finding decoupling system transfer functions and numerical simulation.

Fabrication technologies for microcomponents, microsensors, micromachines and micro-electromechanical systems (MEMS) are being rapidly developed, and represent a major research effort worldwide. There are many techniques currently being utilized in production of different types of MEMS including inertial micro-sensors and has made it possible to fabricate MEMS in high volumes at low individual cost[1].

In simplest terms, gyroscope is sensor that measures the rate of rotation of an object. All vibratory gyroscopes use the Coriolis acceleration that arises in rotating reference frames to measure rotation. The Coriolis forces produced by vibration of the sensing element and rotation of the system cause a transfer of energy between two of the gyro's modes of vibration.

In order to solve the problem of undesired cross-coupling compensation for CVGs, we have to determine structure of the decoupling loop and identify its transfer functions. Performance of the obtained decoupling system will be verified using numerical simulations.

In the most generalized form, motion equations of the CVG sensitive element both with translational and rotational motion could be represented in the following form [2]:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2\zeta_1 k_1 \dot{x}_1 + (k_1^2 - d_1\Omega^2)x_1 + g_1\Omega\dot{x}_2 + d_3\dot{\Omega}x_2 = q_1(t), \\ \ddot{x}_2 + 2\zeta_2 k_2 \dot{x}_2 + (k_2^2 - d_2\Omega^2)x_2 - g_2\Omega\dot{x}_1 - \dot{\Omega}x_1 = q_2(t). \end{cases} \quad (1)$$

Here x_1 and x_2 are the generalized coordinates that describe primary (excited) and secondary (sensed) motions of the sensitive element respectively, k_1 and k_2 are the corresponding natural frequencies, ζ_1 and ζ_2 are the dimensionless relative damping coefficients, Ω is the measured angular rate, which is orthogonal to the axes of primary and secondary motions, q_1 and q_2 are the generalized accelerations due to the external forces acting on the sensitive element. The remaining dimensionless coefficients are different for the sensitive elements exploiting either translational or rotational motion. For the translational sensitive element they are $d_1 = d_2 = 1$, $d_3 = m_2/(m_1 + m_2)$, $g_1 = 2m_2/(m_1 + m_2)$, $g_2 = 2$, where were m_1 and m_2 are the masses of the outer frame and the internal massive element. In case of the rotational motion of the sensitive element, these coefficients are the functions of different moments of inertia [2].

Equations (1) are coupled by the angular rate terms, which results in the fundamental capability of such a system to measure external rotation. However, in a more realistic system other cross-coupling will be present, manifesting itself as a cross-damping and cross-stiffness. Assuming small and quasi-constant angular rate ($\Omega^2 \approx 0$ and $\dot{\Omega} \approx 0$), incorporating cross-coupling terms, sensitive element motion equations will then be

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2\zeta_1 k_1 \dot{x}_1 + k_1^2 x_1 = q_1(t) - g_1\Omega\dot{x}_2 - d_{12}\dot{x}_2 - c_{12}x_2, \\ \ddot{x}_2 + 2\zeta_2 k_2 \dot{x}_2 + k_2^2 x_2 = q_2(t) + g_2\Omega\dot{x}_1 + d_{21}\dot{x}_1 + c_{21}x_1, \end{cases} \quad (2)$$

were d_{12} and d_{21} are the undesired cross-damping coefficients, c_{12} and c_{21} are the undesired cross-stiffness coefficients [3].

By applying Laplace transformation to both sides of the system (2) with respect to zero initial conditions, we can obtain

$$\begin{cases}(s^2+2\zeta_1 k_1 s+k_1^2)x_1(s)=q_1(s)-(g_1\Omega s+d_{12}s+c_{12})x_2(s),\\(s^2+2\zeta_2 k_2 s+k_2^2)x_2(s)=q_2(s)+(g_2\Omega s+d_{21}s+c_{21})x_1(s).\end{cases} \quad (3)$$

System (3) can be represented by means of the structural scheme shown in Fig. 1.

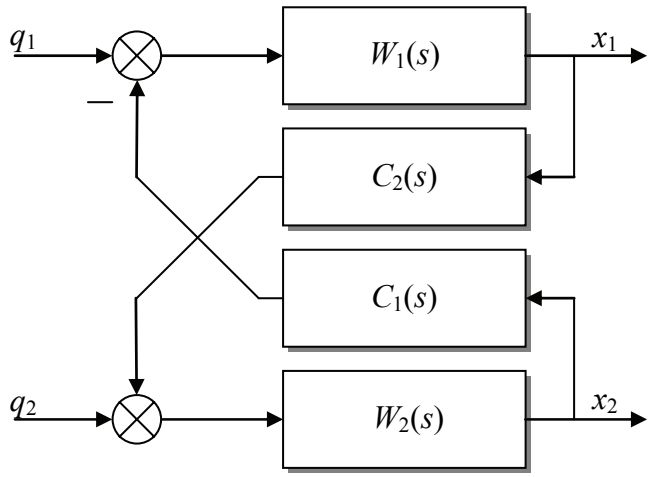


Fig. 1. Structural diagram of CVG

Transfer functions in Fig. 1 are defined as

$$\begin{aligned}W_1(s)&=\frac{1}{s^2+2\zeta_1 k_1 s+k_1^2},\\W_2(s)&=\frac{1}{s^2+2\zeta_2 k_2 s+k_2^2},\\C_1(s)&=(g_1\Omega+d_{12})s+c_{12},\\C_2(s)&=(g_2\Omega+d_{21})s+c_{21}.\end{aligned} \quad (4)$$

For this system its outputs can be found from the following system of algebraic equations:

$$\begin{cases}x_1(s)=W_1(s)[q_1(s)-C_1(s)x_2(s)],\\x_2(s)=W_2(s)[q_2(s)+C_2(s)x_1(s)].\end{cases} \quad (5)$$

Thus, solving system (5) and omitting Laplace variable "s" one can find outputs of the CVG:

$$\begin{aligned}x_1&=\frac{W_1}{1+C_1C_2W_1W_2}q_1-\frac{C_1W_1W_2}{1+C_1C_2W_1W_2}q_2,\\x_2&=\frac{W_2}{1+C_1C_2W_1W_2}q_2+\frac{C_2W_1W_2}{1+C_1C_2W_1W_2}q_1.\end{aligned} \quad (6)$$

One should note, that in an ideal case of only useful Coriolis cross-coupling present in the system

$$\begin{aligned}C_1(s)&=C_{10}(s)=g_1\Omega s,\\C_2(s)&=C_{20}(s)=g_2\Omega s.\end{aligned} \quad (7)$$

Similarly, ideal system outputs can be obtained by substituting expressions (7) into expressions (6).

Let us consider the structure shown in Fig. 2 that is added to the outputs of the CVG sensitive element structure, shown in Fig. 1. Here transfer functions H_1, H_2, G_1, and G_2 are unknown and yet to be determined. Outputs of this system can be calculated as

$$\begin{aligned}y_1(s)&=H_1(s)x_1(s)+G_1(s)x_2(s),\\y_2(s)&=H_2(s)x_2(s)-G_2(s)x_1(s).\end{aligned} \quad (8)$$

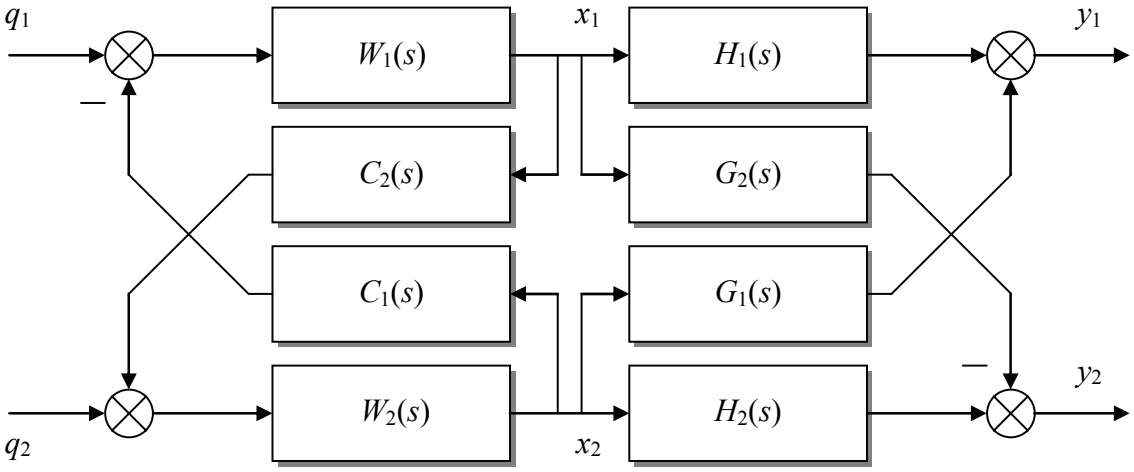


Fig. 2. CVG with the decoupling structure

Substituting (7) into (8) yields

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{H_1W_1 + C_2G_1W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2}q_1 + \frac{G_1W_2 - C_1H_1W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2}q_2, \\ y_2 &= \frac{H_2W_2 + C_1G_2W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2}q_2 - \frac{G_2W_1 - C_2H_2W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2}q_1. \end{aligned} \tag{9}$$

Assuming that outputs (9) after the decoupling must be identical to ideal system output, and comparing the corresponding transfer functions (coefficients of q_1 and q_2), the following system of equation can be produced:

$$\begin{cases} \dfrac{H_1W_1 + C_2G_1W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2} = \dfrac{W_1}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}, \\ \dfrac{G_1W_2 - C_1H_1W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2} = -\dfrac{C_{10}W_1W_2}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}, \\ \dfrac{H_2W_2 + C_1G_2W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2} = \dfrac{W_2}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}, \\ -\dfrac{G_2W_1 - C_2H_2W_1W_2}{1 + C_1C_2W_1W_2} = \dfrac{C_{20}W_1W_2}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}. \end{cases} \tag{10}$$

System (10) can now be solved for unknown transfer functions H_1, H_2, G_1, and G_2

$$\begin{aligned} G_1 &= \frac{(C_1 - C_{10})W_1}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}, \; G_2 = \frac{(C_2 - C_{20})W_2}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}, \\ H_1 &= \frac{1 + C_{10}C_2W_1W_2}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}, \; H_2 = \frac{1 + C_{20}C_1W_1W_2}{1 + C_{10}C_{20}W_1W_2}. \end{aligned} \tag{11}$$

Finally, substituting expressions (3) and (8) into solutions (11) results in the CVG decoupling system transfer functions:

$$\begin{aligned} G_1(s) &= \frac{(c_{12} + d_{12}s)(s^2 + 2\zeta_2k_2s + k_2^2)}{\Delta(s)}, \\ G_2(s) &= \frac{(c_{21} + d_{21}s)(s^2 + 2\zeta_1k_1s + k_1^2)}{\Delta(s)}, \end{aligned} \tag{12}$$

$$H_1(s) = 1 + \frac{g_1 s(c_{21} + d_{21} s)}{\Delta(s)}\Omega,$$

$$H_2(s) = 1 + \frac{g_2 s(c_{12} + d_{12} s)}{\Delta(s)}\Omega,$$

$$\Delta(s) = (s^2 + 2\zeta_1 k_1 s + k_1^2)(s^2 + 2\zeta_2 k_2 s + k_2^2) + g_1 g_2 s^2 \Omega^2.$$

In order to verify performance of the presented decoupling system, numerical simulations based on realistic gyro model were carried out. Comparison of gyro zero angular rate output with and without decoupler is presented on a plot shown in Fig. 3.

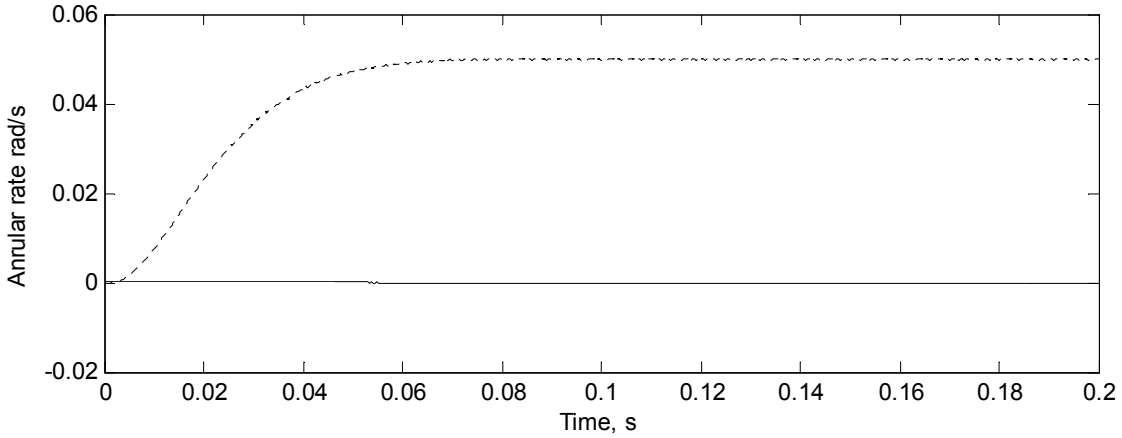


Fig. 3. Zero angular rate gyro output
(solid line – with decoupler, dashed line – without)

Conclusions

During this work I investigate problem of cross-coupling compensation for Coriolis vibratory gyroscope and obtained transfer functions and numerical representation of decoupling procedure. Efficiency of the decoupling system was successful verify by means of numerical simulation by the MATLAB and Simulink package.

References

1. Apostolyuk V, Tay Francis E. H. Dynamics of micromechanical coriolis vibratory gyroscopes // Sensor Letters. – 2004. – Vol.2, No 3-4. – P. 252-259

2. Apostolyuk V.A. Dynamics of Coriolis vibratory gyroscopes in control systems.

3. Apostolyuk V. Theory and design of micromechanical vibratory gyroscopes // MEMS/NEMS Handbook (Ed: Conelius T.Leondes), Springer. – 2006. – Vol.1, Chapter 6. – P. 173-195.

4. Zbrutskyy O.V., Apostolyuk O.C., Apostolyuk V.A. Method of synthesis of angular velocity sensor on dynamically adjustment gyroscope.

5. *V.A. Apostolyuk. Optimal filtering of stochastic disturbances for coriolis vibratory gyroscopes.*

УДК 622.02+532.5

С.Ж. Карипбаев, к.т.н., Ш.К. Кошанова, магистр,
(Академия Гражданской Авиации, Республика Казахстан)

ДВИЖЕНИЕ РОТОРА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА (ЭСГ) С ПРОИЗВОЛЬНЫМ ЭЛЛИПСОИДОМ ИНЕРЦИИ В НЕКОНТАКТНОМ ПОДВЕСЕ

Рассматривается упругий ротор ЭСГ с произвольным эллипсоидом инерции, вместе медленной переменной ϑ угла нутации вводится медленная переменная k^2, которая является модулем эллиптических функций Якоби. Рассматриваются малые колебания оси x_3 вблизи вектора кинетического момента ротора. Найдены деформации ротора, сделана оценка для постоянного времени затухания нутационного движения.

Наибольшее распространение в бесплатформенных системах ориентации и навигации получают прецизионные датчики угловых скоростей и гироскопы на электростатическом подвесе, определяющие углы поворота ЛА вокруг центра его масс. Также используются угловые и линейные акселерометры, установленные определенным образом на корпусе ЛА [1].

Электростатический гироскоп с шаровым ротором представляет собой трехстепенной свободный гироскоп, который благодаря наличию регулятора поддерживающей силы можно также использовать в качестве ньютонометра для измерения ускорений движущихся объектов .

Основным достоинством неконтактного подвеса ротора является практически полное отсутствие сил трения при его вращении. Это открывает принципиальную возможность повышения точности гироскопических приборов. Существенным преимуществом ЭСГ является возможность его использования при неограниченных углах поворота летательного аппарата вокруг центра тяжести без каких либо дополнительных устройств типа карданова подвеса. В этом случае корпус гироскопа устанавливается на движущемся объекте, совершающем произвольное движение.[2]

Рассмотрим ротор электростатического гироскопа с произвольным эллипсоидом инерции *($I_1 < I_2 < I_3$)*. Выпишем динамические уравнения Эйлера, описывающие движение ротора электростатического гироскопа относительно центра масс, в трехграннике *x*

$$d\boldsymbol{L}/dt + \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{L} = 0 \qquad \textbf{(1)}$$

Здесь L-вектор кинетического момента ротора относительно центра масс, ω- вектор угловой скорости трехгранника x.

Для определения положения ротора относительно неподвижных осей ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 достаточно будет знать три угла Эйлера υ, φ, ψ в функции времени.

Уравнение (1) не замкнуто, так как содержит два неизвестных вектора **L** и $\boldsymbol{\omega}$. Для получения замкнутой системы уравнений выпишем в матричной форме кинематические уравнения Пуассона:

$$\frac{d\Gamma}{dt} = \Gamma \times \hat{\omega} \qquad \textbf{(2)}$$

где Γ – матрица направляющих косинусов между осями трехгранников η и x, так что

$\eta=\Gamma x$ (3)

В качестве порождающего решения уравнения движения тела относительно центра масс используем известное решение Эйлера-Пуансо, движения твердого тела около неподвижной точки. Допустим, что $I_1< I_2< I_3$. Будем рассматривать невозмущенное движение при условии $2TI_2\leq L^2\leq 2TI_3$ (T- кинетическая энергия ротора относительно центра масс), что

соответствует траекториям вектора кинетического момента, охватывающим ось x_3. Тогда согласно [2] из (1) получим

$$\omega_1 = Lk\left[\frac{I_3 - I_2}{I_1 I_0}\right]^{\frac{1}{2}} cn\, u, \qquad \omega_2 = Lk\left[\frac{I_3 - I_2}{I_2 I_0}\right]^{\frac{1}{2}} sn\, u,$$

$$\omega_3 = L\left[\frac{I_2 - I_1}{I_3 I_0}\right]^{1/2} dn\, u, \qquad I_0 = I_3(I_2 - I_1) + I_1(I_3 - I_2)k^2$$

$$u = (L^2 - 2TI_1)^{\frac{1}{2}}(I_3 - I_2)^{\frac{1}{2}}(I_1 I_2 I_3)^{-\frac{1}{2}}(t - t_0),$$

$$L^2 = I_1^2\omega_1^2 + I_2^2\omega_2^2 + I_3^2\omega_3^2, \quad 2T = I_1\omega_1^2 + I_2\omega_2^2 + I_3\omega_3^2, \quad (4)$$

где cnu, snu, dnu –эллиптические функции Якоби, модуль которых k^2 определяется формулой

$$k^2 = \frac{(I_2 - I_1)(2TI_3 - L^2)}{(I_3 - I_2)(L^2 - 2TI_1)} \qquad (5)$$

Проекции вектора кинетического момента L тела на оси x_1 x_2 x_3 имеют вид

$$L_1 = I_1\omega_1\,,\ L_2 = I_2\omega_2\,,\ L_3 = I_3\omega_3\,, \quad (6)$$

Направляющие косинусы между осью η_3, направленной по вектору L, и осями x_1 x_2 x_3 определяются как

$$\Upsilon_{31} = \frac{I_1\omega_1}{\mathrm{L}}\,,\ \Upsilon_{32} = \frac{I_2\omega_2}{\mathrm{L}}\,,\ \Upsilon_{33} = \frac{I_3\omega_3}{\mathrm{L}}\,, \qquad (7)$$

Рассмотрим такие движения твердого тела, при которых ось x_3 совершает малые колебания вблизи вектора кинетического момента L твердого тела, следовательно, параметр k^2 мал по сравнению с единицей.

Выпишем разложение по параметру k^2 решения уравнения (1). При k^2=0 из (4) получим ω_1=$\omega_2 = 0$, $\omega_1 = L/I_3$, и тело совершает равномерное вращение вокруг оси x_3 , совпадающей с осью η_3. Для нахождения членов первого порядка малости по k, рассмотрим динамические уравнения Эйлера (1) , в которых ω_3 постоянная , ω_1 , ω_2 считаются величинами первого порядка малости и имеем

$$\omega_1 = \frac{L}{I_1}\,\mathrm{k}a\cos\nu_2 t;\ \ \omega_2 = \frac{L}{I_2}\mathrm{k}b\sin\nu_2 t;\ \ \omega_3 = \frac{L}{I_3}. \quad (8)\,,$$

$$a = \left[\frac{I_1(I_3 - I_2)}{I_3(I_2 - I_1)}\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad \mathrm{b} = \left[\frac{I_2(I_3 - I_1)}{I_3(I_2 - I_1)}\right]^{\frac{1}{2}}, \quad \nu_2 = \frac{L}{I_3}\left[\frac{(I_3 - I_1)(I_3 - I_2)}{I_1 I_2}\right]^{\frac{1}{2}},$$

Удельная величина вектора инерционных сил **F**, возникающих при вращении ротора, определяется по формуле

$$\mathrm{F} = -\rho R\{[\dot{\omega}, r] + \omega(\omega, r) - \omega^2 r\}$$

С учетом того, что частота собственного вращения ν для реальных ЭСГ существенно меньше собственной частоты упругих колебаний ротора, а также $(I_3 - I_1)/I_1$ не превосходит 0,1, утверждается, что плотность сил инерции потенциальна[3]

$$\mathrm{F} = -\mathrm{grad}\,\Pi\,,\ \Pi = -\frac{R^2}{3}\rho\omega^2 r^2[1 - P_2(\varkappa)] \qquad (9)$$

$$\varkappa = \frac{1}{\omega}\{c_1\cos\alpha + \frac{1}{2}\sin\alpha[(a_1 + b_1)\cos(\nu_2 t - \beta) + (a_1 - b_1)\cos(\nu_2 t + \beta)]\}$$

Где $a_1 = \frac{aL}{I_1}$, $b_1 = \frac{bL}{I_2}$, $c_1 = \frac{L}{I_3}$

Формулу для полинома Лежандра $P(\varkappa)$, учитывая (9) , можно представить так:

$$P_2(\varkappa) =$$

$$\frac{3}{2\omega^2}\Big[c_1 cos^2\alpha + kc_1(a_1 cos\beta\cos(\nu_2 t) + b_1\sin\beta\sin[\![(\nu)]\!]_2 t))sin2 + +k^2\Big(a_1^2 cos^2\beta\cos^2(\nu_2 t) +$$

$$b_1^2 sin^2\beta sin^2[\![(\nu)]\!]_2 t) + \frac{1}{2}a_1 b_1 sin2\beta\ sin2\nu_2 t\Big)\Big] - \frac{1}{2} \qquad (10)$$

Так как период свободных упругих колебаний ротора оказывается много меньше периода обращения ротора вокруг центра масс, то вектор перемещений его точек $\mathbf{u}(u_r, u_\alpha, u_\beta)$, вызванных наличием инерционных сил, можно найти как решение квазистационарной задачи теории упругости [4]

$$\frac{2(1-\mu)}{(1-2\mu)}\text{grad div } \mathbf{u} - \text{rot rot } \mathbf{u} - \frac{R^2}{G}\text{grad } \Pi = 0 \qquad (11)$$

$$\sigma_{ij} n_j|_{r=1} = 0 \qquad (12)$$

Где μ- коэффициент Пуассона , G- модуль сдвига , n $(n_1 n_2 n_3)$ – нормаль к поверхности ротора , σ_{ij}- компоненты тензора напряжений. При решении (11) , (12) будем пренебрегать изменением плотности в экваториальной плоскости и ограничимся нахождением перемещений для однородного шара.

Введем систему координат z_1, z_2, z_3 начало которой совпадает с центром масс ротора, а вектор угловой скорости ω ротора направлен по оси z_3.

В трехграннике z_i введем сферические координаты α_1 , β_2 с полярной осью z_3. Тогда задача (11) , (12) сводится к определению вектора перемещений $\mathbf{u}(u_r, u_\alpha, u_\beta)$, который имеет место при вращении тела вокруг " неподвижной" оси z_3 . Воспользовавшись известными результатами из [4] , получим

$$u_r = \frac{\rho\omega^2 R^3}{3G(7+5\mu)}\ [(1+\mu)r^3 - (3+2\mu)R^2 r]\ P_2(\varkappa)$$

$$u_\alpha = \frac{\rho\omega^2 R^3}{6G(7+5\mu)}\ [(2+\mu)r^3 - (3+2\mu)R^2 r]\ \frac{\partial P_2(\varkappa)}{\partial\alpha} \qquad (13)$$

$$u_\beta = \frac{\rho\omega^2 R^3}{6G(7+5\mu)}\ [(2+\mu)r^3 - (3+2\mu)R^2 r]\ \frac{1}{sin\alpha}\frac{\partial P_2(\varkappa)}{\partial\beta}$$

Для оценки потерь энергии предположим, что внутреннее трение в материале подчиняется гипотезе Кельвина-Фойгта, и введем диссипативную функцию Релея по формуле (14)

$$\Phi = \frac{1}{2}\int[\lambda^*\dot{\mathcal{E}}^2 + G^*(\dot{\mathcal{E}}^2{}_{\gamma r} + \dot{\mathcal{E}}^2{}_{\alpha\alpha} + \dot{\mathcal{E}}^2{}_{\beta\beta}) +$$

$$+ 2G^*(\dot{\mathcal{E}}^2{}_{r\alpha} + \dot{\mathcal{E}}^2{}_{r\beta} + \dot{\mathcal{E}}^2{}_{\alpha\beta})]dv \qquad (14)$$

Здесь λ^*, G^* – коэффициенты вязкого трения в материале ротора, $\dot{\mathcal{E}} = \dot{\mathcal{E}}_{\gamma r} + \dot{\mathcal{E}}_{\alpha\alpha} + \dot{\mathcal{E}}_{\beta\beta}$, $\dot{\mathcal{E}}_{\gamma r}, \ldots, \dot{\mathcal{E}}_{\alpha\beta}$- скорости деформации, интегрирование в (14) ведется по всему объему ротора. (Коэффициенты λ^*, G^* в дальнейшем считаются малыми в том смысле, что время затухания T_1 собственных упругих колебаний ротора много больше периода упругих колебаний ротора T_0. В то же время для корректности проводимых в дальнейшем построений будет считать, что T_1 много меньше характерного времени движения ротора относительно центра масс.

Выполняя необходимые вычисления, находим диссипативную функцию Рэлея

$$\Phi = \frac{4\pi\nu^2\rho^2 R^7 F(\mu)L^4}{15G^2 I_3^2 I_1^2}\left(a^2 + \frac{I_1^2}{I_2^2}b^2\right)k^2 \qquad (15)$$

$$F(\mu) = \frac{I}{R^7}\int_0^R[\ \lambda^* N_1(r) + G^* N_2(r)]\ dr \qquad (16)$$

$$N_1(r) = [\frac{dD(r)}{dr} + 2\frac{D(r)}{r} - 5\frac{C(r)}{r}]^2$$

$$N_2(r) = 2(\frac{dD(r)}{dr})^2 + \frac{3}{2}(\frac{dC(r)}{dr})^2 \frac{11}{2}\frac{D^2}{r^2} + 38\frac{C^2}{r^2} + 17\frac{D(r)C(r)}{r^2} + \frac{3}{r}\frac{dC(r)}{dr}$$ [D(r)–C(r)]

$$\text{D(r)} = \frac{R^3}{2(7+5\mu)}[(1+\mu)r^3 - (3+2\mu)r];$$

$$\text{C(r)} = \frac{R^3}{2(7+5\mu)}[(2+\mu)r^3 - (3+2\mu)r];$$

В качестве оценки коэффициента вязкого трения воспользуемся формулой

$$G^* = \frac{\eta R}{\pi k_1}\left[\frac{\rho G(1-2\mu)}{2(1-\mu)}\right]^{1/2}. \qquad (17)$$

Введем функцию $k^2 (0 \ll k^2 \ll 1)$, определяемую формулой (5) и однозначно связанную с энергией тела Т. Значения $k^2 = 0$ соответствует вращению тела вокруг оси x_3, а k^2=1 – движению по сепаратрисе.

Функция k^2, так же как модуль кинетического момента L и кинетическая энергия Т, есть медленно меняющаяся переменная. Дифференцируя формулу (5) по времени, получаем

$$\dot{k}^2 = \frac{2L(I_2-I_1)(I_3-I_1)(L\dot{T}-2T\dot{L})}{(I_3-I_2)\,(L^2-2TI_1)^2} \qquad (18)$$

Предположим что момент внешних сил относительно центра масс ротора гироскопа равен нулю (L=const). Скорость убывания механической энергии системы равняется удвоенной диссипативной функции Ф. Поэтому, принимая во вниманя во внимание (15) и (18), приходим к следующему дифференциальному уравнению для функции $\dot{k}^2$

$$\dot{k}^2 = \frac{\pi\vartheta^2\rho^2R^2f(\mu)L^2(I_2-I_1)G^*}{15G^2(I_3-I_2)\,(I_3-I_2)I_1^2}\left\{a^2 + \frac{I_1^2}{I_2^2}b^2\right\}$$

Постановка параметра G^*, определяющего внутреннее трение (17), в выражение постоянную времени затухание нутационного движение приводит к следующему окончательному результату

$$\tau = \frac{15(I_3-I_1)(I_3-I_2)I_1^2k_1G^{3/2}}{4\varsigma\upsilon^2(I_2-I_1)(a^2+I_1^2/I_2^2)b^2)R^8\rho^{3/2}L^2\,f(\mu)}\sqrt{\frac{(1-\mu)}{(1-2\mu)}} \qquad (19)$$

где

$$f(\mu) = \frac{1}{105(7+5\mu)}\left[\frac{210\mu}{1-2\mu}\left[\frac{19}{21}\mu^2 - 2\mu + 3\right] + 2107\mu^2 + 5817\mu + 4515\right]$$

Список литературы

1. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н. Управление ориентацией летательных аппаратов. –М.: Наука, 1974.-600с.

2. Мартыненко Ю.Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях.-М.: Наука, 1988.-368 с.

3. Мартыненко Ю.Г., Подалков В.В., Ландау Б.Е., Карипбаев С.Ж. Зависимость угловой скорости электростатического гироскопа от температуры окружающей среды //Изв. АН РАН. МТТ.-1993.-№3.-С.42.49.

4. Лурье А.И. Теория упругости – М.: Наука, 1970. – 940с.

УДК: 681.5.011

Nickolay Zosimovich, Candidate of Engineering Science (PhD),
(National Aviation University, Ukraine)

STRUCTURAL AND PARAMETRICAL OPTIMIZATION THE SPACESHIP ONBOARD CONTROL

In article is put the problem structural and parametrical optimization the integrated onboard control of perspective spaceship at various stages of flight taking into account a rational combination of the functions which are carried out at automatic and manual control. It is optimized the stability of the closed control system under the basis of Vandermonde determinants and Hurwitz polynomial.

Analytical research the manual control in integrated spaceship onboard control system. The manual control is one of the major ways of spaceships control at various stages of flight. The manual control system can be as a reserve control facility and as the main one [1].

The manual control system, human-operator and controlled system forming the feedback manual control as a part of integrated spaceship onboard control system (Fig. 1). In that feedback control system the operator, perceiving the information on signals with information model (which consists of from information display system and environment), estimates a control process condition, decision makes and generates commands on controlled elements for the purpose of spaceship's movement correction.

The spaceship's structure manual control system and its parameters is defined by control problems at various stages of flight, criteria of system optimality, possibilities operator on control in the conditions of space flight and a condition of development of technologies [2-6].

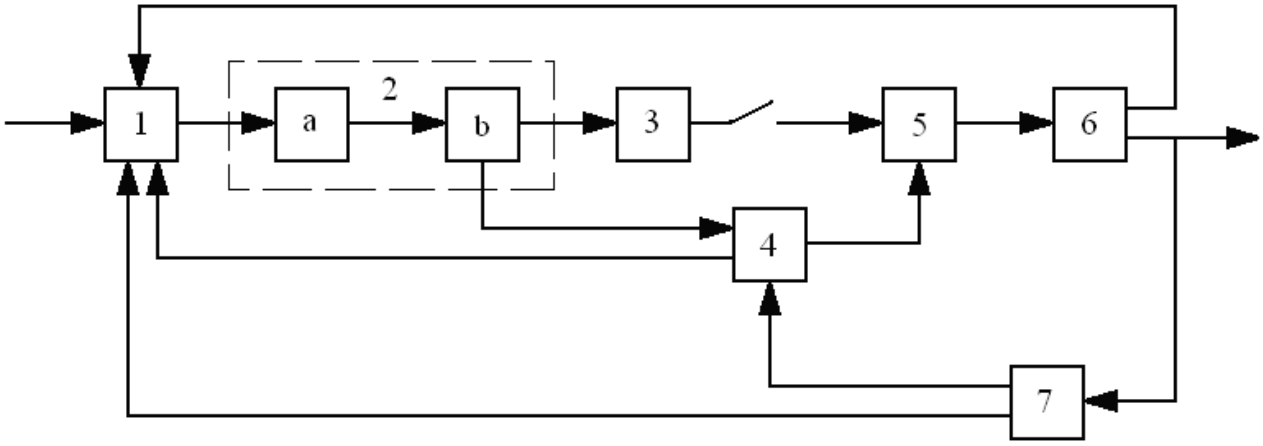


Fig.1. Block diagram of spaceship feedback manual control [7]: 1 – information model; 2 – human-operator (a – input information system; б – controlled information system and controlled variable generation); 3 – controlled elements; 4 – onboard computer; 5 – controlled device; 6 – controlled system; 7 – output elements

By working out in USSR the spaceships «Vostok», «Voskhod», «Soyus», «Buran», and in USA the spaceships «Mercury», «Gemini», «Apollo» and Space Shuttles there were sharply asked questions about a place manual control in the global problem spaceships onboard control at various stages of flight [7-12]. In the process of development the space technologies, with accumulation data about working capacity the person and hand control possibilities in the conditions of space flight there were questions of combination the automatic means and systems of integrated hand control were found more and more correct and rational decision.

At the stage of construction the onboard control integrated systems it is necessary to consider the next general engineering and psychological requirements [7]:

1. The spaceship system should provide successful autonomous performance of the flight mission.
2. The structure of system and its parameters should provide satisfactory characteristics on control quality, to power expenses and psychophysiological intensity.

3. The system should give out to the operator the necessary information for control (taking into account possibilities of reception a part of the information by the operator from environment), to provide simplicity of formation input signals and to give the chance to fast transition from one control way to another under refusals and kind change mission.
4. The information model of manual control process should reflect the control process, keeping important enough properties and signs of real process from the control point of view. Timeliness of delivery, volume and the information content on properties of object and an environment should provide efficiency control.

Configuration of displaying system of information and controlled devices should ensure functioning of operators in specific conditions, connected with weightlessness, overloads and stay in a tight spacesuit.

Statement of a problem of structural and parametric designing the manual control. Flights on spaceships and on orbital stations «Salyut», «Almaz», «Skylab» and «International Space Station» have confirmed that the cosmonaut from the moment of start till the spaceship's landing can solve a huge complex of tasks [13]. Thus manual control systems (MCS) are necessary as for increases of reliability of all feedback control, as for performance of some controlling operations, which it is more favorable to charge to the cosmonaut in view of his superiority over automatic system at performance of these operations. Using of MCS for the decision the certain problems gives a prize in weight, dimensions, consumption of energy in the all spaceship's integrated control complex. That is especially important for long time existence space vehicles [14].

At the designing process of spaceship is statement the problem of the uniform control integrated complex, would be rationally combined in the functions which are carried out at automatic and manual control. The cosmonaut should control the spaceship not only in supernumerary and unforeseen situations, but it is expedient to charge that tasks of manual control which realization by means of automatic devices is complicated now or it is impossible in general [13].

Designing of MCS for spaceship should be based on the system approach assuming both the account of functioning of system quality as a whole, and conditions of camera activity of the cosmonaut. Such approach demands that the analysis of quality of MCS systems for spaceship spent at complex use of technical indicators of system I_T, medical and physiological I_M, ergonomic indicators I_E, camera activity and value judgment by cosmonaut of MCS systems and its elements I_C, therefore it is necessary to use a vector indicator

$$I = (I_T, I_M, I_E, I_C) = (I_\nu^\mu), \qquad (1)$$
$$\nu = T, M, E, C; \mu = 1,..., n).$$

Using of an objective complex indicator (1) for analysis MCS of spaceship is based on reception separate its component I_ν^μ.

The alarm and indication systems are building, using as a rule, visual and acoustical information. It is should provide for the cosmonaut the integrity of perception of a situation, provide presentation and so on.

The analysis of structural properties of oscillatory systems of spaceship. Let's preliminary examine the following dynamic system [15]:

$$\ddot{x} = Ax + by, \quad v = g'x, \qquad (2)$$
$$u = v + x_1\dot{v}, \qquad (3)$$

where $A = \mathrm{diag}\{0,0,-\sigma_1^2,...,-\sigma_n^2\}$; $\vec{b} = \{1,1,b_{\sigma_1},...,b_{\sigma_n}\}$;

$$\vec{g} = \{0,1,-\eta_1',...,-\eta_n'\}; \qquad (4)$$
$$b_i^2 \neq b_j^2 \quad (i \neq j). \qquad (5)$$

We will investigate consistently properties of system (4) as object of regulation, and also stability of the closed system (2)-(5). For research on controllability and observability the system

we will exclude from consideration an "uncontrollable" coordinate x_1. Calculating matrices by means of methodique [15] taking into account (4), we will find

$$\det K = b_{\sigma_1} b_{\sigma_2} ... b_{\sigma_n} V_\sigma; \quad (6)$$

$$\det G = \eta'_1 \eta'_2 ... \eta'_n V_\sigma, \quad (7)$$

where V_σ – the determinant Vandermonde (Charles Auguste **Vandermonde)**, is equal

$$V_\sigma = (\sigma_2^2 - \sigma_1^2)(\sigma_2^2 - \sigma_3^2)...(\sigma_2^2 - \sigma_n^2)...(\sigma_{n-1}^2 - \sigma_n^2) \quad (8)$$

and distinct from zero (5).

From (6) - (7) we will find that the system (2) is operated if

$$b_{\sigma_j} \neq 0, j = 1,2,...,n, \quad (9)$$

and it is observable if

$$\eta'_j \neq 0, j = 1,2,...,n, \quad (10)$$

For studying on stability of the closed system the characteristic equation of system we will present it in a following kind:

$$p^2 \left[\Phi_0(p^2) + (\chi_0 + \chi_1 p)\Phi_K(p^2)\right] = 0.$$

Let's designate

$$\Phi(p) = \left[\Phi_0(p^2) + \chi_0 \Phi_K(p^2)\right] + \chi_0 p \Phi_K(p^2), \quad (11)$$

where

$$\Phi_0(u) = u\prod_{j=1}^{m}(u + \sigma_j^2);\ \Phi_K(u) = u\prod_{j=1}^{m}(u + \sigma_j^2) - \sum_{j=1}^{m} b_{\sigma_j}\eta'_j \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}} (u + \sigma_i^2). \quad (12)$$

The index "K" allocates correcting part of the characteristic equation (11). Let's simplify the analysis, having proved the following statement: the polynomial (11) is Gurvitz's polynomial in only case when it is such multinomial

$$f(p) = \Phi_0(p^2) + \chi_1 \Phi_K(p^2). \quad (13)$$

Thus, conditions of polynomials Gurvitzes (11) and (13) coincide, and for stability of initial system (2)-(5) according to the Hermite-Biehler theorem [16] coincidence of signs on factors is necessary at the senior degrees of polynomials $\Phi_0(\xi)$ and $\chi_1 \Phi_K(\xi)$ and alternation of their roots.

The last, obviously, is equivalent to system of inequalities

$$\chi_1 > 0;\ \Phi_K(0) > 0;\ \chi_1 \Phi_K(\xi);\ \Phi_K(-\sigma_1^2) < 0;\ \Phi_K(-\sigma_1^2) > 0... \quad (14)$$

Using expression for Φ_K from (12), we come to the following condition of stability for system (2)-(5):

1) $\chi_1 > 0$ – the requirement to regulator parameters; (15)

2) $b_{\sigma_j}\eta'_j > 0$ – requirements to object parameters $(j = 1,2,...,m)$.

The sense of the received result is consists that requirements to object (2) and to the regulator (3), the stability of the closed system defined by conditions, are divided.

Let's enter the parameters space of object of regulation by dimension $2m$:

$$(b_{\sigma_j},...,b_{\sigma_m},\eta'_1,\eta'_2,...,\eta'_m),$$

In which conditions of controllability (9) and observabilities (10) define some borders

$$b_{\sigma_j}\eta'_j = 0 (j = 1,2,...,m), \quad (16)$$

dividing, owing to (16), areas of space of parameters with various structural properties of object of regulation.

Therefore the inequalities (16) which are generalization of Kalman conditions for the examined problem, it is possible to consider as conditions of "structural stability» the object (2) in relation to the regulator of the given structure (3).

Conditions of controllability and observability of system are given by ratio [15]: $\det K \neq 0; \det G \neq 0,$ where $K = \left\| b, Ab, ..., A^{n-1}b \right\|; \; G = \left\| g', A'g', ..., (A')^{n-1}g' \right\|$ – are «controllability» and «oservability» matrices, answering to initial system.

Conclusion

1. Was put the problem of structural and parametric optimization of the integrated onboard control for perspective spaceship at various stages of flight, taking into account a rational combination of functions as closed system on the basis of Vandermonde and Hurwitz polynomials.

2. The prospect of development of MCS in there automation. It is goal in support of comfort the camera activity and improvement of quality of dynamic processes control in spaceship. On the basis of experience of flights spaceships it is possible to assume, that onboard systems of support the future piloted flights will be more automated, robotized and even more independent. At the same time, using of onboard computers allows to simplify cosmonaut's camera activity much more.

3. Further the problem consists in reception the criterion of stability of object (D) directly through factors of polynoms $\Phi_0(p^2), \Phi_K(p^2)$ (the algebraic approach) or in the frequency form.

References

1. *Инженерный* справочник по космической технике. Изд. 2-е перераб. и доп. / Под ред А.В. Солодова. – М.: Воениздат, 1977. – 430 с.
2. *Черноруцкий И.Г.* Методы оптимизации в теории управления: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2004. – 256 с.
3. *Алякринский Б.С.* Принципы и пути исследования проблемы космических суток // Очерки психофизиологии труда космонавтов. – М.: Медицина, 1967. – С. 68-76.
4. *Иванов Е.А., Попов В.А., Хачатарьянц Л.С.* Двигательная работоспособность космонавта в полете // Космические исследования. Т. 10, вып. 4, 1972. – С. 694-713.
5. *Илкинд Дж., Миллер Д.* О процессе адаптации человека-оператора / Труды III Международного конгресса международной федерации по автоматическому управлению. – М.: Наука, 1971.- С. 213-226.
6. *Аладьев В.З., Гершгорн Н.А.* Вычислительные задачи на персональном компьютере. – К.: Техніка, 1991. – 245 с.
7. *Особенности* деятельности космонавта в полете / Под ред. Б.Ф. Ломова, А.Г. Николаева, Л.С. Хачатурьянца. – М.: Машиностроение, 1976. – 272 с.
8. *Grawford B.S.* Configuration design and efficient operation of redundant multi-jet systems // AIAA Paper. - No 845, 1972. - pp. 147-165
9. *Пилотируемые* космические корабли / Сб. статей. Пер. с англ.– М.: Машиностроение, 1998. – 476 с.
10. *Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н.* Управление ориентацией космических аппаратов. – М.: Наука, 1984. – 600 с.
11. *Космические* аппараты / Под общ. ред. К.П. Феоктистова. – М.: Воениздат, 1983. – 319 с.
12. *Основы* проектирования летательных аппаратов (транспортные системы): Учебник для технических вузов / В.П. Мишин, В.К. Безвербый, Б.М. Панкратов и др. / Под ред. В.П. Мишина. – М.: Машиностроение, 1985. – 360 с.
13. *Проектирование* систем ручного управления космических кораблей / В.А. Климов, Б.В. Блудов, В.М. Василец и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 141 с.
14. *Солодовников В.В. и др.* Исследование ручных систем стабилизации космических аппаратов. Управление в космосе. – М.: Наука, 1972, т. 2, с. 304-314.
15. *Роговой В.М., Черемных С.В.* Динамическая устойчивость космических аппаратов с жидкостными ракетными двигателями. – М.: Машиностроение, 1975. – 152 с.
16. *Вайнберг М.М., Треногин В.А.* Теория ветвления решений нелинейных уравнений. – М.: Наука, 1969. – 527 с.

УДК 681.518.2:621.391

А.М. Кліпа, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОЦІНЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГКИХ ЛІТАКІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНИХ ШУМІВ ВИМІРЮВАНЬ ТА ЗМІЩЕНЬ ДАТЧИКІВ

Запропоновано алгоритм оцінювання динамічних характеристик легких літаків за наявності інтенсивних детермінованих та випадкових похибок датчиків. Ефективність застосування запропонованого алгоритму була перевірена на «benchmark» моделі динаміки бічного руху легкого літака DHC-2 «Beaver»

Актуальність проблеми. Розробка алгоритм оцінювання динамічних характеристик легких літаків є вельми актуальною [1, 2], оскільки для такого типу літальних апаратів (ЛА) обмеження на вагу, вартість та габарити є досить жорсткими, що не дозволяє використовувати достатню кількість навігаційних вимірювачів, а ті, що використовуються, є досить простими. Оскільки в цих умовах майже неможливо забезпечити віброзахист датчиків, тому вимірювання виконують зі значним рівнем завад. Крім того, потрібно оцінити також зміщення деяких датчиків (датчиків кутових швидкостей і т. ін.), оскільки під час льотних випробувань такого типу літаків використовують недорогі датчики (мікромеханічні та волоконно-оптичні), що мають значні зміщення [3]. Тому актуальною проблемою у разі оцінювання динамічних характеристик легких літаків, крім оцінювання параметрів моделей динаміки є проблема визначення систематичних похибок: зміщень вимірювальних систем і приладів.

Постановка задачі. Необхідно розробити алгоритм оцінювання динамічних характеристик легких літаків за результатами льотного експерименту. Експеримент проводиться в спокійну погоду, тому турбулентністю атмосфери можна знехтувати, пілот виводить літак на визначену рекомендовану висоту польоту, тримірує політ; відхиляє рулі за заданим сигналом керування. На протязі не більш ніж декілька хвилин (час затухання перехідних процесів) літак являє собою розімкнену систему (вимкнена система керування), на яку подається вхідний сигнал та записуються сигнали реакції літака на цей вхідний сигнал.

Оскільки аеродинамічні характеристики, які повністю визначають стійкість та керованість легких ЛА, суттєво не змінюються протягом льотного експерименту і входять лінійно в опис динаміки бічного та поздовжнього рухів легкого ЛА в просторі станів скористаємось лінеаризованими рівняннями в просторі станів з постійними коефіцієнтами [4]:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}; \\ \mathbf{y} &= \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u} + \mathbf{b} + \mathbf{o}, \end{aligned} \tag{1}$$

де $\mathbf{A}$, $\mathbf{x}$ – $n \times n$ матриця та $n \times 1$ вектор стану відповідно; $\mathbf{B}$, $\mathbf{u}$ – $n \times m$ матриця та $m \times 1$ вектор керування відповідно; $\mathbf{C}$, $\mathbf{y}$ – $l \times n$ матриця та $l \times 1$ вектор вимірювань відповідно; $\mathbf{D}$ – $l \times m$ матриця прямої передачі від входу до виходу; $\mathbf{b}$ – вектор, елементами якого є значення зміщень датчиків; $\mathbf{o}$ – вектор гаусових випадкових похибок вимірювання.

Особливість задачі полягає в розробці алгоритму оцінювання динамічних характеристик літака, вектор $\mathbf{и}$, який містить елементи матриць $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{D}$; та зміщень датчиків, які на протязі льотного експерименту вважаються постійними [3]. Тому вектор невідомих параметрів $\mathbf{и}$ розширюється шляхом включення в нього детермінованих похибок вимірювань (зміщень датчиків:

$$\mathbf{и}_{ext} = \left[\mathbf{и},\ \mathbf{b}\right]^T.$$

Вирішення задачі. Для вирішення поставленої задачі необхідно ввести критерій адекватності об’єкта і моделі. Оскільки вимірювання компонент вектора стану зашумлені

значними завадами, то для оцінювання параметрів моделі літака в просторі станів доцільно використовувати метод максимальної правдоподібності (ММП) [3, 5].

Для лінійної моделі (1) з вектором гаусового шуму вимірювань **o** критерієм оцінювання параметрів моделі є від'ємний логарифм функції повної умовної ймовірності [5]:

$$J(\hat{\boldsymbol{\theta}}) = -\ln P\left(\mathbf{y}\middle|\hat{\boldsymbol{\theta}}\right) = 0.5\{\sum_{i=1}^{N}(\mathbf{y}_i - \hat{\mathbf{y}}_i)^T \mathbf{R}_{in}^{-1}(\mathbf{y}_i - \hat{\mathbf{y}}_i) + N\ln|\mathbf{R}_{in}| + lN\ln(2\pi)\},$$

де $P\left(\mathbf{y}\middle|\hat{\boldsymbol{\theta}}\right)$ – повна умовна ймовірність; $\hat{\mathbf{y}}_i$ – i-та оцінка вектору вихідних змінних моделі; $(\mathbf{y}_i - \hat{\mathbf{y}}_i)$ – i-тий вектор інновацій; N – кількість точок вимірювань (залежить від довжини реалізації); l – розмір вектора $\hat{\mathbf{y}}$ (залежить від кількості величин, які вимірюються); $|\mathbf{R}_{in}|$ – норма Фробеніуса коваріаційної матриці інновацій.

Тоді задача оцінювання динамічних характеристик літака полягає в знаходженні вектора параметрів моделі динаміки, що задовольняє умові

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} = \arg\min_{\boldsymbol{\theta}\in\boldsymbol{\theta}_s} J(\hat{\boldsymbol{\theta}})\cdot$$

Алгоритм оцінювання динамічних характеристик легкого літака та зміщень датчиків на основі сумісної роботи алгоритмів розширеної калманівської фільтрації (для оцінки змінних стану) та стохастичної апроксимації (для оцінки зміщень датчиків) під час виконання оптимізаційної процедури ММП складається з наступних дев'яти кроків.

1-й крок. Як відомо з праці [5], перед проведенням параметричної ідентифікації необхідно визначити структуру моделі, параметри якої планується оцінювати. Для розв'язання задачі, яка ставиться, в якості моделі використовується відома лінеаризована модель з постійними коефіцієнтами в просторі станів (1) [4].

2-й крок. Обрану ММ необхідно перевірити на керованість, спостережуваність та ідентифікованість [1].

3-й крок – планування експерименту для визначення оптимальної форми вхідного сигналу**.** Задачу планування експерименту в праці [6] запропоновано вирішувати в частотній області, що дозволяє врахувати реальні частотні властивості об'єкту та має достатню алгоритмічну підтримку. Таке планування експерименту базується на мінімізації визначника оберненої інформаційної матриці Фішера та мінімізації пік-фактора, що гарантує «гладкість» сигналу керування.

4-й крок. Після отримання оптимальної форми вхідного сигналу проводиться льотний експеримент (або моделювання руху літака з урахуванням шумів та зміщень датчиків в Simulink програмного продукту MATLAB). В результаті моделювання отримано записи вихідних сигналів, що вимірюються на реальному літаку та містять окрім корисної складової, ще й похибки вимірювання.

5-й крок. Для визначення та усунення систематичних похибок, як перше наближення, в роботі запропоновано використовувати математичне сподівання, а для усунення випадкових завад – застосовувати цифровий симетричний нерекурсивний фільтр, оскільки проблема стійкості таких фільтрів не виникає. Для запобігання появи фазового зсуву запропоновано використовувати нерекурсивний фільтр, що не може бути фізично реалізованим; тобто такий, у якому повинні бути відомі «майбутні» вхідні величини. Для випадку, що розглядається, це є незначним обмеженням, оскільки польотні дані накопичуються протягом випробування ЛА й вхідними даними для оцінювання динамічних характеристик літака є записи льотних випробувань.

6-й крок. При використанні ММП необхідно починати оптимізаційну процедуру пошуку мінімуму від'ємного логарифму функції максимальної правдоподібності з початкових значень вектора невідомих параметрів [7]. Оскільки кількість невідомих параметрів у будь-якій моделі ЛА досить велика, то функція максимальної правдоподібності має локальні екстремуми і знаходження мінімуму від'ємного логарифму функції максимальної правдоподібності суттєво залежить від вибору початкових значень вектора невідомих параметрів [5]. Метод найменших квадратів (МНК) не потребує початкових значень, але має суттєвий недолік – дає добрі

результати тільки у випадку, коли шумів немає або вони мінімальні. Однак, навіть після грубої очистки сигналів, результати МНК можуть бути використані як початкові значення параметрів для ініціалізації процедури оцінювання параметрів моделі в просторі станів за ММП разом з калманівською фільтрацією. В літературі з ідентифікації МНК, наприклад [5], модель, параметри якої оцінюються, повинна бути представлена як «авторегресія-ковзне середнє», а саме

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Ци} + \mathbf{E}, \tag{2}$$

де $\mathbf{Y}$ – вектор вихідних сигналів моделі; $\mathbf{Ц}$ – матриця регресора; $\mathbf{E}$ – вектор похибки.

Якщо модель об'єкта, що ідентифікується, представлена у вигляді (4), в результаті оцінювання вектор невідомих параметрів визначають за формулою

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_{МНК} = \left(\boldsymbol{\Phi}^T \boldsymbol{\Phi}\right)^{-1} \boldsymbol{\Phi}^T \mathbf{Y}. \tag{3}$$

Для застосування відомого МНК (3) до моделі в просторі станів (1) в роботі [7] запропоновано представити модель (1) у вигляді моделі (2). В загальному випадку, коли кількість змінних станів n, кількість керуючих сигналів m, кількість сигналів, що вимірюються, l, вектор $\mathbf{Y}$ матиме наступний вигляд:

$$\mathbf{Y} = [y_1(i)\ \ y_1(i+1)\ \cdots\ y_1(N)\ \ y_2(i)\ \cdots\ y_2(N)\ \cdots\ y_l(i)\ \ y_l(i+1)\ \cdots\ y_l(N)]^T.$$

Розмір вектора $\mathbf{Y}$ у цьому випадку $l(N-i+1)\times 1$. Вектор невідомих параметрів має розмір $l(n+m)\times 1$ та вигляд

$$\hat{\boldsymbol{\theta}}_{МНК} = [a_{11}\ \ a_{12}\ \cdots\ a_{1n}\ \ b_{11}\ \ b_{12}\ \cdots\ b_{1m}\ \cdots\ a_{n1}\ \ a_{n2}\ \cdots\ a_{nn}\ \ b_{n1}\ \ b_{n2}\ \cdots\ b_{nm}]^T.$$

На відміну від [5], векторний регресор замінюється на матричний регресор [7].

7-й крок. Оскільки параметри динамічної моделі (бічного та/або поздовжнього рухів) значно відрізняються один від одного, що суттєво впливає на збіжність алгоритмів ідентифікації, в праці [3] пропонується масштабувати шукані параметри моделей динаміки.

8-й крок. Оскільки необхідно оцінити не тільки параметри моделі динаміки легкого ЛА, але й зміщення датчиків, які на протязі льотного експерименту вважаються постійними, в праці [3] запропоновано розширити простір стану моделі (1) за рахунок фіктивних змінних – зміщень датчиків $\mathbf{b} = [b_1,\ b_2,\ \ldots,\ b_\mu]^T$ (μ – кількість датчиків, що мають зміщення).

Після розширення простору станів вектори входу $\mathbf{u}_{ext}$, стану $\mathbf{x}_{ext}$, виходу (що вимірюється) $\mathbf{y}_{ext}$ мають наступний вигляд:

$$\mathbf{u}_{ext} = \mathbf{u} = [u_1, \ldots, u_m]^T, \quad \mathbf{x}_{ext} = [\mathbf{x}, \mathbf{b}]^T = [x_1, \ldots, x_n, b_1, \ldots, b_\mu]^T, \quad \mathbf{y}_{ext} = \mathbf{y} = [y_1, \ldots, y_l]^T \tag{4}$$

У випадку, коли змінні, що вимірюються, є змінними стану, тобто $l = n$, то вектор невідомих параметрів **и** буде наступним

$$\mathbf{и}_{ext} = [a_{11},\ \cdots,\ a_{1n},\ a_{n1},\ \cdots,\ a_{nn},\ b_{11},\ \cdots,\ b_{1m},\ b_{n1},\ \cdots,\ b_{nm},\ b_1,\ \cdots,\ b_\mu]^T.$$

Коваріаційна матриця $\mathbf{R}$ шуму вимірювань **о** являється діагональною матрицею розміром $n \times n$. Коваріаційна матриця $\mathbf{Q}$ шумів стану після застосування прийому рандомізації має наступний вигляд: $\mathbf{Q} = diag\left[q_1,\ q_2,\ \cdots,\ q_n,\ \varepsilon_1^2,\ \varepsilon_2^2,\ \cdots,\ \varepsilon_\mu^2\right]$.

Матриця Гамільтона $\mathbf{H}$, асоційована з рівнянням Ріккаті для синтезу оптимального спостерігача

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} -\mathbf{A}^T & \mathbf{C}^T\left(\mathbf{R}^{-1}\right)\mathbf{C} \\ \mathbf{Q} & \mathbf{A} \end{bmatrix}$$

за наявністю такої матриці $\mathbf{Q}$ являється невирожденої матрицею (хоча й погано обумовленою).

Для визначення оновленого вектору простору станів та виходу об'єкту до розширеної моделі (4) застосовується відома процедура стаціонарної калманівської фільтрації [3].

Оскільки застосування стаціонарної калманівської фільтрації до фіктивних змінних дає їх грубу оцінку, то в [3] запропоновано застосовувати комбінацію: розширений фільтр

Калмана (для оцінки реальних змінних стану та грубої оцінки фіктивних змінних стану, якими є зміщення датчиків) та прискореної стохастичної апроксимації Кестена (для уточнення отриманих в результаті фільтрації розширеним фільтром Калмана значень зміщень датчиків).

У зв'язку з цим в [3] пропонується для змінних стану, які відносяться до зміщень b_j, використовувати додаткову корекцію, що визначається алгоритмом прискореної стохастичної апроксимації Кестена [8]:

$$\hat{\hat{x}}_{bj}(i+1) = \hat{x}_{bj}(i+1) + \gamma(i) \cdot \left(y_{bj} - \hat{y}_{bj} \right),$$

де $\hat{x}_{bj}(i+1)$ – змінна стану, що відноситься до j-ого зміщення, на $(i+1)$-ому кроці; $\gamma(i)$ – коефіцієнт стохастичної апроксимації на i-ому кроці.

Одночасне застосування ММП та методу прискореної стохастичної апроксимації Кестена можливе завдяки запропонованому в [3] розширенню вектору стану «фіктивними» змінними.

9-й крок. Останнім кроком є оцінка отриманих результатів оцінювання динамічних характеристик ЛА. Оцінку адекватності отриманої моделі в [6] запропоновано проводити шляхом визначення відносної похибки оцінених та номінальних значень параметрів.

Розроблений алгоритм оцінювання динамічних характеристик легкого літака було перевірено на «benchmark» моделі динаміки бічного руху легкого пілотованого ЛА DHC-2 «Beaver» [9].

В результаті оцінки отриманих результатів (табл. 1) було встановлено, що відносна похибка оцінювання параметрів моделі бічного руху даного літака складає менше 5% для 12 параметрів, а для інших трьох – менше 25%. Оскільки за критерієм ідентифікованості [1] ідентифікованими можуть бути тільки 12 параметрів з 15, то входячи з цього можна сказати, що оцінювання динамічних характеристик бічного руху цього літака пройшла успішно.

Висновки

Розроблено алгоритм оцінювання динамічних характеристик легких літаків загальної авіації за наявності інтенсивних детермінованих та випадкових похибок датчиків на основі ММП разом з розширеною калманівською фільтрацією та стохастичною апроксимацією. Ефективність застосування розробленого алгоритму оцінювання була перевірена на «benchmark» моделі динаміки бічного руху легкого пілотованого ЛА DHC-2 «Beaver».

Список літератури

1. *Касьянов В.А.* Моделирование полета. – К.: НАУ, 2004. – 400 с.

2. *Jategaonkar R., Plaetschke R.* Algorithms for aircraft parameter estimation accounting for process and measurement noise // Journal of Aircraft. – 1989. – P.360-372.

3. *Tunik A.A., Klipa A.N.* Identification of flight dynamics models with biased sensors // Stability and control: Theory and applications. – 2003. – Vol. 5, №. 1. – P. 41-48.

4. *McLean D.* Automatic flight control systems. – Englewood: Prentice Hall Inc., 1990. – 593 p.

5. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя / Пер. с англ. А.С. Манделя и А.В. Назина. – М.: Мир, 1991. – 432 с.

6. *Кліпа А.М., Тунік А.А.* Планування експерименту в частотній області для визначення оптимальної форми сигналу керування літальним апаратом, необхідного при ідентифікації його динамічних характеристик // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – №2(14). – С. 92-99.

7. *Кліпа А.М., Тунік А.А.* Визначення початкових значень параметрів для ідентифікації моделі в просторі станів // Електроніка та системи управління. – 2008. – №4(18). – С. 104-109.

8. *Kesten H.* Accelerated stochastic approximation // Ann. Math. Stat. – 1958. – №29. – P. 41-59.

9. *Rauw M.* The Flight Dynamics and Control Toolbox. – MathWorks Company, 2000. – 263 p.

УДК 629.735.45.051’172

О.Д. Горбатюк, К.В. Мельник, к. т. н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

СУЧАСНІ МЕТОДИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ПОКРАЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТА КЕРОВАНОСТІ ВЕРТОЛЬОТІВ

Наведено порівняльний аналіз результатів застосування методу лінійних матричних нерівностей (ЛМН) та H_∞–оптимізації для вирішення задачі автоматизованого проектування багатовимірної системи покращення стійкості та керованості (СПСК) ілотованого вертольоту в режимі висіння. Результати реалізації запропонованих алгоритмів синтезу СПСК вертольоту оцінені аналітично, а також за допомогою моделювання.

Постановка задачі

Задача дослідження полягає в необхідності автоматизованого проектування високоефективної багатовимірної СПСК пілотованого вертольоту для стабілізації об’єкта в режимі висіння та пригнічення впливу діючих на нього атмосферних збурень. Одним з відомих підходів до проектування багатовимірних систем керування польотом і стабілізації літальних апаратів є синтез робастного статичного регулятора та формування зворотного зв’язку за виходом динамічної системи методом ЛМН [1–2], що забезпечує вирішення задачі пригнічення впливу зовнішніх атмосферних збурень [3–9]. Окрім методу ЛМН, сучасна теорія робастного керування пропонує також технологію H_∞–оптимізації, як ефективний інструмент вирішення задач синтезу регуляторів і систем керування динамічними об’єктами [10–13]. Застосування технології H_∞–оптимізації дозволяє ефективно вирішувати ряд задач керування, що полягають в побудові робастного динамічного стабілізуючого регулятора для систем зі збуреннями, дотримуючись певних вимог до формалізованого показника якості.

Ефективність запропонованих алгоритмів продемонстровано на прикладі стабілізації пілотованого вертольоту АН-1G «Хью Кобра» [14] та пригнічення впливу діючих на нього в режимі висіння атмосферних збурень. Рівняння динаміки системи, яка складається з об’єкта керування та виконавчого механізму наведена в [4; 14].

Порівняльний аналіз результатів синтезу і моделювання СПСК пілотованого вертольоту на основі процедури H_∞–оптимізації та методу ЛМН

Результати синтезу СПСК пілотованого вертольоту методом ЛМН

Для синтезу СПСК пілотованого вертольоту в режимі висіння методом ЛМН застосовано автоматизовану процедуру проектування, запропоновану і детально описану в [3–9]. В задачі синтезу ланцюгу статичного зворотного зв’язку методом ЛМН необхідно визначити постійну матрицю коефіцієнтів підсилення регулятора K, що формує керуючі впливи безпосередньо за доступною для спостереження частиною фазового вектора при виконанні умови обмеження H_∞–норми матриці ПФ $H_{zw}(s)$, яка пов’язує вектор зовнішніх збурень w із вектором виходу z, що використовується для оцінки якості системи: $\left\|H_{zw}(s)\right\|_\infty < \gamma$, де γ – заданий скаляр.

Синтез стабілізуючого регулятора методом ЛМН включає також процедуру обмеження спектральної норми матриці коефіцієнтів підсилення зворотного зв’язку, що має вагоме практичне значення, оскільки дозволяє уникнути або зменшити ймовірність насичення у виконавчих механізмах та забезпечити доволі «обережне» керування системою [15].

У результаті реалізації всіх етапів автоматизованої процедури синтезу СПСК для вертольоту методом ЛМН [3–9] отримано оптимальні значення коефіцієнтів підсилення регулятора статичного зворотного зв’язку за виходом $K_{opt} \in R^{4\times 8}$, при яких забезпечується

виконання задачі пригнічення впливу зовнішніх збурень в системі та виконується умова обмеження: $\left\|H_{zw}(s)\right\|_{\infty} = 0{,}7740 < \gamma$.

Результати синтезу СПСК пілотованого вертольоту методом H_{∞}–оптимізації

Процедуру автоматизованого проектування стабілізуючого регулятора, що базується на теорії H_{∞}–оптимального керування, виконано на основі результатів, отриманих в роботах J.C. Doyle та K. Glover [16–17]. Процедура синтезу, так званий «2–Ріккаті підхід» [13], полягає в застосуванні теореми розділення [18], у відповідності з якою стабілізуючий регулятор складається зі спостерігача та оптимального детермінованого регулятора, який використовує відновлений фазовий вектор системи. У даному випадку алгебраїчні рівняння Ріккаті (АРР) [19], за допомогою яких здійснюється синтез спостерігача і регулятора, відрізняються від класичних рівнянь, що використовуються в традиційній лінійно-квадратичній-гаусовій задачі. Бажаних фазових та амплітудних складових як вхідних, так і вихідних сигналів системи можна досягти шляхом вибору відповідних вагових функцій із накладанням обмежень на керування [20–22]. Синтез субоптимального регулятора у відповідності з процедурою H_{∞}–оптимізації здійснюється на основі мінімізації H_{∞}–норми зваженої функції чутливості та базується на одночасному вирішенні двох рівнянь Ріккаті: одне – для спостерігача, друге – для регулятора [12–13; 22], які залежать від величини верхньої оцінки γ

Регулятор $K(s)$, отриманий в результаті виконання процедури H_{∞}–синтезу має достатньо високу розмірність – 10, на відміну від регулятора $K_{opt} \in R^{4\times 8}$, отриманого методом ЛМН. Спектральні норми синтезованих регуляторів: $\left\|K(s)\right\| = 29{,}215$, $\left\|K_{opt}\right\| = 1{,}704$, що свідчить про достатньо «обережне» керування системою за рахунок обмеження коефіцієнтів підсилення регулятора статичного зворотного зв'язку за виходом у порівнянні з результатами, отриманими внаслідок застосування технології H_{∞}–оптимізації.

Моделювання здійснене для замкненої системи з H_{∞}–регулятором і регулятором, синтезованим методом ЛМН, як при дії детермінованих (Discrete Wind Gust Model, Aerospace Blockset, SIMULINK) [23]), так і стохастичних збурень (Dryden Wind Turbulence Model, Aerospace Blockset, SIMULINK) [23]). У результаті моделювання синтезованої СПСК пілотованого вертольоту при дії випадкових атмосферних збурень отримано графіки перехідних процесів за змінними стану замкненої багатовимірної системи зі статичним зворотним зв'язком за виходом, синтезованим методом ЛМН, та стабілізуючим регулятором синтезованим методом H_{∞}–оптимізаії, наведені на рис. 1.

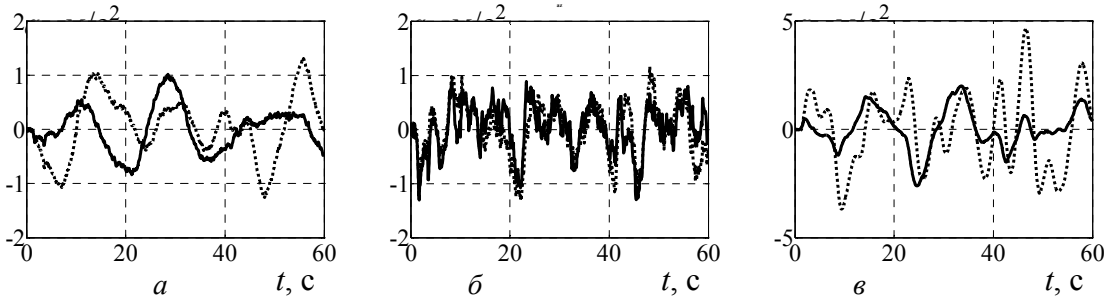


Рис. 1. Перехідні процеси при стохастичних збуреннях, які діють на замкнену систему з ЛМН–регулятором (пунктирна лінія) та H_{∞}-регулятором (суцільна лінія): *а* – за прискоренням a_x; *б* – за прискоренням a_y; *в* – за прискоренням a_z

Для оцінки рівня пригнічення детермінованих і стохастичних збурень в синтезованих СПСК визначено коефіцієнти пригнічення атмосферних збурень [24] (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Оцінка пригнічення стохастичних збурень

Система	$\frac{\sigma_{a_x}}{\sigma_{a_{u_g}}}$	$\frac{\sigma_{a_y}}{\sigma_{a_{v_g}}}$
з ЛМН регулятором	0,0694	0,0867
з H_∞– регулятором	0,0394	0,0299

Таблиця 2

Оцінка пригнічення детермінованих збурень

Система	$\Delta(a_x)$	$\Delta(a_y)$
з ЛМН регулятором	0,87□9	0,1608
з H_∞– регулятором	0,8450	0,1251

Висновки

На основі загального аналізу та порівняння результатів синтезу СПСК пілотованого вертольоту в режимі висіння, отриманих за допомогою реалізації алгоритму ЛМН і процедури H_∞–оптимізації, можна зазначити наступне:

1. Основною відмінністю між запропонованими процедурами H_∞–оптимізації та ЛМН для автоматизованого проектування СПСК вертольоту є те, що в результаті реалізації останньої можна отримати простий статичний регулятор зворотного зв'язку, в той час, коли процедура H_∞–оптимізації передбачає синтез динамічного регулятора більш складної структури та високої розмірності. Такі регулятори зазвичай ускладнюють структуру системи та потребують більш високих витрат потужності на реалізацію законів керування.

2. Застосування алгоритму синтезу СПСК вертольоту на основі запропонованої процедури H_∞–оптимізації свідчить про дещо вищий рівень пригнічення обмежених за модулем зовнішніх збурень у порівнянні з методом ЛМН. З одного боку це досягається введенням вагових ПФ, а з іншого – структурою стабілізуючого регулятора, який, на відміну від методу ЛМН, являє собою окрему динамічну систему.

3. Оскільки автоматизована процедура синтезу регулятора методом ЛМН є більш формалізованою, її використання інженером-проектувальником є прийнятнішою на відміну від методу H_∞–оптимізації, де вибір відповідних вагових ПФ часто зводиться до методу «проб і помилок» та багато в чому залежить від власного професійного досвіду дослідника.

4. З точки зору практичної реалізації синтезована методом ЛМН СПСК вертольоту є більш прийнятною у зв'язку з простішою структурою статичного стабілізуючого регулятора.

5. Синтезований методом ЛМН стабілізуючий регулятор має меншу спектральну норму у порівнянні з H_∞–регулятором. Для практичної реалізації системи зменшення спектральної норми регулятора є важливим, оскільки дозволяє обмежити значення коефіцієнтів підсилення регулятора та зменшити ймовірність насичення виконавчих механізмів [15].

6. Вибір того чи іншого методу проектування СПСК пілотованого вертольоту залежить від конкретних задач, наявних матеріальних і технічних засобів, потужностей бортового обладнання тощо.

Список літератури

1. *Boyd S.* Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory/ S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, V. Balakrishnan // PA SIAM.– Philadelphia. – 1994. – 416 p.

2. *Gahinet P.* LMI Control Toolbox User's Guide / P. Gahinet, A. Nemirovski, A. Laub, M. Chilali // The Math Works Inc. – 1995. – 310 p.

3. *Larin V.B.* Stabilization of System by Static Output Feedback// Applied and Computational Mathematics. – 2003. – V. 2. – N 1. – pp. 2 – 12.

4. *Горбатюк О.Д.* Подавление возмущений, действующих на вертолёт в режиме висения, с помощью статической обратной связи по выходу / О.Д. Горбатюк, В.Б. Ларин, А.А. Туник // Проблемы управления и информатики. – 2009. – №3. – С. 87–97.

5. *Горбатюк О. Д.* Suppression of Helicopter's Disturbances in a Hovering Flight by Static Output Feedback / О.Д. Горбатюк, В.Б. Ларин, А.А. Туник // Journal of Automation and Information Sciences. – USA: Begell House Inc., 2009. – V. 41, N. 5. – pp. 29–40

6. *Горбатюк О. Д.* Застосування методу лінійних матричних нерівностей для синтезу системи покращення стійкості та керованості вертольоту. Політ: Збірник тез IX Міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених. – К.: НАУ, 2009. – С. 172

7. *Горбатюк О.Д.* Синтез и моделирование системы улучшения устойчивости и управляемости для вертолёта. Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки: Збірка доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – С. 298–302

8. *Тунік А.А., Горбатюк О.Д.* Синтез γ-оптимальної системи покращення стійкості та керованості вертольоту. Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки: Тези доповідей та виступів науково-практичної конференції. – К.: ДНДІ авіації, 2009. – С. 108–109

9. *Тунік А.А., Горбатюк О.Д.* LMI-based Feedback Suppression of External Disturbances for the RUAV. Інформаційні системи. Механіка та керування: Науково-технічний збірник. – К.: НТУУ «КПІ», 2010

10. *Zhou K., Doyle J. C, Glover K.* Robust and optimal control. – NJ: Prentice Hall. – 1996. – 403 p.

11. *Первозванский А. А., Барабанов А. Е.* Оптимизация по равномерно частотным показателям (H_∞-теория) // Автоматика и телемеханика. – 1992. – №9. – С. 3–32.

12. *Тунік А. А., Галкін Є. В., Мельник К. В.* H_∞-оптимізація системи керування польотом // Електроніка та системи управління. – 2006. – №2(8). – С. 107–117.

13. *Поляк. Б. Т., Щербаков П. С.* Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.

14. *Hess R.A.* Rotorcraft Handling Qualities in Turbulence // Journal of Guidance, Control and Dynamics. – 1995. – V 18. – N 1. – pp. 39–45.

15. *Davison E.J.* The Design of Controllers for the Multivariable Robust Servomechanism Problem Using Parameter Optimization Methods / *E.J. Davison, I.J. Ferguson* // IEEE Transaction on Automatic Control. – 1981. – V.AC-26. – N 1. – pp. 93 – 110.

16. *Doyle J. C.* Synthesis of robust, controllers and filters // In Proceedings of the 12nd IEEE Conference on Decision and Control. – 1983. – P. 109–114.

17. *Doyle J. C., Glover K., Khargonekar P. P., Francis B. A.* State space solution to standard H_2 and H_∞, control problems // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1989. – Vol. 34, №. 8. – P. 831–847.

18. *Квакернаак Х.* Линейные оптимальные системы управления / *Х. Квакернаак, Р. Сиван.* – М.: Мир. – 1977. – 464 с.

19. *Lancaster P., Rodman L.* Algebraic Riccati equations. – Oxford University Press, Oxford. – 1995. – 504 p.

20. *Francis B. A.* On H_∞ -optimal sensitivity theory for SISO feedback systems/ *B.* A. Francis, G. Zames// IEEE Transactions and Automatic Control. – 1984. – Vol. 29, N. 1. – P. 9–16.

21. *Francis B. A.* A course in H_∞ control theory. – Berlin: Springer-Verlag, 1987. – 141 p.

22. *Doyle J. C., Francis B. A., Tarmenbaum A. R.* Feedback control theory. – Engle wood Cliffs, NJ: MacMillan. – 1992. – 489 p.

23. *Simulink*® User's Guide. The MathWorks, Inc.3 Apple Hill Drive Natick. – 2010. – 1616 p.

24. *Babister A.* Aircraft dynamic stability and response. Pergamon Press, Oxford. – 1980.

УДК 681.513.3

О.П. Басанец, аспирант
(Национальный авиационный университет, Украина)

МОДЕЛИРОВАНИЕ, СИНТЕЗ И АНАЛИЗ РОБАСТНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ НАВЕДЕНИЯ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Предложен способ получения математической модели вращающегося твердого тела, основанный на выделении синфазной и квадратурной составляющих. Поведение полученной модели рассматривается на примере замкнутой системы слежения с двумя степенями свободы. Влияние перекрестных связей в системе исследуется с помощью теорем, основанных на теории полиномов Харитонова.

В настоящее время широкое распространение нашли системы наведения, построенные на принципах автоматической стабилизации вращающегося твердого тела в луче квантового генератора [1]. Выполнение моделирования и исследования процесса наведения вращающегося твердого тела возможно на основе математической модели его пространственного движения [2]. Некоторые варианты проектирования систем наведения вращающегося твердого тела можно найти в [1,3,4], однако все же этому вопросу не уделяется должного внимания в современной литературе. При проектировании систем наведения вращающегося тела, прежде всего, необходимо разработать математическую модель, которая, с одной стороны, была бы достаточно простой, а, с другой стороны, наиболее полно описывала бы исследуемый объект.

Под вращающимся твердым телом будем понимать летательный аппарат с вращательной симметрией (рис. 1), который совершает вращение вокруг продольной оси, что приводит к его гироскопической стабилизации в полете [4].

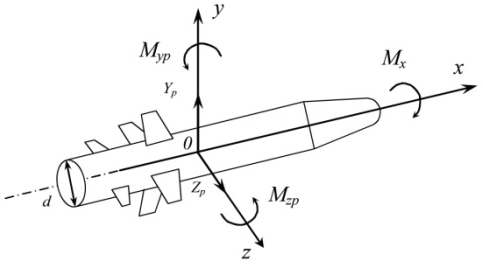


Рис. 1 Вращающееся твердое тело с двумя плоскостями симметрии

Обеспечение вращения летательного аппарата позволяет повысить устойчивость продольной оси и уменьшить влияние несимметрии тяги, аэродинамической и геометрической несимметрии на динамические характеристики. С другой стороны, наличие вращения накладывает особые требования на динамику движения вращающегося твердого тела. Учитывая вращательную симметрию снаряда и после некоторых преобразований, были получены выражения для определения передаточных функций двух каналов [5].

$$W_{\delta}^{V_y}(p) = W_{\delta}^{V_z}(p) = \frac{Num^{V_z}(p)}{Den(p)} = \frac{p^3 + N_1 p^2 + N_2 p + N_3}{p^4 + D_1 p^3 + D_2 p^2 + D_3 p + D_4} \quad (1)$$

Так как передаточные функции по двум каналам совпадают, систему управления одним каналом вращающегося твердого тела можно представить в виде системы с несущей частотой (рис. 2), которая определяется угловой частотой вращения тела относительно продольной оси *X*. Вращение тела вокруг продольной оси можно рассматривать как процесс амплитудной модуляции, который представлен на рис. 2 модулятором М (множительным устройством). Второе множительное устройство ДМ на выходе объекта управления является демодулятором и реализуется синусно-косинусным преобразователем. Демодуляция сигнала несущей частоты необходима для того, чтобы выделить сигналы рассогласования Δy и Δz. Сигнал, получаемый на выходе ДМ, состоит из двух составляющих модулированных напряжений. Первое напряжение, равное $\Delta y \cos \Omega t$, находится в фазе с несущей частотой, и

называется синфазной составляющей. Второе напряжение $\Delta z \sin \Omega t$ сдвинуто по фазе на $\pi/2$ по отношению к несущей частоте и называется квадратурной составляющей [6].

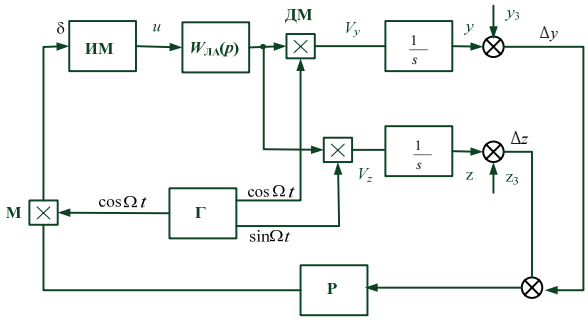


Рис. 2. Структурная схема системы наведения вращающегося твердого тела

На рис. 2: Г - генератор частоты Ω. Для данного класса ЛА генератором частоты Ω выступает вращающийся корпус ЛА; Р - регулятор обратной связи по ошибке; $y_з$, $z_з$ - заданное положение ЛА (считая, что ЛА должен находиться в центре лазерного луча, можем принять, что $y_з$=0, $z_з$=0); δ - угол отклонения рулей; $W_{ЛА}(p)$ - передаточная функция объекта управления; ИМ – исполнительный механизм.

Чтобы синтезировать регулятор для такого объекта управления, необходимо выделить полезные составляющие управляющих сигналов Δy и Δz. Выделение полезных составляющих осуществляется путем определения синфазной и квадратурной составляющей сигнала, получаемого на выходе демодулятора, используя выражения [6]:

$$W_{ЛА}^{quadr}(p) = \frac{W_{ЛА}(p - j\Omega) - W_{ЛА}(p + j\Omega)}{2j} \tag{2}$$

$$W_{ЛА}^{\sin f}(p) = \frac{W_{ЛА}(p - j\Omega) + W_{ЛА}(p + j\Omega)}{2} \tag{3}$$

В результате вычислений были получены передаточные функции высокого порядка, поэтому было проведено их упрощение путем понижения порядка системы методом минимальной реализации. Результирующая модель имеет минимальный порядок и те же самые частотные характеристики, что и первоначальная модель системы.

Дальнейшее изложение будем проводить на конкретном примере. Рассмотрим вращающееся твердое тело, имеющего параметры [1]: масса $m = 14.26$ кг, момент вокруг вертикальной оси $Iz = 0.827$ кг□м^2, площадь крыльев $S = 0.00769$ м^2, диаметр $d = 0.105$ м, длина изделия $L = 0.896$ м. В процессе полета скорость таких объектов меняется в широком диапазоне, что вызывает изменение всех аэродинамических коэффициентов (4), а также скорости вращения вокруг продольной оси. В связи с этим рассмотрим номинальную модель, составленную для максимального значения скорости полета, и параметрически возмущенную модель, составленную для минимальной скорости полета.

С помощью функции minreal пакета Matlab, варьируя точность вычислений, удалось сократить порядок системы до 2го. Редуцированные передаточные функции (номинальной и параметрически возмущенной моделей) имеют вид:

$$W_{Vy}^{sn} = \frac{0.097p + 113800}{p^2 + 14.33p + 241200},\ W_{Vy}^{sp} = \frac{0.062p + 23710}{p^2 + 6.887p + 91970} \tag{4}$$

Таким образом, в дальнейшем исследовании и моделировании используется редуцированная модель.

Рассмотрим работу одного из каналов вращающегося твердого тела. Выберем в качестве динамического компенсатора пропорционально-интегрирующее звено. Наличие интегратора в компенсаторе позволит свести к нулю установившуюся ошибку по положению. Структурная схема системы слежения с компенсатором показана на рис.3. Методика синтеза коэффициентов усиления прямой и обратной связи для множества номинальной и параметрически возмущенной модели объекта управления подробно приведена в [7].

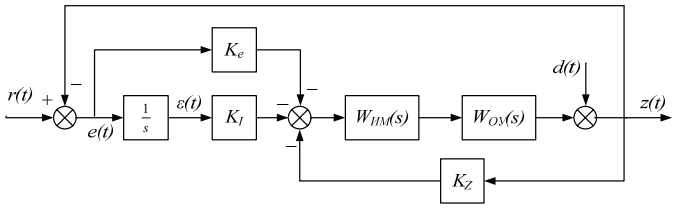
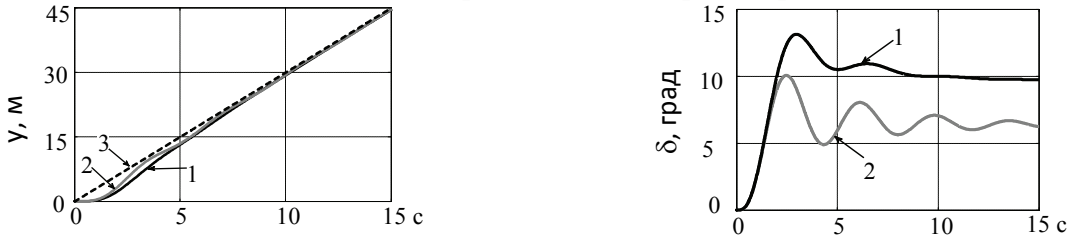


Рис. 3. Структурная схема системы слежения вращающегося твердого тела с динамическим компенсатором

В результате синтеза следящей системы методами теории линейных матричных неравенств получены следующие значения коэффициентов усиления [7]: $K_z = 0.0748$, $K_e = 2.4643$, $K_I = 0.5981$. Графики кривых переходных процессов замкнутой системы при различных типах задающих сигналов представлены на рис. 4, рис. 5.



а *б*

Рис.4. Результаты моделирования номинальной (1) и параметрически возмущенной (2) моделей при движении луча со скоростью 3 м/с (3): *а* – изменение высоты; *б* – отклонение рулей.

а *б*

Рис.5. Результаты моделирования номинальной (1) и параметрически возмущенной (2) моделей при движении луча с ускорением 0.1 м/с^2 (3): *а* – изменение высоты; *б* – отклонение рулей.

По результатам моделирования (рис.4, рис.5) можно сказать о том, что ошибки системы слежения при различных типовых режимах за время полета вращающегося твердого тела не превышают допустимых границ.

В системе (рис.2) присутствуют внутренние перекрестные связи, представленные квадратурной составляющей, которые можно рассматривать как неструктурированную неопределенность в системе. Метод синтеза следящей системы [7] не учитывает наличие неструктурированных неопределенностей, поэтому предлагается оценить их влияние на работу системы путем оценки робастной устойчивости системы. В таком случае замкнутая система (рис.2) имеет вид, представленный на рис. 6.

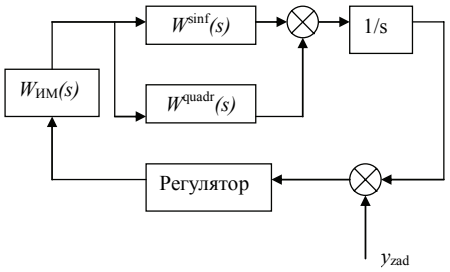


Рис. 6. Структурная схема замкнутой следящей системы с неструктурированной неопределенностью

Оценка робастной устойчивости проводится на основании теоремы:

Теорема 1 [8]. Замкнутая система (рис. 6) остается устойчивой для всех неструктурированных возмущений ΔP, которые удовлетворяют условию $\|\Delta P\|_\infty < \alpha$, тогда и только тогда, когда $\alpha < 1/\max\|g(s)\|$, где $g(s)$ – передаточная функция объекта, представленного в виде полиномов Харитонова.

Таким образом, замкнутая система остается устойчивой при действии на нее неструктурированных параметрических возмущений, если H_∞ - норма этих возмущений не превышает граничного показателя α. Подробно описание метода оценки робастной устойчивости для такого типа систем представлена в [9].

Рассчитанное согласно теореме 1 значение граничного показателя α по условиям данной задачи составило: $\alpha = 1/4.3796 = 0.2283$. Замкнутая система остается устойчивой, если разность по модулю H_∞-нормы номинальной модели и H_∞-нормы параметрически возмущенной модели не превышает граничную норму α, то есть $\|\Delta\| \le \alpha$, где $\|\Delta\| = \|H_{\infty n}\| - \|H_{\infty p}\|$. Значения H_∞-норм системы, представленной на рис. 6 составили: $H_{\infty n}$ =0.2821 , $H_{\infty p}$ =0.2428, то есть $\|\Delta\| = 0.0393$, что не превышает граничную норму α. Таким образом, замкнутая система остается устойчивой при учете перекрестных связей в объекте управления.

Выводы

Метод получения передаточных функций по огибающей для систем с несущей частотой позволяет сформировать передаточные функции, описывающие движение вращающегося твердого тела. В дальнейшем, без потери общности, полученные передаточные функции можно упростить, что соответственно упрощает моделирование процесса наведения и синтез системы наведения. Рассмотрена методика синтеза следящей системы для вращающегося твердого тела на основе линейных матричных неравенств. Доказано, что синтезированная замкнутая система слежения остается устойчивой при наличии в системе неструктурированной неопределенности.

Список литературы:

1. Теоретические основы проектирования ствольных управляемых ракет. Под ред. О.П. Коростелева. – К.: Defense Express Library, 2007. – 455 с.
2. Проектирование систем наведения / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
3. *Дмитриевский А.А*. Прикладные задачи теории оптимального управления движением беспилотных летательных аппаратов / А.А Дмитриевский., Л.Н. Лысенко. – М.: Машиностроение, 1978. – 328 с.
4. *Боднер В.А.* Теория автоматического управления полетом. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
5. *Басанец О.П.* Моделирование процесса наведения по лучу вращающегося твердого тела / О.П. Басанец, А.А. Туник // Електроніка та системи управління. – 2010. – № 4. – С.147–154.
6. *Куракин К.И.* Следящие системы малой мощности. Теория, расчет и настройка с учетом несущей частоты. – М.: Машиностроение, 1965. – 403 с.
7. *Басанец О.П.* Синтез следящей системы наведения вращающегося БПЛА с помощью линейных матричных неравенств / А.А. Туник, О.П. Басанец // Кибернетика и вычислительная техника [готується до друку].
8. Chapellat H. Robust stability under structured and unstructured perturbations / H. Chapellat, M. Dahleh, S.P. Bhattacharyya // IEEE Transactions on Automatic Control. Vol 35, №10. – 1990.Oct. – P.1100-1107.
9. *Басанець О.П.* Синтез робастної системи управління обертовим БПЛА та її дослідження при наявності неструктурованої невизначеності / О.О. Абрамович, О.П. Басанець // Системи управління, навігації та зв'язку [готується до друку].

УДК 629.735.051:681.323

М.М. Комнацька, ас.
(Національний авіаційний університет, Україна)

СИНТЕЗ РОБАСТНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДЛЯ БПЛА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглядається задача синтезу робастної системи управління польотом малого БПЛА за умови неповних вимірів фазового вектору. Статичний регулятор за виходом в ланцюзі зворотного зв'язку визначається методом лінійних матричних нерівностей на основі γ - оптимального підходу. Дослідження ефективності функціонування синтезованої системи управління демонструється на прикладі управління бічним рухом БПЛА.

Широке застосування у сільськогосподарській промисловості знайшли надлегкі БПЛА, переваги яких полягають у дешевизні та простоті використання. Однак надійне управління всіма функціями надлегкого БПЛА потребує розробки конкурентоспроможних і в той же час простих у реалізації систем управління. Крім того, зазвичай, на таких БПЛА використовується мінімальний набір навігаційних датчиків, що призводить до необхідності синтезу системи управління при неповних вимірах фазового вектору. Для того, щоб задовольнити суперечливі вимоги щодо якості та простоти системи управління, сучасна теорія управління пропонує низку методів [1–6]. У випадку неповної інформації про стан об'єкту управління доцільно використати метод лінійних матричних нерівностей, який дозволяє вирішити задачу управління за виходом при дії на об'єкт зовнішніх збурень [2–5].

Постановка задачі

В роботі модель БПЛА описується системою рівнянь виду

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A_i x(t) + B_{iu} u(t) + B_{i\upsilon} \upsilon(t) \\ y(t) = C_i x(t) \end{cases}, \qquad (1)$$

де структура невизначеностей моделі управління представлена матрицями A_i, B_i, які є елементами деякого політопу, утворюючи при цьому опуклий багатогранник, для кого виконується умова: $[A \quad B] \in Co\{[A_1 \quad B_1],...,[A_N \quad B_N]\}, i = 1,...,N$, C_o означає опуклу множину, N – множина моделей, які розглядаються одночасно. При цьому, елементи матриць A_i, B_i залежать від значення істинної повітряної швидкості. В межах нашої задачі елементи політопу представляють собою сукупність номінальної та параметрично збуреної моделей БПЛА. $x \in R^n$ - вектор стану системи, $u \in R^m$ - вектор управління, $y \in R^p$ - вектор вихідних змінних об'єкта управління, $\upsilon \in R^n$ - вектор зовнішніх збурень (у даному випадку модель турбулентного вітру представлена стандартизованою моделлю Драйдена [7]), що діють на об'єкт управління, обмежені за нормою, тобто

$$\|d(t)\|^2 = \int_0^\infty (d^T d) dt < \infty .$$

Степенем гасіння збурень в об'єкті управління будемо називати величину γ таку, що [4]:

$$\gamma^2 = \sup_{\|\upsilon(t)\| \neq 0} \frac{\|z(t)\|^2}{\|d(t)\|^2},$$

тобто задача полягає у синтезі статичного регулятора за виходом, який здатен пригнічувати зовнішні збурення, що діють на об'єкт управління з деяким ступенем $\gamma > 0$, забезпечуючи при цьому виконання нерівності виду

$$\frac{\|z(t)\|^2}{\|d(t)\|^2} < \gamma^2 .$$

Такі системи у вітчизняній літературі ще називають γ - оптимальними [4, 5]. Відомо [4, 5], що зовнішні збурення в системі подавляються з деяким рівнем γ, якщо виконується умова:

$$\frac{\int_0^\infty \|z(t)\|^2 dt}{\int_0^\infty \|d(t)\|^2 dt} = \frac{\int_0^\infty \left(x^T Q x + u^T R u\right) dt}{\int_0^\infty \left(d^T d\right) dt} \le \gamma^2 . \qquad (2)$$

У задачі розглядається випадок, коли повний вектор стану не доступний для вимірів, а можливо виміряти тільки деяку лінійну комбінацію змінних стану, тобто, управління об'єктом здійснюється за даними вектора виходу y. Вектор стану для випадку бічного руху БПЛА характеризується такими змінними: $X = [\nu,\ p,\ r,\ \phi,\ \psi]$, де ν - поперечна складова вектора швидкості, r - кутова швидкість рискання, p - кутова швидкість крену, ϕ - кут крену, ψ - кут рискання. Матриця спостережень має вигляд: $C = [0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 0; 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0; 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1]^T$. Управління в бічному каналі здійснюється за допомогою руля напрямку δ_r та елеронів δ_a.

Синтез γ-оптимального регулятора за виходом

Виходячи з того, що об'єкт управління має неповний вектор стану, закон управління синтезується з використанням лише тих змінних, які доступні для виміру. Задача синтезу статичного зворотного зв'язку за виходом вирішується у термінах лінійних матричних нерівностей. При цьому, реалізація такого закону управління передбачає стабілізацію множини номінальної та параметрично збурених моделей об'єкту управління (1) та має наступний вигляд:

$$u(t) = -K y(t) = -K C x, \qquad (3)$$

де в (3) K - матриця підсилення у ланцюгу зворотного зв'язку, яка для заданого значення $\gamma > 0$ забезпечує виконання умови

$$J(K) = \int_0^\infty \|z(t)\|^2 = \int_0^\infty \left(x^T(t) Q x(t) + u^T(t) R u(t)\right) dt < \gamma^2 \int_0^\infty \upsilon^T(t) \upsilon(t)\, dt ,\ \forall \upsilon(t) \neq 0 , \qquad (4)$$

де у (4) $Q \ge 0$ та $R > 0$ - діагональні вагові матриці за станом та управлінням, відповідно. Згідно з формулою (4) вихідний сигнал $z(t)$, який використовується для оцінки якості управління, має вигляд [8]:

$$z = \begin{bmatrix} \sqrt{Q} & 0 \\ 0 & \sqrt{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ u \end{bmatrix} .$$

Таким чином, задача полягає у виборі такої матриці K, яка забезпечує виконання нерівності (4) при задоволенні умовам стабілізації, де матриця K забезпечує стійкість множини політопів системи (1).

В нашому випадку, представляє інтерес визначення матриці підсилення K статичного зворотного зв'язку для множини матриць, які описують модель об'єкту управління в околі декількох робочих точок. Знаходження матриці K статичного зворотного зв'язку здійснюється методом ЛМН, який дозволяє швидко та ефективно вирішити цю задачу [2, 4, 5]. Пошук матриці K здійснюється за допомогою ітераційного алгоритму, який наведено далі. Слід зауважити, що більшість відомих ітераційних алгоритмів синтезу статичних регуляторів за виходом потребують визначення початкового наближення матриці K, яка стабілізує об'єкт управління (1). Для нашого методу синтезу статичного регулятора, оптимального за γ – критерієм, характерні наступні переваги – відсутність необхідності

визначення нульового наближення матриці K та можливість використання політопу й отримання рішення, що задовольняє сімейству матриць (1).

Синтез статичного регулятора розділено на кілька етапів. Розглянемо послідовність рішення задачі синтезу статичного регулятора, оптимального за γ - критерієм:

1. Початкові значення: задаємо $n = 0,$ визначаємо γ, Q, R , $L = 0$.
2. На другому етапі розв'язуємо відносно P ЛМН нерівність (n – номер ітерації).

$$\begin{bmatrix} P_n A_i + A_i^T P_n + Q & P_n B_i & P_n B_{di} & L_n^T \\ B_i^T P_n & -R & 0 & 0 \\ B_{di}^T P_n & 0 & -\gamma^2 I & 0 \\ L_n & 0 & 0 & -R \end{bmatrix} \le 0 \qquad (5)$$

Уточнення матриці K здійснюється за формулою

$$K_{n+1} = R^{-1}\left(B^T P_n\right)C^T\left(C C^T\right)^{-1}$$

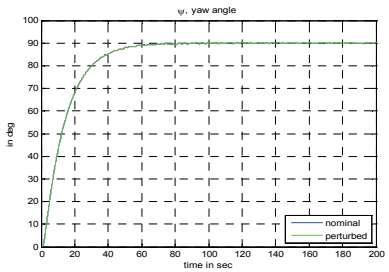
3. на цьому етапі здійснюється перевірка умови збіжності: алгоритм зупиняється при виконанні умови збіжності: $\left\|K_n - K_{n+1}\right\| \le \varepsilon$.

Приклад. В якості об'єкту управління обрано малий БПЛА «Жайвір – М6», що розроблено на базі Національного авіаційного університету. БПЛА «Жайвір – М6» використовується в технологічних процесах захисту сільськогосподарських рослин від шкідників, хвороб та бур'янів [9]. В роботі розглянуто режим стабілізації курсу БПЛА.

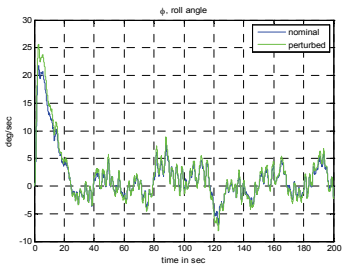
Згідно з алгоритмом, що описаний вище, вирішується ЛМН (5), для якої матриця підсилення статичного зворотного зв'язку за виходом має вигляд:

$$K = \begin{bmatrix} 0.1484 & 1.2338 & 3.0366 \\ -0.0033 & -0.0275 & -0.0675 \end{bmatrix}.$$

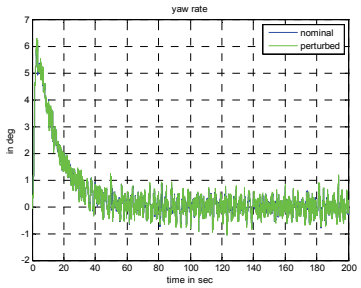
На завершальному етапі задачі здійснено моделювання з метою демонстрації функціонування синтезованої системи управління для множини номінальної та параметричної збуреної моделі. Моделювання проведено з урахуванням стохастичних вітрових збурень, які діють на БПЛА під час польоту. Математична модель зовнішніх вітрових збурень представлена у вигляді стандартизованої моделі Драйдена [7]. На рис. 1 наведено графіки перехідних процесів, що отримані в результаті моделювання для множини номінальної та параметрично збуреної моделі зі статичним регулятором у ланцюзі зворотного зв'язку (а – криві перехідних процесів по куту рискання (курс БПЛА); град, б - криві перехідних процесів по куту крена, град; в – криві перехідних процесів за кутовою швидкістю рискання, град / с; г) криві перехідних процесів за кутовою швидкістю крена, град / с).



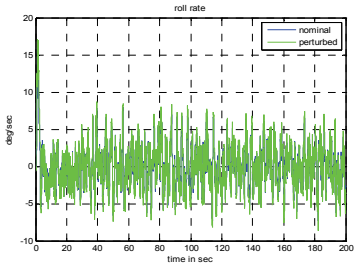
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Результати моделювання бічного руху БПЛА «Жайвір – М6» при дії зовнішніх атмосферних збурень

За результатами моделювання можна зробити висновки щодо ефективності функціонування системи управління, синтезованої за γ – критерієм та її робастності. Висновки щодо робастності підтверджуються близькістю кривих перехідних процесів номінальної та параметричної збуреної замкнених системах.

Список літератури

1. *Квакернаак Х.* Линейные оптимальные системы / Квакернаак Х., Сиван Р. – М.: Мир, – 1977. – 653 с.

2. *Boyd S.* Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory / S. Boyd, L. El Ghaoui, E. Feron, V. Balakrishnan.– Philadelphia, PA SIAM, 1994. – 416 p.

3. *Ларин В.Б.* О компенсации внешних возмущений динамической обратной связью по выходной переменной / В.Б. Ларин А.А. Туник // Прикладная механіка.– 2006.– Т. 42.– №5.– С. 132 –144.

4. *Баландин Д.В.* Синтез оптимальных линейно-квадратичных законов управления на основе линейных матричных неравенства / Д.В. Баландин, М.М. Коган // Автоматика и телемеханика. – 2007. – №3. – С. 3 – 18.

5. *Баландин Д.В.* Синтез оптимальных линейно – квадратичных законов управления на основе линейных матричных неравенств / Д.В. Баландин, М.М. Коган // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 3. – С.– 3 – 18.

6. *Tunik A.A.* Parametric Robust Optimization of Digital Flight Control Systems / A.A. Tunik, E.A. Abramovich // Proceedings of the National Aviation University.– 2003.– №2. – pp. 31 – 37.

7. *McLean D*. Automatic Flight Control Systems / D. McLean. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs.– 1990.– 593 p.

8. *Gadewadikar J.* Aircraft Flight Controller Tracking Design Using H-Infinity Static Output-Feedback / J. Gadewadikar, F. Lewis // Transactions of the Institute of Measurement and Control.– 2006.–Vol. 28.– No.8.– pp. 429 – 440.

9. Пат. України на корисну модель № 34952 Одномоторний безпілотний літальний апарат для захисту рослин / Матійчик М.П., Рибальченко О. С.– № 34952 опубл. 26.08.2008. Бюл. № 16.

УДК: 004.89:681.5.01(043.2)

О.Ю. Ассаул, аспірант,
(Національний авіаційний університет, Україна)

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ НЕЧІТКИХ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ СИСТЕМ ОЦІНЮВАННЯ ЗА КАНАЛАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В доповіді піднімається проблема оптимальності нечітких багатокритеріальних моделей оцінювання за каналами спостереження. Наводиться новий алгоритм, що дозволяє корегувати системи правил нечітких мір, зберігаючи їх фізичний зміст.

В задачах багатокритеріального прийняття рішень характерною є проблема неоптимальних каналів спостереження. Досить часто сконструйовані системи визначаються тим, що канали спостереження використовують лише частину можливих значень оцінок вхідної інформації, тим самим зменшуючи точність системи через обмеження застосування нечітко-інтегральних структур. Пропонується метод, який би дозволив оптимізувати моделі, побудовані на основі теорії нечітких мір.

Загальну задачу нечіткого багатокритеріального оцінювання можна представити наступним чином.

Система характеристик є множина $X = \{x_n,\ n=1,N\}$,яка складається з критеріїв для загальної оцінки об'єкта та визначається вектором $\vec{h}(x_n)$; множина $V = \{v_{in}, i = 1,I;\ n=1,N\}$ має за мету опис $\{i\}$ характеристик n-х критеріїв. $\bar{g}(x_n), \bar{g}(Vx_n)$ є вектори відповідних нечітких мір, які агрегуються за допомогою інтегралів Сугено або Шоке.

Нечіткий інтеграл Сугено [2, 3] від функції $h: X \to [0\,1]$ на множині $A \subseteq X$ по нечіткій мірі g визначається як:

$$(s)\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \sup_{\alpha \in [0\,1]} \{\alpha \wedge g(A \cap H_\alpha)\},$$

де $H_\alpha = \{x \mid h(x) \geq \alpha\}$.

Нечіткий інтеграл Шоке [5] функції $h: X \to [0\,1]$ на множині $A \subseteq X$ по нечіткій мірі g визначається як:

$$(c)\int_A h(x) \circ g(\cdot) = \sum_{i=1}^{n} [h(x_i) - h(x_{i-1})]g(H), \text{ де}$$

$h\ (x_0)=0$

В роботі автора, що зараз друкується, наводиться наступний алгоритм для опису системи, який би враховував всі можливі значення параметрів об'єкту.

Нехай ми визначили деяку систему переваг, нечіткі міри яких є фіксованими $\bar{g}(x_i) = const$, тоді розраховуємо всі можливі значення інтегралів Сугено і Шоке в залежності від зміни значення вхідних даних (характеристик об'єкта) $h(x)$. При чому, $h(\ x)$ представляємо у вигляді вектора $h_j\ (x_1 \ldots x_n),\ x_i \in [0\,1]; i \in [1; n]; j \in \left[0; \left(\left[\frac{1}{\Delta}\right]+1\right)^n\right]; i, j \in \mathrm{N}\ x_i$, де

Δ – крок табуляції системи $\Delta \in (0;1)$,

n – розмірність системи

В $h_j\ ,x_1$ визначається параметром, за яким аналізується система, а інші параметри розміщені за наступним правилом: $1< i < n$, при $g(x_i) \geq g(x_{i+1})$.

$\left(\left[\frac{1}{\Delta}\right]+1\right)^n = \left(\left[\frac{1}{0{,}1}\right]+1\right)^5 = 161051.$ h_j $(x_1 \ldots x_n)$, $x_i \in [0\,1]; i \in [1;5], j \in [0;161051]$. Тобто загальний портрет системи має вигляд 161051 результатів значень інтегралів Сугено та Шоке. На рис.2 проілюстровані деякі значення векторів $h_j(x)$.

Множина нечітких мір Сугено має вигляд: $\vec{g}(x_i) = \{x_1; x_2; x_3; x_4; x_5\} = \{$фінансові показники; відношення позичених до власних коштів; галузевий ризик; активи; історія підприємства$\}$ = {0,4; 0,35; 0,3; 0,25; 0,1}.

Для ілюстрації роботи методу, використаємо однорівневу базисну модель для оцінки ризиків контрагентів підприємства з п'яти параметрів (n=5), і кроком Δ=0,1.

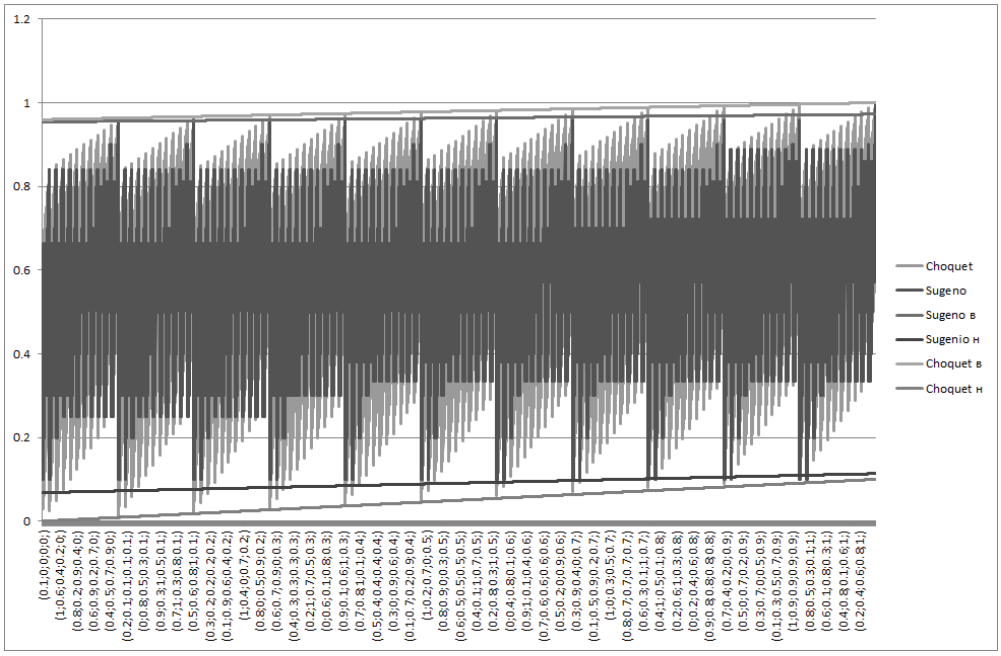


Рис. 1 Загальний портрет системи для параметра x_1 з коридором впливу

З рис.1 видно, що значення інтегралів змінюються з кожним кроком Δ, тобто в залежності від зміни параметра x_1 на Δ. Очевидно, що чим важливіший параметр, тим крутішим буде даний тренд, і навпаки, при мінімальному впливі x_1 на систему, вона не буде змінюватися в залежності від табуляції Δ. Тобто оцінюючи «коридор» змін значень, можливо визначити вплив параметра, який тестується, на систему.

За верхню границю коридору відповідають точки, коли всі параметри, відмінні від того, що тестується дорівнюють 1, а x_1 – відповідному кроку табуляції. Тобто наведеної системи отримаємо вектори значень: (s,c)I_j=(j·Δ; 1; 1; 1; 1) , $j \in [0;1/\Delta]$, а для нижньої границі – (s,c)I_j=(j·Δ; 0; 0; 0; 0) , $j \in [0;1/\Delta]$. Для того, щоб розрахувати середню швидкість зміни системи в залежності від тестуємого параметра , використовували метод найменших квадратів[3].

Якщо кожна межа описується рівнянням виду : $y=kx+b$, де y – значення інтегральних оцінок (s,c) I, x – приріст j·Δ, де $k \in [0;1]$ і є середньою швидкістю зміни системи від параметра, що тестується. Тоді:

$$k = \frac{\overline{xy} - \overline{x} \cdot \overline{y}}{\overline{x^2} - \overline{x}^2} \qquad b = \frac{\overline{y}\overline{x^2} - \overline{x} \cdot \overline{xy}}{\overline{x^2} - \overline{x}^2}$$

На рис. 1 також представлені наведені коридори впливу для систем оцінки за Сугено та Шоке, розраховані за наведеним алгоритмом. В таблиці 2 наведені коефіцієнти впливу для представленої системи:

Таблиця 2

П-р	Сугено		Шоке	
	Верхня межа	Нижня межа	Верхня межа	Нижня межа
x_1	0.1089	0.3534	0.202	0.4
x_2	0.0795	0.2838	0.1698	0.35
x_3	0.0559	0.2185	0.1401	0.3
x_4	0.0374	0.159	0.1125	0.25
x_5	0.0059	0.0301	0.0406	0.1

Коефіцієнт $k \in [0\,1]$ характеризує швидкість зміни значень оцінок на граничних значеннях параметрів і є показником максимальної похибки системи при відсутності параметра, що тестується. Також дуже важливою властивістю коефіцієнта *k*, що за Шоке, максимум *k* верхньої та нижньої межі можливих значень відповідає відповідному значенню нечіткої міри *g*. Тобто $max\ (ki_в, ki_н) = g_i$. Саме цю властивість і пропонується використовувати для оптимізації нечітких багатокритеріальних систем оцінювання за каналами спостереження.

Як видно з наведеного алгоритму, для розрахунку верхніх та нижніх меж параметра, не обов'язково розраховувати всі можливі значення системи, а достатньо лише в точках граничних значень системи, що тестується (в даному випадку $(s,c)I_j=(\ j\cdot\Delta;\ 1;\ 1;\ 1;\ 1)$, $(s,c)I_j=(j\cdot\Delta;\ 0;\ 0;\ 0;\ 0)$), в залежності від кроку табуляції.

Але, в більшості випадків, зустрічаються системи, які не обов'язково розглядати в цілому, коли кожний параметр розглядається на області значень [0;1], а на певних відрізках $h(x_i) \in A,\ A \in [0,1]$ в залежності від реальної області значень об'єкта по даному параметру.

Т. я. параметри загальних багатокритеріальних задач оцінювання характеризуються так само приналежністю до певних відрізків значень, пропонується враховувати наведені можливі обмеження для більш точної оцінки параметра адаптації подібних моделей.

Нехай параметри системи можуть змінюватись наступним чином: $x_1 \in [0{,}2;0{,}8]$, $x_2 \in [0;1]$ $x_3 \in [0{,}2;0{,}75]$, $x_4 \in [0;0{,}9]$, $x_5 \in [0;1]$. Тоді, визначимо коефіцієнти адаптації, з урахуванням наведених обмежень. В результати наведені в таблиці (табл. 3).

Таблиця 3

П-р	Сугено		Шоке	
	Верхня межа	Нижня межа	Верхня межа	Нижня межа
x_1	0.2628	0.2628	0.4	0.4
x_2	0.052	0.1769	0.1849	0.3355
x_3	0	0.0921	0.14	0.3
x_4	0.0402	0.0622	0.1161	0.2374
x_5	0	0	0.0442	0.0959

Таким чином ми представили аналіз системи за впливом кожного параметра з урахуванням характерних особливостей об'єктів дослідження. Для максимізації ефективної роботи нечітких інтегралів можливо підвищувати чутливість оцінки через використання всієї шкали каналів спостереження. Для цього пропонується використати отриману властивість наведеного коефіцієнта *k* для інтегрування по Шоке:

Для $\forall$ нечітких систем виду $(g(x_i), h(x_i), X) <=> max(k_{iн},k_{iв}) = g(x_i)$, $i = 0,n$, де

$k_{iн}$ – нижня межа системи за *i*-м параметром за інтегралом Шоке;

$k_{iв}$ – верхня межа системи за *i*-м параметром за інтегралом Шоке;

$g(x_i)$ – нечітка міра Сугено *i*-го параметра;

n – розмірність системи;

X – множина значень системи.

Тобто максимальне значення коефіцієнта впливу k при аналізі системи за Шоке завжди збігається зі значенням нечіткої міри відповідного параметра. Пропонується використати наведену властивість в зворотному порядку, через коефіцієнт k визначити адаптовану нечітку міру $g'(x_i)$.

Таким чином, задачу можна представити наступним чином.

Нехай є деяка нечітко-інтегральна система вигляду $S(h(x_i),g(x_i),X)$, область значень i-го параметра $h(x_i) \in [a,b]$; $0 \le a < b \le 1$; $i=1,n; a=min(h(x_i))$; $b=max(h(x_i))$. Згідно наведеного вище алгоритму, розраховуються верхні та нижні межі за інтегралом Шоке: $x_i \rightarrow k_{iн},k_{iв}$. Тоді системі S відповідає $S'(h'(x_i),g'(x_i),X)$. Причому оптимізована нечітка міра Сугено $g'(x_i) = max(k_{iн},k_{iв})$,а вхідна оцінка $h(x_i)$ нормується за правилом: $h'(x_i) = (h(x_i) - h(a))/(h(b) - h(a))$.

В результаті, для представленої системи $\vec{g}(x_i) = \{x_1; x_2; x_3; x_4; x_5\} = \{0,4;0,35;0,3;0,25;0,1\}$, отримали оптимізовану систему $\vec{g}'(x_i) = \{x_1; x_2; x_3; x_4; x_5\} = \{0,4;0,3355;0,3;0,2374;0,0959\}$, яка враховує особливості каналів спостереження по кожному параметру.

Наведений підхід може розглядатися як метод оптимізації нечітких багатокритеріальних систем оцінювання за каналами спостереження, що і планується розвивати в наступних дослідженнях.

Висновки

Представлено новий метод оптимізації нечітких багатокритеріальних системах оцінювання, який дозволяє вирішувати деякі проблеми чутливості і адекватності подібних моделей. Цікавим може бути факт використання властивостей інтеграла Шоке та коефіцієнта впливу k в контурі оптимізації навіть для нечітких систем, сконструйованих за інтегралом Сугено, який відрізняється від першого принципово іншим підходом до обчислення нечітких мір.

Список літератури

1. *В. Бочарников* «Fuzzy-технология. Математические основы. Пракика моделирования в экономике». – Санкт-Петербург: «Наука» РАН, 2001. – 328с.

2. *Дюбуа Д., Прад А*. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике: Пер. с фр. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.

3. *M. Sugeno.* Theory of fuzzy integrals and its applications. PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, 1974.

4. *Приставка П. О., Мацуга О. М.* Аналіз даних: Навчальній посібник. -- Д.: Вид-во ДНУ, 2008. -- 92с.

5. *Grabisch, M.*, Modelling data by the Choquet integral. In: Torra, V. (Ed.), Information Fusion in Data Mining, Physica Verlag, Heidelberg. pp. 135-148.

6. *Grabisch, M., Labreuche, C.*, A decade of application of the Choquet and Sugeno integrals in multi-criteria decision aid. 4OR : A Quarterly Journal of Operations Research 6, 1 (2008)

УДК: 519.6

І.В. Бейко, доктор технічних наук,
(Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», Україна)

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ СКЛАДНИМИ ГРАФ-ОПЕРАТОРНИМИ СИСТЕМАМИ

Розвиваються методи розв'язування узагальнених задач оптимального керування граф-операторними системами, які описуються диференціальними та більш складними функціональними алгебро-інтегро-диференціальними рівняннями. За допомогою асимптотично розв'язуючих операторів будуються узагальнені оптимальні розв'язки.

Оптимальним розв'язком узагальненої задачі оптимального керування називають вектор-функцію u, $u:[0;T]\to\Omega\subset R^r$, для якої на траєкторії $x:[0;T]\to R^n$ керованої алгебро-інтегро-диференціальної системи

$$A(x,u)\triangleq f^0(x(t_0),u,\dot{x}(t),x(t),u(t),t,\int\limits_{D(t,u,x)} f^1\left(x(s),u(s),s,x(t),u(t),t\right)ds)=0,$$

досягає максимального значення функціонал $F_0(x,u,t_0,T)$ при обмеженнях $F_i(x,u,t_0,T)\le 0$, $i=\overline{1,m}$, де

$$F_i(x,u,t_0,T)\triangleq B_i^0(x(t_0),x(T),u,\int\limits_{t_0}^{T} B_i^1\left(\dot{x}(t),x(t),u(t),t,\right.$$

$$\left.\int\limits_{t_0}^{t} B_i^2(\dot{x}(s),x(s),u(s),s,\dot{x}(t),x(t),u(t),t)ds\right)dt),\ i=\overline{0,m}.$$

В умовах неперервних по u функцій f^0, f^1, B_i^0, B_i^1, B_i^2, які мають ліпшицеві похідні по змінній x, для широкого класу множин $D(t,u,x)$ в околі допустимих керувань $\overline{u}\in\Omega$ будуються асимптотично-розв'язуючі оператори $\Psi_i(u,\overline{u})$ [1,2], які задовольняють асимптотичну рівність $F_i(x(u),u,t_0,T)=\Psi_i(u,\overline{u})+o(\|u-\overline{u}\|)$ на траєкторіях $x(u)$ системи $A(x,u)=0$. В умовах існування градієнту по змінній u $\nabla_u\Psi_i(\overline{u},\overline{u})$ для функціонала $\Psi_i(u,\overline{u})$ у точці $u=\overline{u}$ існує також і градієнт $\nabla_u F_i(x(u),u,t_0,T)$ по змінній u для функціонала $F_i(x(u),u,t_0,T)$ і при цьому $\nabla_u F_i(x(u),u,t_0,T)=\nabla_u\Psi_i(\overline{u},\overline{u})$. Це дозволяє скористатися для обчислення оптимального керування методами проекції узагальнених градієнтів:

$$\alpha_k=\max\limits_{i=\overline{1,m}} F_i(x(u_k),u_k,t_0,T),$$

$$z_k=\begin{cases}\nabla\Psi_i(u_k,u_k),\ якщо\ F_i(x(u_k),u_k,t_0,T)=\alpha_k,\ \alpha_k>0,\\ \nabla\Psi_0(u_k,u_k),\ якщо\ \alpha_k\le 0,\end{cases}$$

$$u_{k+1}=\arg\min_{u\in\Omega}\|u-u_k+\lambda_k\frac{z_k}{\|z_k\|}\|,\ \lambda_k>0,\ \lim_{k\to\infty}\lambda_k=0,\ \sum_{k=1}^{\infty}\lambda_k=\infty.$$

У частинному випадку задачі оптимального керування системою

$$\dot{x}(t)=f(x(t),u(t),t),\ t\in[t_0,T],\ x(t_0)=x^0\in R^n,$$

за критеріями $F_i(x,u,t_0,T) \triangleq \int_{t_0}^{T} h_i(x(t),u(t),t)dt + g_i(t_0,T,x(t_0),x(T))$ із заданими функціями $f, h_i : R^n \times \Omega \times R \to R^n$ і $g_i : R \times R \times R^n \times R^n \to R,\ i = \overline{0,m}$, та шуканими значеннями $t_0,\ T,\ x(t_0),\ x(T)$, $u : [t_0,T] \to \Omega \subset R^r$, оптимальний розв'язок (x^0,u^0,t_0^0,T^0) задовольняє узагальненому принципу максимуму, який стверджує наступне: якщо функції f, $h_i,\ i = \overline{0,m}$ є неперервними разом із своїми похідними, функції $g_i,\ i = \overline{0,m}$ є неперервно диференційовними, то для нетривіального розв'язку $\psi^0(t)$, $\lambda_0^0 \geq 0$, λ_i^0, $i = \overline{0,m}$ системи

$$\frac{d\psi^0(t)}{dt} = -\psi^0(t) f_x'(x^0(t),u^0(t),t) + \sum_{i=0}^{m} \lambda_i h_{ix}'(x^0(t),u^0(t),t),$$

$$\psi^0(t_0^0) = \sum_{i=0}^{m} \lambda_i^0 g'_{x(t_0)}(t_0,T,x^0(t_0),x^0(T)),$$

$$\psi^0(T^0) = -\sum_{i=0}^{m} \lambda_i^0 g'_{x(T)}(t_0,T,x^0(t_0),x^0(T)),$$

значення оптимального керування $u^0(t)$ то в кожен момент часу $t \in [t_0,T]$ є максимізатором функції $\varphi(u,\psi^0(t),x^0(t),t) \triangleq (\psi^0(t), f(x^0(t),u,t)) - \sum_{i=0}^{m} \lambda_i^0 h_i(x^0(t),u,t)$.

Отже, керування $\overline{u}^0$, яке задовольняє узагальненому принципу максимуму, обчислюється в кожен момент часу $t \in [t_0,T]$ за формулою $\overline{u}^0(t) \triangleq \arg\max_{u \in \Omega} \varphi(u,\psi(t),x(t),t)$,

де $x(t),\psi(t)$ є розв'язком задачі Коші

$$\dot{x}(t) = f(x(t),\overline{u}^0(t),t),\ x(\overline{t}_0) = \overline{x},$$

$$\frac{d\psi(t)}{dt} = -\psi(t) f_x'(x(t),\overline{u}^0(t),t) + \sum_{i=0}^{m} \lambda_i h_{ix}'(x(t),\overline{u}^0(t),t),\ \psi(\overline{t}^0) = \sum_{i=0}^{m} \overline{\lambda}_i^0 g'_{\overline{x}}(\overline{t}_0,\overline{T},\overline{x},\overline{\overline{x}}),$$

для мінімізатора $(\overline{t}_0,\overline{T},\overline{x},\overline{\overline{x}},\overline{\lambda}^0,\overline{\lambda})$ функціонала

$$\overline{F}(\overline{t}_0,\overline{T},\overline{x},\overline{\overline{x}},\overline{\lambda}^0,\overline{\lambda}) \triangleq \| \psi(\overline{T}) - \sum_{i=0}^{m} \overline{\lambda}_i^0 g'_{\overline{x}}(\overline{t}_0,\overline{T},\overline{x},\overline{\overline{x}}) \|^2 + \| x(\overline{T}) - \overline{\overline{x}} \|^2$$

при обмеженнях $\overline{t}_0 < \overline{T}$, $\overline{\lambda}^0 \equiv (\overline{\lambda}_0^0,\overline{\lambda}_1^0,...,\overline{\lambda}_m^0) \geq 0$, $\overline{\lambda} \equiv (\overline{\lambda}_0,\overline{\lambda}_1,...,\overline{\lambda}_m) \neq 0$.

У випадку неопуклої множини $\overline{f}(x,\Omega,t) \triangleq \{v \mid v = f(x,u,t),\ u \in \Omega\}$ оптимального керування $u^0(t)$ може не існувати навіть за умов обмеженої замкнутої множини Ω і гладких функцій f, $h_i,\ i = \overline{0,m}$ та $g_i,\ i = \overline{0,m}$ із ліпшицевими похідними, проте існує і може бути побудований узагальнений оптимальний розв'язок $\tilde{x}$ як максимізатор функціонала $\overline{F}_0(x,t_0,T)$ на множині $\overline{X} \triangleq \{x \mid \frac{dx(t)}{dt} \in cof\,(x(t),\Omega,t),\ t \in [t_0,T]\}$ при обмеженнях $\overline{F}_i(x,t_0,T) \leq 0$, $i = \overline{1,m}$ для функціоналів $F_i(x,t_0,T) \triangleq \int_{t_0}^{T} h_i(x(t),t)dt + g_i(t_0,T,x(t_0),x(T))$. Практично важливою

властивістю узагальненого оптимального розв'язку $\tilde{x}$ є існування для кожного числа $\varepsilon > 0$ допустимого керування $u^{\varepsilon} : [t_0, T] \to \Omega \subset R^r$ та траєкторії x^{ε} задачі Коші

$$\frac{dx^{\varepsilon}(t)}{dt} = f\left(x^{\varepsilon}(t), u^{\varepsilon}\left(t\right), t\right), \ \ t \in [t_0, T], \ \ x^{\varepsilon}(t_0) = x^0 \in R^n,$$

які задовольняють нерівностям $\overline{F}_0(x^{\varepsilon}, t_0, T) \geq \overline{F}_0(\tilde{x}, t_0, T) - \varepsilon$, $\overline{F}_i(x^{\varepsilon}, t_0, T) \leq \varepsilon$, $i = \overline{1, m}$.

Узагальнена задача оптимального керування процесами із розподіленими параметрами формулюється на множині $D \subset [t_1, t_2] \times [s_1^1, s_2^1] \times [s_1^2, s_2^2] \times \ldots \times [s_1^{n_s}, s_2^{n_s}]$ як задача відшукання вектор-функцій $x : D \to R^{n_1}$ та $u : D \to R^{n_2}$, які мінімізують функціонал

$$\overline{f}_0(x,u) \triangleq \iint\limits_D f_0(t,s,u(t,s), F^{f_0}(x,t,s))dtds$$

і на заданих j-параметричних підмножинах $D_j^i(x,u) \subset D$, $j = \overline{1, m+1}$, $i = \overline{1, i_j}$, задовольняють рівнянням

$$\overline{f}_{ij}^k(t,s,x,u) \triangleq f_{ij}^k(t,s,u(t,s), F^{f_{ij}^k}(x,t,s)) = 0, \ \ (t,s) \in D_j^i(x,u), \ k = \overline{1, k_{ij}},$$

та нерівностям

$$\overline{g}_{ij}^l(t,s,x,u) \triangleq g_{ij}^l(t,s,u(t,s), F^{g_{ij}^l}(x,t,s)) \leq 0, \ \ (t,s) \in D_j^i(x,u), \ l = \overline{1, l_{ij}},$$

із заданими функціями f_{ij}^k, g_{ij}^l та заданими композиціями $F^{f_{ij}^k}$, $F^{g_{ij}^l}$ операторів F_1, F_2 і F_3, де

$$F_1(x,t,s,0) \triangleq \frac{\partial}{\partial t} x(t,s), \ F_1(x,t,s,i) \triangleq \frac{\partial}{\partial s_i} x(t,s), \ \ i = \overline{1, n_s},$$

оператори F_2 визначені на заданих дискретних множинах Ω ($\Omega = \{t^i, s^i\}_{i=1}^{n_\Omega}$, $\Omega(t) = \{t^i(t), s^i(t)\}_{i=1}^{n_\Omega}$, $\Omega(x,t,s) = \{t^i(x,t,s), s^i(x,t,s)\}_{i=1}^{n_\Omega}$)

$$F_2(x,t,s,\Omega,\overline{F}_1,i) \triangleq (\overline{F}_1(x, t + t^i(x,t,s), s + s^i(x,t,s))), \ \ i = \overline{1, n_\Omega},$$

а F_3 є оператором інтегрування на підмножинах $\tilde{\Omega}(t,s,x,u) \subset D$, визначеним заданою функцією φ,

$$F_3(x,u,t,s,\varphi,\tilde{\Omega}(t,s,x,u),\overline{F}_1) \triangleq$$

$$\triangleq \iint\limits_{\tilde{\Omega}(t,s,x,u)} \varphi(t,s,\overline{F}_1^x(x,t+\tau,s+\sigma), \overline{F}_1^u(u,t+\tau,s+\sigma))d\tau d\sigma,$$

За допомогою множин $\Omega(\alpha)$ тих функцій (x,u), які при $\overline{h}_{ij}^k \triangleq -\overline{f}_{ij}^k$ для всіх $j = \overline{0, m+1}$, $i = \overline{1, i_j}$ задовольняють нерівності $\overline{f}_{ij}^k(t,s,x,u) \leq \alpha_k$, $\overline{h}_{ij}^k(t,s,x,u) \leq \alpha_k$, $(t,s) \in D_j^i(x,u)$, $k = \overline{1, k_{ij}}$, $\overline{g}_{ij}^l(t,s,x,u) \leq 0$, $(t,s) \in D_j^i(x,u)$, $l = \overline{1, l_{ij}}$, узагальнений розв'язок узагальненої задачі оптимізації визначається як послідовність $\{(x_r, u_r)\}_{r=1}^{\infty} \in \Omega(\alpha_r)$, для якої виконуються нерівності $f_0(x_r, u_r) \leq \inf\limits_{(x,u) \in \Omega(\alpha_r)} f_0(x,u) + \alpha_r$ на деякій монотонно спадній збіжній послідовності

$\alpha_r \to 0$. Побудова узагальненого розв'язку чисельними методами [1,2] здійснюється у вкладених множинах $X^{n_x(r)} \subset X^{n_x(r)+1}$, $U^{n_u(r)} \subset U^{n_u(r)+1}$ параметричних функцій

$$(x_{n_x(r)}(p_r,t,s), u_{n_u(r)}(q_r,t,s)) \in X^{n_x(r)} \times U^{n_u(r)},$$

для при кожному $\alpha > 0$ існує число r, для якого параметри p_r, q_r задовольняють нерівностям

$$\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{f}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)) \le \alpha, k = \overline{1,k_{ij}}$$

$$\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{h}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_k,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_k,\cdot,\cdot)) \le \alpha, k = \overline{1,k_{ij}},$$

$$\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{g}_{ij}^l(t,s,x_{n_x(r)}(p_k,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_k,\cdot,\cdot)) \le 0, \ l = \overline{1,l_{ij}},$$

$$f_0(x_{n_x(r)}(p_k,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_k,\cdot,\cdot)) \le \inf_{(x,u)\in\Omega(\alpha)} f_0(x,u) + \alpha.$$

Теорема. *Якщо для вибраних послідовностей вкладених множин X^r, U^r, $r = \overline{1,\infty}$, для опуклих по (p,q) функціоналів $f_0(x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot))$, $\overline{g}_{ij}^k(t,s,x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot))$ та лінійних по (p,q) функціоналів $\overline{f}_{ij}^k(t,s,x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot))$, $k = \overline{1,k_{ij}}$ при кожному $\alpha > 0$ знайдеться таке число r, для якого множина параметрів $p \in R^r$ і $q \in R^r$, які задовольняють нерівності*

$$\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{f}_{ij}^k(t,s,x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot)) \le \alpha, k = \overline{1,k_{ij}},$$

$$\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{h}_{ij}^k(t,s,x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot)) \le \alpha, k = \overline{1,k_{ij}},$$

$$\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{g}_{ij}^k(t,s,x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot)) \le \alpha, l = \overline{1,l_{ij}},$$

$$f_0(x_r(p,\cdot,\cdot), u_r(q,\cdot,\cdot)) \le \inf_{(x,u)\in\Omega(\alpha)} f_0(x,u) + \alpha,$$

має відкриту підмножину, то узагальнений розв'язок міститься у послідовності $\{x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)\}_{r=2}^{\infty}$, обчисленій за формулами:

$$p_{r+1} = p_r - h_r v_r / \| v_r \|, \ q_{r+1} = q_r - h_r w_r / \| w_r \|,$$

$$(v_r, w_r) = \begin{cases} \overline{\nabla}_{(p,q)} \overline{f}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)), \text{ якщо} \\ \qquad \overline{f}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)) = z, \\ \overline{\nabla}_{(p,q)} \overline{h}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)), \text{ якщо} \\ \qquad \overline{h}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)) = z, \\ \overline{\nabla}_{(p,q)} \overline{g}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)), \text{ якщо} \\ \qquad \overline{g}_{ij}^k(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)) = z, \\ \overline{\nabla}_{(p,q)} f_0(x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot), u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)), \qquad \text{якщо } z \le 0, \end{cases}$$

$$z = \max\{\max_{j=0,m+1}\max_{i=1,i_j}\max_{k=1,k_{ij}}\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{f}_{ij}^{k}(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot),u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)),$$

$$\max_{j=0,m+1}\max_{i=1,i_j}\max_{k=1,k_{ij}}\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{h}_{ij}^{k}(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot),u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot)),$$

$$\max_{j=0,m+1}\max_{i=1,i_j}\max_{k=1,k_{ij}}\max_{(t,s)\in D_j^i(x,u)} \overline{g}_{ij}^{k}(t,s,x_{n_x(r)}(p_r,\cdot,\cdot),u_{n_u(r)}(q_r,\cdot,\cdot))\},$$

$$\lim_{r\to\infty} h_r = 0,\ \lim_{r\to\infty} n_x(r) = \infty,\ \lim_{r\to\infty} n_u(r) = \infty,\ \sum_{r=1}^{\infty} h_r = \infty,\ h_r > 0.$$

Висновки

За допомогою асимптотично розв'язуючих операторів для узагальнених задач оптимального керування будуються градієнти тих функціоналів, якими визначаються критерії оптимальності, і на цій основі побудовано квазіградієнтні методи для обчислення узагальнених оптимальних розв'язків.

Список літератури

1. *Бейко І.В.* Розвиток методів розв'язуючих та асимптотично-розв'язуючих операторів для побудови оптимальних та асимптотично-оптимальних математичних моделей// Вісник Київського університету. Серія: Кібернетика. – 2002. - Вип.3.- С. 10-15.

2. *Бейко И.В., Бейко М.Ф.* К численному построению оптимальных управлений //Моделирование нестационарных процессов. – К.: ИМ АН УССР, 1988. – С. 173-190.

УДК: 519.712.1

Н.Р. Юничева , кандидат технических наук
(Академия Гражданской Авиации, Республика Казахстан)

УСЛОВИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В статье представлена процедура исследования свойства асимптотической устойчивости сложной замкнутой системы управления на основе использования неравенств Брауэра, полученных ранее для оценки устойчивости точечных систем.

Современный этап теории управления сложными динамическими объектами, функционирующими в условиях неопределенности требует развития новых концепций и принципов построения интеллектуальных систем управления подобным классом объектов.

Разработка данных концепций и принципов осуществляется в нескольких основных направлениях: на основе технологии экспертных систем, на основе нейросетевых структур и теории нечетких множеств и систем [1].

Наиболее актуальными и перспективными для изучения вышеуказанного класса систем, с учетом особенностей работы алгоритмов реального времени в условиях неопределенности, являются нечеткие методы.

Представление ряда ограничений на параметры как нечетких или интервальных дает возможность получать устойчивое решение в условиях погрешности информации и нечеткости производственных ограничений т.е. в виде функций принадлежности.

Постановка задачи в нечеткой форме также значительно снижает возможность получения несовместимых решений при расчете систем.

Для операций над носителями нечетких множеств можно воспользоваться алгебраическими операциями интервального анализа, широко развитого в последние десятилетия.

Постановка задачи

Рассмотрим нечеткую замкнутую систему управления, математическая модель которой в пространстве состояний представляется следующим образом:

$$\dot{X}(t) = \mathbf{D}X(t), \tag{1}$$

где $\mathbf{D} \in M_{n,n}(I(R))$, $\mathbf{D} = \{[d_{ij}], i,j = \overline{1,n}\}$, $[d_{ij}] = [\underline{d_{ij}}; \overline{d_{ij}}]$, $i,j = \overline{1,n}$ — вещественная интервальная матрица замкнутой системы управления, $M_{n,n}(I(R))$ — множества матриц, элементами которых являются вещественные интервалы $[\underline{a}, \overline{a}] \stackrel{\Delta}{=} \{a \in R \wedge \underline{a} \le a \le \overline{a}\}$; $I(R)$ - множества всех вещественных интервалов; $X(t) \in R^n$ - вектор состояний. При этом желаемый интервальный характеристический полином определяется следующим образом:

$$[d(\lambda)] = \mathbf{det}(\lambda E - \mathbf{D}) = \lambda^n + [d_1]\lambda^{n-1} + [d_2]\lambda^{n-2} + \cdots + [d_n], \tag{2}$$

где E - единичная матрица; $[d_i] = [\underline{d_i}, \overline{d_i}]$, $i = \overline{1,n}$ - интервальные коэффициенты характеристического полинома замкнутой системы управления. Как отмечалось выше, система уравнений (1) является нечеткой. Поэтому для исследования динамических свойств данной системы потребуется исследование динамических свойств целого семейства точечных систем. Рассмотрим заданную матрицу $\mathbf{D}$ замкнутой системы управления (1).

Пусть D - точечная матрица такая, что $D \in \mathbf{D}$. Для проведения дальнейших рассуждений воспользуемся следующими определениями:

Определение 1. Нечеткая матрица $\mathbf{D}$ замкнутой системы управления вида (1) асимптотически устойчива, если асимптотически устойчивы все точечные матрицы $D \in \mathbf{D}$.

Как известно [2] , характеристическое уравнение матрицы $D \in \mathbf{D}$ представляется следующим образом:

$$\det(D - \lambda E = 0) \tag{3}$$

Тогда, для нечеткой матрицы $\mathbf{D}$ имеет следующее определение:

Определение 2. Семейство характеристических уравнений для всех точечных матриц $D \in \mathbf{D}$ называется характеристическим уравнением нечеткой матрицы $\mathbf{D}$ и формально записывается в следующем виде:

$$\det(\mathbf{D} - \lambda E = 0) \tag{4}$$

Предположим, что матрица $D \in \mathbf{D}$ асимптотически устойчива и все ее собственные значения $\lambda_i(D), i = \overline{1,n}$ локализованы в круге единичного радиуса R в левой части плоскости комплексного переменного λ.

Для получения матричного критерия асимптотической устойчивости воспользуемся известным дробно- линейным преобразованием [5] следующего вида:

$$\rho = \frac{\lambda}{R} + 1 \tag{5}$$

Данное преобразование позволяет перевести круг заданного радиуса R в левой части плоскости комплексного переменного λ, в единичный круг с центром в начале координат плоскости комплексного переменного ρ. Значение $\lambda = (\rho - 1)R$ из (5) подставим в (3), опуская промежуточные вычисления, получим:

$$\det(F - \rho I = 0) \tag{6}$$

где $\mathbf{F} = \frac{\mathbf{D}}{R} + E$ - преобразованная матрица, собственные значения которой расположены в круге единичного радиуса.

Как известно [6], если $\rho_i(F), i = \overline{1,n}$ являются собственными значениями матрицы F, то собственными значениями матрицы F^k будут числа $(\rho_i(F))^k$. Следовательно, если матрица $D \in \mathbf{D}$ замкнутой системы управления устойчива, то последовательное возведение матрицы F в k–ую степень позволяет уменьшить абсолютную величину собственных значений $(\rho_i(F))^k$, так как все $\rho_i(F), i = \overline{1,n}$ локализованы внутри круга единичного радиуса и по модулю меньше единицы

$$|\rho_i(F)| < 1, i = \overline{1,n} \tag{7}$$

Таким образом, для асимптотической устойчивости матрицы $D \in \mathbf{D}$, необходимо и достаточно, чтобы неравенство (7) имело силу. Выполнимость необходимого и достаточного условия (7) устанавливается по $F^k \to 0$. Окончательно критерий асимптотической устойчивости можно сформулировать следующим образом:

Для того, чтобы матрица $D \in \mathbf{D}$ замкнутой системы управления была асимптотически устойчива, необходимо и достаточно, чтобы преобразованная матрица F^k стремилась к нулевой при $k \to 0$.

Нечетким (интервальным) аналогом точечной матрицы F является матрица следующего вида:

$$\mathbf{F} = \frac{\mathbf{D}}{R} + E \tag{8}$$

где $\mathbf{F} = \left[f_{ij} \right] = \left\lfloor \underline{f_{ij}}, \overline{f_{ij}} \right\rfloor$.

Аналогично рассмотренному случаю для точечной матрицы F сформулируем последовательность k степеней матрицы $\mathbf{F}$. Для асимптотической устойчивости интервальной матрицы $\mathbf{D}$ замкнутой системы управления необходимо и достаточно, чтобы нижние $\underline{f_{ij}}$ и верхние $\overline{f_{ij}}$ границы всех элементов $\left[f_{ij} \right]^k, i, j = \overline{1,n}$ одновременно стремились к нулю.

Возникает вопрос, можно ли установить факт устойчивости без возведения преобразованной матрицы в степень. Вследствие того, что возведение в степень матриц высоких порядков представляется трудоемкой процедурой, для установления факта асимптотической устойчивости возможно использование так называемых неравенств Брауэра.

Брауэр в своей работе [2] представил достаточные условия для случая, когда все собственные значения вещественной матрицы F лежат внутри круга единичного радиуса с центром в начале координат.

Для полученной выше вещественной матрицы преобразования F, определяются следующие числа

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} \left| f_{ij} \right|, i = \overline{1,n} \tag{9}$$

Согласно Брауэру, если F – квадратная матрица порядка n с вещественными элементами и если среди чисел R_i хотя бы одно, например, $R_1 \geq 1$ и вместе с тем $f_{11} < 1$, кроме того, выполняется условие

$$R_1 - \left| f_{11} \right| < \frac{1 - \left| f_{11} - f_{ii} \right| + f_{11} \cdot f_{ii}}{R_i - \left| f_{ii} \right|}, \tag{10}$$

для всех i, для которых

$$R_1 > \left| f_{ii} \right|, \tag{11}$$

то все собственные значения ρ_i матрицы F расположены внутри единичного круга с центром в начале координат.

Доказательство этой теоремы представлено в работе [4].

Если все неравенства Брауэра выполняются, то можно утверждать, что собственные значения $\rho_i, i = \overline{1,n}$ преобразованной матрицы коэффициентов F лежат внутри круга единичного радиуса с центром в начале координат и система асимптотически устойчива.

Если хотя бы одно из неравенств Брауэра не выполняется, вопрос об устойчивости должен быть исследован дополнительно путем изучения последовательных степеней матриц $F^2, F^4, \cdots, F^k$.

В предлагаемой работе получено развитие методики Брауэра на случай интервальных матриц.

Введем в рассмотрение вещественную матрицу Q с элементами (q_{ij}), $i, j = \overline{1,n}$:

$$q_{ij} = |\mathbf{F}| = \left| \left[f_{ij} \right] \right| = \max \left| \underline{f_{ij}} \right|, \left| \overline{f_{ij}} \right| \tag{12}$$

Тогда, выражение (9) представится следующим образом:

$$R_i = \sum_{j=1}^{n} \left| q_{ij} \right|, i = \overline{1,n} \tag{13}$$

А условие (10) приобретает вид:

$$R_1 - |q_{11}| < \frac{1 - |q_{11} - q_{ii}| + q_{11} \cdot q_{ii}}{R_i - |q_{ii}|}, \tag{14}$$

Если все неравенства Брауэра выполняются, то можно утверждать, что все собственные значения $\rho_i, i = \overline{1,n}$ преобразованной интервальной матрицы коэффициентов $\mathbf{F}$ лежат внутри круга единичного радиуса с центром в начале координат и система асимптотически устойчива.

Если хотя бы одно из неравенств Брауэра не выполняется, то вопрос устойчивости возможно исследовать дополнительно путем изучения последовательных степеней матриц * $\mathbf{F^2}$, * $\mathbf{F^4}$, …., $\mathbf{F^k}$. Данная процедура подробно рассмотрена в статье [5].

Список литературы

1. Ярушкина Н.Г. Основы теории нечетких и гибридных систем. Учебное пособие. Финансы и статистика, 2004.- 320с.

2. Brauer A. Matrices with all their characteristic roots in the interior of the unit circle. J. Elisha Mitchell Sec. Soc., 68 (1972), 180-185.

3. Чернецкий В.И., Дидук Г.А., Потапенко А.А. Математические методы и алгоритмы исследования САУ. Л.: Энергия, 1970. -375 с.

4. Карпелевич Ф.И. О характеристических корнях матрицы с неотрицательными элементами. ИАН СССР, серия 15, 1951, - 132 с.

5. Юничева Н.Р. Исследование динамических свойств дискретных интервальных замкнутых систем управления // Вестник Национальной инженерной академии РК, №2(20), 2006.С.32-37.

Т.И. Шурдукова (МГТУ ГА, Россия)

СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АПРИОРНОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ СИТУАЦИЕЙ

Рассматриваются теории, модели и подходы, описывающие специфические особенности операторского труда

В настоящее время термин «управление экстремальной ситуацией» является дискуссионным. В общем случае высказываются два мнения. Первое – управлять экстремальной ситуацией невозможно, можно управлять только риском возникновения экстремальной ситуации. Второе – управление риском возникновения экстремальной ситуации является составной частью управления экстремальной ситуацией. Существует также мнение, что управление риском возникновения экстремальной ситуации и управление экстремальной ситуацией – это один и тот же процесс.

Существует множество теорий, моделей и подходов к изучению специфических особенностей операторского труда, среди которых можно выделить наиболее близкие к сущности изучаемой проблемы:

- имитационные,
- информационные,
- информационно-процессуальные
- корреляционные.

Имитационные модели служат хорошим началом инженерно-психологического анализа. Примером может служить модель, разработанная Зигелем и Вольфом. Разделив относительно небольшой, но важный участок трудового процесса на отдельные задачи, определив приоритеты между ними и установив время выполнения каждой — все это делается с помощью опытных специалистов-операторов — задавшись функцией, определяющей зависимость точности и скорости выполнения задачи от индивидуальных особенностей оператора, авторы сумели с достаточно высокой точностью предсказать статистические результаты реальных испытаний, таких как посадка самолета на авианосец, дозаправка в воздухе, воздушный перехват. Модель учитывает гибкость, характерную для опытного специалиста: темп труда зависит от обстоятельств — в сложной обстановке время, которое тратит оператор на одну задачу, может быть сокращено вдвое по сравнению с периодом спокойного, нормального труда. Вместе с тем возрастает и испытываемое напряжение, однако, до некоторого предела, после которого скорость выполнения работы резко снижается. Модель позволяет учесть возможность оператора сократить время на одну задачу за счет резервов групповой деятельности: сплоченности и т.д. Таким образом, происходит процесс моделирования синхронизации, которая типична для любого труда — замедляя или ускоряя действия, оператор добивается совпадения во времени различных событий трудового процесса [1].

Информационные и информационно-процессуальные модели. Среди данных видов моделей наибольшее распространение получила широки известная модель Шеннона, определяющая информацию как меру неопределенности сигнала. Информация, которую несет сигнал, зависит от его вероятности: наибольшую информацию несут наиболее редкие из случайных сигналов; сигналы, которые не случайны, не несут никакой информации. Модель Шеннона была использована для моделирования процессов в канале связи между источником и приемником информации. Канал характеризуется ограниченной пропускной способностью: при прохождении через канал часть информации теряется [2]. В работах по измерению времени реакции на сигналы, несущие разные количества информации, было установлено, что время реакции возрастает с увеличением неопределенности сигнала.

В последующих работах основное внимание было сконцентрировано на качественном изучении этапов преобразования информации. Это направление получило название анализ преобразований информации или информационно-процессуальный подход. Это направление в свое время было принято как основное в описании труда человека за пультом управления. Анализ преобразований информации оператором предполагает предварительное выделение отдельного поведенческого акта или технологической операции. Основные черты выделенного акта воспроизводятся в лабораторных условиях, а затем подвергаются анатомическому исследованию, цель которых - расчленить целый процесс на отдельные части, измерить время выполнения преобразований в каждой из них, определить характер самих преобразований. Модель целостного процесса позволяет проводить дальнейшие психологические исследования или может быть использована в ходе проектирования или модификации системы «человек-машина».

Корреляционные модели. Факторные, кластерные и другие модели позволяют изучить связи между характеристиками субъекта и успешностью трудового процесса. В настоящее время такие модели применяются многими авторами. В кандидатской работе К.В. Осетрова были построены корреляционная и факторная модели при изучении профессиональной устойчивости операторов — авиадиспетчеров и членов летных экипажей (пилотов, штурманов, бортмехаников) [3]. В работе, проведенной Ю.К. Стрелковым совместно с Е.Ю. Артемьевой и Л.Н. Лучко, была предпринята попытка построить модель связей между тремя составляющими профессионального действия штурманов и пилотов. Применение клайк-анализа позволило выявить различия между штурманами и пилотами. Статистические методы позволяют строить целостные модели, определять связи между разнообразными показателями [4].

Способы управления поведением человека важны, поскольку их необходимо знать для выявления человеческих ошибок. Ошибка в человеческом действии может быть прямо установлена только в том случае, если имеется четкое предварительное описание той последовательности операций, которую должен выполнить человек. Однако чаще задаются только нормативные цели или результат действия, в то время как неудачное действия, исправленное на промежуточных этапах самим оператором не считается ошибочным. Следовательно, ситуация может привести к ошибке, когда норма, по которой можно сделать вывод о правильности поведения в ситуации, не управляет поведением, например, когда об управляемом целью поведении судят на основании нормативной процедуры, которая фактически отсутствует. Поэтому различные способы управления поведением человека очень важны для рассмотрения критериев разработки проекта устойчивости к ошибкам, который разработал Й. Расмуссен.

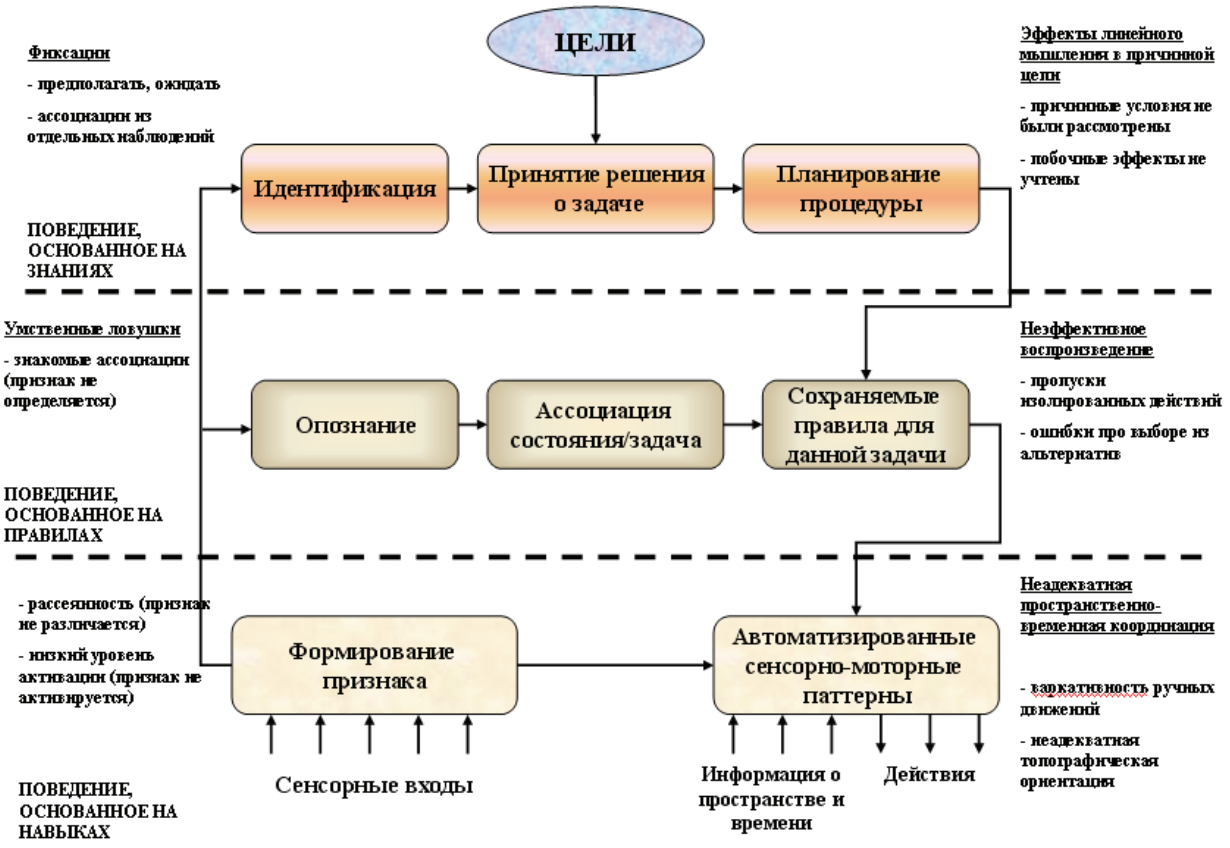


Рис. 1. Схематическая иллюстрация категорий человеческих информационных процессов и типичные ошибки

Как видно из рис. 1, для настоящего контекста уместно рассмотреть три уровня управления поведением человека:

1. Управляемый сенсо-моторный паттерн и автоматизмы поведения. Поведение управляется структурой адаптивных паттернов, сохраняемых в нервной системе. Это означает, что поведение подчиняется физиологическим законам, которые управляют структурой информационного процесса — в результате чего понятие ошибки теряет смысл. Неадекватное поведение можно объяснить только такими изменениями во внешнем мире, которые приводят к несоответствию со структурой, хранящейся в памяти человека.

2. Определяемое правилами целенаправленное поведение. Это поведение типично для относительно редких задач, возникающих в знакомой трудовой обстановке. Заученная последовательность действий или стандартных операций управляется правилами, сохраняемыми в памяти человека: они связывают состояние окружения со знакомыми действиями. В этом случае нельзя утверждать, что поведение прямо управляется целью, хотя при несоответствии конечных состояний заданной цели следует коррекция ошибок на основе обратных связей, управляемых целью, при условии, что эффекты ошибок доступны наблюдению и обратимы.

3. Поведение, управляемое целью и основанное на знаниях. Это уровень «умного» решения задачи, который и объясняет присутствие оператора на автоматизированном производстве. Поведение оператора запускается незнакомыми событиями в системе: требуется участие оператора. Структура его деятельности состоит в том, чтобы оценить ситуацию и спланировать подходящую последовательность целенаправленных действий, и зависит от знаний о процессах, функциях и анатомической структуре системы [5].

Анализируя причины человеческих ошибок, необходимо учитывать возможность

формирования оператором двигательных стандартных подпрограмм для управления системой. Когда оператор сам задает себе инструкции, контроль его деятельности опускается с уровня 3 на уровень 2, а затем на уровень 1, и с уровня 2 - на уровень 1, когда он действует под руководством инструктора или имеется заранее определенная и письменно заданная процедура. Это приводит к тому, что событие, которое на ранних стадиях обучения еще можно называть ошибкой, не может считаться таковым, когда оператором уже выработаны и хорошо заучены стандартные подпрограммы двигательных действий.

Исходя из вышеизложенного, под **управлением экстремальной ситуацией** понимается процесс по постоянной целенаправленной деятельности по реализации наилучшего из возможных способов уменьшения рисков возникновения экстремальной ситуации до уровня, который общество считает приемлемым, исходя из существующих ограничений на ресурсы и время. В общем случае этот процесс можно условно разделить на 6 этапов (рис. 2). 1 и 6 этапы связываются техническим объектом или участком окружающей среды, где происходит процесс непосредственного формирования угрозы возникновения экстремальной ситуации.

Рис. 2. Модель управления экстремальной ситуацией (общий случай)

Каждый из представленных на рис. 2 этапов представляет во многом субъективный процесс, в ходе которого учитываются не только количественные показатели, но и факторы, не поддающиеся формализации. Тем не менее, эта обобщенная модель позволяет объединить многообразие видов производственной деятельности в гражданской авиации для разработки четкого алгоритма выработки управленческих решений.

Список литературы

1. **Зигель А., Вольф Д.** Модели группового поведения в системе «человек-машина» с учетом психосоциальных и производственных факторов. – М.: Мир, 1973.
2. **Шеннон К.** Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963.
3. **Осетров К.В.** Структура психологической устойчивости оператора Дис. канд. психол. наук.- М.: МГУ, 1987.
4. **Стрелков Ю. К.** Инженерная и профессиональная психология. М.: Академия, 2005.
5. **Леонова А.Б., Чернышова О.Н.** Психология труда и организационная психология: Современное состояние и перспективы развития. Хрестоматия: Расмуссен Дж. «Что можно узнать, изучая ошибки людей?». М.: Радикс, 1995.

УДК 519.872

А.З.Меликов, член-корр. НАНА, доктор технических наук, профессор
(Национальная Академия Авиации, Азербайджан)

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СОТОВЫХ СЕТЕЙ С ОЧЕРЕДЯМИ

Разработаны алгоритмы расчета показателей качества обслуживания разнотипных вызовов в беспроводных сетях святи с очередями разнотипных вызовов. Предполагается, что вызовы в очереди являются нетерпеливыми. Приводятся результаты численных экспериментов.

В беспроводных сотовых сетях связи (БССС) для того, чтобы уменьшить вероятности потери новых (*o*-вызовы) и хэндовер вызовов (*h*-вызовы) используются различные стратегии доступа в радиоканалы базовых станций (БС) и/или организуются буферные накопители для ожидания разнотипных вызовов. Поскольку *h*-вызовы являются более чувствительными к возможным потерям и задержкам, чем *o*-вызовы, то предложенные схемы зачастую подразумевают использование резервных каналов для *h*-вызовов и/или организацию лишь их очереди в базовой станции. Организацию очереди *h*-вызовов можно реализовать в сетях, где микросоты покрываются некоторой макросотой, т.е. имеется некоторая зона (хэндовер зона), внутри которой мобильный пользователь (МП) может обслуживаться в любой из соседних сот [1]-[3]. Следует отметить, что с целью компенсации шансов *o*-вызовов в некоторых сетях организуются буфера и для этого типа вызовов [4]-[6]. Очевидно, что такая схема позволяет увеличить общую пропускную способность сети.

С практической точки зрения наибольший интерес представляют модели сетей с буферными накопителями для обоих типов вызовов. Модель с ограниченными буферами была исследована в работе [7]. Однако предложенный в этой работе подход позволяет исследовать только модели с малыми размерами буферных накопителей. В связи с этим в настоящей работе предлагается подход к исследованию моделей БССС с произвольными размерами буферных накопителей, а также модели с бесконечными буферными накопителями.

Рассматривается модель изолированной соты беспроводной сети, базовая станция которой содержит $N > 1$ радиоканалов. Предполагается, что *o*-вызовы (*h*-вызовы) поступают согласно закону Пуассона с интенсивностью λ_o (λ_h), а время занятия канала вызовами любого типа является показательно распределенной случайной величиной со средним μ^{-1}. Обслуживание разнотипных вызовов осуществляется по схеме резервирования каналов для *h*-вызовов, т.е. поступивший *o*-вызов принимается лишь тогда, когда число свободных радиоканалов БС больше g, $0 \le g \le N$-1. В противном случае *o*-вызов присоединяется к очереди, если число таких вызовов в соответствующем буфере не превышает заданной величины R_o, где $0 < R_o < \infty$; иначе поступивший *o*-вызов блокируется. Хэндовер вызов принимается при наличии хотя бы одного свободного канала. В противном случае *h*-вызов присоединяется к очереди, если число таких вызовов в соответствующем буфере не превышает величины R_h, где $0 < R_h < \infty$; иначе поступивший *h*-вызов блокируется.

Здесь исследуются модели с нетерпеливыми *o*-вызовами. Это означает, что *o*-вызов может покинуть очередь до начало процесса обслуживания, если время его ожидания в буфере превышает некоторую случайную величину с конечным средним τ_o^{-1}. Аналогичным образом, *h*-вызов может покинуть очередь до начало процесса обслуживания, если время его деградации (т.е. интервал времени, за которое он пересекает зону хэндовер) превышает некоторую случайную величину с конечным средним τ_h^{-1}. Предполагается, что указанные случайные величины независимы друг от друга и одинаково распределены согласно показательному закону.

Для краткости изложения здесь рассмотрим модель с ограниченными очередями разнотипных вызовов. Состояние соты в произвольный момент времени описывается двумерным вектором $\boldsymbol{k}=(k_1, k_2)$, где k_1 означает суммарное число занятых каналов и *h*-

вызовов в очереди, а k_2 – число *o*-вызовов в очереди. Тогда фазовое пространство состояний (ФПС) системы определяется следующим образом:

$$S = \bigcup_{i=0}^{R_o} S_i \ , \tag{1}$$

где $S_0 := \{\boldsymbol{k} : k_1 = 0,1,...,N+R_h; k_2 = 0\}$; $S_i := \{\boldsymbol{k} : k_1 = N-g, N-g+1,...,N+R_h; k_2 = i\}, i \geq 1$.

Интенсивность перехода $\boldsymbol{k} \to \boldsymbol{k'}$, где $\boldsymbol{k}, \boldsymbol{k'} \in S$, обозначается через $q(\boldsymbol{k}, \boldsymbol{k'})$. Тогда имеем

$$q(\boldsymbol{k},\boldsymbol{k'}) = \begin{cases} \lambda_o + \lambda_h, & \text{если } k_1 \leq N-g-1, k_2 = 0, \boldsymbol{k'} = \boldsymbol{k} + \boldsymbol{e}_1, \\ \lambda_o, & \text{если } k_1 \geq N-g, \boldsymbol{k'} = \boldsymbol{k} + \boldsymbol{e}_2, \\ \lambda_h, & \text{если } k_1 \geq N-g, \boldsymbol{k'} = \boldsymbol{k} + \boldsymbol{e}_1, \\ f(k_1)\mu + (k_1 - N)^+ \tau_h, & \text{если } \boldsymbol{k'} = \boldsymbol{k} - \boldsymbol{e}_1, \\ (N-g)\mu\delta(k_1, N-g) + k_2\tau_o, & \text{если } \boldsymbol{k'} = \boldsymbol{k} - \boldsymbol{e}_2, \\ 0 & \text{в других случаях.} \end{cases} \tag{2}$$

Здесь и в дальнейшем приняты следующие обозначения: $\boldsymbol{e}_1 = (1, 0)$, $\boldsymbol{e}_2 = (0,1)$, $f(x) = min(x, N)$, $x^+ = \max(0, x)$, $\delta(i, j)$ – символы Кронекера. Стационарная вероятность состояния $\boldsymbol{k} \in S$ обозначается через $p(\boldsymbol{k})$. Тогда среднее число *o*-вызовов (L_o) и *h*-вызовов (L_h) в очереди определяются как соответствующие маргинальные распределения исходной цепи:

$$L_o = \sum_{k_2=1}^{R_o} k_2 \sum_{k_1=N-g}^{N+R_h} p(k_1, k_2), \tag{3}$$

$$L_h = \sum_{k_1=N+1}^{N+R_h} (k_1 - N) \sum_{k_2=0}^{R_o} p(k_1, k_2), \tag{4}$$

Вероятность потери *o*-вызовов определяется так:

$$P_o = \sum_{k_1=N-g}^{N+R_h} p(k_1, R_o) + \frac{1}{\lambda_o} \sum_{k_2=1}^{R_o} k_2 \tau_o \sum_{k_1=N-g}^{N+R_h} p(k_1, k_2). \tag{5}$$

Аналогичным образом находим, что вероятность потери *h*-вызовов определяется так:

$$P_h = \sum_{k_2=0}^{R_o} p(N+R_h, k_2) + \frac{1}{\lambda_h} \sum_{k_1=N+1}^{N+R_h} (k_1 - N)\tau_h \sum_{k_2=0}^{R_o} p(k_1, k_2). \tag{6}$$

Отметим, что из-за своего комбинаторного характера разработанный в [7] алгоритм является эффективным лишь при малых значениях R_o и R_h, и оказывается совсем непригодным даже при их умеренных значениях. В связи с этим для преодоления отмеченных трудностей здесь предлагается использовать приближенный метод, основанный на принципах фазового укрупнения состояний двумерных цепей Маркова [8].

Множества S_i объединяются в отдельные укрупненные состояния $<i>$, и вводится следующая функция укрупнения с областью определения (1):

$$U(\boldsymbol{k}) = <i>, \text{ если } \boldsymbol{k} \in S_i, \ i = 0,1,2,.... \tag{7}$$

Функция укрупнения (7) определяет укрупненную модель, которая является одномерной ЦМ с конечным фазовым пространством состояний $\widetilde{S} := \{< i >: \ i = 0,1,2,..., R_o\}$. Расщепленная модель с пространством состояний S_0 описывается одномерным процессом размножения и гибели, параметры которого определяются из (2). Стационарное распределение вероятностей состояний этой модели обозначается через $\rho_0(i)$, $i = 0,1,\ldots, N + R_h$. Тогда имеем:

$$\rho_0(i)=\begin{cases}\dfrac{\nu^i}{i!}\cdot\rho_0(0), & 1\le i\le N-g,\\ \left(\dfrac{\nu}{\nu_h}\right)^{N-g}\cdot\dfrac{\nu_h^i}{i!}\cdot\rho_0(0), & N-g+1\le i\le N,\\ \dfrac{\nu^{N-g}}{N!}\cdot\nu_h^g\cdot\prod\limits_{j=N+1}^{i}\dfrac{\lambda_h}{N\mu+(j-N)\tau_h}\cdot\rho_0(0), & N+1\le i\le N+R_h,\end{cases} \tag{8}$$

где $\nu:=\nu_o+\nu_h$, $\rho_0(0)=\left(\sum\limits_{i=0}^{N-g}\dfrac{\nu^i}{i!}+\left(\dfrac{\nu}{\nu_h}\right)^{N-g}\cdot\sum\limits_{i=N-g+1}^{N}\dfrac{\nu_h^i}{i!}+\dfrac{\nu^{N-g}}{N!}\cdot\nu_h^g\cdot\sum\limits_{j=N+1}^{N+R_h}\prod\limits_{i=N+1}^{j}\dfrac{\lambda_h}{N\mu+(i-N)\tau_h}\right)^{-1}$.

Расщепленные модели с пространством состояний S_i представляют собой идентичные для всех $i \ge 1$ процессы размножения и гибели. Их стационарные распределения определяются так:

$$\rho(j)=\begin{cases}\dfrac{\nu_h{}^j}{j!}\cdot\dfrac{(N-g)!}{\nu_h^{N-g}}\cdot\rho(N-g), & N-g+1\le j\le N,\\ \nu_h^g\cdot\dfrac{(N-g)!}{N!}\cdot\prod\limits_{i=N+1}^{j}\dfrac{\lambda_h}{N\mu+(i-N)\tau_h}\cdot\rho(N-g), & N+1\le j\le N+R_h,\end{cases} \tag{9}$$

где $\rho(N-g)=\left(1+\nu_h^g\cdot(N-g)!\left(\sum\limits_{i=N-g+1}^{N}\dfrac{\nu_h^{i-N}}{i!}+\dfrac{1}{N!}\cdot\sum\limits_{j=N+1}^{N+R_h}\prod\limits_{i=N+1}^{j}\dfrac{\lambda_h}{N\mu+(i-N)\tau_h}\right)\right)^{-1}$.

Учитывая (2), (8) и (9) находим, что стационарное распределение $\pi(<j>),<j>\in\widetilde{S}$ укрупненной модели определяется из следующих соотношений:

$$\pi(<j>)=\frac{\widetilde{\lambda}_o\lambda_o^{j-1}}{\prod\limits_{i=1}^{j}q(<i>,<i-1>)}\cdot\pi(<0>),\ j=1,\ldots,R_o, \tag{10}$$

где $\widetilde{\lambda}_o:=\lambda_o\left(1-\sum\limits_{i=0}^{N-g-1}\rho_0(i)\right)$, $\pi(<0>)=\left(1+\widetilde{\lambda}_o\sum\limits_{i=1}^{R_o}\dfrac{\lambda_o^{i-1}}{\prod\limits_{j=1}^{i}q(<i>,<i-1>)}\right)^{-1}$.

С использованием (8)-(10) стационарное распределение вероятностей состояний исходной модели находится согласно алгоритму [8]. Далее с учетом (3)-(6) находим, что искомые показатели QoS определяются так:

$$L_o\approx\sum_{i=1}^{R_o}i\sum_{j=N-g}^{N+R_h}\rho(j)\pi(<i>)=\sum_{i=1}^{R_o}i\,\pi(<i>)\sum_{j=N-g}^{N+R_h}\rho(j)=\sum_{i=1}^{R_o}i\,\pi(i). \tag{11}$$

$$L_h\approx\sum_{i=1}^{R_h}i\left(\rho_0(N+i)\pi(<0>)+\rho(N+i)(1-\pi(<0>))\right). \tag{12}$$

$$P_o\approx\sum_{i=N-g}^{N+R_h}\rho_{R_0}(i)\pi(<R_o>)+\frac{\tau_o}{\lambda_o}\sum_{j=1}^{R_o}j\sum_{i=N-g}^{N+R_h}\rho(i)\pi(<j>)=\pi(<R_o>)+\frac{\tau_o}{\lambda_o}\sum_{j=1}^{R_o}j\pi(<j>). \tag{13}$$

$$\begin{aligned}P_h\approx{}&\rho_0(N+R_h)\pi(<0>)+\rho(N+R_h)(1-\pi(<0>))+\\ &\frac{\tau_h}{\lambda_h}\sum_{i=1}^{R_h}i\left(\rho_0(N+i)\pi(<0>)+\rho(N+i)(1-\pi(<0>))\right).\end{aligned} \tag{14}$$

Выводы

В настоящей статье получены аналитические выражения для приближенного расчета показателей QoS беспроводных сетей микросотовой структуры, в которых допускается наличие конечной и/или бесконечной очереди новых и хэндовер вызовов. При этом предполагается, что длина интервала деградации хэндовер вызовов является случайной величиной с конечным средним значением и новые вызовы в очереди являются нетерпеливыми. Разработанный метод позволяет без особых трудностей за короткое время осуществить анализ подобных сетей. Следует отметить, что он также позволяет решать важные для практики сотовой телефонной связи задачи определения рациональных объемов буферных накопителей и/или числа резервных каналов с целью оптимизации желаемых показателей QoS сети.

Список литературы

1. *Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Babayev A.T.* Numerical method to study mobile cellular wireless networks models with finite queue of h-calls // Journal of Automation and Information Sciences. 2005. Vol.37, No.6. P.1–11.
2. *Melikov A.Z., Ponomarenko L.A., Babayev A.T.* Investigation of cellular network characteristics with limited queue of impatient h- calls // Journal of Automation and Information Sciences. 2006. Vol.38, No.8. P.17–28.
3. *Kim C.S., Melikov A.Z., Ponomarenko L.A.* Two-dimensional models of wireless cellular networks with infinite queues of handover calls // Journal of Automation and Information Sciences. 2007. Vol.39, No.12. P.25–41.
4. *Guerin R.* Queuing-blocking system with two arrival streams and guard channels // IEEE Transactions on Communications. 1988. Vol.36, No.2. P.153–163.
5. *Ro I.S., Melikov A.Z, Ponomarenko L.A, Kim C.S.* Numerical approach to analysis of channel assignment schemes in mobile cellular networks // Journal of Korea Management Engineers Society. 2008. Vol.13, No.2. P.29–39.
6. *Melikov A Z, Velibekov A.M.* Computational procedures for analysis of two channels assignment schemes in wireless cellular networks // Automatic Control and Computer Sciences. 2009. Vol.43, No.2. P.96–103.
7. *Chang C.J., Su T.T., Chiang Y.Y.* Analysis of a cutoff priority cellular radio system with finite queuing and reneging/dropping // IEEE/ACM Transactions on Networking. 1994. Vol.2, No.2. P.166–175.
8. *L.A.Ponomarenko, C.S.Kim, Melikov A.Z.* Performance analysis and optimization of multi-traffic on communication networks. Springer, 2010.

СЕКЦІЯ 20.

МОДЕЛЮВАННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЦІ, ЕЛЕКТРОНІЦІ ТА СВІТЛОТЕХНІЦІ

УДК 004.932.2

О.С. Воронова, к.т.н.
(ВГМКСЕ ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, Україна)

АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕНЬ ПРИ МОНІТОРИНГУ ТА ІМІТАЦІЙНОМУ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОЗВАРЮВАННЯ

Розглядається методи аналізу зображень: виділення зв'язних областей, деякі методи математичної морфології, та їх застосування в задачах спостереження за процесом електрозварювання.

Сучасний рівень розвитку цифрової фото- та відеоапаратури, а також стрімкий розвиток відповідних математичних методів та програмних алгоритмів значно розширюють сферу застосування систем машинного зору: від систем промислового контролю якості до біометричних систем, від технологій обробки документів до створення інтелектуальних робототехнічних комплексів.

Задачами машинного зору прийнято називати ряд математичних та інженерних задач, які пов'язані із фіксацією та інтерпретацією зображень, а також із практичним застосуванням результатів інтерпретації. Слід зазначити, що в загальному випадку задача «розуміння» комп'ютером довільного зображення досі не розв'язана, оскільки спроби створення єдиного формального опису зображень стикаються із занадто великим різноманіттям типів об'єктів для розпізнавання, а також з труднощами перекладу на формальну мову інтуїтивно-асоціативного розуміння зображення людиною. Проте, для багатьох практичних задач загальну проблему можна спростити та звести до більш простих задач пошуку та розпізнавання об'єктів, що задовольняють певному заздалегідь відомому модельному опису або еталонному зображенню. До того ж існує цілий ряд алгоритмів та методів, які дозволяють підвищувати чіткість зображення, маніпулювати окремими його параметрами, виділяти та розпізнавати певні структурні елементи зображень.

Сучасні апаратно-програмні платформи, призначені для розробки систем машинного зору, наприклад, платформа NI Vision (National Instruments), як правило, надають у розпорядження розробника добірку методів обробки та аналізу зображень. З огляду на це, в загальному випадку схему побудови системи машинного зору для певної практичної задачі можна описати наступним чином:

- попередній аналіз характеристик зображень, властивих даній предметної області, з метою опису об'єктів, що представляють інтерес, та звуження кола їх ознак;
- технічне рішення задач фіксації зображень та введення їх в комп'ютер для аналізу;
- вибір методів первинної обробки зображень з метою підвищення якості зображення;
- вибір методів виділення базових структурних елементів (семантичних одиниць) зображення;
- вибір або розробка методів подальшого геометричного, логічного, чи будь-якого іншого аналізу.

Однією з підзадач комплексної задачі моніторингу процесу електрозварювання [1] є задача відслідковування поточного положення дуги. Високий рівень перешкод, який супроводжує процес зварювання, агресивне середовище, а також людський фактор значно ускладнюють розв'язок цієї задачі.

Одним зі способів розв'язання цієї задачі може служити відеоспостереження за процесом електрозварювання. Попередній аналіз зображень, властивих даній предметній області, показує, що бачене крізь фільтр маски зварника зображення електричної дуги та зварної ванни має округлу плямоподібну форму. З огляду на це, для аналізу отриманих зображень були обрані методи виділення, перетворення та аналізу зв'язних областей.

Виділення зв'язних областей або зв'язних контурів є одним з методів пошуку семантичних одиниць зображення є [2]. Даний метод є одним з найпростіших, проте

одночасно він є й одним з найуніверсальніших, адже для своєї роботи він не потребує жодних додаткових знань про зображення.

Відомо, що растрові зображення, які підлягають обробці в системах машинного зору, представляють собою двовимірні масиви точок (пікселів), кожна з яких може мати кілька ознак (яскравість, насиченість кольором, відтінок, тощо). Можна говорити, що кожен піксел, який не торкається краю зображення, має 8 «сусідів», які складають квадрат навколо даного піксела. Інколи окремо вирізняють 4 «найближчих сусідів» (по горизонталі та вертикалі), тоді говорять про 4-зв'язне відношення сусідства.

В задачах обробки зображень зв'язною областю (blob) прийнято називати множину точок (пікселів), в якій

- всі точки даної множини мають однакове значення певної ознаки (яскравості чи іншої ознаки, що розглядається)
- між двома довільними точками, що належать даній множині існує неперервний шлях, що складається з точок, які теж належать цій множині і при цьому є «сусідами» в сенсі обраного відношення сусідства (8- або 4-зв'язність).

Методи виділення семантичних одиниць зображення, що ґрунтуються на понятті зв'язної області, існують як для бінарних (чорно-білих), так і для градієнтних (відтінки сірого) зображень [3]. У випадку бінарного зображення, алгоритм виділення зв'язних областей має найпростішу форму [2, 3] та, фактично, розділяє зображення на фон та низку виділених об'єктів.

Оскільки зв'язна область (blob) є групою пікселів, що торкаються один одного, вочевидь, алгоритм виділення буде відносити до одного об'єкту всі не фонові піксели, які дотикаються один до одного. Відповідно, цілком можлива ситуація, коли об'єкти, які людське око легко визначить як окремі об'єкти, що торкаються один одного, будуть інтерпретовані алгоритмом як одна зв'язна область. З іншого боку можлива ситуації, коли фрагмент об'єкту виявиться позначеним як фон через те, що відповідні піксели виявляться в тіні інших об'єктів тощо, або, навпаки, в переліку виділених об'єктів можуть з'явитися «зайві» об'єкти.

Відомим підходом до розв'язання проблем очищення зображень від шумів, усунення отворів в об'єктах та їх розділення є математична морфологія [3, 0]. Двома базовими операціями морфології є розширення (dilation) та звуження (erosion). Обидві операції представляють собою дію над множинами, одна з яких є вихідним зображенням, друга – так званим структурним елементом (structuring element).

У випадку бінарних зображень операція звуження визначається як:

$$A \ominus B = \left\{ z \in E \,\middle|\, B_z \subseteq A \right\},$$

де E – простір координат (у випадку бінарних зображень – дискретний), z – точка в цьому просторі A – множина вихідного зображення, B – структурний елемент, $B_z = \left\{ b + z \,\middle|\, b \in B \right\}$ – структурний елемент, зміщений в точку z.

Операція розширення визначається як:

$$A \oplus B = \left\{ z \in E \,\middle|\, (B^s)_z \bigcap A \neq \varnothing \right\},$$

де $B^s = \left\{ z \in E \,\middle|\, -z \in B \right\}$ – дзеркальне відображення структурного елементу.

Фактично, для очищення зображення використовуються різні комбінації операцій звуження та розширення. Найбільш поширеними серед них є операції відкриття (opening, open object) та закриття об'єкту (closing, close object). Операція відкриття об'єкту визначається як

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

та дозволяє очистити зображення від помилково виділених об'єктів малого розміру.

Операція закриття об'єкту визначається як

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

та дозволяє усунути отвори, утворені фоновими пікселами, у виділених об'єктах.

Крім згаданих, також поширеними є методи, що дозволяють усунути об’єкти на границях зображень, чи розділити зв’язні області, що складаються з кількох дотичних об’єктів на окремі об’єкти.

Методи виділення зв’язних областей та методи математичної морфології для градієнтних зображень базуються на понятті екстремуму функції двох змінних та складають окрему галузь досліджень [0]. Крім задач виділення семантичних одиниць зображення, вони використовуються також для поліпшення чіткості зображень, усунення дрібних дефектів, тощо.

Виділення на зображенні зв’язних двомірних областей (blobs) та їх наступний аналіз може надати інформацію про наявність чи відсутність шуканих об’єктів, їх кількість, розміщення, форму, площу, периметр, орієнтацію тощо.

Таким чином, аналізуючи положення виділеного об’єкту, можна отримати дані про поточні координати зварної дуги.

Для отримання даних відеоспостереження за процесом електрозварювання відеокамера розміщується на безпечній відстані, але таким чином, аби її поле зору не затуляли сторонні предмети. Крім того, камеру має бути захищено від агресивного середовища, зокрема, потужним світлофільтром.

Підчас зварювання дані відеоспостереження передаються в комп’ютер та обробляються паралельно із процесом. Крім того, в момент отримання кожного зображення фіксується системний час комп’ютера, що дає можливість разом із координатами електричної дуги, також оцінити швидкість зварювання.

Отриманий з камери відеопоток, розділяється на окремі зображення. Кожне отримане зображення поліпшується шляхом нелінійного перетворення контрастності. Потім за допомогою метода порогового відсікання (thresholding) проводиться перетворення зображення з градієнтного в бінарне. Далі за допомогою представлених вище методів виділення зв’язних областей та методів математичної морфології відшукується об’єкт, який відповідає зображенню зварної дуги та зварної ванни. Визначається положення цього об’єкту відносно границь виробу.

Очевидно, що безпосередній аналіз зображення світлової плями від електричної дуги дозволяє виміряти її координати лише в пікселах. Для того, аби виміряти положення дуги в «реальних» (real-world) координатах, прив’язаних до предметної області, потрібно:

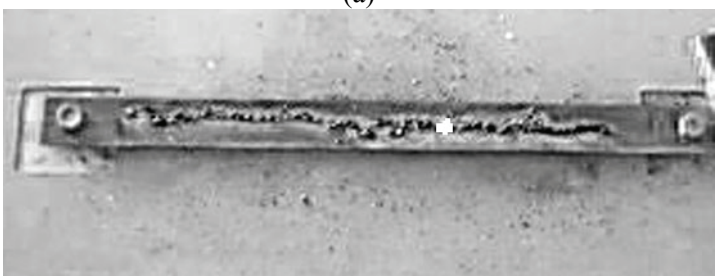
- провести калібрування зображення з метою усунення спотворення зображення через перспективу та нелінійного спотворення по краях поля зору камери;
- певним чином ввести систему координат та масштаб.

В розгляданій задачі, відстань від камери до об’єкту спостереження є достатньо великою для того, аби знехтувати нелінійністю відображення на краях поля зору камери. Для компенсації спотворення через перспективу та для введення координатної системи використовується знімок зварювального виробу, чиї форма та лінійні розміри є заздалегідь відомими.

З метою більш наочного представлення результатів, схематичне зображення світлової плями, що позначає електричну дугу, може бути накладене на заздалегідь отримане зображення зварного виробу. При імітаційному відтворенні результатів моніторингу, можна використовувати зображення зварного виробу з вже виконаним зварним з’єднанням, як це показано на рис.1(а,б), де білою плямою позначено положення електричної дуги в різні моменти часу.

Варто зауважити, що схематичне зображення поточного положення електричної дуги можна використовувати і для відображення інтегрованої інформації про стан процесу в цілому. Наприклад, можна відображати пляму білим кольором, коли всі істотні параметри процесу знаходяться в межах норми, а при відхиленні від норми якогось з параметрів, змінювати колір плями. Цей прийом може використовуватись, наприклад, при навчанні для подання учневі найбільш суттєвої інформації про процес у стислому вигляді.

(а)



(б)

Рис. 1. Схематичне положення зварної дуги в різні моменти часу.

Викладена методика отримання даних про поточне положення електричної дуги та зварної ванни під час електрозварювання була реалізована у вигляді додаткових програмних модулів до інтегрованого комплексу моніторингу електрозварювання [1]. Програмні модулі були створені на базі платформи NI IMAQ Vision та LabVIEW.

Висновки

Використання відеоспостережнення та відповідних методів обробки зображень при моніторингу процесів електрозварювання дозволяють отримати необхідні дані про поточне положення електричної дуги та зварної ванни, а також оцінити швидкість зварювання як вздовж зварювального з'єднання, так і впоперек.

Крім того, використання відеоматеріалів при наступному відтворенні процесу засобами імітаційного моделювання дозволяє отримати наочне та реалістичне представлення інформації про зварний процес. Таке представлення може бути ефективно використане в навчальному процесі, оскільки дозволяє на інтуїтивному рівні швидко і в повному обсязі сприймати складну багатопараметричну інформацію.

Список літератури

1. *В.В. Васильев, Л.А. Симак, В.А. Богдановский и др.* Имитационное моделирование и тренажерно-обучающие системы в электросварке. / под ред. чл.-корр. НАН Украины В.В. Васильева. – К.: НАН Украины, 2003. – 120с.

2. *Визильтер Ю. В., Желтов С. Ю., Князь В. А., Ходарев А. Н., Моржин А. В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – *464 с.*

3. *Haralick R.M., L.G. Shapiro*. Computer and Robot Vision. – Addison-Wesley, 1992, Vol. I . – 682 p.

Serra J. Image Analysis and Mathematical Morphology. – Academic Press, 1982, – 621 p.

УДК 621.396.676 (045)

О.В. Вишнівський (Національний авіаційний університет, Україна)

КОЕФІЦІЄНТ ВЗАЄМОВПЛИВУ АНТЕН У ПРОГРАМІ COMSOL®

Досліджено коефіцієнт міжантенного взаємовпливу з урахуванням дії фюзеляжу для двовимірної моделі літака

Прогнозування ЕМС (електромагнітної сумісності) сучасних найскладніших радіотехнічних комплексів радіообладнання, розміщуваних на повітролітальному апараті, – процес надзвичайно складний, що потребує для свого проведення багатьох місяців інженерної праці.

Наприклад, на українському літаку Ан-148 встановлено до 16 різноманітних РЕЗ (радіоелектронних засобів) (рис. 1) .

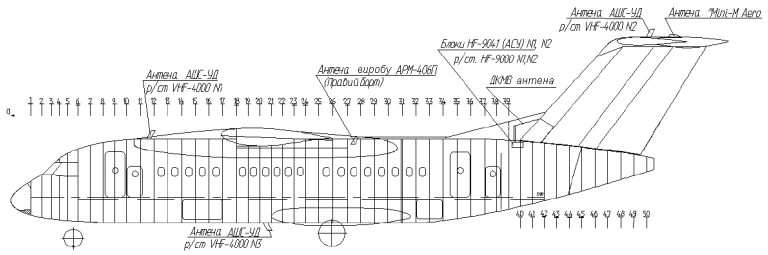


Рис. 1. Схема розміщення обладнання, що забезпечує радіозв‘язок, на літаку Ан-148

Зрозуміло, що в процесі проектування літака необхідно вибирати місця установки антен усіх вищезгаданих РЕЗ з урахуванням взаємовпливу цієї апаратури та металевого корпусу моноплана, оскільки характеристики спрямованості (ХС) антен, що встановлені на провідних поверхнях довільної форми, їх поляризаційні властивості, вхідні опори та опори випромінювання відрізняються від показників таких само антен, розміщених у вільному просторі.

Задачу оперативного прогнозування якості ЕМО програмними методами можна розв’язати, якщо електродинамічний об’єкт подати як провідну сіткову або кінцевоелементну модель [1,2]. Антени вважають особливими елементами загальної моделі.

Довжина елементів загальної сіткової моделі не повинна перевищувати значень $0{,}1\lambda_{min}$, де λ_{min} – мінімальна довжина хвилі, на якій досліджують електромагнітні зв’язки між антенами окремих бортових РЕЗ.

Сьогодні прогнозуються впливи, які виникають за рахунок антенних зв‘язків. В основі прогнозування лежить аналіз частотних та енергетичних характеристик апаратури, в результаті якого визначають частотний канал впливу, знаходять рівень непередбаченої завади на вході приймального пристрою на частоті каналу впливу, який порівнюється з допустимим рівнем сигнала завади даного типу або (за відсутності даних про допустимий вплив) з рівнем чутливості приймального пристрою на частоті каналу впливу. У випадку перевищення рівня завади над допустимим рівнем сигналу робиться висновок про можливість впливу передавального пристрою на приймальний на каналі впливу, що розглядається, – та пропонують засоби та заходи із забезпечення ЕМС, наприклад висувають вимоги щодо характеристик приймально-передавальної апаратури.

Просторові координати вузлів сіткової моделі закладаються в пам’ять ПК. За випромінювальними властивостями сіткова модель повинна бути адекватною оригіналу.

Кожен лінійний елемент моделі розглядається як елементарний збудник електромагнітної хвилі. Щільність струму в нім залежить від розподілу струмів в інших елементах сіткової моделі.

Для визначення щільності струму в кожному елементі, необхідно розв‘язати рівняння:

$$\nabla \times (\mu_r^{-1} \nabla \times E) - (\varepsilon_r - j\sigma / \omega \varepsilon_0) k_0^2 E = 0,$$

де $м_r$ - відносна магнітна проникність, E - напруженість електричного поля (В/м); $е_r$ - відносна діелектрична проникність; у - провідність, (См/м), щ - кругова частота (Рад/с); $е_0 = \frac{10^{-9}}{36\,р}$ - електрична стала (Ф/м); $k_0 = \frac{2р}{л}$ - хвильове число. Це рівняння вирішується чисельними методами, наприклад, застосуванням методу моментів [1, 2]. При цьому рівняння перетвориться в систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Порядок системи визначається кількістю елементів сіткової моделі об'єкту. Методика розв‘язання систем рівнянь високого порядку для фізичного об'єкту складної форми відома [2], проте її реалізація для конкретних об'єктів залишається однією з важливих науково-практичних задач.

Теорія моделювання. У фундаментальній праці [3] показано зв‘язок між фрактальними частинами об‘єкта. Так само можна побачити зв‘зок між самоподібними структурами – наприклад, тривимірним та двовимірним кресленням якогось об‘єкту.

Моделювання тривимірної задачі дослідження за допомогою комерційних обчислювальних пакетів, таких як *Comsol*® - вимагає величезних затрат на потужну комп‘ютерну техніку. Наприклад, рекомендований об‘єм оперативної пам‘яті для розв‘язання подібних задіч у 3D може становити 16 Гб і більше.

Тому виникає спокуса обмежитися 2D варіантом задачі – таким собі самоподібним фракталом первісної 3D версії (адже ми дозволяємо собі це робити по відношенню до 4D - 3D спрощення, хоча часто тут можуть бути дуже суттєві обмеження).

Далі, дослідивши проблему у варіанті двовимірної трактовки, ми абстрагуємо отримані результати на повноцінну тривимірну модель, таким чином вирішуючи поставлене завдання.

Постає цікаве питання щодо достовірності отриманих результатів за допомогою даної методики. Тут потрібно ввести коефіцієнт достовірності, який запишемо наступним чином:

$$K_d = (1 - \frac{\left|\mathrm{Re}\, s(2D) - \mathrm{Re}\, s(3D)\right|}{\mathrm{Re}\, s(3D)}) \cdot 100\%,$$

де $\mathrm{Re}\, s(2D)$ - результат обчислень для самоподібно-фрактальної 2D-моделі електродинамічного об‘єкту; $\mathrm{Re}\, s(3D)$ - результат обчислень для первісної оригінальної 3D-моделі об‘єкту.

У випадку, коли $K_d > 50\%$, відносна достовірність проведених обчислень не викликає сумніву. Але навіть для $K_d \le 50\%$ можна говорити про виправданість проведених досліджень: адже у такому разі можна (спираючись на досвід дослідника) отримати деяку «підказку», яка допоможе прийняти рішення стосовно доцільності або недоцільності подальшого повноцінного 3D моделювання поставленої задачі.

Якість ЕМО (електромагнітної обстановки) визначається відношенням між потужністю корисного сигнала та потужністю сукупної завади при заданому захисному відношенні для конкретного радіоприймального пристрою (РПП) радіоелектронної системи [3]:

$$P_{зав} < P_{сигн.\ мін} - Q_0, \qquad (1)$$

де $P_{зав}$ – потужність завади; $P_{сигн.\ мін}$ – мінімальна потужність сигналу на вході приймача-рецептора завади; Q_0 – захисне відношення, яке залежить від класу сигналу.

Співвідношення (1) може виступати як критерій вибору оптимальних місць розташування антен на фюзеляжі літака з множини можливих варіантів.

Коефіцієнт зв‘язку за струмами між двома антенами, що належать радіопередавачу та радіоприймачу пари незалежних радіотехнічних систем, між якими необхідно забезпечити ЕМС, можна визначити за співвідношенням:

$$K_0 = 10 \lg \frac{P_{21}}{P_1} = P_{021} - P_{01} = 20 \lg \frac{I_{21}}{I_1}, \text{ дБ}, \qquad (2)$$

де P_1 – потужність, що підводиться до антени передавача першого РЕЗ та характеризує неумисну заваду для другого РЕЗ; P_{21} – потужність на виході антени РПП другого РЕЗ; I_1 – сила струму в антені передавача першого РЕЗ; I_{21} – сила струму на виході антени РПП іншого РЕЗ. Потужності P_{01} та P_{021} записані у відносних одиницях дБВт.

Відсутність математичної моделі умов поширення електромагнітного поля між близькорозташованими антенами з урахуванням особливостей “рельєфа“ корпуса металевого об‘єкта обмежених розмірів вже було відмічено. Таким чином виясняємо, що відомі класичні способи оцінки K_0 з метою виявлення способів його зменшення, є неприйнятними для задачі, що розглядається. У зв‘язку з цим виникає необхідність у розробці методики оцінки характеру та значень K_0 для антен, які розміщені на провідній поверхні об‘єкта складної конфігурації – корпусі повітролітального апарата, який практично можна реалізувати. Враховуючи інтерференційний, тобто пульсний характер K_0 (2), вибору місця установки другої антени по відношенню до місця установки першої антени необхідно приділити особливу увагу. Іншу антену доцільно встановлювати в точках провалів функції $K_0(r)$.

На рис. 2 показані результати дослідження, виконаного в програмі *Comsol Multiphysics*® на частоті 100 МГц. Дві петлеві антени встановлено на крилах 2D-моделі літака. Нормальна до площини спостереження компонента напруженості електричного поля E_z. Також дані значення коефіцієнту взаємовпливу для передньогота заднього тореця хвоста.

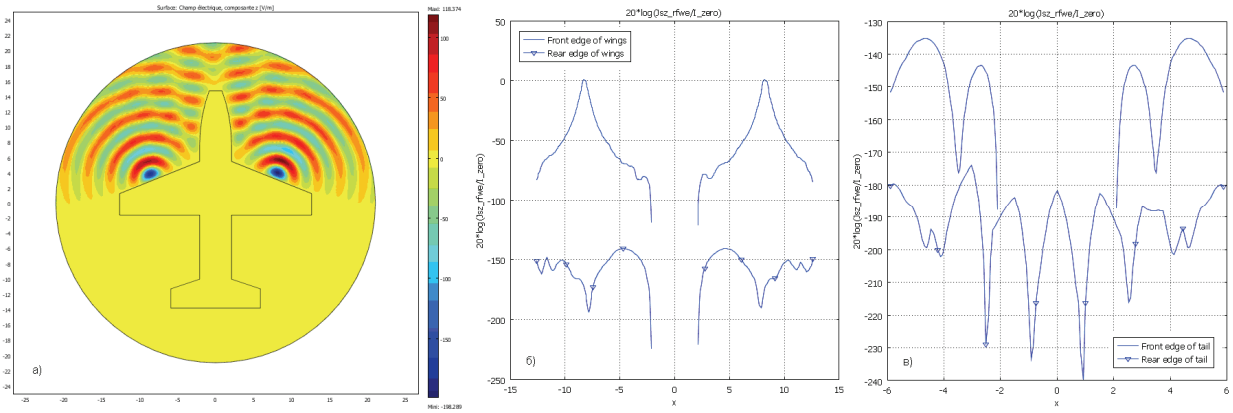


Рис. 1 Дослідження на частоті 100 МГц
а) Випромінення об‘єкта
б) Коефіцієнт взаємозв‘язку між антенами (передній та задній торець крил)
в) Коефіцієнт взаємозв‘язку між антенами (передній та задній торець хвоста)

Висновки

В результаті проведення досліджень можна зробити такі висновки:

1. Проблеми забезпечення ЕМС бортових РЕЗ у процесі їх експлуатації і вибору оптимального розташування антен на корпусі електродинамічного об'єкта доцільно розв'язувати ще на етапі проектування об'єкта. Тому розробка коректної методики оперативного прогнозування якості ЕМО програмними методами є перспективною й актуальною задачею.
2. Розроблено метод визначення коефіцієнту взаємовпливу між парою вібраторних антен, розміщених на електродинамічному об'єкті довільної форми, з урахуванням впливу цього тіла. На базі пакету *Comsol*® створена інтерактивна експертна система знаходження раціональних місць установки антен на борту сучасного літака, яка використана для розв'язання задачі ЕМС вперше.
3. Коефіцієнт взаємовпливу антен K_0 має складну інтерференційну залежність від номерів вузлів сіткової моделі літака і лежить у діапазоні від 0 дБ до -240 дБ.
4. В результаті проведеної роботи розв'язано важливу наукову задачу з визначення точок, за розміщеня в яких окремих антен забезпечують мінімальний зв'язок між незалежними штирьовими антенами, що має практичне значення для забезпечення ЕМС між різноманітними РЕЗ, які розташовуються на сучасному літаку.
5. Доцільно використовувати розроблену експертн систему під час тривимірного прогнозування ЕМС радіоапаратури, яку встановлюють на повітролітальних та супутникових апаратах.

Список літератури

1. Митра. Р. Вычислительные методы в электродинамике /под ред. Р. Митра. – М.: Мир, 1977. – 488 с.
2. Захарія Й. А. Методи прикладної електродинаміки / Захарія Й. А. – Львів: Бескид Біт, 2003. – 352 с. – (Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів України). (МОНУ; Національний університет «Львівська політехніка»).
3. *Mandelbrot B.B.* Les objets fractals: forme, hasard et dimension. - Paris: Flammarion, 1975. - 192p.
4. Иванов В. А. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств / В.А.Иванов, Л.Я.Ильницкий, М.И.Фузик. – К.: Техніка, 1983. – 120 с.

УДК 656.71.004.15

С.С. Дев'яткіна, канд. техн. наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО МІНІМУМУ АЕРОДРОМУ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ, ЯК ЗАСОБУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ

Розглядається проблема визначення параметрів експлуатаційного мінімуму аеродромів цивільної авіації та пропонуються шляхи її вирішення.

Авіаційний транспорт на сьогоднішній день залишається найбільш безпечним видом перевезень пасажирів і вантажу в усьому світі. Цьому сприяє не тільки науково-технічний прогрес, а й постійне вдосконалення міжнародної нормативної бази та впровадження новітніх розробок в галузі керування безпекою польотів. Планується, що впровадження прогресивних систем керування безпекою польотів на усіх підприємствах цивільної авіації, в тому числі і на аеродромах цивільної авіації (ЦА), сприятиме підвищенню рівня безпеки польотів, як мінімуму на 50 відсотків до 2015 року.

Для зниження ризиків щодо безпеки польотів на аеродромах ЦА до прийнятного або мінімально можливого рівня необхідно, щоб обладнання, персонал та нормативно-правова база відповідали сучасним вимогам та постійно вдосконалювалися: застосовувалося сучасне обладнання, регулярно підвищувалася кваліфікація технічного персоналу, документаційне забезпечення, що регулює різні технологічні процеси на аеродромі відповідало вимогам вітчизняних та міжнародних стандартів. Невиконання хоча б одної з вказаних трьох умов веде до підвищення ризику щодо безпеки польотів і може привести до авіаційної події. На сьогоднішній день на аеродромах ЦА актуальною є проблема саме в нормативному регулюванні діяльності аеродрому, тобто у визначенні параметрів експлуатаційного мінімуму, в умовах якого аеродром здатний забезпечувати польоти повітряних суден (ПС).

Нормований рівень безпеки польотів на аеродромах цивільної авіації гарантується за умови правильного визначення параметрів їх експлуатаційних мінімумів.

Експлуатаційний мінімум аеродрому (ЕМА) є одним з основних показників якості аеродрому, що визначає ступінь його придатності забезпечувати польоти ПС в певних метеорологічних умовах з прийнятними значеннями ризиків щодо безпеки польотів. Відповідно до міжнародної практики, ЕМА чисельно характеризується двома наступними параметрами:

1. Висота прийняття рішення (DH/A) для точного заходу на посадку, мінімальна висота зниження (MDH/A) для неточного заходу на посадку.
2. Дальність видимості на злітно-посадковій смузі (RVR) або видимість (VIS), під якої розуміється метеорологічна оптична видимість (MOR) на аеродромі.

Параметри ЕМА залежать від багатьох факторів основними з яких є:

- рельєф місцевості, фізичні характеристики льотної смуги та аеродрому;
- наявність та параметри штучних висотних перешкод (ОСА/Н));
- склад та тип та навігаційних радіотехнічних засобів забезпечення польотів;
- склад та тип метеорологічних засобів забезпечення польотів;
- тип візуальних навігаційних засобів забезпечення польотів – світлосигнальних систем аеродрому (ССА) – вогні високої інтенсивності (ВВІ) або вогні малої інтенсивності (ВМІ);
- склад, структура, комплектність, конфігурація та технічний стан ССА;
- наявність та тип системи керування наземним рухом по аеродрому (SMGCS, або A-SMGCS).

В даний час параметри ЕМА визначаються тільки експлуатантами ПС виключно з застосуванням європейського нормативно-технічного документу [1], який, однак, має ряд недоліків та неточностей і не враховує специфіки світлосигнального обладнання, що застосовується на аеродромах України. Головним недоліком документу [2], є наявність

невідповідностей стандартам і рекомендаціям ІСАО, наприклад, у частині необхідного світлосигнального обладнання, що забезпечує зліт в умовах низької видимості. Також, до недоліків документу [1], слід віднести відсутність однозначної термінології, наприклад, щодо комплектності світлосигнальної системи аеродрому (ССА) або її типу.

Такий параметр ЕМА, як RVR напряму залежить від того, світлосигнальне обладнання якого типу використовується на аеродромі – вогні високої інтенсивності (ВВІ) або вогні малої інтенсивності (ВМІ). З огляду на той факт, що документ [1] взагалі не міститься методики визначення параметрів ЕМА з застосуванням ССА типу ВМІ, яких в Україні більшість. Можна зробити висновок про те, що авіакомпанії визначають ці параметри не правильно, отримуючи занижені значення. Така помилка значно підвищує ризик щодо безпеки польотів на етапі візуального пілотування, особливо під час заходу на посадку, і повинна бути усунута.

Крім того, документ [2] не містить чітких термінів, вихідних даних, формул або алгоритму визначення параметрів ЕМА для точного і неточного заходів на посадку та посадки. Даний факт не дозволяє впевнитися у достовірності отриманих значень параметрів ЕМА, адже наведені у документі [2] значення RVR (VIS) для різних комплектностей ССА не мають логічного зв'язку.

Необхідність визначення параметрів ЕМА експлуатантами аеродромів додатково може бути підтверджена наступними аргументами:

1. Експлуатант аеродрому повинен володіти інформацією стосовно потенційних технічних можливостей аеродрому щодо забезпечення польотів в певних метеорологічних умовах, тобто кількісними мінімальними значеннями параметрів експлуатаційного мінімуму, які він може забезпечити при виконанні процедур руління, зльоту, заходу на посадку та посадки.

2. Наявність інформації про здатність аеродрому забезпечувати певні значення параметрів ЕМА дозволить, з одного боку визначати та оцінювати ризики, щодо безпеки польотів а, з іншого боку, розраховувати економічні показники діяльності аеродрому.

3. Експлуатант аеродрому несе відповідальність за рівень безпеки і регулярності польотів на аеродромі але він позбавлений можливості контролювати правильність здійснення операцій на аеродромі експлуатантами ПС, тобто дотримання ними параметрів ЕМА.

Метою даної доповіді є обґрунтування основних принципів визначення параметрів ЕМА з урахуванням особливостей візуальних аеронавігаційних засобів забезпечення польотів на аеродромах України.

В основу Методики визначення параметрів експлуатаційних мінімумів для аеродромів пропонується покласти два базових принципи.

Першим основним принципом є пріоритетність вимог стандартів і рекомендацій ІСАО [2, 3] щодо візуальних засобів забезпечення польотів, тому що для експлуатанта аеродрому саме документи ІСАО є пріоритетними для застосування.

Другим базовим принципом визначення параметрів ЕМА є створення максимально комфортних умов для екіпажа ПС в процесі встановлення та збереження візуального контакту при злоті та на кінцевому етапі заходу на посадку, посадці і руління ПС до місця стоянки.

Безпека польотів на найбільш складному і відповідальному етапі польоту – етапі візуального пілотування у складних метеорологічних умовах (СМУ) – гарантується, якщо екіпажу ПС створені всі умови з боку аеродромних служб для дії за принципом „БАЧУ – РОЗПІЗНАЮ – ОЦІНЮЮ – ПРИЙМАЮ РІШЕННЯ". Вказаний принцип означає, що під час посадки для встановлення надійного візуального контакту з вогнями ССА, к моменту зниження до висоти прийняття рішення, пілот ПС має виконати наступні дії.

1.ПОБАЧИТИ візуальні орієнтири – фрагменти ССА.

2.РОЗПІЗНАТИ візуальні орієнтири.

3.ОЦІНИТИ положення ПС у просторі відносно ЗПС.

4.ПРИЙНЯТИ РІШЕННЯ про продовження посадки або відхід на друге коло на підставі отриманої візуальної інформації.

Для реалізації вищевказаного принципу необхідно виконання двох основних умов.

1. Для встановлення візуального контакту з вогнями ССА, їх розпізнавання та оцінки положення ПС у просторі відносно ЗПС, пілоту ПС потрібен час, що за даними ІСАО [2, 3] складає від 1,5 до 3 сек., в залежності від кваліфікації пілота та посадковій швидкості ПС. Таким чином, візуальний контакт має починатися не на висоті прийняття рішення, а на висоті, що перевищує висоту прийняття рішення принаймні на 8 – 10 м для ПС категорій В, С.

2. Для встановлення та збереження візуального контакту з вогнями ССА в СМУ пілоту ПС необхідно і достатньо бачити 150 м ділянку земної поверхні з вогнями ССА. Цей факт достовірно встановлений багатьма дослідженнями та наводиться в стандартах і рекомендаціях ІСАО [2, 3]. Там вказується, що прийняття рішення про посадку пілотом ПС не відбувається миттєво, що цей процес є акумулятивним процесом, який відбувається за вказаним вище принципом. Тобто, рішення про здійснення посадки або про відхід на друге коло, може бути сформоване тільки у випадку, якщо пілот починаючи з висоти початку візуальної оцінки бачить 150 м ділянку земної поверхні з вогнями ССА, розпізнає до якої з підсистем ССА вони належать, на підставі цієї інформації – оцінює місцеположення ПС у повітрі, та, нарешті, приймає рішення. На висоті прийняття рішення воно вже має бути сформоване у пілота, адже, за визначенням, це мінімальна висота, на якій має бути початий маневр відходу на друге коло, якщо візуальний контакт не був встановлений.

Визначення параметрів ЕМА необхідно проводити у кілька етапів.

На першому етапі аналізу підлягає ЗПС та її аеронавігаційне радіотехнічне, світлосигнальне та метеорологічне обладнання для класифікації ЗПС – необладнана або обладнана. В разі якщо ЗПС обладнана, то визначається для якого заходу на посадку – неточного або точного за I, II або III категоріями. Також, по результатам аналізу наявності та інтервалів розташуванням осьових вогнів ЗПС робиться висновок про можливість зльоту ПС в умовах низької видимості.

На другому етапі аналізуються рельєф місцевості аеродрому, наявність та висоти прольоту перешкод (ОСН/А) для встановлення мінімальних значень висот прийняття рішення (DH/A) та мінімальних висот зниження (MDH/A) для точного та неточного заходів на посадку. Вказані мінімальні значення DH/A та MDH/A не повинні бути менше ОСН/А. В разі відсутності перешкод на аеродромі мінімальні значення MDH/A встановлюються в залежності від аеронавігаційного радіотехнічного обладнання відповідно до вимог документа [1].

На третьому етапі визначаються мінімальні значення дальності видимості на ЗПС (RVR) в залежності від встановлених значень висот прийняття рішення DH/A, мінімальних висот зниження (MDH/A), типу ССА та її комплектності, тобто довжини підсистеми вогнів наближення. Комплектність ССА враховується при неточному заході на посадку та точному заході на посадку за I категорією.

Визначення мінімальних значень RVR пропонується проводити за формулою, яка виводиться нижче. Для вирішення цієї задачі сформулюємо вихідні дані та схематично зобразимо процес заходу на посадку ПС (рис. 1).

Задача полягає у розрахунку значення дальності видимості на ЗПС L_{RVR} для ПС категорії А, В (ділянка затінення земної поверхні із кабіни пілота ПС категорій А, В – $L_{зк}$ становить в середньому 150 м), що здійснює захід на посадку і посадку в СМУ, перебуваючи на глісаді планерування $\alpha°$. Оптимальна точка приземлення знаходиться на відстані $L_{тп}$ = 300 м від торця ЗПС. Ділянка земної повернені з вогнями ССА, необхідна для встановлення візуального контакту $L_{вк}$ складає не менше 150 м.

Для розрахунку значення RVR для ПС, що знаходиться на мінімальній висоті початку візуальної оцінки $H_{ВПВО}$ для того, щоб на висоті прийняття рішення у пілота рішення про можливість посадки вже було сформоване, скористаємося наступним виразом

$$L_{п\,ЗПС} + L_{тп} = \frac{H_{ВПВО}}{\mathrm{tg}\alpha}, \qquad (1)$$

де $L_{п\,ЗПС}$ – відстань від ПС, що здійснює посадку до порогу ЗПС.

Розділимо відстань від ПС, що здійснює посадку, до порогу ЗПС $L_{\text{п ЗПС}}$ на складові доданки (нехтуючи відстанями, що складають кілька метрів) і перепишемо вираз (1), як

$$L_{RVR} + L_{\text{ПВН}} - L_{\text{вк}} + L_{\text{тп}} = \frac{H_{\text{ВПВО}}}{\text{tg}\alpha}, \qquad (2)$$

де $L_{\text{ПВН}}$ – довжина підсистеми вогнів наближення, яка характеризує комплектність ССА;
$L_{\text{вк}}$ – ділянка земної поверхні с наземними орієнтирами, вогнями підсистеми вогнів наближення.

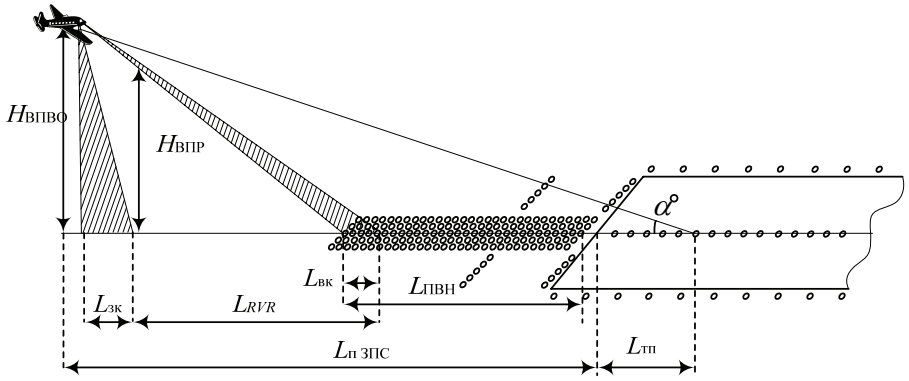


Рис. 1. Схематичне зображення заходу на посадку ПС.

Враховуючи, що для ПС категорій А, В вставлення візуального контакту з вогнями ССА повинне початися на висоті не менше ніж 8 м над висотою прийняття рішення, тобто $H_{\text{ВПВО}} = H_{\text{ВПР}} + 8$ (м). З формули (2) виразимо значення L_{RVR}, без урахуванням ділянки затінення кабіною пілота та з урахуванням цієї ділянки

$$L_{RVR} = \frac{H_{\text{ВПР}} + 8}{\text{tg}\alpha} - L_{\text{ПВН}} - 150 \text{ (м)} \qquad L_{RVR\,зк} = \frac{H_{\text{ВПР}} + 8}{\text{tg}\alpha} - L_{\text{ПВН}} \text{ (м)}. \qquad (3)$$

Застосування формул (3) та (4) дає можливість розрахувати необхідні значення RVR для різних значень висоти прийняття рішення та різних комплектностей ССА. Зрозуміло, що чим менше довжина вогнів наближення, тим більше повинне бути значення RVR для встановлення та збереження візуального контакту пілотом ПС при заході на посадку.

Висновки

1. Правильне, науково обґрунтоване визначення параметрів ЕМА є гарантією забезпечення нормованих рівнів безпеки польотів на етапі візуального пілотування у СМУ вдень і вночі.
2. Нормативний документ [1], що містить вимоги для визначення параметрів ЕМА для авіакомпаній, має ряд недоліків та суперечностей стандартам і рекомендаціям ІСАО, що приводить до помилки при визначенні параметрів ЕМА авіакомпаніями (вони отримують занижені значення параметрів ЕМА). Ця проблема є загрозою безпеці польотів, що існує на державному рівні, і повинна бути вирішена найближчим часом.
3. Пропонується основні принципи визначення параметрів ЕМА, що базуються на вимогах стандартів ІСАО та логічному аналізі процесу заходу на посадку ПС у СМУ.

Список літератури

1. *JAR-OPS 1.* Joint aviation requirements. Commercial air transportation. Aeroplanes. Subpart E. All weather operations.». «Комерційні авіаційні перевезення». (Літаки). Частина Е. – 2004. – 178 с. http://www. avia.gov.ua/jar_ops1_ukr.htm

2. *Аэродромы*. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации, в 2 т. / изд. 5-е, июль 2009 - Том 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов http://www.aviadocs.net/icaodocs/Annexes/an14_v1_cons_ru[1].pdf

3. Руководство по пректированию аеродромов. Часть 4. Визуальные средства. Doc 9157, AN/901. – Монреаль. – 2004 г. – 218 с. (ИКАО. Международные стандарты и рекомендуемая практика). http://www.aviadocs.net/icaodocs/Docs/9157_p4_ru.pdf

УДК 629.735:656.71.06:621.31

С.С. Дев'яткіна, канд. техн. наук, С.Г. Ванецян, канд. техн. наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВХІДНИХ ВОГНІВ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

Пропонується вдосконалена система електропостачання надземних аеродромних вогнів злітно-посадкової смуги, впровадження якої в практику дозволить отримати економічний ефект без зниження показники надійності світлосигнальних систем аеродрому I-III категорій.

В сучасних світлосигнальних системах аеродромів (ССА) цивільної авіації (ЦА) в якості бічних вогнів злітно-посадкової смуги (ЗПС) використовуються універсальні лінзові вогні прожекторного типу, що одночасно виконують і функції вогнів кругового огляду.

Електропостачання вхідних вогнів ЗПС в ССА 1-III категорій доцільно здійснювати по двом кабельним лініям разом з бічними вогнями ЗПС та обмежувальними вогнями ЗПС всупереч вимогам нормативно-технічного документу [1, 2]. Доцільність такого технічного рішення очевидна та не є предметом даної статті. Недоліком такої системи електропостачання вхідних вогнів ЗПС є те, що вони є включеними незалежно від режиму роботу ССА – «Зліт» або «Посадка» з відповідного напрямку. При роботі ССА в режимі «Зліт» підсистеми вхідних вогнів ЗПС з обох магнітних курсів ЗПС зовсім непотрібні пілоту, але перебувають у включеному стані. При виконанні посадки з одного магнітного курсу ЗПС вхідні вогні ЗПС з протилежного магнітного курсу, також, перебувають у включеному стані, хоча потреби для пілоту в них немає. В обох випадках спостерігається непродуктивне використання електричної енергії (до 10,0 тис. кВт-год на рік) та технічного ресурсу джерел світла (два додаткових комплекту джерел світла – 80 штук вартістю до 30 Є за штуку).

Наведені факти пояснюються прийнятою схемою електропостачання вхідних вогнів ЗПС, що історично склалася у світлосигнальних системах забезпечення польотів на аеродромах ЦА. Логічним є електропостачання вхідних вогнів ЗПС разом з вогнями наближення та світлових горизонтів з кожного магнітного курсу ЗПС, що дає наступні переваги.

По-перше, при роботі ССА в режимі «Зліт», вхідні вогні ЗПС взагалі не вмикаються тому що їх електропостачання здійснюється сумісно з вогнями наближення і світлових горизонтів, які в режимі «Зліт» не використовуються.

По-друге, при роботі ССА в режимі «Посадка» вмикаються тільки вхідні вогні ЗПС з відповідного магнітного курсу посадки. Фактична заборона такої логічної схеми електропостачання вхідних вогнів ЗПС на сьогоднішній день пояснюється потенційним зниженням показників її надійності.

Відповідно до вимог нормативно-технічних документів [3] ССА, в залежності від довжини вогнів наближення, може використовуватись і мати різні комплектності, таблиця 1.

Таблиця 1 Комплектність ССА.

№ п/п	Вид комплектності ССА	Довжина вогнів наближення центрального ряду, м.
1	Повна комплектність ССА, (Full facilities)	Від 900 до 720.
2	Проміжна комплектність ССА, (Intermidiate facilities)	Від 719 до 420.
3	Базова комплектність ССА, (Basic facilities)	Від 419 до 120.
4	Нульова комплектність ССА (комплектність ССА без вогнів наближення), (Nil approach lights facilities)	Від 119 до 0.

З таблиці 1 випливає, що ССА може використовуватись взагалі без вогнів наближення і світлових горизонтів, тобто тільки при наявності та працездатному стані вогнів ЗПС. Таким чином, відмова високовольтних кабелів або регуляторів яскравості у підсистемі вогнів наближення і світлових горизонтів не призводить до відмови ССА, а тільки переводить її до

нульової комплектності, що у свою чергу передбачає підвищення параметрів експлуатаційного мінімуму аеродрому, тобто посадка дозволяється у простих метеорологічних умовах (ПМУ). Виглядає логічним наступний факт – якщо електропостачання вхідних вогнів ЗПС здійснюється сумісно з підсистемами вогнів наближення і світлових горизонтів, то відмова високовольтних кабелів або регуляторів яскравості у підсистемі вогнів наближення і світлових горизонтів автоматично веде до відмови вхідних вогнів ЗПС і відмови ССА в цілому. При стандартній схемі електропостачання вхідних вогнів ЗПС відмова підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів не призводить до відмови ССА, а тільки знижує її якість, дозволяючи використання ССА в ПМУ. Наведене якісне обґрунтування стандартної схеми електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС виглядає логічним і переконливим, однак, будь-яке якісне обґрунтування має підтверджуватись кількісним обґрунтуванням і тільки тоді воно має право на практичне застосування. Проблема вибору схеми електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС є актуальною для аеродромів України, тому що для більшості аеродромів починається масова реконструкція світлосигнальних систем типу Вогні малої інтенсивності (ВМІ) в ССА типу Вогні високої інтенсивності (ВВІ) І-ІІ категорій, що зменшує параметри експлуатаційного мінімуму аеродрому.

Метою даної статті є кількісне обґрунтування можливості та доцільності електропостачання підсистем вхідних вогнів ЗПС разом з підсистемами вогнів наближення і світлових горизонтів з відповідних магнітних курсів ЗПС.

З технічних позицій доцільність і зручність електропостачання підсистем вхідних вогнів ЗПС разом з підсистемами вогнів наближення і світлових горизонтів не викликає сумніві. Кількісного аналізу потребує надійність обох варіантів системи електропостачання вхідних вогнів ЗПС та її вплив на рівень безпеки польотів на етапі візуального пілотування, тобто при застосування ССА.

Об’єктом дослідження є показники надійності двох варіантів схем електропостачання вхідних вогнів ЗПС, а предметом дослідження підсистеми вхідних вогнів ЗПС та вогнів наближення і світлових горизонтів у ССА типу ВВІ в простих і складних метеорологічних умовах (СМУ). Для спрощення викладень в обох варіантах електропостачання підсистем здійснюється по однієї кабельній лінії. Задача зводиться до визначення показників надійності ССА при різних варіантах електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС.

Перший варіант – стандартний, електропостачання вхідних вогнів ЗПС здійснюється разом з бічними та обмежувальними вогнями ЗПС.

Другий варіант – той, що пропонується, електропостачання вхідних вогнів ЗПС здійснюється разом з підсистемою вогнів наближення і світлових горизонтів з відповідного магнітного курсу ЗПС. В якості критерію відмови підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів приймається тільки відмова типу «обрив» високовольтного кабелю або відмова регулятора яскравості, тому що зміна схеми електропостачання вхідних вогнів ЗПС ніяким чином не впливає на інтенсивність відмов джерел світла.

В стандартному варіанті відмова підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів не призводить до відмови ССА, тільки до зниження її якості. Під якістю ССА в даному випадку розуміється ступінь її пристосованості для вирішення поставлених задач, тобто інформаційного забезпечення етапу візуального пілотування. Зниження якості ССА при відмові підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів впливає на параметри експлуатаційного мінімуму аеродрому (висота прийняття рішення та дальність видимості на ЗПС), які підвищуються, що автоматично означає можливість використання ССА в нульовій комплектності тільки в ПМУ.

В другому варіанті відмова підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів призводить до відмови ССА, тому що в стані відмови одночасно з підсистемою вогнів наближення і світлових горизонтів перебуває підсистема вхідних вогнів ЗПС і ССА не може використовуватись, навіть, в нульовій комплектності в ПМУ. Таким чином, порівнюючи два варіанти необхідно враховувати умови використання ССА: СМУ або ПМУ.

Для урахування метеорологічних умов припустимо, що СМУ спостерігаються на аеродромі у М% усіх випадків здійснення операцій посадки. Для створення математичної моделі надійності ССА скористаємось формулою повної імовірності:

$$P_{CCA}(t) = \sum_{i=1}^{n} P_{H_i} \cdot P_{CCA}^{H_i}(t)$$

де: P_{H_i} - імовірність настання *i*-ї гіпотези, $P_{CCA}^{H_i}(t)$ - імовірність безвідмовної роботи ССА за час *t* за умови настання *i*-ї гіпотези.

Сформулюємо наступні гіпотези: Н1 – метеорологічні умови на аеродромі є складними. Імовірність такої гіпотези дорівнює $P_{H_1} = 0{,}01 \cdot M$; Н2 – метеорологічні умови на аеродромі є простими. Імовірність такої гіпотези дорівнює $P_{H_2} = 1 - 0{,}01 \cdot M$.

Подія А, що нас цікавить та має з'явитись під час експерименту з однією з гіпотез є працездатний стан ССА, який залежить тільки від технічного стану високовольтного кабелю та регулятора яскравості підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів. Імовірність даної події за час t позначимо, як $P_{CCA}(t)$, де t – час між двома плановими перевірками ССА. Протягом часу t ССА вважається не відновлюваною системою.

Для варіанту I імовірності працездатного стану ССА за час t за умови реалізації гіпотез Н1 і Н2 відповідно складають:

$$P_{CCA}^{H_1}(t) = P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t) \qquad (1)$$

де $P_{Наб}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи за час t підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів; $P_{ЗПС}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи за час t підсистеми вогнів ЗПС.

$$P_{CCA}^{H_2}(t) = P_{ЗПС}(t) \qquad (2)$$

Формула (1) означає, що у СМУ, при реалізації гіпотези Н1, працездатний стан ССА забезпечується тільки за умови працездатного стану підсистеми вогнів ЗПС та підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів.

Формула (2) свідчить за те, що у ПМУ при реалізації гіпотези Н2, працездатний стан ССА забезпечується принаймні за умови працездатного стану підсистеми вогнів ЗПС.

Для варіанту II – імовірність працездатного стану ССА за час t незалежно від метеорологічних умов складає:

$$P_{CCA}^{II}(t) = P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t) \qquad (3)$$

Пояснюється це тим, що відмова будь-якої підсистеми вогнів незалежно від метеорологічних умов аеродрому призводить до відмови ССА.

Підставимо формули (1) і (2) разом з ймовірностями гіпотез у формулу повної імовірності для отримання імовірності безвідмовної роботи ССА за час t $P_{I\,CCA}(t)$ для варіанту I електропостачання підсистеми вхідних вогнів ЗПС.

$$P_{CCA}^{I}(t) = P_{H_1} \cdot P_{CCA}^{H_1}(t) + P_{H_2} \cdot P_{CCA}^{H_2}(t) \qquad (4)$$

Підставляючи в (4) усі значення з попередніх формул отримаємо:

$$P_{CCA}^{I}(t) = \frac{M}{100} \cdot \left[P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t)\right] + \frac{100 - M}{100} \cdot \left[P_{ЗПС}(t)\right]$$

$$P_{CCA}^{I}(t) = 0{,}01 \cdot M \cdot P_{ЗПС}(t) \cdot \left[P_{Наб}(t) + 0{,}01 \cdot M - 1\right]$$

Для оцінки виграшу в надійності I варіанту по відношенню до II варіанту візьмемо наступне відношення:

$$\frac{P_{CCA}^{I}(t)}{P_{CCA}^{II}(t)} = \frac{0{,}01 \cdot M \cdot P_{ЗПС}(t) \cdot \left[P_{Наб}(t) + \frac{100}{M} - 1\right]}{P_{Наб}(t) \cdot P_{ЗПС}(t)}$$

$$\frac{P_{CCA}^{I}(t)}{P_{CCA}^{II}(t)} = \frac{0{,}01 \cdot M \cdot \left[P_{Наб}(t) + \frac{100}{M} - 1\right]}{P_{Наб}(t)} \qquad (5)$$

$$\frac{P_{CCA}^{I}(t)}{P_{CCA}^{II}(t)} = \frac{0{,}01 \cdot M \cdot P_{Наб}(t) + 1 - 0{,}01 \cdot M}{P_{Наб}(t)}$$

Для засвідчення правдивості вище викладених тверджень приводимо графік з Excel, що показує виграш в надійності I варіанту по відношенню до II варіанту (рис. 1) в залежності від M% - процента СМУ, що спостерігаються на аеродромі в усіх випадків здійснення операцій посадки для трьох значень показників надійності підсистеми вогнів наближення і світлових горизонтів: P(t)appr 1 = 0,9; : P(t)appr 2 = 0,99; : P(t)appr 3 = 0,999, для t=12 год.

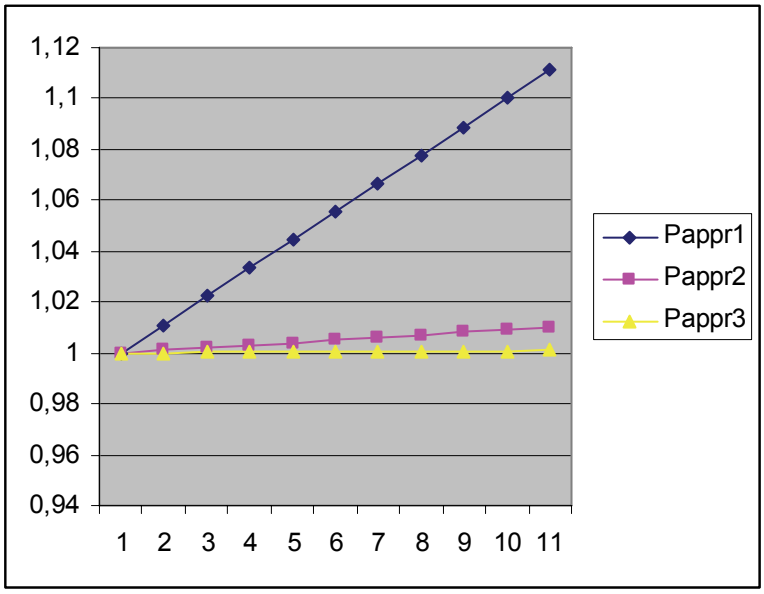


Рис.1. Графік виграшу в надійності підсистеми вогнів ЗПС для різних варіантів електропостачання вхідних вогнів ЗПС в залежності від M - процента СМУ, що спостерігаються на аеродромі в усіх випадках здійснення операцій посадки.

З графіку видно, що чим вища надійність підсистеми вогнів наближення та світлових горизонтів, тим менше виграш в надійності I варіанту по відношенню до II варіанту.

Висновки

1. Вітчизняні та міжнародні нормативно-технічні документи, що регламентують електропостачання світлосигнальних вогнів застаріли та не враховують технічного рівня і показників надійності сучасних компонентів світлосигнальних систем аеродромів цивільної авіації.

2. Для сучасних компонентів системи електропостачання аеродромних вогнів такий показник надійності, як імовірність безвідмовної роботи підсистеми за 12 годин може бути забезпечений на рівні 0,999, тому варіант електропостачання вхідних вогнів ЗПС разом з вогнями наближення і світлових горизонтів з відповідного напрямку посадки є науково обґрунтованими, враховує показники надійності окремих компонентів системи електропостачання аеродромних вогнів та дозволяє економити електричну енергію, технічний ресурс джерел світла не знижуючи показники надійності світлосигнальної системи аеродрому в цілому.

Список літератури

1. Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України” (СВ ЦАУ), наказ Державіаслужби України від 17 березня 2006 р., № 201.

2. *Руководство* по проектированию аэродромов. Часть 5. Электрические системы. 4-е изд. – 2004. Doc.9157, AN/901.

3. JAR-OPS 1. ”Комерційні авіаційні перевезення”. (Літаки). Частина E. – 2004. – 178 с. http://www. avia.gov.ua/jar_ops1_ukr.htm

УДК 681.3: 004.451.45(045)

Е.В. Киркач, аспирант
(Национальный авиационный университет, Украина)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЦЕЛОГО И ДРОБНОГО ПОРЯДКОВ ОПЕРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ТИПА

Предложен метод аппроксимационного решения нелинейных дифференциальных уравнений целого и дробного порядков на основе операционного метода неклассического типа. Представлены программы и результаты вычислительных экспериментов в среде системы Mathematica.

Многие задачи, которые описывают физические процессы нелинейные по своей сути. Уравнения, которыми описываются физические явления и процессы, обычно линейны лишь в первом приближении, а дальнейшее и более точное исследование, как правило, требует использования нелинейных уравнений. В большинстве случаев трудно решить эти уравнения, особенно аналитически.

В работах [1-10] предложены такие методы аппроксимационного решения нелинейных дифференциальных уравнений целого порядка как инверсный метод, метод разложения Адомиана, метод наименьших квадратов и гомотопический метод анализа. Однако перечисленные аппроксимационные методы дают не всегда удовлетворительную точность аппроксимационного решения. Более того, их нельзя применить для нелинейных динамических систем нецелого порядка, которые описываются нелинейным дифференциальным уравнением нецелого порядка с производной по Капуто.

В данной работе предложен метод аппроксимационного решения нелинейных дифференциальных уравнений целого и дробного порядков на основе операционного метода неклассического типа.

Операционные исчисления неклассического типа (S-преобразования) порождаются при использовании методов полиномиальных аппроксимаций [11]. В основу метода полиномиальной аппроксимации положено представление сигнала на конечном интервале изменения аргумента обобщенным полиномом по некоторой системе линейно-независимых базисных функций (степенная система базисных функций, экспоненциальная система, тригонометрический полином, ортогональные полиномы Лежандра и др.). Если сигнал $x(t)$ задан на интервале $(a \le t \le b)$ изменения аргумента t и на этом же интервале задана система линейно-независимых базисных функций $\{s_i(t)\}_i^m$, формирующая обобщенный полином:

$$x_a = \sum_{i=1}^{m} X_i s_i(t) \tag{1}$$

где X_i – вектор коэффициентов аппроксимирующего полинома, компоненту которого соответственно методу наименьших квадратов определяются соотношениями:

$$\vec{\mathbf{X}} = \mathbf{W}^{-1} \cdot \vec{\mathbf{Q}}, \tag{2}$$

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mm} \end{bmatrix}, \vec{\mathbf{Q}} = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix}, \vec{\mathbf{X}} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_m \end{bmatrix},$$

$$w_{ij} = \int_a^b s_i(t) s_j(t) dt \,,\; q_j = \int_a^b x(t) s_j(t) dt \,,$$

где $\mathbf{W}$ — операционная матрица аппроксимирующего полиномиального спектра, $\vec{\mathbf{Q}}$ — операционный вектор спектра, $\vec{\mathbf{X}}$ — аппрокимирующий полиномиальный спектр сигнала.

Решение задачи нахождения аппроксимирующего полиномиального спектра сигнала в матрично-векторной форме определяется выражением (2). Это выражение представляет собой прямое операционное преобразование, тогда как выражение (1) представляет обратное преобразование.

Для системы линейно-независимых базисных функций

$$\vec{\mathbf{S}}(t) = \left[s_1(t), s_2(t), \ldots, s_m(t)\right]$$

прямое и обратное преобразования имеют вид:

$$\vec{\mathbf{X}} = \left(\int_0^T \vec{\mathbf{S}}(t)\cdot\vec{\mathbf{S}}^*(t)dt\right)^{-1}\cdot\left(\int_0^T x(t)\cdot\vec{\mathbf{S}}(t)dt\right),\ x_a(t) = \sum_{i=1}^{m} X_i\cdot s_i(t) = \vec{\mathbf{X}}^*\cdot\vec{\mathbf{S}}(t) = \vec{\mathbf{S}}^*(t)\cdot\vec{\mathbf{X}}$$

Основное операционное правило для операции интегрирования записывается следующим образом:

$$y(t) = \int_0^t x(\tau)d\tau \Leftrightarrow \vec{\mathbf{Y}} = \mathbf{P}_s\cdot\vec{\mathbf{X}}$$

где $\mathbf{P}_s$ – операционная матрица интегрирования, элементы которой зависят только от системы базисных функций.

Применяя неклассическое операционное исчисление к линейному дифференциальному уравнению, получаем систему алгебраических уравнений в матричной форме, которая легко решается при помощи правил матричной алгебры. В результате получаем значение коэффициентов аппроксимирующего полиномиального спектра и, применяя обратное преобразование, находим аппроксимационное решение уравнения.

Алгоритм решения нелинейных дифференциальных уравнений операционным методом неклассического типа рассмотрим на примере нелинейного дифференциального уравнения с производной по Капуто, которое имеет точное решение:

$$_C D^{1,5} y(t) + y^2(t) = f(t),\ y_0 = y_0' = 0,$$

где $f(t) = 9{,}02704t^{1,5} - 21{,}6649t^{2,5} + 10{,}3166t^{3,5} + \left(2t^3 - 3t^4 + t^5\right)$.

Точное решение уравнения имеет вид: $y(t) = t^5 - 3t^4 + 2t^3$.

Используя определение производной Капуто [11], получим преобразованное уравнение:

$$J^{0,5}(y''(t)) + y^2(t) = f(t). \qquad (3)$$

Заменяя вторую производную искомой функции новой функцией, получим:

$$y''(t) = u(t),\ y'(t) = y_0' + \int_0^t u(\tau)d\tau,\ y(t) = y_0 + y_0' t + \int_0^t\int_0^t u(\tau)d\tau^2. \qquad (4)$$

Подставляя (4) в (3), получим выражение:

$$J^{0,5}u(t) + \left(\int_0^t\int_0^t u(\tau)d\tau^2 + y_0 + y_0' t\right)^2 = f(t). \qquad (5)$$

Применяя к уравнениям (4) и (5) неклассическое преобразование, перейдем в операционное пространство:

$$\mathbf{P}^{0.5}\cdot\vec{\mathbf{U}} + \left(\mathbf{P^2}\cdot\vec{\mathbf{U}} + y_0\vec{\mathbf{1}} + y_0'\vec{\mathbf{t}}\right)^2 = \vec{\mathbf{F}}, \qquad (6)$$

где $\vec{\mathbf{F}}$ - изображение правой части уравнения.

Далее вычисляем матрицы интегрирования порядков 0,5 и 2, а искомую функцию записываем в явном виде, то есть в виде вектора неизвестных коэффициентов $\mathbf{U} = \{U_1, U_2, \ldots, U_m\}$.

Подставляя вектор коэффициентов в уравнение (6), перемножая его с найденными матрицами интегрирования и складывая полученные вектора, получаем систему нелинейных уравнений.

Найдя корни системы нелинейных уравнений методом Ньютона, с помощью уравнений (4) находим изображения искомой функции и, применяя обратное операционное преобразование, получаем аппроксимационное решение нелинейного дифференциального уравнения.

Ниже без комментариев приведена программа рассмотренного метода в программной среде системы Mathematica. Решение рассматривается на интервале $0 \le t \le 2$. На рис. 1 показано точное решение уравнения. В качестве базисных функций используется локальные базисные системы на основе смещенных полиномов Лежандра нулевого порядка.

```
In[4]:= m = 10; h = 2 / 10; a := 0; b := 2;
In[5]:= v[t_, i_, h_] := If[(i - 1) * h ≤ t < i * h, 1, 0];
In[6]:= V = Table[v[t, i, h], {i, 1, m}];
In[7]:= IntegrMatrBPF = Function[{a, b, m, β}, h = (b - a)/m;
          h^β / Gamma[β + 2] *
           Table[Which[i < j, 0, i == j, 1, i > j,
             (i - j + 1)^(β+1) - 2 (i - j)^(β+1) + (i - j - 1)^(β+1)], {i, 1, m}, {j, 1, m}]];
In[8]:= β = 0.5;
In[9]:= P05 = IntegrMatrBPF[a, b, m, β];
In[10]:= β = 2;
In[11]:= P2 = IntegrMatrBPF[a, b, m, β];
In[11]:= P2 = IntegrMatrBPF[a, b, m, β];
In[13]:= f =
          0.5641895835477563`
            (0.` + 16.` t^1.5` - 38.4` t^2.5` + 18.28571428571429` t^3.5`) + (2 t^3 - 3 t^4 + t^5)^2;
In[14]:= F = Table[1/h * ∫_((i-1)*h)^(i*h) f dt, {i, 1, m}];
In[15]:= A = P05.U + P2^2.U^2 - F;
In[16]:= FindRoot[{A[[1]] == 0, A[[2]] == 0, A[[3]] == 0, A[[4]] == 0, A[[5]] == 0,
           A[[6]] == 0, A[[7]] == 0, A[[8]] == 0, A[[9]] == 0, A[[10]] == 0},
          {Y1, 0}, {Y2, 0}, {Y3, 0}, {Y4, 0}, {Y5, 0}, {Y6, 0}, {Y7, 0}, {Y8, 0},
          {Y9, 0}, {Y10, 0}]
Out[16]= {Y1 → 0.655243, Y2 → 1.06217, Y3 → -0.485745, Y4 → -2.36798, Y5 → -3.91231,
          Y6 → -3.98685, Y7 → -1.35365, Y8 → 4.85657, Y9 → 14.034, Y10 → 25.0483}
In[17]:= U = {0.655243116913177`, 1.0621732865141262`, -0.48574492565024624`,
           -2.3679847767105517`, -3.91230647066169`, -3.986853555024191`,
           -1.353654463086508`, 4.856572427765051`, 14.033960723182519`,
           25.048253370508`};
In[18]:= X = P2.U;
In[19]:= ya = X.V;
```

На рис. 2 *а, б* показано аппроксимационное решение при различных порядках базисной системы функций.

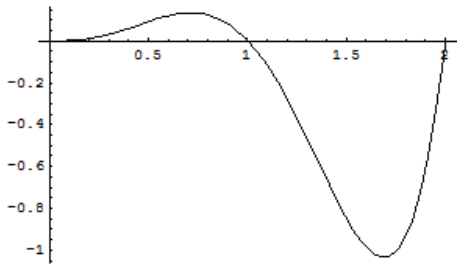


Рис. 1. Визуализация точного решения уравнения

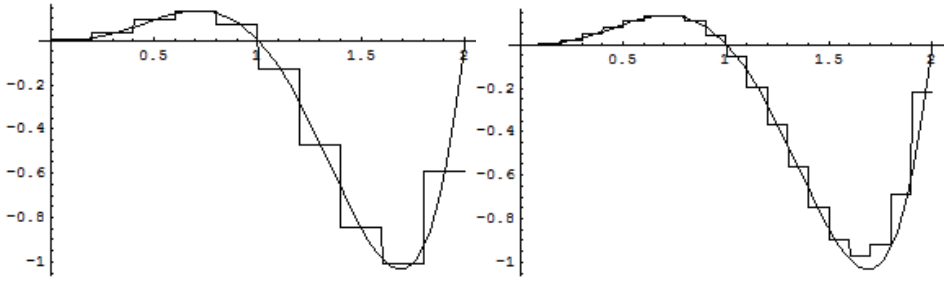


Рис.2. Аппроксимационное решение уравнения: *а* – при $m = 10$; *б* – при $m = 20$

Выводы. Предложенный в данной работе аппроксимационный метод решения нелинейных дифференциальных уравнений целого и дробного порядков на основе операционного метода неклассического типа позволяет при помощи простых преобразований получить решения нелинейных уравнений. Кроме того, с его помощью можно получить решение нелинейного дифференциального уравнения с производной по Капуто, которое тяжело получить, применяя упомянутые вначале методы. Меняя порядок базисных функций, можно достигать требуемой точности решения.

Список литературы

1. *Pipes Louis A.* Computation of the Impedances of Nonuniform Lines by a Direct Method // A.J.E.E. Transactions of the Amer. Inst. Electr.Eng. – 1956. – Vol. 75. – Pt.1. – p. p. 551-554.

2. *J. Biazar, S. M. Shafiof.* A Simple Algorithm for Calculating Adomian Polynomials // Int. J. Contemp. Math. Sciences, Vol. 2, 2007, no. 20, P. 975 – 982.

3. *E.A. Ibijola, Ph.D., B.J. Adegboyegun, M.Sc.* On the Theory and Application of Adomian Decomposition Method for Numerical Solution of Second-Order Ordinary Differential Equations // *The Pacific Journal of Science and Technology* Volume 9. Number 2. November 2008 (Fall) p.p. 357-362.

4. *E.A. Ibijola, B.J. Adegboyegun, O.Y. Halid.* On Adomian Decomposition Method (ADM) for Numerical Solution of Ordinary Differential Equations Advances in Natural and Applied Sciences, 2(3): P. 165-169, 2008 ISSN 1995-0748.

5. *Jafar Biazar, Masumeh Pourabd.* A Maple program for computing Adomian polynomials // International Mathematical Forum, 1, 2006, no. 39. – P.1919-1924.

6. *Васильєв В.В.* Математичне і комп'ютерне моделювання процесів і систем: Апроксимація сигналів із застосуванням системи Mathematica®*: Навчальний посібник* / В.В. Васильєв, Л.О. Сімак*.; НАН України, Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова, М-во освіти і науки України, Національний авіаційний університет* – К.: НАН України, 2007. – 127 с. – *Бібліогр. : с. 126.* – ISBN 978-966-02-4386-6.

7. *Киркач Е.В.* Сравнительный анализ аппроксимационных методов решения нелинейных дифференциальных уравнений / Е.В.Киркач // Електроніка та системи управління. – К.: НАУ. - 2010.- № 1(23). – С. 99-108.

8. *S. Liao.* Comparison between the homotopy analysis method and homotopy perturbation method // Applied Mathematics and Computation 169 (2005) 1186-1194.

9. *A.K. Alomari, M.S.M. Noorani, R. Nazar.* The homotopy analysis method for the exact solutions of the *K*(2,2), Burgers and coupled Burgers equations // Applied Mathematical Sciences, Vol. 2, 2008, no. 40, 1963-1977.

10. *S.A. Zahedi, M. Fazeli, N. Tolou.* Analytical solution of time-dependent non-linear partial differential equations using HAM, HPM and VIM // Journal of Applied Sciences 8(16): 2888-2894, 2008.

Васильев В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. Научное издание. / В.В. Васильев, Л.А. Симак*.; НАН Украины, Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова.* — Киев, НАН Украины, 2008. — 256 с. – *Библиогр. в конце гл.* – ISBN 978-966-02-4384-2.

УДК 004.932(045)

П.П. Когут (Фабрика банкнотного паперу НБУ, Україна)
В.О. Шевченко, Ю.Т. Герасименко, к.ф.-м.н., В.І. Степура, к.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОЦІНКА ПОВЕРХНЕВИХ ДЕФЕКТІВ ПАПЕРОВИХ ДОКУМЕНТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ЗАХИЩЕНИХ ВИДІВ ПАПЕРУ

Розглянуто питання комп'ютерної обробки сканованих зображень документів, виготовлених із різних видів захищеного паперу. Запропоновано способи оцінки технічного стану паперових зразків на основі аналізу оптичних зображень. Розроблено алгоритми виділення контурів на цих зображеннях.

Метою даної роботи є пошук та розробка методів і алгоритмів, що дозволяють за допомогою обробки цифрових зображень отримувати інформацію про геометричні розміри сканованих паперових об'єктів, їх межі, структуру та технічний стан.

В процесі виготовлення і використання виробів, виготовлених із різних видів захищеного паперу, виникає необхідність контролю зовнішніх параметрів цих виробів, оцінки пошкоджених ділянок та ступеня зношеності. В роботі виконано дослідження зразків виробів із спеціального паперу за допомогою оптичного сканування. Зображення можна визначити як двомірну функцію $f(x,y)$, де x і y - це просторові координати, а амплітуда f для кожної пари координат (x,y) є інтенсивністю або яскравістю зображення в точці з цими координатами [1, 2]. Зображення може мати безперервні x- та y-координати, а також безперервну амплітуду f. Перетворення такого зображення в цифрову форму вимагає представлення координат і значень амплітуди деякими дискретними значеннями. Результатом перетворення є матриця чисел, а аналіз зображення зводиться до обробки відповідних матриць.

У випадку переважної більшості процедур обробки для отримання результату в кожній точці зображення використовують вхідні дані з деякої множини точок зображення, які оточують оброблювану точку. Проте є група процедур, в яких здійснюється так звана поелементна обробка. При цьому результат обробки в будь-якій точці зображення залежить лише від значення вхідного зображення в цій же точці. Перевагою таких процедур є відносна простота.

Дослідження зразків виробів із спеціального паперу виконано за допомогою повнокольорового планшетного сканера Epson Perfection V700 Photo, отримано цифрові зображення зразків з розподільною здатністю від 600 до 6400 dpi. Для підвищення точності експериментальних результатів сканування проводилося у відбитих променях на білому і чорному фонах та у прохідних променях із застосуванням слайд-модулю. Незалежно від вибору сканера, для здобуття найкращих результатів треба дотримуватися універсальних правил. По-перше, слід пам'ятати, що жодна програма не здатна виявити в зображенні деталі, які були втрачені при скануванні. Тобто, чим більше вдасться отримати інформації від сканера, тим більші можливості по її обробці надасть графічний редактор і тим вірогідніше здобуття високоякісного цифрового зображення. По-друге, не можна отримати від оригінала більше інформації, ніж в ньому міститься. Не можна також отримати від сканера більше корисних відомостей, ніж той здатний зняти фізично. Всяка інтерполяція і інші "розширення" нічого нового в зображення не додають, а лише дозволяють відразу отримати картинку з потрібною розподільною здатністю і розмірами.

Процедура комп'ютерного аналізу зображень зводиться до виконання ряду операцій з метою перетворення зображення у форму, зручнішу для візуального або машинного аналізу. Результатом обробки є створення двовимірних масивів даних. Для обробки цих масивів можна застосовувати ряд математичних методів та різні системи інженерних обчислень. Найбільш потужною з поширених систем такого роду є MATLAB. Для оцінки геометричних

параметрів досліджуваних зразків використано обробку зображень за допомогою пакету Image Processing Toolbox (IPT) системи MATLAB. Головна перевага системи при її використанні для роботи із зображеннями полягає у різноманітному наборі функцій обробки багатовимірних числових масивів, а зображення (двовимірні числові масиви) є важливим окремим випадком таких об'єктів [3, 4]. У пакеті IPT зібрані функції, що розширюють можливості обчислювального середовища MATLAB. Ці функції, а також широкі можливості мови MATLAB, дозволяють виконувати складні операції з обробки зображень.

При аналізі сканованого зображення потрібно розділити пікселі на групи, які відповідають досліджуваному зразку і фону, тобто, виконати сегментацію зображення. Найбільш відомими є два види сегментації - сегментація за яскравістю для бінарних та сегментація за колірними координатами для кольорових зображень. Методи сегментації можна розглядати як формалізацію поняття виділення об’єкта з фону або понять, пов’язаних із градієнтом яскравості. Алгоритми сегментації характеризуються деякими параметрами надійності і достовірності обробки. Вони залежать від того, наскільки повно враховуються додаткові характеристики розподілу яскравості в областях об'єктів або фону.

Аналіз напівтонових зображень досліджуваних зразків та відповідних гістограм яскравостей пікселів цифрових зображень дозволяє встановити межі об’єктів та фону. У більшості випадків зображення досліджуваних об’єктів мають досить однорідну структуру і різко виділяються від фону. В цьому разі можна скористатися найбільш простим видом сегментації - пороговою сегментацією. Для сегментації необхідно виявити ділянки зображення, в яких є перепад яскравості. Оскільки досліджуване зображення піддається дії шуму, на ньому допускається деякий розкид значень яскравості.

Для оцінки площі досліджуваного зразка потрібно виділити на сканованому зображенні точки, які належать зразку, та підрахувати загальну кількість цих точок. Знаючи площу, яку займає один піксель зображення, і кількість пікселів, з яких складається зображення зразка, можна підрахувати площу зразка. Аналіз отриманих результатів показав, що розбіжність отриманих даних при різних умовах сканування одного й того ж об’єкта не перевищує 1%.

Для знаходження зовнішнього контуру зображення досліджуваного зразка та визначення його периметру можна використати традиційні підходи аналізу контурів, які полягають у фільтрації зображення для придушення шумів, побудові градієнта зображення і відсіканні за порогом. Це дозволяє побудувати бінарну межу і визначити контур з точністю, порівняною з розмірами піксела.

Скановані цифрові зображення (файли растрової графіки) мають значний розмір. Тому при обробці цифрових зображень постає питання їх стиснення. Відомі два методи стиснення цифрових зображень - стиснення без втрат і стиснення з втратами. Методи, що допускають втрати даних, є істотно ефективнішими. У зображеннях призначених для фотометричних досліджень стиснення не повинно спричиняти втрати фотометричних даних.

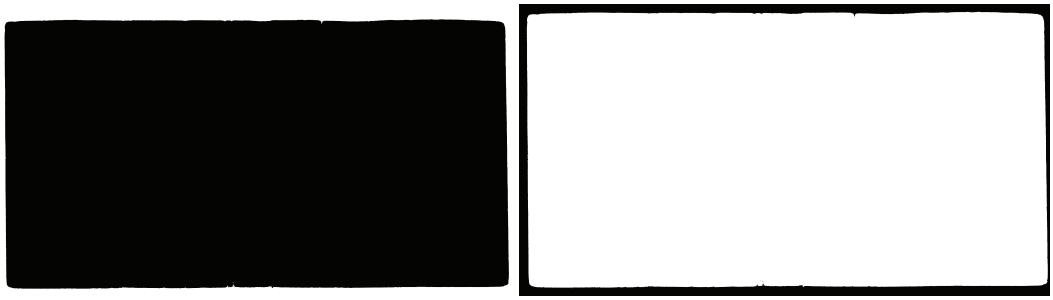
Було перевірено ступінь викривлення фотометричних даних, що вноситься при збереженні цифрових зображень, у поширеному форматі JPG, основою якого є дискретно-косинусне перетворення (ДКП). Аналіз результатів дослідження показав можливість застосування цифрового графічного формату для збереження зображень без втрати фотометричних даних.

На рис. 1 представлено скановане зображення зразка паперового документу, отримане у променях, що проходять (а), та у відбитих променях (б). Розміри сканованої області – 65,615 мм × 119,062 мм. Розподільна здатність сканування - 6400 т/д. Розмір JPG-файлу зберігання – 143,78 Мб.

Оцінимо можливості обробки такого зображення в системі MATLAB. Оскільки для аналізу зображення, в першу чергу, нас цікавить яскравість зображення, перетворимо вхідне кольорове зображення в напівтонове і бінарне. Для цього використаємо відповідні функції **rgb2gray** та **im2bw**. Перетворення напівтонового зображення (що має багато градацій яскравості) в бінарне (двохградаційне) здійснюється для того, щоб скоротити надмірну

інформаційну ємність зображення, залишивши лише ту інформацію, яка потрібна для вирішення конкретного завдання, і виключити неістотні особливості (фон).

В пакеті IPT системи MATLAB для виділення меж на вхідному напівтоновому зображенні I використовується спеціальна функція **BW=edge** (I, method). Дана функція повертає бінарне зображення BW такого ж розміру, що й у початкового I. Піксель зображення BW дорівнює одиниці, якщо відповідний піксель зображення I належить межі. Для виявлення меж може використовуватися декілька методів. Використовуваний метод задається в параметрі method у вигляді одного з наступних рядків: 'sobel', 'prewitt', 'roberts', 'log', 'zerocross', 'canny'.



а) б)

Рис. 1. Скановані зображення зразка, отримані за допомогою прохідних променів (а) та відбитих променів на чорному фоні (б)

Однією з причин, що ускладнюють обробку сканованих зображень, може бути слабкий контраст зображення. Тому потрібно оцінити кількість пікселів з різним рівнем яскравості, присутніх на зображенні. Для цього можна проаналізувати гістограму зображення, кількість рівнів якої відповідає кількості градацій яскравості. За допомогою функцій **imhist** (I, n) і **imhist** (BW, n) в поточному вікні можна побудувати гістограми яскравостей пікселів відповідно напівтонового (I) і бінарного (BW) зображень. Гістограма складається з n стовпців. Значення n при виклику функції можна не вказувати, в цьому випадку будуть використані значення n = 256 для напівтонового зображення і n = 2 для бінарного зображення. Під рисунком гістограми виводиться шкала яскравостей.

В приведених на рис. 1 випадках зображення досліджуваного об’єкту мають достатньо однорідну структуру і різко вирізняються від фону, тому можна скористатися пороговою сегментацією. Оскільки яскравості точок об'єкту різко відрізняються від яскравостей точок фону, то для встановлення порогу можна визначити деяку характеристичну функцію, яка дорівнює одиниці для всіх точок об'єкту і нулю для всіх точок фону.

Висновки

В роботі підтверджена можливість виконувати контроль геометричних параметрів зразків, виготовлених із захищених видів паперу, за допомогою цифрової обробки сканованих зображень. Запропоновані математичні алгоритми обробки даних дозволяють автоматизувати процес контролю якості зразків на програмно-апаратному рівні.

Список літератури

1. *Р Гонсалез., Р Вудс., С. Эддинс.* Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.

2. *Эммануил С. Айфичер, Барри У. Джервис*. Цифровая обработка сигналов: практический подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. – 992 с.

3. *И.Е. Ануфриев, А.Б.Смирнов, Е.Н. Смирнова.* MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.

4. *Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, М.М. Шульц.* MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 752с.

УДК 628. 973 (045)

В.О. Шевченко, Т.І. Яреміч
(Національний авіаційний університет, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ СВІТЛОВИХ ПРИЛАДІВ ІЗ СВІТЛОДІОДНИМИ І ТОЧКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ СВІТЛА

В роботі проаналізовано можливості моделювання світлових приладів у програмному середовищі MATLAB. Запропоновано методи розрахунку форми і параметрів поверхонь відбивачів світильників при заданій діаграмі спрямованості у випадку світлодіодних та точкових джерел світла, розглянуто способи розрахунку світлотехнічних характеристик світильників із відомими параметрами відбивачів та джерел світла.

Стрімкий розвиток обчислювальної техніки, чисельних методів та програмних засобів, що відбувається останнім часом, надає нові можливості вирішення багатьох практично важливих завдань створення світлових приладів (СП). Для конструювання світлових приладів широко використовують методи математичного моделювання, які фізично точно враховують форму, оптичні властивості відбиваючих поверхонь і реальні характеристики джерел випромінювання. Основною складністю при цьому є врахування багаторазового відбиття оптично зв'язаними поверхнями.

При розробці СП потрібно приймати до уваги значну кількість взаємозалежних чинників, що ускладнює розв’язок виконуваних завдань і призводить до неоднозначних рішень. Тому слід виділити з безлічі взаємозв'язків найбільш істотні, що дозволяє спростити відповідні рішення і отримати на виході прийнятний результат.

Проектування СП передбачає послідовне виконання декількох етапів, серед яких одним з найважливіших є етап світлотехнічного розрахунку. На цьому етапі визначається оптична система СП та його світлотехнічні параметри. При моделюванні світильників із заданими характеристиками світлорозподілу основним завданням є пошук таких оптичних систем, які забезпечували б необхідний розподіл вихідного випромінювання. У випадку заданих параметрів оптичних систем та джерел світла основним результатом розрахунків є встановлення кривих сили світла (КСС), тобто, визначення фотометричного тіла у різних перетинах.

Існуючі методи розрахунку СП можуть бути розділені на дві групи. Перша базується на розрахунку світлового потоку, що випромінюється СП в різні зони простору. При цьому використовується припущення про точково малі розміри світного тіла (СТ) джерела. Друга група заснована на розрахунку площі і яскравості частини СП, що спостерігається з певного напрямку простору.

У даній роботі пропонується за допомогою математичного пакету MATLAB виконувати, з одного боку, розрахунки поверхонь відбивачів світильників при наперед заданих характеристиках діаграми спрямованості (ДС), а з іншого, світлотехнічні розрахунки СП з відомими параметрами оптичних систем і джерел світла. Вибір пакету MATLAB як засобу розробки пояснюється високорівневою мовою програмування, великою кількістю вбудованих функцій, високою швидкістю обчислень і широкими графічними можливостями для візуалізації отриманих результатів. Розглянуто методи розрахунку СП із світлодіодними і точковими джерелами та розроблено відповідні алгоритми розрахунків.

Використання світловипромінюючих діодів (СВД) у світлових приладах стає все більш масштабним у зв'язку із збільшенням їх світлового потоку і зменшенням вартості. Для використання всіх переваг СВД особливого значення набуває управління випромінюваним світловим потоком. Велика увага приділяється розробці оптичних елементів для формування заданого розподілу освітленості. Більшість світлодіодів випромінюють потік симетрично навколо оптичної осі, тому структуру випромінювання визначає графік кутової залежності

інтенсивності потоку. Основним параметром структури випромінювання є кут, що визначає ширину структури випромінювання на рівні половинної максимальної інтенсивності.

Окремий світлодіод характеризується порівняно малим світловим потоком, тому світлодіодний СП може складатися з кількох або з кількох десятків таких діодів. У зв'язку з цим, виникає необхідність відповідних розрахунків для визначення кількості світлодіодів, їх взаємного розташування та необхідності додаткових оптичних елементів (вторинної оптики).

На основі експериментальних досліджень світлотехнічних характеристик ряду світлодіодів білого та червоного світіння ламбертівського типу створена база даних окремих світлодіодів та світлодіодних модулів на їхній основі.

Розроблено комп'ютерну програму для розрахунку КСС світлодіодних світильників з довільно розташованими та зорієнтованими відносно певного центру діодами, яка враховує залежність вихідного потоку окремих СВД від сили струму і температури. Програма дозволяє отримувати дані для створення фотометричних файлів світильників в IES-форматі [1] та розраховувати освітленості, створювані такими світильниками (рис. 1).

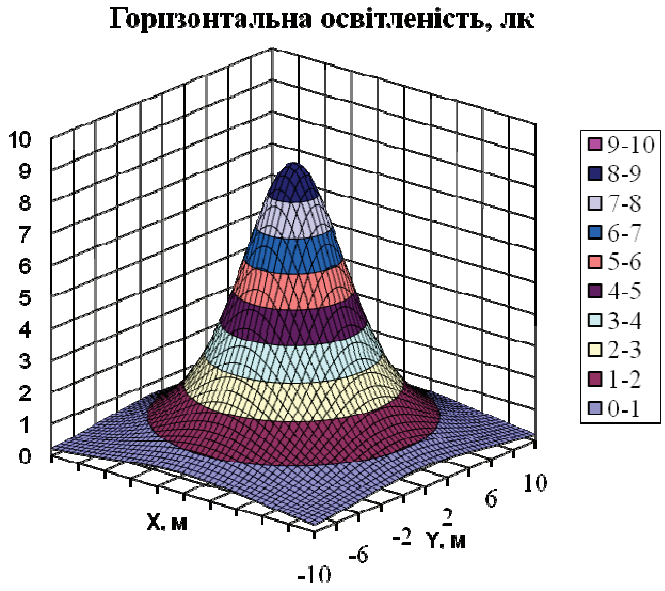
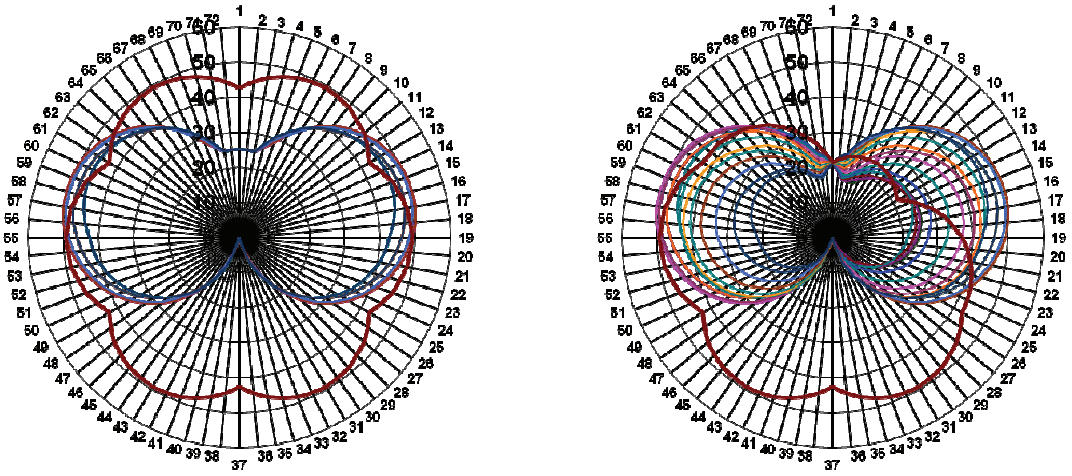


Рис. 1. Приклад розрахунку освітленості, створеної світлодіодним СП

Для моделювання світлосигнальних пристроїв (ССП) на основі СВД розроблено спеціальну програму, яка допомагає визначати необхідну кількість та оптимальне просторове розташування світлодіодів, дозволяє прогнозувати зміну світлотехнічних характеристик вогню внаслідок зміни струму, температурних режимів або відмови окремих світлодіодів. При проектуванні ССП особливу увагу потрібно приділяти стабільності світлотехнічних характеристик, які повинні знаходитися в установлених межах і не зменшуватися нижче встановлених норм [2-4].

На основі останньої програми виконано моделювання ряду світлодіодних загороджувальних вогнів. Порівняння експериментальних результатів і теоретичних розрахунків показує, що розроблена програма цілком задовільно описує світлорозподіл вогнів. Отримані за допомогою програми результати зручно представляти в полярній системі координат, одночасно показуючи КСС у горизонтальній і різних вертикальних площинах. На рис. 2 наведені розрахункові дані для макета загороджувального вогню з шести 3-ватних світлодіодів, розміщених на гранях піраміди з алюмінієвих пластин. На рис. 2, а показано світлорозподіл вогню при всіх ввімкнених СВД, на рис. 2, б – світлорозподіл при одному вимкненому діоді.



а) б)

Рис. 2. Приклад представлення значень КСС світлодіодного загороджувального вогню з шести СВД (а – увімкнені всі світлодіоди, б – вимкнено один із світлодіодів)

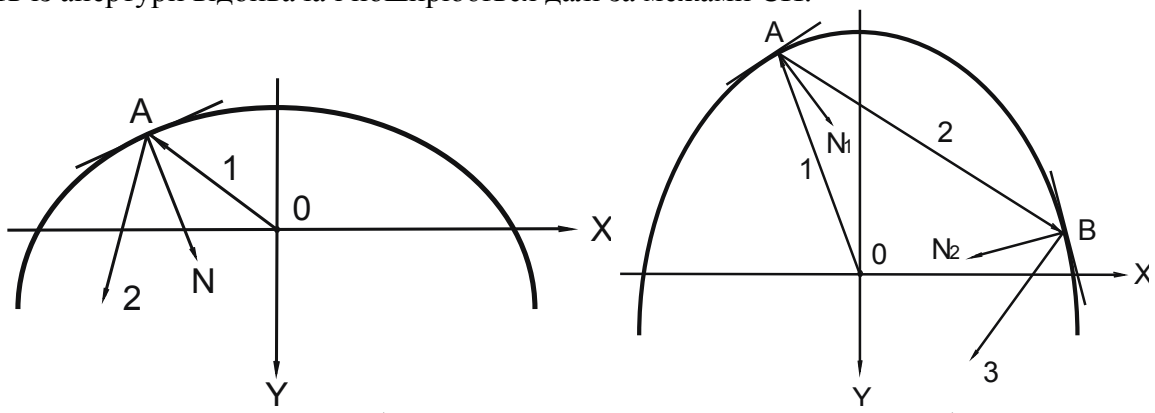
Проектування сучасних оптичних систем СП вимагає використання фізично акуратних і ефективних моделей поширення світла. Існуючі системи оптичного моделювання надають два основні способи візуалізації результатів оптичного моделювання - по-перше, це візуалізація розподілу вихідних світлових характеристик (освітленість, яскравість, інтенсивність світла) на приймачі випромінювання і, по-друге, візуалізація світлових полів (наприклад, траєкторій променів) в оптичній системі. Вихідні оптичні характеристики - це безпосередній результат оптичного моделювання, що спостерігається на приймачі випромінювання. Така форма представлення результату зручна у випадках, коли в першу чергу цікавить сам результат моделювання.

Найбільш ефективним методом променевого моделювання, що дозволяє вирішувати складні завдання поширення світла в світлопровідних оптичних системах з елементами поверхневого і об'ємного розсіювання, є пряме трасування променів методом Монте-Карло. Пряме трасування променів методом Монте-Карло [5] моделює поширення світлових променів від джерела світла до приймача випромінювання і тим самим статистично відтворює розподіл освітленості, інтенсивності або яскравості на приймачі випромінювання. Метод Монте-Карло дозволяє моделювати всі фізичні ефекти поширення променів (дифузне розсіювання на поверхнях, дзеркальне відбиття, заломлення і тому подібне).

У випадку точкових джерел світла відомі аналітичні методи розрахунку радіально-симетричних відбиваючих поверхонь для формування заданих ДС [6]. Ці методи, як правило, зводять завдання до розв’язання диференціальних рівнянь першого порядку з подальшим інтегруванням. При цьому найчастіше не враховуються можливі багаторазові відбиття променів. В роботі розглянуто варіанти дзеркальних та дифузійних поверхонь відбивачів. У випадку дзеркальних відбивачів, якщо відбитий промінь не потрапляє в апертуру відбивача (кругова область, що проходить через крайні точки відбивача), то має місце перевідбиття. Для визначення факту перевідбиття потрібно визначити, чи перетинається відбитий промінь з поверхнею відбивача. Якщо промінь перетинає відбиваючу поверхню, то необхідно знайти координати точки перетину відбитого променя і відбивача. В результаті, можна знайти вектор напряму променя після другого відбиття. Процедура повторюється до тих пір, поки промінь не попаде в апертуру відбивача. На заключному етапі оцінюється загальний внесок в ДС прямого світла від джерела світла і світла, сформованого оптичною системою. Отримані результати використовуються як початкове наближення для наступних уточнюючих розрахунків.

Хід променів від точкового джерела світла у випадку радіально-симетричного дзеркального відбивача показано на рис. 3. Систему координат обрано таким чином, щоб точкове джерело знаходилося в точці початку координат. Цифрою 1 позначено довільний

промінь, який виходить з джерела світла. Точка А – точка перетину променя 1 з відбиваючою поверхнею. Відбитий промінь 2 на рис. 3, а виходить із апертури СП. На рис. 3, б промінь 2 перетинає відбиваючу поверхню в точці В, а відбитий промінь 3 виходить із апертури відбивача і поширюється далі за межами СП.



а) б)

Рис. 3. Хід променів у випадку дзеркальних відбивачів

Для розрахунку діаграми спрямованості потрібно скористатися законом збереження світлового потоку [6]:

$$|I_0 \sin(\beta)\, d\beta| = |I(\alpha) \sin(\alpha)\, d\alpha|,$$

де - I_0 інтенсивність джерела світла; β - кут, під яким промінь виходить із джерела; α - кут, під яким промінь виходить із апертури відбивача.

Якщо відбитий промінь не потрапляє в апертуру дзеркала, то відбувається перевідбиття (рис. 3, б). Для визначення факту перевідбиття потрібно знайти координати точки перетину відбитого променя з прямою, що проходить через крайні точки дзеркала. У випадку, коли координата x точки перетину по модулю більша, ніж модуль координати x крайньої точки дзеркала, відбитий вектор не потрапляє в апертуру і розраховується наступне відбиття. Кроки виконуються до тих пір, поки промінь не потрапить в апертуру дзеркального відбивача. Далі потрібно врахувати внесок цього променя в загальний світловий потік СП.

Висновки

Використання сучасного програмного забезпечення дозволяє виконувати моделювання оптичних систем світлових приладів із світлодіодними і точковими джерелами світла. Вихідними даними при цьому можуть бути форма і геометричні розміри відбиваючих і заломлюючих поверхонь СП, програмні модулі візуалізації ходу променів, фотометричні бази даних СП.

Список літератури

1. А. А. Коробко. О некоторых аспектах представления светораспределения световых приборов для программ расчета освещения. // Светотехника. 2001, № 6, С. 22-28.

2. Руководство по проектированию аэродромов. Ч. 4. Визуальные средства. 4-е изд. – 2004. Doc.9157, AN/901.

3. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации: В 2 т. / 4-е изд., июль 2004. – Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов.

4. “Сертифікаційні вимоги до цивільних аеродромів України” (СВ ЦАУ), наказ Державіаслужби України від 17 березня 2006 р., № 201.

5. *А. Г. Волобой, В. А. Галактионов, К. А. Дмитриев, Э. А. Копылов*. Двунаправленная трассировка лучей для интегрирования освещенности методом квази-Монте Карло. // "Программирование". 2004, № 5, С. 25-34.

6. *О. К. Кущ*. Оптический расчет световых и облучательных приборов на ЭВМ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 152 с.

УДК 621.372.061.9:517/9.001.57(045)

А.В. Васильев, канд. техн. наук
(Отделение гибридных моделирующих и управляющих систем в энергетике ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Украина)

ОЦЕНИВАНИЕ СРЕДНИХ ЗНАЧЕНИЙ НЕПРЕРЫВНЫХ СИГНАЛОВ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКОВ НА ОСНОВЕ АППРОКСИМАЦИИ В ЛОКАЛЬНЫХ БАЗИСАХ ПОЛИНОМОВ ЛЕЖАНДРА

Предложена методика оценивания средних значений непрерывного сигнала и его первой и второй производных при дискретизации по аргументу с шагом h. Методика основана на использовании метода полиномиальной аппроксимации с базисной системой локального типа на основе смещенных полиномов Лежандра.

При обработке экспериментальной информации, математическом и компьютерном моделировании динамических систем часто возникает задача оценивания значений непрерывных сигналов, их производных первого и второго порядков. Компьютерная реализация математических моделей дифференциальных игр также предполагает оценивание текущих значений положения объектов, скоростей и ускорений. Прямое дифференцирование сигналов, полученных техническими средствами наблюдения, не представляется возможным в связи с высокой чувствительностью операций дифференцирования к ошибкам измерения и помехам, сопровождающим сигналы в реальных условиях. В связи с этим, необходимо обеспечить оценивание параметров сигнала с использованием осреднения и низкочастотной фильтрации для выделения информативных параметров сигналов на фоне шумов и ошибок измерения. В данной работе для решения указанных задач предлагается использовать метод полиномиальной аппроксимации сигналов на основе локальных базисных систем [2].

Для сигнала $f(t)$, заданного на интервале изменения аргумента $0 \le t < T$, полиномиальная аппроксимация представляется выражением [2]:

$$f_a(t) = \sum_{i=1}^{m} F_i \cdot s_i(t) = \bar{\mathbf{F}} \cdot \bar{\mathbf{S}}(t), \qquad (1)$$

где: $\bar{\mathbf{F}} = [F_1, F_2, \ldots, F_m]^*$ - вектор аппроксимирующего полиномиального спектра сигнала, $\bar{\mathbf{S}}(t) = [s_1(t), s_2(t), \ldots, s_m(t)]^*$ - вектор системы базисных функций, формирующих обобщенный полином и определенных на общем с сигналом интервале изменения аргумента. При использовании локальных базисных систем диапазон изменения аргумента разбивается на *m* конечных элементов с шагом *h* ($T = mh$), и на каждом *i*-том элементе вводится локальная базисная функция (система функций), тождественно равная нулю за пределами элемента. Рассмотрим использование полиномов Лежандра в качестве таких локальных базисных систем.

Классические полиномы Лежандра[1] образуют ортогональную систему на интервале изменения аргумента $-1 \le x \le 1$ с весовой функцией $\gamma(x) = 1$. Они могут быть сформированы как решения дифференциального уравнения: $(1-x^2)\frac{d^2w}{dx^2} - 2x\frac{dw}{dx} + n(n+1)w = 0$. Для них также существует рекуррентная формула: $p_{n+1}(x) = \frac{2n+1}{n+1} x p_n(x) - \frac{1}{n+1} p_{n-1}(x)$, $p_0(x) = 1,\ p_1(x) = x$. На рис.1 показан вид первых трех полиномов Лежандра.

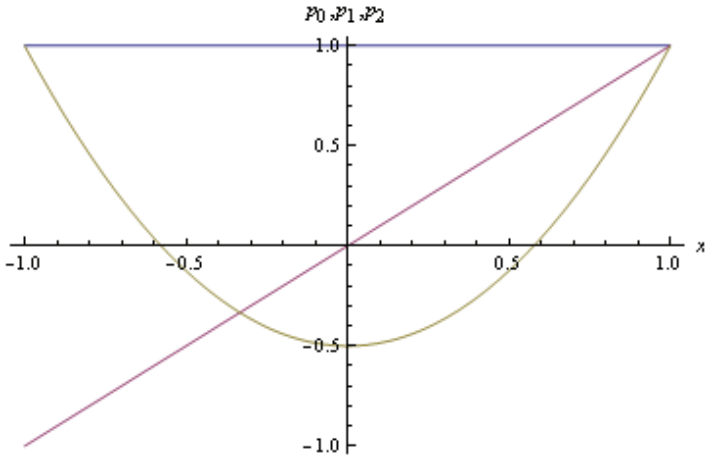


Рис. 1. Первые три полинома Лежандра.

Для формирования локальных смещенных полиномов Лежандра, ортогональных на *i*-том элементе, необходимо ввести преобразование аргумента в соответствии с выражением $x = 1 - 2i + \frac{2}{h}t$. Выполнив такое преобразование для первых трех полиномов Лежандра, получим:

$$p_0(t,i,h) = \sigma(t-(i-1)h) - \sigma(t-ih), \quad (2)$$

$$p_1(t,i,h) = (1-2i+\frac{2}{h}t)\cdot p_0(t,i,h), \quad (3)$$

$$p_2(t,i,h) = (1-6i+6i^2+6(1-2i)\frac{t}{h}+6\left(\frac{t}{h}\right)^2)\cdot p_0(t,i,h). \quad (4)$$

В формулах (2-4) символом $\sigma(*)$ обозначена функция единичного скачка вида:

$$\sigma(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \ge 0 \\ 0, & \text{если } x<0 \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, выражение (2) обеспечивает локальный характер полиномов. На рис. 2 приведен вид полиномов (2-4) соответственно для 5, 7 и 9 элементов при *h=0.1*.

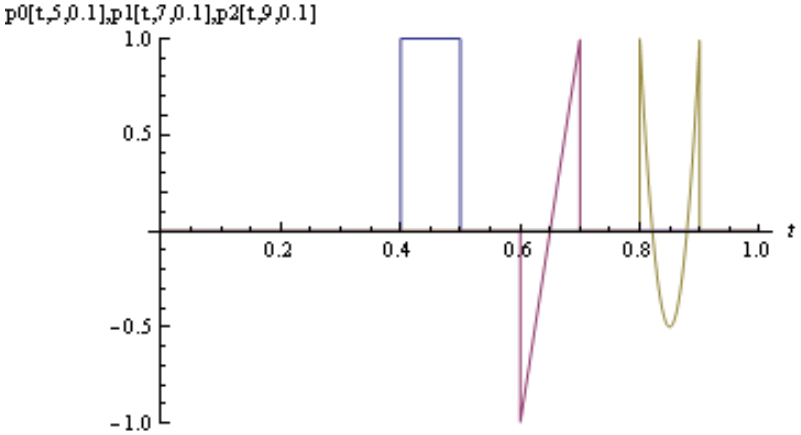


Рис. 2. Вид локальных смещенных полиномов Лежандра.

На основе указанных полиномов Лагранжа сформируем следующие подсистемы базисных функций:

- подсистему нулевого порядка: $\bar{\mathbf{V}} = \{p_0(t,i,h)\}_{i=1}^{m}$, (6)
- подсистему первого порядка: $\bar{\mathbf{W}} = \{p_1(t,i,h)\}_{i=1}^{m}$, (7)
- подсистему второго порядка: $\bar{\mathbf{U}} = \{p_2(t,i,h)\}_{i=1}^{m}$. (8)

Эти подсистемы позволяют выполнить аппроксимацию сигнала кусочно-постоянными,

кусочно-линейными или кусочно-параболическими функциями. Соответствующие базисные системы будут иметь порядок соответственно *m, 2m* или *3m.*

Так как введенные подсистемы базисных функций и системы в целом являются ортогональными [1, 2], вектора аппроксимирующих полиномиальных спектров могут быть определены без решения систем алгебраических уравнений:

$$\vec{\mathbf{F}}_v = \frac{1}{h}\int_0^{mh} f(t)\vec{\mathbf{V}}dt = \left(\frac{1}{h}\int_{(i-1)h}^{ih} f(t)dt\right)_{i=1}^{m}, \quad (9)$$

$$\vec{\mathbf{F}}_w = \frac{3}{h}\int_0^{mh} f(t)\vec{\mathbf{W}}dt = \left(\frac{3}{h}\int_{(i-1)h}^{ih} f(t)\cdot(2\frac{t}{h}+1-2i)dt\right)_{i=1}^{m}, \quad (10)$$

$$\vec{\mathbf{F}}_u = \frac{5}{h}\int_0^{mh} f(t)\vec{\mathbf{U}}dt = \left(\frac{5}{h}\int_{(i-1)h}^{ih} f(t)\cdot\left(6\left(\frac{t}{h}\right)^2+6(1-2i)\frac{t}{h}+6i^2-6i+1\right)dt\right)_{i=1}^{m}. \quad (11)$$

Соответствующие аппроксимации сигнала нулевого, первого и второго уровней определяются следующими выражениями:

$$f_{a0}(t) = \vec{\mathbf{F}}_v \cdot \vec{\mathbf{V}}, \quad (12)$$

$$f_{a1}(t) = f_{a0}(t) + \vec{\mathbf{F}}_w \cdot \vec{\mathbf{W}}, \quad (13)$$

$$f_{a2}(t) = f_{a1}(t) + \vec{\mathbf{F}}_u \cdot \vec{\mathbf{U}}. \quad (14)$$

В формулах (12)-(14) использованы операциии скалярного произведения векторов аппроксимирующих полиномиальных спектров (9)-(11) и векторов подсистем базисных функций (6)-(8).

Оценивание параметров сигнала и дискретизация по аргументу. Анализ выражений для векторов аппроксимирующих полиномиальных спектров (9)-(11) позволяет сделать следующие замечания. Элементы вектора $\vec{\mathbf{F}}_v$ являются средними значениями сигнала на конечных интервалах изменения аргумента $(i-1)h \le t < ih,\ i := 1,...,m$. Это позволяет их использовать в качестве результата дискретизации по аргументу. Элементы векторов $\vec{\mathbf{F}}_w$, $\vec{\mathbf{F}}_u$ необходимо преобразовать в соответствии с выражениями (15), (16) для того, чтобы они являлись средними значениями первой и второй производных сигнала:

$$\vec{\mathbf{F}}_{df1} = \frac{2}{h}\vec{\mathbf{F}}_w, \quad (15)$$

$$\vec{\mathbf{F}}_{df2} = \frac{12}{h^2}\vec{\mathbf{F}}_u. \quad (16)$$

Выводы

Предложенный метод оценивания, основанный на использовании локальных аппроксимирующих спектров на основе смещенных полиномов Лежандра, позволяет одновременно получать численные средние значения сигнала и его первой и второй производных и выполнть дискретизацию по аргументу. Метод может быть полезным при математическом и компьютерном моделировании динамических систем, систем автоматического управления, в частности, при моделировании дифференциальных игр.

Список литературы

1. *Гончаров В.Л.* Теория интерполирования и приближения функций. – М.: ГНТТЛ, 1954. – 327с.

2. *Васильев В.В.* Аппроксимация в спектральных методах моделирования динамических систем . Сравнительный анализ / В.В.Васильев, Л.А.Симак, О.С.Воронова // К.: Препринт НАН Украины. Отделение гибридных моделрующих и управляющих систем в энергетике ИПМЭ, 1998, № 04 / 98. – 72 с.

УДК: 621.372.061.9:517/0.001.57(045)

В.В. Васильев, доктор технических наук
(Национальный авиационный университет, Украина)
Л.А. Симак, доктор технических наук
(Отделение гибридных моделирующих и управляющих систем в энергетике ИПМЭ им. Г.Е.Пухова НАН Украины, Украина)

АППРОКСИМАЦИОННО-ОПЕРАЦИОНЫЙ МЕТОД S–ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В МОДЕЛИРОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье обсуждаются возможности полиномиальной аппроксимации сигналов с точки зрения операционных методов анализа и моделирования динамических систем как целого, так и дробных порядков интегро-дифференциальных операторов. На иллюстративном примере показан порядок формирования математической модели динамической системы в программной среде компьютерной алгебры.

Как известно [1], полиномиальная апппроксимация широко применяется при обработке сигналов и экспериментальной информации. Существо полиномиальной аппроксимации непрерывных сигналов с использованием метода наименьших квадратов заключено в следующем.

Для сигнала $x(t)$ и системы линейно-независимых базисных функций, образующих полином $\vec{\mathbf{S}}(t)=\{s_1(t),s_2(t),\cdots,s_m(t)\}^*$, заданных на одном и том же интервале изменения аргумента $0\le t<T$, вектор коэффициентов аппроксимирующего полинома наилучшего приближения определяется выражением:

$$\vec{X}=\left(\int_0^T \vec{S}(t)\cdot S(t)^* dt\right)^{-1}\cdot\left(\int_0^T x(t)\cdot\vec{S}(t)dt\right). \qquad (1)$$

В формуле (1) интегрирование векторно-матричных выражений выполняется поэлементно, а символ * здесь и далее обозначает операцию транспонирования векторов и матриц. Аппроксимация сигнала определяется формированием аппроксимирующего полинома в соответствии с формулой:

$$x_a(t)=\vec{X}^*\cdot\vec{S}(t)=\sum_{i=1}^{m}X_i\cdot s_i(t). \qquad (2)$$

В качестве систем базисных функций могут использоваться различные ортогональные и неортогональные системы функций, в том числе локально импульсного типа, ортогональные полиномы Чебышева, Лежандра и др. С использованием полиномиальной аппроксимации удается успешно решать широкий класс задач обработки сигналов (сжатие информации, низкочастотной фильтрации, оценивание параметров, идентификации, кодирования и др.).

В работе [2] предложено интерпретировать выражения (1), (2) как операционные исчисления неклассического типа, причем каждая система базисных функций порождает свой вид операционного исчисления. Преимуществом такого подхода является высокая эффективность алгебраизации интегро-дифференциальных математических моделей объекта (процесса) и простота перехода из области изображений (операционного пространства) в область оригиналов (временное пространство или пространство другого аргумента). Указанные исчисления носят численно-аналитический характер и получили название S-преобразований. Формула (1) является прямым операционным преобразованием и сопоставляет сигналу $x(t)$ его операционный аналог или изображение в виде вектора коэффициентов $\vec{\mathbf{X}}$ аппроксимирующего полинома, тогда как (2) является обратным операционным преобразованием и осуществляет переход из пространства изображений в пространство оригиналов путем формирования аппроксимации сигнала $x_a(t)$. Необходимо отметить, что, в отличие от преобразования Лапласа, обратный переход не требует решения

каких либо нелинейных или трансцедентных уравнений, что является весьма существенным при решении задач дробной динамики систем [3, 4].

Таким образом, существо S- преобразования заключается в этапах перехода: от известных сигналов к их изображениям, формированию и решению алгебраической задачи в пространстве изображений и переходу в пространство оригиналов в виде аппроксимации неизвестных ранее сигналов, определяющих поведение исследуемого процесса (объекта). Формирование математической модели исследуемого объекта в операционном пространстве производится с использованием правил так называемой операционной алгебры, которые сопоставляют математическим операциям над сигналами эквивалентные им операции над изображениями сигналов. Примерами таких правил являются правила, определяющие операции линейной комбинации сигналов и дробного интегрирования с переменным верхним пределом:

$$ax(t) \pm by(t) \Leftrightarrow a\bar{\mathbf{X}} \pm b\bar{\mathbf{Y}}\,, \tag{3}$$

$$y(t) = \frac{1}{\Gamma(\beta)} \int_0^t (t-\tau)^{\beta-1} x(\tau) d\tau \Leftrightarrow \bar{\mathbf{Y}} = \mathbf{P}_s^{(\beta)} \bullet \bar{\mathbf{X}}\,. \tag{4}$$

Если выражение (3) не требует пояснений, то (4) устанавливает правило нахождения изображения интеграла дробного порядка в виде операции умножения изображения подинтегральной функции на так называемую операционную матрицу интегрирования $\mathbf{P}_s^{(\beta)}$, элементы которой определяются видом выбранной базисной системы функций и порядком β интегрального оператора, который может принимать как целые, так и дробные значения. Среди возможных систем базисных функций особое место занимают импульсные базисные системы локального типа на основе смещенных полиномов Лежандра различных порядков. Преимущества таких систем проявляются при их использовании в математических моделях нелинейных динамических систем и (или) систем с переменными параметрами.

Рассмотрим пример моделирования динамической системы дробного порядка с использованием S- преобразования с базисной системой на основе смещенных полиномов Лежандра. Математическая модель динамической системы задана в виде линейного дифференциального уравнения с дробной производной по Капуто [3] с начальными условиями:

$$\begin{aligned} &{}_0^C D_t^{\beta} y(t) + a(t) y(t) = f(t), \\ &y(0) = y_0,\ 0 \le t < T,\ 0 < \beta < 1, \end{aligned} \tag{5}$$

где: ${}_0^C D_t^{\beta}$ - оператор дробной производной по Капуто порядка β, определяемый выражением:

$${}_0^C D_t^{\beta}(y(t)) = \frac{1}{\Gamma(n-\beta)} \int_0^t (t-\tau)^{n-\beta-1} \frac{dy^n(\tau)}{d\tau^n} d\tau,\ n-1 < \beta < n,\ n - целое\,. \tag{6}$$

Вводя новую переменную и произведя замену в (5): $u(t) = \dfrac{dy(t)}{dt}$, $y(t) = y_0 + \int_0^t u(\tau) d\tau$ с учетом (6), получим следующие интегро-дифференциальные уравнения:

$$\frac{1}{\Gamma(1-\beta)} \int_0^t (t-\tau)^{-\beta} \frac{dy(\tau)}{d\tau} d\tau + a(t) y(t) = f(t)\,, \tag{7}$$

$$J^{1-\beta}(u(t)) + a(t) J^1(u(t)) = f(t) - y_0 a(t)\,, \tag{8}$$

где: $J^{1-\beta}$ и J^1 - интегральные операторы порядков $1-\beta$ и 1 соответственно.

Переводя выражение (8) в область изображений, получим следующую математическую модель динамической сстемы в области S-преобразования:

$$P^{1-\beta} \cdot \vec{U} + D(\vec{A}) \cdot P^1 \cdot \vec{U} = \vec{F} - y_0 \vec{A} \tag{9}$$

где $\vec{\mathbf{A}}$ - вектор изображения пременного коэффициента $a(t)$, а $D(\vec{A})$ - диагональная матрица, элементы которой образованы элементами вектора $\vec{\mathbf{A}}$.
Решение матричного уравнения (9) имеет вид:

$$\vec{U} = \left(P^{1-\beta} + D(\vec{A}) \cdot P\right)^{-1} \cdot \left(\vec{F} - y_0 \vec{A}\right), \qquad (10)$$

$$\vec{Y} = y_0 \vec{1} + P^1 \cdot \vec{U} \qquad (11)$$

Производя обратное S-преобразование, получим следующую аппроксимацию решения уравнения (5):

$$y_a(t) = \vec{Y}^* \cdot \vec{S}(t).$$

Иллюстративный пример. Рассмотрим числовой пример реализации метода в программной среде системы Mathematica для уравнения (5) при следующих значениях параметров: $\beta = 0.5$, $a(t) = 1 - t^2/2$, $f(t) = 1.32934t + (2 + t^{3/2})(1 - t^2/2)$, $y_0 = 2$. Используем локальную базисную систему функций на основе смещеных полиномов Лежандра нулевого порядка при $m = 50$, $h = 0.02$, $T = mh$.

Программа и результаты ее работы

```
m = 50; h = 0.02;T = m * h;
a[t_] := 1.0 - 0.5 t^2; f0 = 1.32934 t^1 + (2. + t^3/2) (1. - 0.5 t^2);
y0 = 2;

F1 = Table[1/h * Integral_((i-1)*h)^(i*h) f0 dt, {i, m}];
A = Table[1/h * Integral_((i-1)*h)^(i*h) a[t] dt, {i, m}];

H[β_, h_, m_] :=
  h^β / Gamma[β + 2] *
   Table[Which[i < j, 0, i == j, 1, i > j, (i - j + 1)^(β+1) - 2 (i - j)^(β+1) + (i - j - 1)^(β+1)],
    {i, m}, {j, m}];
P1 = H[1, h, m]; P05 = H[0.5, h, m];  One = Table[1, {i, m}];

M = Inverse[P05 + DiagonalMatrix[A].P1];
G = F1 - y0 * A;  U = M.G; Y = y0 * One + P1.U;

v[t_, i_, h_] := If[(i - 1) * h ≤ t < i * h, 1, 0];
S = Table[v[t, i, h], {i, m}];

ya = Y.S;
Plot[{y[t], ya}, {t, 0, T}, PlotPoints → 200]
Plot[y[t] - ya, {t, 0, T}, PlotPoints → 200]
```

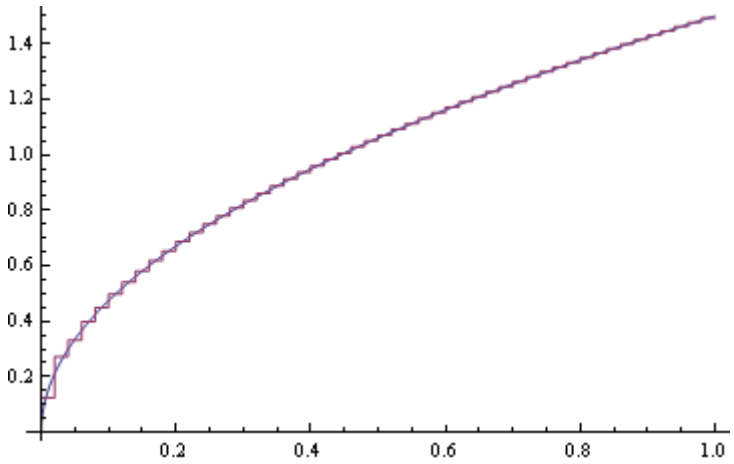


Рис. 1. Точное и аппроксимационнное решения уравнения (5)

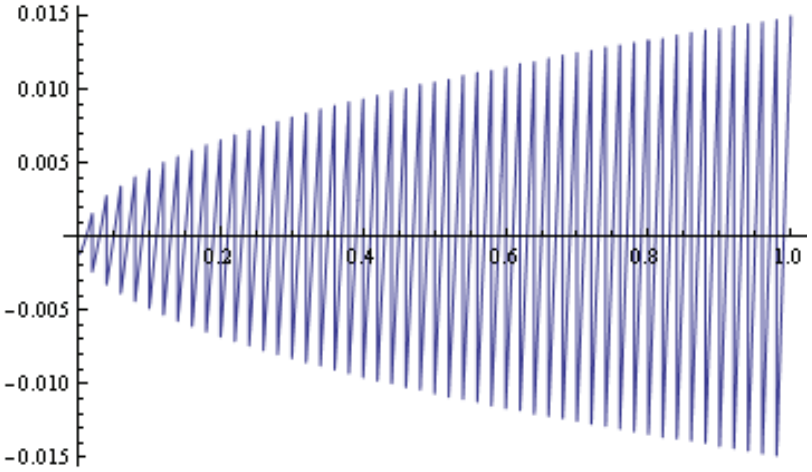


Рис.2. Функция ошибки аппроксимационного решения уравнения (5)

Выводы

Приведенный в работе метод построения математической модели динамической системы дробного порядка с применением S- преобразования является эффективным инструментом алгебраизации интегро-дифференциальных моделей динамических систем как целого, так и дробного порядков, и может успешно использоваться для исследования нестационарных процессов во фрактальных средах.

Список литературы

1. *Васильев В.В., Симак Л.А.* Математическое и компьютерное моделирование процессов и систем: Аппроксимация сигналов с применением системы Mathematica®: Учеб. Пособие. – К.: НАН Украины, 2007. – 127 с.

2. *Васильев В.В., Симак Л.А.* Полиномиальные методы аппроксимации как операционные исчисления и их реализация в программной среде системы Mathematica® // Электронное моделирование. – 1996, Т. 18, № 4. – С. 34 – 42.

3. *Учайкин В.В.* Метод дробных производных. – Ульяновск: Изд-во «Артишок», 2008. – 512 с.

4. *Oldham K.B., Spanier J.* The Fractional Calculus. – Academic Press, 1974. – 234 p.

СЕКЦІЯ 21.

ЕЛЕКТРОНІКА І РАДІОЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

УДК: 519.711/.72

А.Я. Белецкий, доктор технических наук,
А.А. Белецкий, младший научный сотрудник.
(Национальный авиационный университет, Украина)

МАТРИЧНЫЕ ЦИКЛИЧЕСКИЕ ГРУППЫ МАКСИМАЛЬНОГО ПОРЯДКА, ПОРОЖДАЕМЫЕ ОБОБЩЕННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ ГРЕЯ

В данной работе решается задача синтеза невырожденных квадратных матриц $n-го$ порядка, с компонентами, принадлежащими $GF(2)$, совокупность степеней которых над кольцом вычетов по mod 2 образует последовательность максимальной длины. Обсуждаются особенности применения таких матриц в криптографии.

Пусть M_n есть примитивная невырожденная матрица $n-го$ порядка, компонентами которой являются числа 0, 1. *Примитивной* будем называть такую матрицу M_n, совокупность степеней которой над кольцом вычетов по mod 2 образует последовательность максимальной длины (m – последовательность), составляя величину

$$L_n = 2^n - 1. \tag{1}$$

В основу синтеза матриц M_n положен достаточно хорошо разработанный аппарат обобщенных (составных) кодов Грея [1, 2], опирающийся на множество простых кодов Грея (КГ). К простым (элементарным) КГ относятся так называемые инварианты преобразования Грея (ПГ), а также операторы прямого и обратного как лево-, так и правостороннего преобразований Грея. Перечисленным элементарным операторам (кодам) Грея поставим в соответствие символьные обозначения g_i, $i = \overline{0,5}$. Для простоты вместо символов кодов будем отображать их еще цифровыми индексами.

Инвариантами ПГ являются оператор g_0, или e, представляющий собой единичную матрицу $n-го$ порядка, и оператор инверсной перестановки g_1, матричная форма которого (для $n = 4$) имеет вид:

$$1 = g_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Приведем (также для порядка $n = 4$) матричные формы простых операторов Грея, отвечающих прямому g_2 и обратному g_3 левостороннему КГ:

$$2 = g_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \qquad 3 = g_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Операторы правосторонних ПГ (прямого g_4 и обратного g_5) образуются транспонированием соответствующих операторов левосторонних ПГ, т.е. $g_4 = g_2^T$ и $g_5 = g_3^T$.

Аналитически составные коды Грея (СКГ) можно представить соотношением

$$G = \prod_{j=1}^{k} g_j,$$

где $g_j -$ простой КГ, выбираемый из полной группы, $\overline{g_0, g_5}$, а $k -$ порядок СКГ.

Как простые, так и составные КГ обладают рядом замечательных свойств. Во-первых, отвечающие им матрицы преобразования являются невырожденными и в силу этого оказываются обратимыми. И, во-вторых, поскольку любой КГ является образующим элементом абелевой циклической группы по умножению, то существуют достаточно простые алгоритмы обращения СКГ. В общем случае для вычисления обратной матрицы $k-$й степени образующего элемента G циклической группы L- го порядка можно воспользоваться, по крайней мере, двумя способами. Поскольку $G^L \equiv E$, то:

Вариант 1. $\overline{G^k} = G^{L-k}$;

Вариант 2. $\overline{G^k} = G^k \cdot G^{L-2k}$.

Как показали результаты компьютерных расчетов, одними из наиболее приемлемых для приложений (в частности, криптографических [3]) являются матрицы, отвечающие СКГ типа $1g$, где $g = \overline{2,5}$ есть простые операторы Грея. Замечательная особенность таких матриц состоит в том, что порядок L_n циклических групп, порождаемых операторами $1g$, за небольшим исключением (названных нами артефактом) определяется соотношением:

$$L_n = 2^m - 1, \qquad m \le n, \tag{2}$$

где $n -$ порядок матрицы.

В табл. 1 приведены оценки L_n, полученные прямыми компьютерными вычислениями.

Таблица 1. Порядок циклических групп, отвечающих СКГ $G = 1g$

n	L_n	n	L_n	n	L_n	n	L_n
1	2^1-1	9	2^9-1	17	$2^{12}-1$	25	2^8-1
2	2^2-1	10	2^6-1	18	87381	26	$2^{26}-1$
3	2^3-1	11	$2^{11}-1$	19	$2^{12}-1$	27	$2^{20}-1$
4	2^3-1	12	$2^{10}-1$	20	$2^{10}-1$	28	2^9-1
5	2^5-1	13	2^9-1	21	2^7-1	29	$2^{29}-1$
6	2^6-1	14	$2^{14}-1$	22	$2^{12}-1$	30	$2^{30}-1$
7	2^4-1	15	2^5-1	23	$2^{23}-1$	31	2^6-1
8	2^4-1	16	2^5-1	24	$2^{21}-1$	32	2^6-1

Из анализа данных, представленных в табл.1, приходим к таким выводам.

Во-первых, подтверждается форма оценки L_n, заданная соотношением (2). Исключение (артефакт) проявляется лишь в точке $n = 18$, в которой

$$L_{18} = 87381_{10} = 10101010101010101_2 = (2^{18}-1)/3. \tag{3}$$

Во-вторых, существуют такие значения порядка n (в табл. 1 они выделены затенением), для которых элементы групп, порождаемые степенями матриц M_n, составляют последовательность максимальной длины (1), равную $2^n - 1$.

Как следует из соотношений (3), на числовом отрезке длиной $2^{18}-1$ укладывается три интервала периода $L_{18} = 87381$. А это означает, что как степень 87381, так и степень $2^{18}-1$ обращают матрицу M_{18} в единичную матрицу E_{18}. Тем самым и объясняется появление артефакта в точке $n = 18$ из табл. 1.

Обратим внимание на то, что при $m = n$ в (2) длина последовательности элементов группы $1g$ совпадает с максимальной длиной ненулевых элементов расширенного поля

Галуа $GF(2^n)$ или так называемой $m-$последовательностью, порядок которой задан выражением (1).

Одним из важнейших результатов, к которому мы приходим на основании анализа табл. 1, состоит в том, что период цикла группы $1g$, представляет собою *степенную функцию*. Это обстоятельство, во-первых, дает нам возможность существенно сократить затраты машинного времени, необходимые для вычисления оценок L_n. И, во-вторых, наталкивает на мысль о целесообразности поиска других выражений для СКГ (отличных от $1g$), которые порождают примитивные матрицы M_n порядка n. И такие СКГ были найдены. Часть из них представлена в табл. 2.

Таблица 2. Составные коды Грея, доставляющие двоичным матрицам n-го порядка свойство примитивности

Порядок матрицы (n)			
32	64	128	256
2244424	22533435	2425535	22533435
2442224	22534335	2433534	22534335
12242253	24334225	2435334	24334225
12242443	25224334	22524224	25224334
12252242	222524424	22533334	2222535224

Пусть M_n есть примитивная двоичная матрица n-го порядка, отвечающая СКГ G. Относительно матриц M_n доказано следующее утверждение.

Утверждение. *Примитивность матриц M_n инвариантна к группам линейных преобразований Ω над СКГ G и преобразований Q над строками и столбцами матриц M_n.*

В состав Ω – группы входят такие операторы линейных преобразований над G: циклического сдвига, обращения, инверсии и сопряжения, а также произвольные комбинации этих операторов. Кратко поясним суть преобразований, входящих в выше перечисленные группы. Введем (табл. 3) символику для операторов, входящих в $\Omega-$группу преобразований.

Таблица 3. Символическое обозначение операторов преобразования

Обозначение оператора	Тип преобразования
$\vec{1}_k$, $\overleftarrow{1}_k$	Циклический сдвиг
2	Обращение
3	Инверсия
4	Сопряжение

Стрелки оператора циклического сдвига указывают направление прокрутки СКГ G, а нижний индекс k- задает число разрядов сдвига. Например, $\overleftarrow{1}_3$ означает, что СКГ подвергается циклической прокрутке по часовой стрелке на три разряда (символа) кода. Если $G-$ составной оператор Грея, то преобразования над G будем записывать в общем виде как $P\{G\}$. Например, $P=3$, или $P=2\cdot\vec{1}_2$ и т.д.

Предположим, что некая примитивная матрица n-го порядка M_n образована составным кодом G=25224334 (значение взято из табл. 2). Фактически СКГ отвечает произведению (в кольце вычетов по mod 2) двоичных матриц n-го порядка. Это означает, что правила

преобразования СКГ G совпадают с общими правилами преобразования над произведением матриц. Сведем в табл. 4 результаты простых преобразований P над этим произведением.

Таблица 4. Пример преобразований.

Оператор преобразования	Результат преобразования
$\overleftarrow{1}_2$	22433425
2	52253343
3	43342252
4	25524434

В частности, $\overrightarrow{1}_3\, 4\{25224334\} = 55244342$ и т.д.

Q – группу линейных преобразований над примитивными матрицами M_n составляют операторы «дружной перестановки» строк и столбцов матрицы, частным случаем которых являются операторы «дружного циклического сдвига» строк и столбцов матрицы M_n.

Проиллюстрируем «дружную перестановку» строк и столбцов на примере матрицы M_n шестого порядка, сформированной СКГ $G = 12435$. Пусть (5) определяет исходную матрицу. Выбрав «дружную перестановку» $\pi = 204153$, приходим к матрице (6).

$$M_n = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}; \qquad (5)$$

$$M_n^{(\pi)} = \begin{array}{c} \\ 3 \\ 1 \\ 5 \\ 2 \\ 6 \\ 4 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 3 & 1 & 5 & 2 & 6 & 4 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{array}. \qquad (6)$$

Исходная матрица (5), как и подобная ей матрица (6), образованная «дружной перестановкой» строк и столбцов исходной матрицы (не имеет значение, как организована дружная перестановка: сначала по столбцам, а потом по строкам, или наоборот) являются порождающими элементами циклических групп по умножению одинакового порядка.

Выводы

Целесообразность применения в криптографии и других приложениях матриц, отвечающих составным кодам Грея, объясняется рядом замечательных свойств, которыми они обладают. Во-первых, матрицы СКГ любого порядка чрезвычайно просто генерировать. Во-вторых, такие матрицы являются гарантированно невырожденными. В-третьих, для них легко вычисляются обратные матрицы. И, наконец, отметим еще одну особенность. Как установлено на основании компьютерного моделирования, для произвольных порядков n матриц существуют такие СКГ, которые доставляют соответствующим матрицам свойство примитивности. Это свойство проявляется в том, что порядок циклических групп, формируемых данными матрицами, достигает максимального значения, равного $2^n - 1$.

Список литературы

1. *Белецкий А.Я.* Комбинаторика кодов Грея. – К.: Издательская компания «КВІЦ», 2003. – 506 с.
2. *Белецкий А.Я., А.А. Белецкий, Е.А. Белецкий.* Преобразования Грея / Монография в 2-х томах. – К.: Книжное издательство НАУ, 2007. – 644 с.
3. *Ерош И.Л., Скуратов В.В.* Адресная передача сообщений с использованием матриц над полем GF(2). // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2004, №1. – С. 72-78.

УДК: 519.711/.72

А.Я. Белецкий, доктор технических наук,
Е.А. Белецкий, младший научный сотрудник, Р.Ю. Кандыба,
(Национальный авиационный университет, Украина)

ОБОБЩЕННЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ЛРС-ГЕНЕРАТОРОВ ПСЕВДОСЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ

В статье рассматривается оригинальная методика построения генераторов псевдослучайных последовательностей максимального периода на основе регистров сдвига с линейными обратными связями над образующими полиномами произвольной степени.

Генераторы псевдослучайных последовательностей (ПСП) строятся, как правило, на основе линейных регистров сдвига с линейными обратными связями, называемых кратко линейными регистрами сдвига (ЛРС). При этом длина периода последовательности будем максимальной, если обратные связи в ЛРС создаются примитивными неприводимыми полиномами (НП) $n-$й степени. НП φ_n является примитивным (ПНП), если минимальное значение показателя e, при котором выполняется условие

$$x^e \equiv 1 \bmod \varphi_n \tag{1}$$

составляет величину

$$e = L_n = 2^n - 1. \tag{2}$$

Сравнение (1) означает, что степени образующего элемента $x = 10$ (являющегося полиномом первой степени с минимальным весом, равным 1) в кольце вычетов по модулю φ_n формируют последовательность длины (2).

Известны два типа ЛРС-генераторов ПСП над ПНП: генераторы по схемам Галуа и Фибоначчи [1]. Обратные связи в регистрах этих генераторов задаются матрицами преобразований, посредством которых формируются функции возбуждения D-триггеров ЛРС. Обозначим эти матрицы G и F для генераторов Галуа и Фибоначчи соответственно. Матрицы G и F связаны оператором правостороннего транспонирования (транспонирования относительно вспомогательной диагонали матрицы), для которого введем обозначение $\perp$. Следовательно,

$$G \overset{\perp}{\longleftrightarrow} F \text{, т.е. } F = G^{\perp} \text{ и } G = F^{\perp}. \tag{3}$$

Пусть $\varphi_n = a_n a_{n-1} a_{n-2} \cdots a_1 a_0$ есть ПНП $n-$й степени, $a_i \in \{0,1\}$, $i = \overline{1, n-1}$. Поскольку в двоичном НП $\varphi_n = \varphi_0 = 1$, то $\varphi_n = 1\, a_{n-1} a_{n-2} \cdots a_1 1$.

Матрицы Галуа $G^{(10)}_{\varphi_n}$ составляются по схеме, представленной соотношением

$$G^{(10)}_{\varphi_n} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \dots \\ n-1 \\ n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & \dots & n-1 & n \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & a_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & a_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & a_{n-1} \end{bmatrix} \end{array}. \tag{4}$$

Пусть $D=(D_1,D_2,\cdots D_n)^T$ – вектор-столбец функций возбуждения D – триггеров n – разрядного ЛРС, а $U=(1,2,\cdots n)$ – вектор-столбец состояний соответствующих разрядов регистра. Имеем

$$D=G\otimes U. \tag{5}$$

На основании (5) легко приходим к выражению D_k для функций возбуждения k – го триггера ЛРС-генератора Галуа

$$D_k=(k-1)\oplus n\cdot a_{k-1},\quad k=\overline{1,n}. \tag{6}$$

В соотношениях (5) и (6) операторы $\otimes$ и $\oplus$ представляют собой операторы умноженя и порозрядного сложения в кольце вычетов по $\bmod 2$. В правой части равенства (6) компоненты $(k-1)$ и n представляют собой оклики $(k-1)$-го и n-го разрядов ЛРС соответственно.

На рис.1 показана структурная схема восьмиразрядного ЛРС-генераторов ПСП над ПНП $\varphi_8=101001101$.

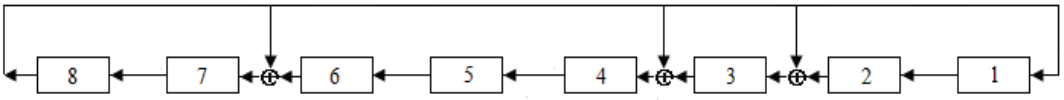


Рис. 1. Галуа ЛРС-генератор ПСП ($\omega=10$)

В соответствии с преобразованием (3) от матрицы Галуа (4) приходим к матрице Фибоначчи

$$F_{\varphi_n}^{(10)}=\begin{array}{c} \\ 1\\2\\3\\ \dots\\ n-1\\ n\end{array}\begin{array}{c}\begin{array}{cccccc}1 & 2 & 3 & \dots & n-1 & n\end{array}\\ \begin{bmatrix} a_{n-1} & a_{n-2} & a_{n-3} & \dots & a_1 & 1\\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0\\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots\\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0\end{bmatrix}\end{array}. \tag{7}$$

Верхний индекс в обозначениях матриц (4) и (7) соответствует классическому минимальному (по весу) образующему полиному первой степени $x=10$.

Функции возбуждения D – триггеров ЛРС-генератора ПСП по схеме Фибоначчи получим на основании выражения (5), заменив в нем матрицу G на F.

Основная идея обобщения методов синтеза генераторов ПСП на линейных регистрах сдвига состоит в замене в матрицах G и F образующих полиномов x первой степени $x=10$ образующими полиномами ω произвольной степени, т.е.

$$M_{\varphi_n}^{(x)}\Rightarrow M_{\varphi_n}^{(\omega)},\quad M=G\ \text{ или }\ M=F,$$

причем

$$\omega=1\omega_{k-1}\omega_{k-2}\cdots\omega_0,\quad \omega_i\in\{0,1\},\quad i=\overline{0,k-1},$$

где k – степень образующего полинома (ОП).

Ограничимся в дальнейшем рассмотрением ЛРС-генераторов ПСП только по схеме Галуа. Как показали результаты компьютерных вычислений, замена ОП $\omega=10$ полиномом $\omega=11$ приводит к тому, что все разряды регистра оказываются охваченными обратными связями, при которых выход каждого D-триггера подается на вход того же триггера. Математически переход от матрицы $G_{\varphi_n}^{(10)}$ к матрице $G_{\varphi_n}^{(11)}$ отображается элементарной операцией

$$G_{\varphi_n}^{(11)}=G_{\varphi_n}^{(10)}\oplus E.$$

Имеем

$$G_{\varphi_n}^{(11)} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \dots \\ n-1 \\ n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 3 & \cdots & n-1 & n \end{array} \\ \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & a_1 \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 0 & a_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & a_{n-2} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 1 \oplus a_{n-1} \end{bmatrix} \end{array}. \tag{8}$$

На основании соотношений (5) и (8) приходим к следующим значениям функций возбуждения $k-$го разряда ЛРС над ПНП φ_n и ОП $\omega = 11$.

$$D_k = (k-1) \oplus k \oplus n \cdot a_{k-1}, \quad k = \overline{1,n}. \tag{9}$$

Структурная схема восьмиразрядного ЛРС-генераторов ПСП над ПНП $\varphi_8 = 101001101$ приведена на рис. 2.

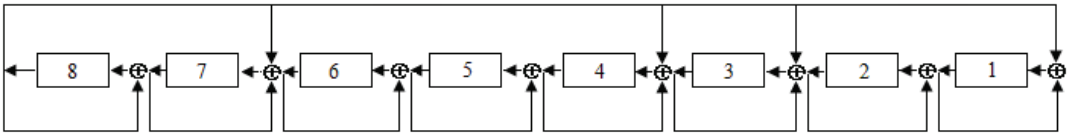


Рис. 2. Галуа ЛРС-генератор ПСП ($\omega = 11$)

Переходим к рассмотрению алгоритма формирования функций возбуждения ЛРС-генераторов ПСП над ПНП φ_n и ОП второй степени $\omega = 1\omega_1\omega_0$, $\omega_i \in \{1, 0\}$, $i = 0,1$. Матрица Галуа составляется за два этапа. На первом этапе матрица $G_{\varphi_n}^{(1\omega_1\omega_0)}$ предварительно записывается в форме

$$G_{\varphi_n}^{(1\omega_1\omega_0)} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ \dots \\ n-1 \\ n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} 1 & 2 & 3 & \dots & n-2 & n-1 & n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \omega_0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & \omega_1 \oplus a_{n-1} \\ \omega_1 & \omega_0 & 0 & \dots & 0 & a_1 & 1 \\ 1 & \omega_1 & \omega_0 & \dots & 0 & a_2 & a_1 \\ 0 & 1 & \omega_1 & \dots & 0 & a_3 & a_2 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & a_4 & a_3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \omega_1 & \omega_0 \oplus a_{n-2} & a_{n-3} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & \omega_1 \oplus a_{n-1} & \omega_0 \oplus a_{n-2} \end{bmatrix} \end{array}. \tag{10}$$

Если $n-$й элемент $(n-1)-$го столбца $\omega_1 \oplus a_{n-1} = 0$, то матрица (10) становится конечной матрицей и второй этап не выполняется, а функции возбуждения триггеров регистра определяются выражением:

$$D_k = (k-2) \oplus (k-1) \cdot \omega_1 \oplus k \cdot \omega_0 \oplus (n-1) \cdot a_{k-1} \oplus n \cdot a_{k-2}, \qquad k = \overline{1,n}, \tag{11}$$

причем

$$a_{k-2} = \begin{cases} \omega_1 \oplus a_{n-1}, & \textit{если} \;\; k = 1; \\ \omega_0 \oplus a_{n-2}, & \textit{если} \;\; k = n. \end{cases}$$

В том случае, когда $\omega_1 \oplus a_{n-1} = 1$, функции D_k также определяются по формуле (11), но элементы $n-$го столбца матрицы (10) оказываются зависимыми от переменных ПНП a_{n-1}, a_{n-2}, а также ОП ω_0 и ω_1. В частности:

- если $\omega_0 = 0$, $a_{n-1} = 1$ (и, как следствие, $\omega_1 = 0$) или $\omega_0 = 1, a_{n-1} = 0$ (и, как следствие, $\omega_1 = 1$), то все элементы $n-$го столбца матрицы $G_{\varphi_n}^{(1\omega_1\omega_0)}$ инвертируют (т.е. 1 переходит в 0 и, наоборот), при условии, что в соответствующих элементах $(n-1)-$го столбца стоит 1;
- если $\omega_0 = 1$, $a_{n-2} = 0$ и, к тому же, $a_{n-1} = 1$ (и, как следствие, $\omega_1 = 0$) или $a_{n-1} = 0$ (и, как следствие, $\omega_1 = 1$), то все элементы $n-$го столбца матрицы $G_{\varphi_n}^{(1\omega_1\omega_0)}$ инвертируют, при условии, что в соответствующих элементах $(n-1)-$го столбца стоит 1; если же $a_{n-2} = 1,$ то инвертирует также $(n-1)-$й элемент $n-$го столбца.

Следую изложенной методике можно решать задачи синтеза ЛРС-генераторов ПСП над примитивными неприводимыми полиномами φ_n относительно образующих полиномов ω степени, превышающей 2. В частности, общая форма матрицы $G_{\varphi_n}^{(\omega)}$ над ОП третьей степени имеет вид:

$$G_{\varphi_n}^{(1\omega_2\omega_1\omega_0)} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ \cdots \\ n-2 \\ n-1 \\ n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccccc} 1 & 2 & 3 & \cdots & n-3 & n-2 & n-1 & n \end{array} \\ \begin{bmatrix} \omega_0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 & \omega_2 \oplus a_{n-1} & \omega_1 \oplus a_{n-2} \\ \omega_1 & \omega_0 & 0 & \cdots & 0 & a_1 & 1 & \omega_2 \oplus a_{n-1} \\ \omega_2 & \omega_1 & \omega_0 & \cdots & 0 & a_2 & a_1 & 1 \\ 1 & \omega_2 & \omega_1 & \cdots & 0 & a_3 & a_2 & a_1 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \omega_1 & \omega_0 \oplus a_{n-3} & a_{n-4} & a_{n-5} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \omega_2 & \omega_1 \oplus a_{n-2} & \omega_0 \oplus a_{n-3} & a_{n-4} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & \omega_2 \oplus a_{n-1} & \omega_1 \oplus a_{n-2} & \omega_0 \oplus a_{n-3} \end{bmatrix} \end{array}$$

Укажем на некоторые способы пополнения множества ЛРС-генераторов ПСП. Во-первых, генераторы можно синтезировать на основании k - х степеней матриц G и F, вычисляемых в кольце вычетов по mod 2, причем показатель k должен быть взаимно прост с длиной периода L_n. Во-вторых, множество матриц (генераторов) формирования ПСП может быть расширено за счет введения подобных матриц. Матрица M^*, подобная матрице M, образуется в результате преобразования

$$M^* = P \cdot M \cdot P^{-1},$$

где P – произвольная матрица перестановки, причем $P^{-1} = P^T$.

Выводы

Предлагаемые алгоритмы синтеза генераторов псевдослучайных последовательностей на основе регистров сдвига с линейными обратными связями обобщают известные методы решения указанной задачи. Расширение множества ЛРС-генераторов ПСП достигается, в основном, за счет перехода от минимальных по весу образующих полиномов первой степени к полиномам, вес (или степень) которых превышает 1, принятых в классических алгоритмах.

Список литературы

1. *Иванов М.А., Чугунков И.В.* Теория, применение и оценка качества генераторов псевдослучайных последовательностей – М. КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. – 240 с.

2. *Белецкий А.Я., Белецкий Е.А., Кандыба Р.Ю.* / Тези доповідей II міжнародної НПК «Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії» // Системи обробки інформації: зб. наукових праць. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 7 (88) . – С. 210.

УДК 621.382:681

К.Б. Алдамжаров, ректор, д.т.н., профессор, А.А. Туякбаев, к.т.н., профессор АГА
(Академия гражданской авиации, Республика Казахстан)
Д.А. Туякбаев, магистрант (Государственный университет РТ, Турция)

ПОВЫШЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В работе приведены результаты исследований по проблемам повышения радиационной стойкости схем полупроводниковой электроники как на МОП и КМОП структурах, так и на биполярных транзисторах, с помощью схемотехнической компенсации и технологического облучения.

К электронному оборудованию летательных аппаратов предъявляются повышенные требования по их радиационной стойкости. Это объясняется тем, что они обычно находятся под воздействием различных видов радиационных излучений. Это солнечная радиация, излучения радиационных поясов Земли, космические, галактические излучения и другие виды проникающей радиации. Все эти виды излучений, проходя через структуру полупроводниковых приборов, вводят туда различные радиационные дефекты, которые ведут к деградации их параметров. Наиболее чувствительными к действию проникающей радиации являются транзисторы, а среди них МОП и КМОП-структуры, в окисле которых при облучении накапливаются положительные заряды, которые, изменяя пороговые напряжения, приводят к их полному отказу. Особенно это касается n-канальных МОП-транзисторов. В плане повышения радиационной стойкости схем на основе МОП-транзисторов нами было предложено в составе интегральной схемы дополнительно располагать один МОП-транзистор и использовать его в качестве датчика интегрального потока радиации, в зависимости от изменения порогового напряжения которого меняется у него проводимость. При этом, с данным МОП-транзистором составляется делитель напряжения, с постоянного сопротивления которого на общую подложку интегральной схемы подается все возрастающее падение напряжения, что в свою очередь, оттягивая электроны от каналов МОП транзисторов препятствует быстрому отказу приборов. Другими словами, предлагаемая схема как бы удерживает реальное пороговое напряжение транзисторов в схеме на одном и том же уровне, в то время как у каждого МОП-транзистора в отдельности пороговые напряжения уже значительно изменились (авт.свид. СССР №1223822, №1475421, №1505359, предпатент РК №4791, опубл. 16.06.97г. «КМОП интегральная схема»). Как показали многочисленные эксперименты, радиационная стойкость схем на МОП транзисторах при использовании приведенного предложения повышается в среднем на порядок.

Электронные схемы на биполярных транзисторах отличаются более высокой радиационной стойкостью. Однако их радиационную стойкость обычно пытаются повысить в связи с тем, что бортовую аппаратуру космических летательных объектов строят также и на их основе, так как они отличаются более высоким быстродействием. Здесь у нас был целый ряд предложений [5–10]. Это схемотехнические предложения, начало которым было положено созданием новых элементов «радисторов», чьи сопротивления растут пропорционально тому, как быстро уменьшается коэффициент усиления транзисторов. Такие «радисторы» хорошо использовать для повышения радиационной стойкости переключательных схем [5–7], каковыми являются практически все схемы на борту космических летательных аппаратов, так как именно они отличаются повышенной точностью и надежностью в работе. Применение «радисторов» возможно также и в операционных усилителях [8], что открывает возможность их использования и в линейных схемах. Были получены также патенты на транзистор [9] и инвертирующий усилитель [10], в которых увеличение сопротивления «радисторов» при облучении в цепях обратных связей приводит к постепенному увеличению их коэффициентов усилений в то время как,

последние при этом уменьшаются. Кроме этого, были предложены технологические способы повышения радиационной стойкости кремниевых биполярных транзисторов [11–13]. Хорошие результаты дал способ, по которому транзисторные структуры изготавливали с очень высокими коэффициентами усиления с последующей их радиационной обработкой, во время которой происходит уменьшение коэффициентов усиления до оптимальных значений, после чего их подвергают стабилизирующему обжигу при температурах 200-300°С. Последнее отжигает преимущественно поверхностные радиационные дефекты, в результате чего уровень обратных токов переходов значительно улучшается, в то же время радиационные дефекты в объеме структуры остаются, что с одной стороны, повышает быстродействие транзисторов, а с другой стороны, снижает коэффициент усиления их до уровня оптимальных значений. Экспериментальные исследования показывают, что радиационная стойкость биполярных транзисторов при таком их изготовлении может повыситься на 1-2 порядка. Если еще использовать параметрическую компенсацию влияния радиации с помощью радисторов, в целом радиационная стойкость электронных схем на биполярных транзисторах может повыситься, примерно, на 2 порядка.

Выводы:

1. Радиационную стойкость полупроводниковых схем на МОП и КМОП структурах можно повысить, если в составе интегральной схемы дополнительно располагать один МОП-транзистор и использовать его в качестве датчика интегрального потока радиации, в зависимости от изменения порогового напряжения которого меняется у него проводимость.
2. Изготавливаемые по авторскому свидетельству «Радистор и способ его изготовления» радисторы можно использовать для схемотехнической компенсации влияния радиации в схемах полупроводниковой электроники.
3. Предложенный способ изготовления транзисторных структур с высокими коэффициентами усиления с последующей их радиационной обработкой позволяет, примерно, на порядок повысить радиационную стойкость биполярных транзисторов и интегральных схем.

Список литературы

1. Горюнов Н.Н., Ладыгин Е.А., Туякбаев А.А. «Инвертор на МДП – транзисторах» Авт. свид. СССР №1223822, 1985 г.
2. Горюнов Н.Н., Ладыгин Е.А., Туякбаев А.А. «МДП интегральная схема». Авт.свид. СССР №1475421, 22.12.1988 г.
3. Горюнов Н.Н., Ладыгин Е.А., Туякбаев А.А. «Инвертор». Авт.свид. СССР №1505359, 1.05.89г.
4. Туякбаев А.А., Баекенов М.А., Искаков Б.М., Садыков А.А. «КМОП интегральная схема». Предпатент РК №4791, бюл. №2, 16.06.97 г.
5. Ладыгин Е.А., Туякбаев А.А., Макаров В.А. «Радистор и способ его изготовления». Авт.свид. СССР №1403815, 15.02.1988 г.
6. Туякбаев А.А. «Транзисторный ключ». Патент РК № 15062, приоритет от 22.04.03, опубл. 15.06.2010, бюл. №6.
7. Туякбаев А.А. «Инвертор на МДП транзисторах». Патент РК № 15215, опубл.15.08.2008, бюл. №8.
8. Алдамжаров К.Б., Туякбаев А.А., Туякбаев Д.А. «Операционный усилитель». Патент РК №13842, приоритет 11.06.2002, опубл. 15.03.2007, бюл.№3.
9. Алдамжаров К.Б., Туякбаев А.А., Туякбаев Д.А. «Транзистор». Патент №14234, опубл. 15.12.2006, бюл. № 12.
10. Алдамжаров К.Б., Туякбаев А.А., Туякбаев Д.А., Туякбаев С.А. Инвертирующий усилитель. Патент РК № 14235, 17.11.2008 г., бюл. №10.
11. Ладыгин Е.А., Горюнов Н.Н., Туякбаев А.А. «Способ изготовления биполярных транзисторов и интегральных схем». Авт.свид. СССР №1294208, 1.11.1986 г.
12. Ладыгин Е.А., Туякбаев А.А., Таурбаев Т.И. «Способ изготовления интегральных биполярных транзисторов». Авт.свид. СССР №1369591, 22.09.1987 г.
13. Ладыгин Е.А., Туякбаев А.А. «Способ изготовления биполярных транзисторов». Авт. свид. № 1468317, 15.11.1988 г.

А.А. Туякбаев, к.т.н., профессор АГА
(Академия гражданской авиации, Республика Казахстан)

МОДЕЛЬ ЭПИТАКСИАЛЬНО-ПЛАНАРНОГО ТРАНЗИСТОРА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕЙСТВИЯ ПРОНИКАЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

Для моделирования радиационных изменений характеристик транзисторных схем может быть использована модель транзистора, эквивалентная схема которой приведена на рис.1. Основой модели служит функциональная модель планарного транзистора, предложенная в работе [1]. Отличительной особенностью этой модели является то, что в ней параллельно инверсно включенному диоду, как это имеет место в различных модификациях модели Эберса-Молла, подключается еще один диод база-коллектор, так как база в планарных транзисторах более высоко легирована акцепторной примесью, чем коллектор – донорной. Однако эквивалентную схему модели удобнее представить как на рис.1., а токи диодов складывать отдельно.

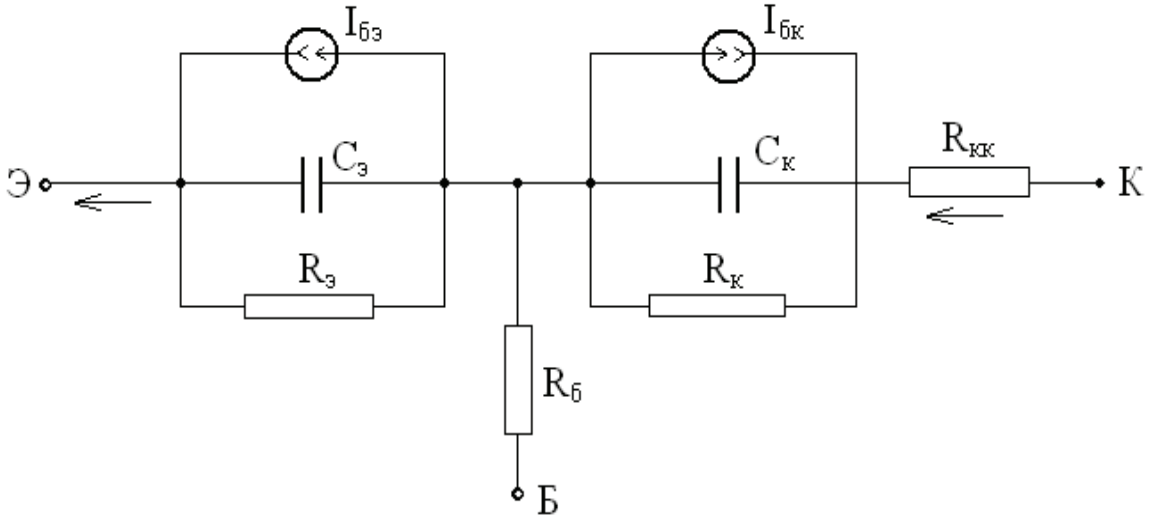


Рис.1.

Для моделирования действия проникающего облучения в предлагаемой модели используется выражение [2].

$$B_{N\Phi} = \frac{1}{\frac{1}{B_{N0}} + \frac{1}{2\pi f_T} K_T \Phi} \qquad (1)$$

где B_{N0} - коэффициент передачи тока базы транзистора до облучения;

f_T - граничная частота, при которой $|B_N|=1$;

K_T – константа радиационного изменения времени жизни носителей в базе транзистора;

Φ – интегральный поток излучения.

Сравнение экспериментальных результатов с рассчитанной по данному выражению кривой для кремниевых эпитаксиально-планарных транзисторов «КТ315В» приведено на рис.2.

Облучение транзисторов проводилось γ - квантам кобальтовой установки К-100000. Температура облучения превышала 300^0К. При различных интегральных потоках излучения снимались зависимости $I_б(U_{эб})$ и $I_к(U_{эб})$ при $U_{кб} \approx 0$. а использование последних позволило построить зависимости относительного изменения коэффициента передачи тока базы от интегрального потока излучения.

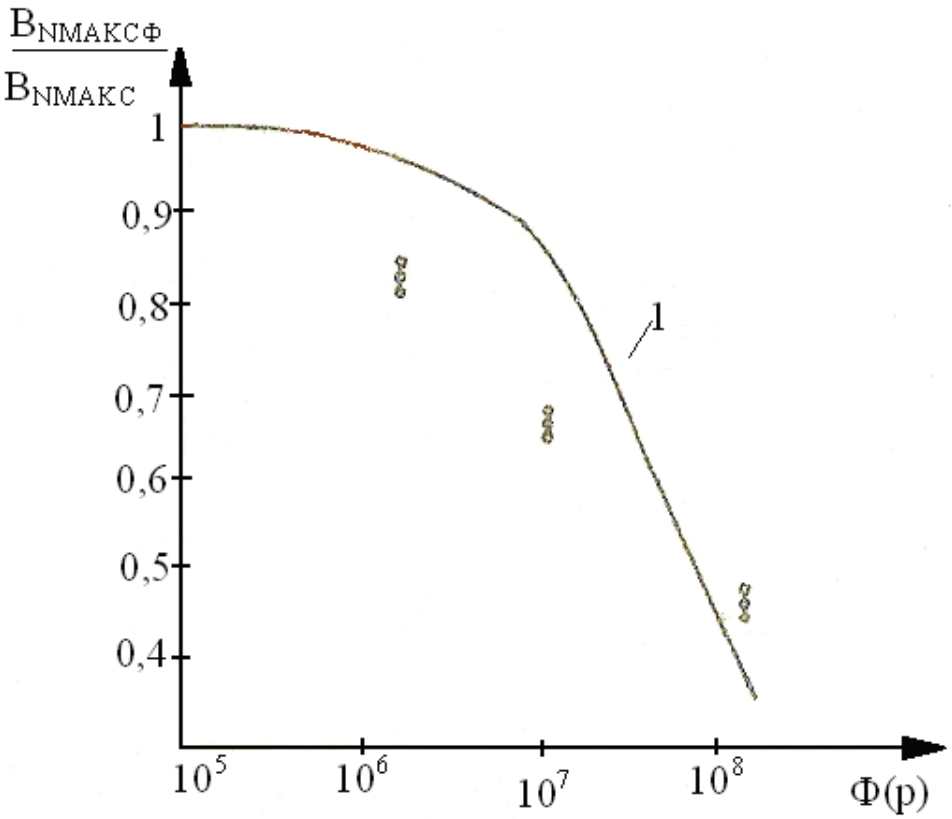


Рис.2.

Для определения K_T была использована одноуровневая модель [3]. Среднее значение K_T для области р – базы при низких уровнях инжекции получилось равным $1.2*10^{-10}(\frac{\gamma \cdot кв \cdot с}{см^2})^{-1}$.

Из рис.2 видно, что имеется расхождение между расчетной кривой и экспериментальными результатами. Это расхождение объясняется тем, что в выражении (1) не учитывается влияние изменения поверхностной составляющей времени жизни посетителей, играющей особенно заметную роль при малых уровнях облучения, т.е. в начале кривой *I*, а при больших интегральных потоках излучения не учитывается уменьшение времени пролета носителей через область базы, т.е. улучшение частотных свойств транзистора. Однако несмотря на некоторую неточность, выражение (1) весьма удобно использовать для прогнозирования уменьшения коэффициента передачи тока базы транзистора при облучении.

Таким образом, генераторы токов в модели $I_{бэ}$, $I_{бк}$ задаются следующими уравнениями:

$$I_{бэ} = \frac{I_N}{B_N} + I_N - I_I,$$

$$I_{бк} = \frac{I_I}{B_I} + I_I + I_{Дбк} - I_N$$

$$где\ I_N = I_S[\exp\frac{U_э}{m_э\varphi_T} - 1], \quad I_I = I_б[\exp\frac{U_к}{m_к\varphi_T} - 1],$$

$$I_{Дбк} = I_{Дбк}[\exp\frac{U_K}{\varphi_T} - 1]$$

B_N – коэффициент передачи тока базы при нормальном включении;
B_I – коэффициент передачи тока базы при инверсном включении;
$m_э m_к I_S$ $I_{Дбко}$ – постоянные вольтамперных характеристик.

В модели предлагается аппроксимировать экспериментальные зависимости $B_N(U_{эб})$. Это позволяет точно моделировать работу транзистора в области малых рабочих токов, средних и больших токов. Характерная зависимость $B_N(U_{эб})$ приведена на рис.3. Эта зависимость может быть аппроксимирована следующим образом:

при $0 \le U_{эб} \le U_{эб1}-$

$$B_N = \exp(U_{эб} / x) - 1,$$

где $x = U_{эб1} / \ln(B_{NMAKCФ} + 1);$

при $U_{эб1} < U_{эб} < U_{эб2}-$

$$B_N = B_{NMAKCФ};$$

при $U_{эб} \ge U_{эб2} -$

$$B_N = \exp\{[U_{эб1} - (U_{эб} - U_{эб2})] / x\} - 1.$$

При облучении $B_{NMAKCФ}$ будет уменьшаться согласно выражению

$$B_{NMAKCФ} = \frac{1}{\frac{1}{B_{NMAKC}} + \frac{1}{2\pi f_T} K_T Ф},$$

где B_{NMAKC} – максимальное значение коэффициента передачи тока базы при Ф=0.

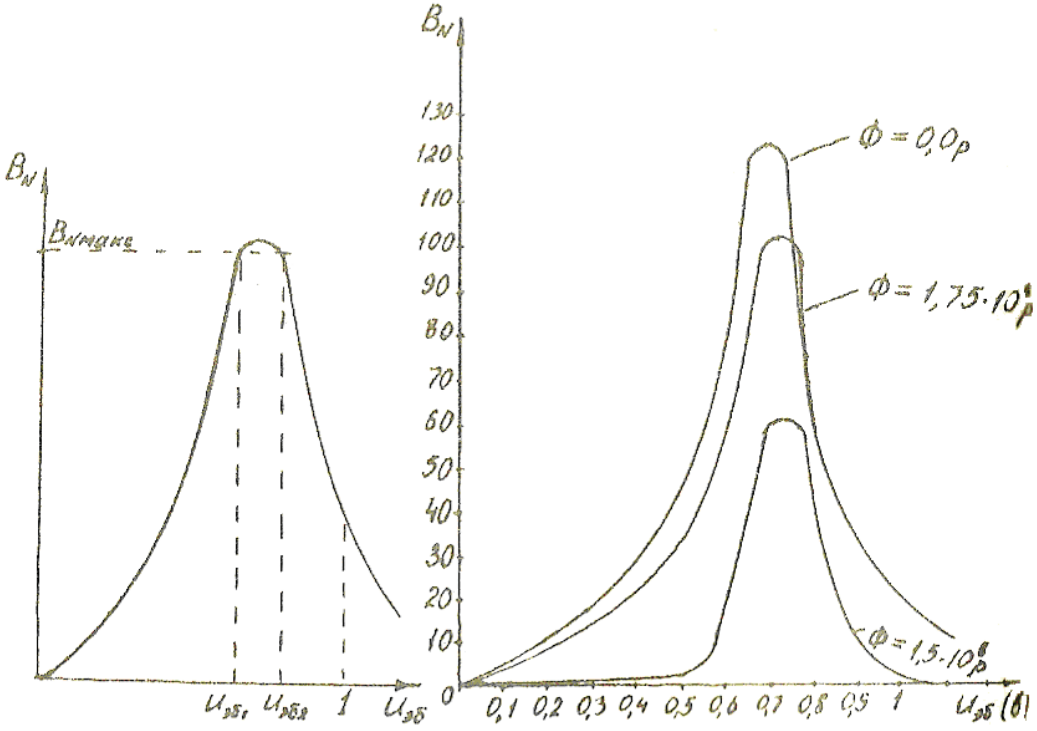


Рис.3.

Рис.4.

На рис.4. приведены характерные экспериментальные зависимости $B_N(U_{эб})$, полученные при различных интегральных потоках излучения.

Инверсный коэффициент усиления B_I очень мал по величине и на точность моделирования слабо влияет.

Емкости переходов в модели могут быть определены из выражений [1]

$$C_э = \frac{C_{бэо}}{(1 - U_э / \Delta\varphi_{оэ})^{1/2}} + \frac{\tau_N (I_N + I_S)}{m_э \varphi_T}$$

$$C_K = \frac{C_{бко}}{(1 - U_K / \Delta\varphi_{OK})^{1/3}} + \frac{\tau_I (I_I + I_S)}{m_K \varphi_T} + \frac{\tau_{ркф} (I_{Дбк} + I_{Дбко})}{\varphi_T},$$

где τ_N *и* τ_I - постоянные времени равные по величине среднему времени пролета носителей через область базы в нормальном и инверсным направлениях;

$\tau_{ркф}$ - время жизни носителей в коллекторе, которое при облучении уменьшается согласно выражению [3] $\frac{1}{\tau_{ркф}} = \frac{1}{\tau_{рк}} + K_{тк} Ф$.

Недостатком модели является то, что в ней не учитывается увеличение обратных токов p-n переходов при облучении. Учет же последних представляет собой весьма трудоемкую задачу. Для решения этой задачи необходимо более полное моделирование всех радиационных процессов внутри полупроводниковой структуры: уменьшение времени жизни носителей, концентраций основных носителей, подвижности носителей в различных областях транзистора, увеличение удельных сопротивлений квазинейтральных областей, которые в свою очередь ведут к изменению большого количества вторичных параметров, таких, как генерационные и диффузионные составляющие обратных токов p-n переходов, средние времена пролета носителей через область базы, коэффициенты переноса носителей, барьерные и диффузионные емкости p-n переходов и т.д. Для осуществления указанной цели следует идти по пути развития физических моделей полупроводниковых приборов, параметры которых базируются на внутренних электрофизических и геометрических характеристиках полупроводниковых структур.

Однако многочисленные эксперименты показывают, что обратные токи p-n переходов в кремниевых приборах, изготавливаемых эпитаксиально-планарной технологии, при облучении изменяются незначительно вплоть до высоких доз, когда коэффициент передачи тока базы B_N уменьшается в несколько раз. Это можно объяснить компенсирующим влиянием уменьшения контактной разности потенциалов, концентрации основных носителей, а увеличение объемных сопротивлений квазинейтральных областей ведет к тому, что при одном и том же прикладываемом напряжении к выводам транзистора, после облучения на самих p-n переходах падает меньшее напряжение. Поэтому, как показывают экспериментальные результаты, до интегральных потоков излучения, при которых коэффициенты передачи токов баз транзисторов уменьшается приблизительно в три раза, можно с достаточной степенью точности пользоваться предлагаемой моделью. При более высоких дозах излучения наблюдается быстрый и значительный рост обратных токов p-n переходов, а расхождение предсказываемых с помощью выражения (1) значений коэффициентов передачи токов баз транзисторов с реальными их значениями становится все более заметным.

Дальнейшее совершенствование моделей транзисторов для моделирования действия проникающей радиации связано с развитием физических моделей, параметры которых базируются на внутренних электрофизических и геометрических характеристиках полупроводниковых структур.

Список литературы

1. Чахмахсазян Е.А., Бармаков Ю.Н., Гольденберг А.Э. Машинный анализ интегральных схем. М. «Советское радио», 1974.

2. Larin F., Radiat Effects in Semicond devic. New York, 1968.

3. Вавилов В.С., Ухин Н.А. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. М. Атомиздат, 1969.

УДК 621.391.272

А.Р. Гасанов, д.т.н., Ф.Н. Султанов, ст.преп., Г.Э. Дашдамирова, докторант
(Национальная академия авиации Азербайджана, Азербайджан)

ЭЛЕКТРОННО-КОММУТИРУЕМАЯ АКУСТООПТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ

В статье рассматривается возможность реализации электронно-коммутируемой многоотводной акустооптической линии задержки. Для электронной коммутации выводов используется зависимость угла дифракции отклоненного светового пучка от частоты входного электрического сигнала.

Линии задержки (ЛЗ) представляют интерес для широкого круга специалистов. Они применяются в качестве замедляющих устройств, фазовращателей, служат основой для построения согласованных фильтров сложных сигналов, преобразователей временного масштаба сигналов, для калибровки временных интервалов с требуемыми параметрами, для коррекции временных искажений сигналов и т.д.

Известны электромагнитные, оптические, акустические, цифровые и акустооптические ЛЗ. Из них только электромагнитные, цифровые и акустооптические ЛЗ могут обеспечивать управляемую задержку электрических сигналов. Электромагнитные ЛЗ позволяют регулировать времени задержки плавно, но в небольших пределах. Цифровые ЛЗ обеспечивают дискретно-управляемую задержку, и в больших пределах.

Акустооптические линии задержки (АОЛЗ) обеспечивают управляемую задержку электрических сигналов и имеют ряд достоинств по сравнению с электромагнитными и цифровыми линиями задержки. Это особенно проявляется при обработке широкополосных аналоговых сигналов.

В известных АОЛЗ регулировка времени задержки достигается механическим перемещением среды акустооптического взаимодействия по отношению к источнику когерентного света (ИКС). Наличие механической регулировки обусловливает низкое быстродействие известных АОЛЗ.

Целью данной работы является увеличение быстродействия АОЛЗ, на основе использования зависимости угла дифракции отклоненного светового пучка от частоты входного электрического сигнала.

Для обсуждения предлагаемой идеи сначала рассмотрим принцип действия АОЛЗ, построенной на брегговской ячейке (рис.1).

Ячейку, состоящую из фотоупругой среды (ФУС), к одной грани которой прикреплен электроакустический преобразователь (ЭАП), а к другой – акустический поглотитель (АП), называют акустооптическим модулятором (АОМ) [1].

В этом устройстве обрабатываемый сигнал $u(t)$ подается на первый вход амплитудного модулятора (АМ). На второй вход АМ поступает колебание от высокочастотного (ВЧ) генератора. Модулированное по амплитуде ВЧ колебание подается к клеммам ЭАП, который возбуждает в ФУС упругую волну (УВ). УВ вызывает динамическое изменение плотности ФУС.

АОМ работает в режиме дифракции Брэгга. Световой луч падает на поверхность ФУС под углом Брэгга,

$$\theta_Б = \arcsin(0.5\lambda/\Lambda), \qquad (1)$$

где λ – длина волны лазерного излучения, Λ - длина УВ в ФУС.

Динамическое изменение показателя преломления ФУС приводит к отклонению (дифракцию) части светового пучка, падающего на поверхность ФУС под углом Брэгга.

В общем случае углы падения $\theta_Б$ и дифракции $\theta_Д$ связаны соотношением

$$\sin\theta_Б + \sin\theta_Д = \lambda/\Lambda. \qquad (2)$$

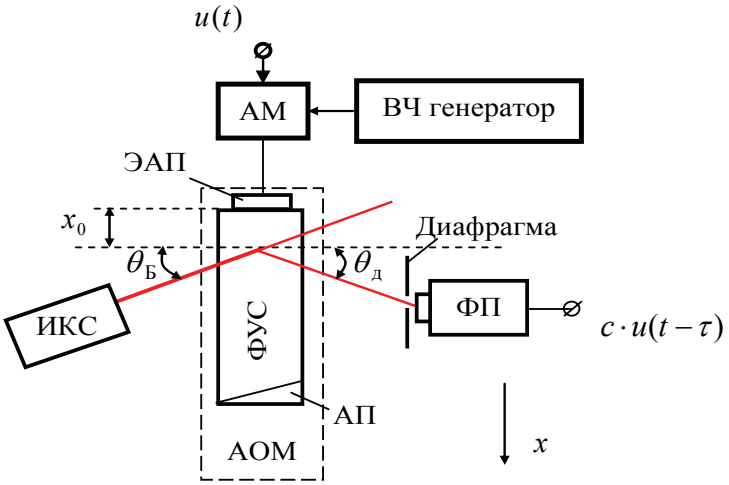


Рис.1. Схема АОЛЗ

Установленный на пути отклоненного света фотоприемник (ФП) выделяет огибающую падающего на его поверхность светового пучка. На выходе ФП сигнал с точностью до постоянного сомножителя c соответствует задержанному на время $\tau = x_0/\upsilon$ входному сигналу, где υ - скорость распространения УВ в ФУС.

Величина времени задержки сигнала τ в АОЛЗ определяется временем пробега УВ расстояния x_0 от ЭАП до точки акустооптического взаимодействия. Регулировка времени задержки сигнала достигается механическим изменением расстояния x_0. Низкая скорость УВ (примерно, на пять порядков меньше скорости распространения света) позволяет получать достаточно большие величины времени задержки сигнала (примерно, до $80 мкс$).

Из формулы (2) следует, что изменение частоты УВ в ФУС сопровождается изменением только угла дифракции $\theta_Д$ светового пучка после нее, т.к. в процессе работы угол падения светового пучка в апертуру ФУС не меняется.

Вышеуказанная зависимость угла дифракции от частоты УВ, следовательно, от частоты входного электрического сигнала использована для построения электронно-коммутируемой АОЛЗ (рис.2). Здесь АОМ также работает в режиме дифракции Брэгга. Световые лучи падают на поверхность ФУС под различными углами Брэгга,

$$\theta_{Б1} = \arcsin(0.5\lambda/\Lambda_1) \quad \text{и} \quad \theta_{Б2} = \arcsin(0.5\lambda/\Lambda_2), \qquad (3)$$

где Λ_1, Λ_2 - длины УВ различных частот.

Частота f колебания генератора управляемого напряжением (ГУН) изменяется под действием низкочастотного электрического напряжения $U_=$.

Обрабатываемый сигнал $u(t)$ подается на первый вход АМ. На второй вход АМ поступает ВЧ колебание от ГУН. Модулированное по амплитуде ВЧ колебание поступает на электрический вход АОМ и возбуждает в нем УВ.

Углы падения световых пучков выбираются в соответствии с выражениями (3) и удовлетворяют условиям Брэгга на различных частотах УВ. Световой пучок, для которого выполняется условие Брэгга, дифрагирует на УВ. Дифрагировавший порядок через отверстие в диафрагме попадает на поверхность соответствующего ФП.

На выходе сумматора сигнал с точностью до постоянного сомножителя c соответствует задержанному на время $\tau = h(f)/\upsilon$ входному сигналу, где $h(f)$ – расстояние от ЭАП до соответствующего светового пучка. Изменение управляющего напряжения $U_=$ приводит к изменению частоты УВ. В результате изменяется расстояние $h(f)$ и время задержки τ.

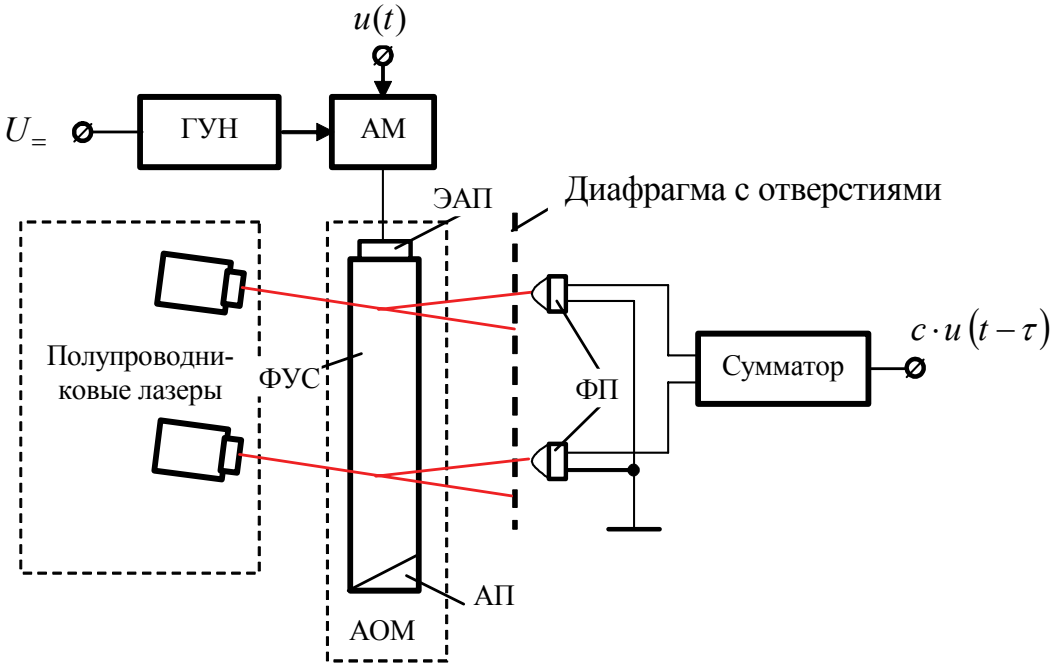


Рис.1. Электронно-коммутируемая акустооптическая линия задержки

Экспериментально был проверен принцип построения электронно-коммутируемой АОЛЗ. АОМ был изготовлен из $ТФ-7$ ($\upsilon = 3{,}6 км/с$), а ЭАП - из $LiNbO_3$. В качестве источника когерентного света были использованы полупроводниковые лазеры ($\lambda = 0{,}64$ *мкм*). Фотоприемники можно выполнить на любом фотодиоде. В нашем случае были использованы фотодиоды марки $ФД-5Г$.

Центральная частота АОМ составила $80 МГц$. Устройство позволило реализовать два дискретных значения (1,5 и 7 мкс.) времени задержки.

Отметим, что описываемая конструкция хорошо зарекомендовала себя в процессе измерения зависимости реальной скорости упругой волны в ФУС от температуры. При этом на вход АМ подавали импульсную последовательность. Сумматор был заменен RS триггером. На S и R входы триггера подавали отформатированные сигналы от первого и второго фотоприемников, соответственно.

Выводы

Близкая к линейному закону зависимость угла дифракции светового пучка от частоты входного воздействия АОМ может быть использована для реализации множества дискретных значений времени задержки. Электронная коммутация времени задержки обеспечивает достаточно высокое быстродействие. Требования к параметрам источника когерентного света и фотоприемника не высокие. К тому же современные технологии позволяют изготовить акустооптические модуляторы, возбуждаемые акустической мощностью величиной в десятки милливатт [2]. Все эти факторы являются хорошими предпосылками для изготовления компактной электронно-коммутируемой многоотводной акустооптической линии задержки.

Литература

1. *Балакший В.И., Парыгин В.И., Чирков Л.Е.* Физические основы акустооптики. – М.: Радио и связь, 1985, –280с.

2. *Дж. Н. ЛИ, Э. Вандерлугт.* Акустооптические методы обработки сигналов и вычислений, ТИИЭР, т.77, № 10. с.158÷192 , 1989г.

УДК 621.391.272

А.М. Пашаев, доктор физико-математических наук,
Р.А. Гасанов, докторант
(Национальная академия авиации Азербайджана, Азербайджан)

МЕТОД МОНИТОРИНГА КРАТКОВРЕМЕННЫХ РАДИОИЗЛУЧЕНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Предлагается метод адаптивно-комбинированного электромагнитного мониторинга, который обеспечивает обнаружение и измерение параметров кратковременных радиоизлучений в экстремальных условиях. Проблема решается путем крупномасштабного предварительного анализа заданного частотного диапазона неопределенности, выделения полосы частот, в пределах которой имеется радиоизлучение и просмотра выделенной полосы частот с высоким частотным разрешением.

Средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ) являются атрибутом решения современных локальных и глобальных конфликтов. Они превратились в решающий фактор в руках как террористов, так и великих держав. Важным этапом РЭБ (как в радиопротиводействии, так и в радиоэлектронном подавлении) является электромагнитный мониторинг (ЭММ), который предусматривает изучение электромагнитной обстановки в некотором участке пространства с помощью специализированных устройств, парк которых расширяется с каждым днем. Однако количество проблем в этой области увеличивается опережающими темпами. Например, несмотря на обилие технических средств радиоэлектронного подавления, радиоуправляемые взрыватели остаются грозным оружием в руках террористов. Одной из причин этого является отсутствие эффективных систем ЭММ с высокой разрешающей способностью и высоким быстродействием.

Современные средства ЭММ реализуются по одному из следующих методов: последовательному, параллельному или комбинированному методам [1]. Последовательный метод мониторинга осуществляется путем перестройки избирательной системы в пределах диапазона неопределенности. Низкое быстродействие является основным недостатком этого метода. В параллельном методе применяется ряд параллельно включенных и настроенных на разные частоты полосовых фильтров, полосы пропускания которых равны и тесно примыкают друг к другу. Недостатком этого метода является сложность аппаратной реализации, что затрудняет создание портативной системы мониторинга, пригодной для работы в экстремальных (например, в военных) условиях. Причем, чем выше требование к частотному разрешению, тем сложнее аппаратная реализация параллельного метода.

Комбинированный метод ЭММ в определенной степени объединяет в себе достоинства параллельного и последовательного методов ЭММ.

Цели и задачи РЭБ предопределяют необходимость уменьшения длительности радиоизлучения. Эту задачу решают путем временного сжатия сигнала на передающей стороне и последующего растяжения на приемной [2, 3]. Современные преобразователи временного масштаба позволяют уменьшить длительность излучаемого сигнала до такой величины, при которой ни последовательный, ни комбинированный методы ЭММ не обеспечивают их обнаружения. К тому же, с увеличением частотного разрешения резко уменьшается быстродействие последовательного и комбинированного методов.

Целью данной работы является синтез метода ЭММ, пригодного для обнаружения кратковременных радиоизлучений в экстремальных условиях.

Поставленная цель может быть достигнута путем крупномасштабного анализа частотного диапазона неопределенности, определения приоритетной полосы частот и ее просмотра с высоким частотным разрешением. Намеченный алгоритм мониторинга предполагает адаптацию действия системы ЭММ к электромагнитной обстановке. Другими словами, те узлы системы мониторинга, которые существенно влияют на быстродействие

системы ЭММ (узлы с высоким частотным разрешением), включаются в обработку сигнала только после его обнаружения. Поэтому такой метод мониторинга следует назвать адаптивно-комбинированным.

Высокое быстродействие метода адаптивно-комбинированного ЭММ обеспечивается тем, что сканирование с высоким частотным разрешением производится только после обнаружения сигнала. В остальное время осуществляется только параллельный крупномасштабный анализ.

Метод адаптивно-комбинированного мониторинга поясняется структурной схемой, изображенной на рис.1.

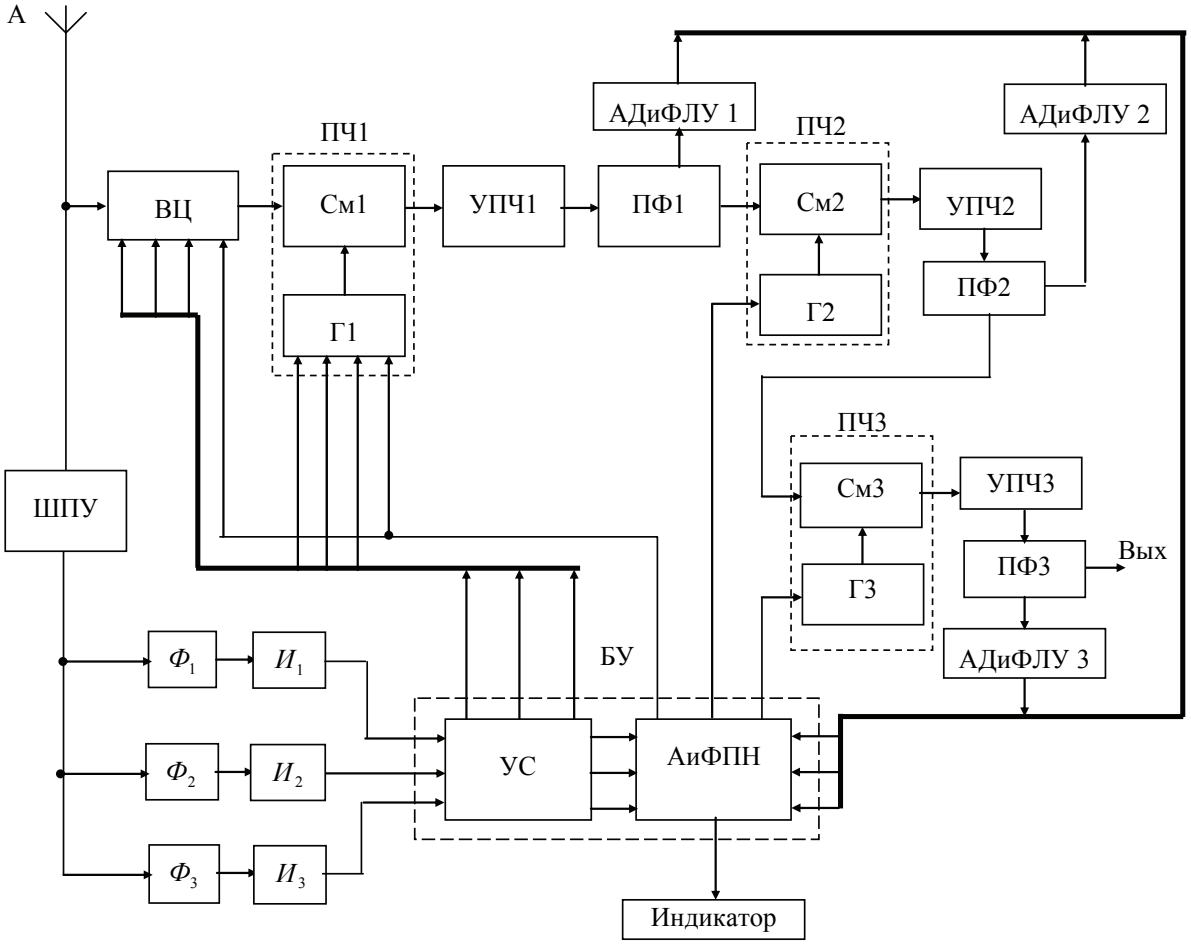


Рис.1. Структурная схема системы адаптивно-комбинированного ЭММ

Система мониторинга функционирует следующим образом. Заданный диапазон неопределенности разбит на три поддиапазона. Сигнал от антенны A усиливается в широкополосном усилителе (ШПУ) и поступает на входы широкополосных фильтров $\Phi_1 \div \Phi_3$, где производится крупномасштабный параллельный анализ с низким частотным разрешением. Полосы пропускания фильтров $\Phi_1 \div \Phi_3$ выбираются равными ширинам соответствующих поддиапазонов. На данном этапе ЭММ определяется поддиапазон в котором имеется радиоизлучение. Признак о наличии сигнала появляется на выходе соответствующего интегратора $И_1 \div И_3$.

Сформированные в интеграторах $И_1 \div И_3$ признаки поступают на соответствующие входы устройства сравнения (УС). По результатам сравнения сигналов от интеграторов производится коммутация соответствующих избирательных систем входной цепи (ВЦ) и

гетеродина (Г1). Информация о выбранном поддиапазоне поступает также на вход анализатора и формирователя пилообразного напряжения (АиФПН). Пилообразное управляющее напряжение от АиФПН перестраивает избирательные системы ВЦ и Г1 в пределах выбранного поддиапазона равномерно, с частотным разрешением, определяемым полосой пропускания полосового фильтра ПФ1.

При обнаружении полезного сигнала в пределах выбранного поддиапазона на выходе ПФ1 возникает сигнал на первой промежуточной частоте. Другими словами, преобразователь частоты ПЧ1 (состоит из смесителя См1 и Г1) переносит спектр исследуемого сигнала в область первой промежуточной частоты. Сигнал с выхода ПФ1 одновременно поступает на входы ПЧ2 (состоит из смесителя См2 и Г2) и амплитудного детектора и формирователя логического уровня (АДиФЛУ1), где формируется логический уровень. Этот отклик поступает на вход АиФПН и служит «стоп сигналом» для него, т.е. формирование пилообразного напряжения для ВЦ и Г1 останавливается на текущем отсчете пилообразного напряжения. Далее производится просмотр сигнала в ПЧ2, а затем в ПЧ3 (состоит из смесителя См3 и Г3) с более высокими частотными разрешениями. Сигналы с выходов ПФ2 и ПФ3 поступают на входы соответствующих АДиФЛУ, а затем и на входы АиФПН.

Из вышеприведенного описания следует, что занимаемая сигналом полоса частот просматривается в три этапа. Каждый очередной этап начинается только после обнаружения сигнала. Наибольшее частотное разрешение обеспечивается на третьем этапе и определяется полосой пропускания ПФ3. Выходной сигнал ПФ3 используется по назначению системы мониторинга. Этот же сигнал может быть использован и для определения напряженности электромагнитного поля.

На основе результатов измерений в ПЧ1÷ПЧ3 и АиФПН определяется частота принимаемого сигнала. Результат отображается на индикаторе.

Возможны другие варианты аппаратной реализации метода адаптивно-комбинированного ЭММ.

В работе [4] приведен сравнительный анализ количественных характеристик известных и впервые разработанного методов ЭММ по таким критериям, как общее количество полосовых фильтров и быстродействие. Установлено, что быстродействие предложенного метода адаптивно-комбинированного ЭММ близко к быстродействию параллельного метода, а по сложности он незначительно отличается от комбинированного метода.

Отдельные узлы системы адаптивно-комбинированного ЭММ разработаны и экспериментально исследованы автором.

Формирователь управляющего сигнала в виде последовательности прямоугольных импульсов с переменным периодом повторения разработан на микроконтроллере $PIC16F84A$. Принцип действия устройства описывается в работе [5].

Формирователь пилообразного напряжения, также выполнен на микроконтроллере $PIC16F84A$. Принцип действия устройства и основные экспериментальные результаты приведены в работе [6].

Выводы

Обнаружение и измерение параметров неизвестных кратковременных радиоизлучений в экстремальных условиях является одной из основных проблем в радиоэлектронной борьбе. Это обусловлено применением специализированных средств передачи информации. Эффективные преобразователи временного масштаба сигналов позволяют уменьшать длительность радиоизлучения до величины, при которой известные методы ЭММ не обеспечивают уверенного обнаружения этого радиоизлучения. Метод адаптивно-комбинированного ЭММ решает эту проблему достаточно эффективно, путем крупномасштабного анализа диапазона неопределенности, определения приоритетной

полосы частот и ее просмотра с высоким частотным разрешением. Адаптивность алгоритма функционирования метода адаптивно-комбинированного ЭММ обуславливает его высокое быстродействие. При этом, увеличение частотного разрешения не приводит к существенному уменьшению быстродействия.

Список литературы

1. Мартынов В.А., Селихов Ю.И. Панорамные приемники и анализаторы спектра/ под ред. Г.Д. Заварина. – II изд., перераб. и доп. – М.: Советское радио, 1980. -352с., ил.

2. Черницер В.М., Кадук Б.Г. Преобразователи временного масштаба. – М.: Советское радио, 1972. - 144с.

3. Виницкий А.С. Автономные радиосистемы. – М.: Радио и связь, 1986.

4. Гасанов Р.А. Адаптивно-комбинированный метод электромагнитного мониторинга / Материалы международной молодежной научной конференции. Казань, 26-28 мая, 2010, с.58-60.

5. Гасанов Р.А. Самопрограммируемый автомат для подачи звонков // Радио, 2009, №7, с.52÷53.

6. Гасанов Р.А. Цифровой формирователь пилообразного напряжения. «Альтернативная энергетика и экология», 2009 г., №7. с.113-116.

УДК 531/534(075.8)

Б.М. Уваров, кандидат технических наук, Ю.Ф. Зиньковский, доктор технических наук
(Национальный технический университет Украины
"Киевский политехнический институт")

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Рассмотрены методы оптимизации функциональных и конструктивных характеристик авиационной радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивающие при проектировании получение оптимальных конструктивных показателей качества – массогабаритных, надежности. Оптимальные показатели проектируемого аппарата достигаются параметрической оптимизацией структурной модели аппарата, полученной методами теории подобия.

Введение

Одними из основных функциональных характеристик авиационной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) являются ее высокие показатели качества – минимальные габариты, минимальное энергопотребление, максимальная надежность и безотказность в условиях эксплуатации.

Поэтому в методах проектирования радиоэлектронных средств (РЭС) с оптимальными показателями должны быть использованы все возможности получения последних, и средства их достижения необходимо предусматривать уже при проектировании, на стадии создания структурной модели будущего устройства.

Это, например, структурно-оптимизационные методы, представляющие структурную модель как систему уравнений, которая характеризует все процессы, протекающие в устройстве и дает возможность определить как функциональные так и конструктивные характеристики проектируемого РЭС, а потом их оптимизировать.

Структурно-оптимизационный метод проектирования РЭС

Этот метод проектирования структурную модель будущего РЭС представляет как систему уравнений, которая характеризует все процессы, протекающие в устройстве и дает возможность определить как функциональные характеристики, так и методы реализации проектных решений в конструкцию РЭС. Наивысшие показатели качества РЭС достигаются параметрической оптимизацией всех или большинства исходных параметров модели.

Структурная модель РЭС может быть сформирована как система критериальных уравнений, полученных методами теории подобия [1]:

$$\left.\begin{aligned} \overline{K}_1 &= \phi_{1V} K_Q + \phi_{1T} K_{Te}; \\ \overline{K}_2 &= \phi_{2Bз} K_{Bз} + \phi_{2м} K_{м\Sigma} + \phi_{2P} K_{Py}; \\ \overline{K}_3 &= \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt}, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $\overline{K}_i$ – т.наз. частичные критерии, связывающие процессы одной природы (например: механические колебания, напряжения, возникающие в элементах конструкции, показатели надежности при механических воздействиях, или характеристики процессов теплообмена и т.п.); входящие в частичные единичные критерии K_{ik} – каждый из которых характеризует какой-либо из протекающих процессов (это могут быть электромагнитные или электрические процессы, процессы теплообмена, поведение структурного элемента РЭС при механических воздействиях и т.п.);

В этой системе частичные критерии отображают: $\overline{K}_1$ – макропоказатели конструкции,

$\overline{K}_2$ – механические процессы, $\overline{K}_3$ – процессы тепломассообмена. Функции ϕ_{ki} – коэффициенты влияния каждого из единичных критериев на сооответствующий частичный, а ϕ_i – коэффициенты влияния частичных критериев на комплексный.

Комплексный критерий $\overline{K}$, или целевая функция (ЦФ) РЭС – это линейная свертка системы (1):

$$\overline{K} = \sum_i^n \overline{K}_i = \sum_i^n \sum_k^m \phi_{ik} K_i \ .$$

В процессе параметрической оптимизации для получения максимального качества РЭС необходимо получить максимальное значение критерия $\overline{K}$, изменяя параметры величин, входящих в единичные, а, следовательно, и частичные критерии.

Оптимизация функциональных и конструктивных характеристик РЭС

Детальный анализ выражений для частичных и единичных критериев показывает, что конструктивные параметры, входящие в их состав, могут оказывать влияние (иногда существенное) не только на макропоказатели конструктивного совершенства (которые важны для мобильной или установленной на подвижных объектах аппаратуры), но и на показатели надежности всего РЭС.

В состав частичного критерия $\overline{K}_2$ входит единичный критерий $K_{Bз}$, а значение последнего определяется параметрическим критерием расстройки $\varpi = \omega/\omega_0$ [1]. Например, собственная частота печатной платы (ПП) ячейки или подложки микросборки (МСб) РЭС зависит от ее т.наз. приведенной массы m, цилиндрической жесткости платы D (последняя определяется механическими свойствами материала платы и ее толщиной), частотной функции $\varphi(\beta)$ (определяемой способом закрепления сторон платы и отношением сторон $\beta = a/b$) [1]:

$$\text{щ}_0 = \frac{\varphi(\text{в})}{a^2}\sqrt{\frac{D}{m}} \ .$$

Приведенная масса платы:

$$m = m_{\text{п}} + m_{\text{э}} + \sum_{i,k} \frac{m_i w_i^2(x) w_k^2(y)}{ab\int_a w_i^2(x)dx \int_b w_k^2(x)dy}, \qquad (2)$$

где $m_{\text{п}}$ – масса самой пластины ПП; $m_{\text{э}}$ – суммарная масса электрорадиоэлементов и функциональных узлов (ЭРЭ и ФУ) на плате; m_i – массы отдельных ЭРЭ и их координатные функции $w_i(x)$, $w_k(y)$.

Если в процессе оптимизации изменять координаты x и y каждой массы m_i, можно изменить и собственную частоту платы ω_0. Это необходимо, если нужно уменьшить динамические прогибы платы, а следовательно и механические напряжения в выводах ЭРЭ, микросхем (МС), в паяных соединениях в условиях механического резонанса. При проектировании стремятся вывести плату из резонансной зоны, и это можно сделать, изменяя координаты установленных на ней ЭРЭ, МС, ФУ, тем самым повысить прочность и выносливость элементов конструкции РЭС.

При уменьшении напряжений в конструктивных элементах возрастает надежность всего РЭС – это дополнительно увеличивает значение критерия надежности $K_{P\sigma}$.

Таким образом, параметрическая оптимизация изменением только пространственной компоновки позволяет повысить стойкость РЭС к внешним механическим воздействиям, полностью сохраняя первоначально выбранные форму и размеры элементов конструкции, примененные для них материалы. При этом возрастают значения критериев $K_{Bз}$, $K_{P\sigma}$ и объединяющего их частичного $\overline{K}_2$.

Тепловые процессы в системе уравнений (1) отображаются частичным критерием $\overline{K}_3$, в который входят два единичных – K_T (теплового режима) и K_{Pt} (тепловой надежности). Анализ показывает, что тепловой режим ПП и МСб в значительной мере определяется размещением тепловыделяющих элементов (ТВЭ) – ЭРЭ, МС, ФУ – на соответствующем основании.

Стационарный тепловой режим ячейки или МСб (температуры ТВЭ или любой точки с координатами x, y на основании с размерами $a \times b \times h$) с установленными на ней источниками тепла Q_i может быть рассчитан для подобных структурных единиц РЭА по уравнению [2]:

$$T_{n,m}(x,y) = 8\sum_{i=1}^{k} \frac{\mathrm{Bi}}{\mathrm{б}} \frac{ab}{h^2} \frac{Q_i}{\Delta x_i \Delta y_i} \sum_{n=2}^{\infty}\sum_{m=2}^{\infty} K_n^2\, K_m^2 \frac{I_n(x_i) I_m(y_i)}{\mathrm{м}_n^2 \frac{b}{a} + \mathrm{м}_m^2 \frac{a}{b} + \mathrm{Bi}\ \frac{ab}{h^2}} \cos\left(\frac{\mathrm{м}_n}{a} x\right) \cos\left(\frac{\mathrm{м}_m}{b} y\right). \quad (3)$$

Это уравнение получено как решение исходного дифференциального уравнения Фурье методом конечных интегральных преобразований, поэтому в него входят корни характеристических уравнений μ_n , μ_m , ядра интегральных преобразований K_n , K_m , функции изменения температуры вдоль соответствующих координат $I_n(x)$, $I_m(y)$; Bi – критерий Био, определяемый коэффициентом теплоотдачи α с плоскостей МСб.

Уравнение показывает, что температуры ТВЭ зависят от координат x и y: изменяя последние, можно оптимизировать температурное поле всей МСб – уменьшить температуры. Тем самым увеличивается значение критерия K_T. Дополнительно увеличивается "тепловая" надежность электронных ТВЭ – это влияние отображается критерием K_{Pt}.

Таким образом, оптимизируя компоновку ячейки или МСб, можно увеличить их надежность, не изменяя элементной базы и электрических режимов электронной структуры, подобно тому, как компоновка повышает надежность РЭС при механических воздействиях.

Методы оптимизации и программные средства

Оптимум функциональных характеристик РЭС обеспечивается при определенных значениях влияющих параметров, входящих в комплексный критерий $\overline{K}$, или частичные $\overline{K}_i$, или в единичные K_{ik}. Для этого из выражений соответствующих критериев необходимо выделить частичную ЦФ $F(\xi_1, \xi_2, \ldots)$, которую и необходимо оптимизировать. Оптимум этой функции $F(\xi_1, \xi_2, \ldots) = \min$, или $F(\xi_1, \xi_2, \ldots) = \max$, из которого находят значения оптимизирующих параметров, соответствует условию:

$$\frac{\partial F(\mathrm{o}_1, \mathrm{o}_2, \ldots)}{\partial \mathrm{o}_1 \partial \mathrm{o}_2 \ldots} = \sum_i \frac{\partial F}{\partial \mathrm{o}_i} = 0. \quad (4)$$

Оптимальная компоновка ячейки РЭС при механических воздействиях получается при оптимизации приведенной массы m (2), из выражения для которой следует находить для всех масс m_i значения координат x_i, y_i, обеспечивающие этот оптимум согласно (4).

Для реальных конструкций ячеек и МСб размерность системы уравнений оптимизации может быть большой: положения каждого ЭРЭ или ФУ на плате задается двумя координатами, для n ФУ число их $2n$ (для пространственной компоновки $3n$), кроме того, координатные функции нелинейны, поэтому аналитические методы оптимизации непригодны.

Аналогичные проблемы возникают и при оптимизации тепловых режимов, когда частичной ЦФ для оптимизации будет функция температуры (3), более сложная, чем выражение для приведенной массы (2).

Поэтому нахождение оптимума таких функций обычно производится численными методами при помощи программ оптимизации для ПЭВМ. Эти программы должны быть объектно-ориентированными, т.е. создаваться для оптимизации конкретных технических

объектов и учитывать сооветствующую их специфику, и такие программы необходимо создавать, если они отсутствуют.

Описания существующих программ и исходные их тексты на языке *C++* приведены в [1,2]. Оптимизация функциональных характеристик РЭС – стойкости при механических воздействиях, надежности при тепловых – достигается оптимальной компоновкой ЭРЭ и ФУ на пластине-основе ПП или МСб. Программ несколько: программа ***OptPlat07*** оптимизирует напряжения в материале платы, ***OptPlVyv7.1*** обеспечивает минимальные напряжения в выводах ЭРЭ, ***OptPlVyv7.2*** обеспечивает максимальную надежность нахлесточных паяных соединений, которыми присоединяются к печатным проводникам выводы ЭРЭ и ФУ.

В качестве примера из [1] ниже приводятся результаты оптимизации с помощью программы ***OptPlVyv7.1*** конструкции платы размерами 160×120×2 мм, на которой установлены четыре микросхемы (МС) в стандартных корпусах, у каждого из которых по 40 Г-образных выводов, при механических воздействиях – вибрациях и ударах.

Первоначальное положение корпусов МС на плате (ориентация вдоль длинной стороны платы, которой соответствует направление оси *x*; в поперечном направлении – ось *y*) характеризуется координатами, приведенными в левой части таблицы:

№ корпуса	координаты корпуса			
	первоначальные		после оптимизации	
	x	*y*	*x*	*y*
1	120	50	81,8	18,6
2	120	70	28,7	64,2
3	120	90	90,8	104,2
4	120	110	124,4	104,2

В процессе оптимизации, целью которой было обеспечить минимальные напряжения в выводах ЭРЭ, координаты были изменены, что и показано в правой части той же таблицы.

Результаты оптимизации: вероятность безотказной работы выводов до оптимизации – при вибрации 0,1, при ударах 0,01; после оптимизации – при вибрации 0,989, при ударах 0,964; т.е. оптимизация позволила получить достаточно надежную конструкцию (с первоначальной компоновкой МС – непригодную для работы).

Оптимизацию тепловых режимов (минимальные температуры, существенное повышение надежности ЭРЭ и ФУ) обеспечивает программа ***OptPlat6*** . В [2] приведены результаты оптимизации ПП и МСб, показывающие, что тепловую надежность можно повысить на 20 – 25%.

Выводы

1. Сформулировано положение о том, что достижение максимальной надежности авиационной РЭА должно быть обеспечено методами проектирования, формирующими оптимальную структуру будущего устройства в виде целевой функции – системы уравнений, описывающих основные функциональные свойства РЭС и их взаимосвязи.
2. Показано, что максимальная надежность РЭС и при механических, и при тепловых воздействиях достигается рациональной компоновкой ЭРЭ, МС, ФУ на основании печатной платы или подложке микросборки.
3. Эффективность разработанных программ показана на примере оптимизации печатной платы РЭС, в результате которой для конструкции, первоначально непригодной по надежности, получены достаточно высокие показатели безотказной работы.

Список литературы

1. *Уваров Б.М., Зіньковський Ю.Ф.* Проектування та оптимізація механостійких конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками. – К.: ”Корнійчук”, 2011. – 248 с.

2. *Уваров Б.М., Зіньковський Ю.Ф.* Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками. – К.: ”Корнійчук”, 2011. – 204 с.

УДК 531/534(075.8)

Б.М. Уваров, кандидат технических наук, Ю.Ф. Зиньковский, доктор технических наук
(Национальный технический университет Украины
”Киевский политехнический институт”)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ МОДУЛЕЙ АВИАЦИОННОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Предложены методы проектирования авиационной радиоэлектронной аппаратуры, обеспечивающие получение в реальном устройстве оптимальных конструктивных показателей качества – массогабаритных, надежности. Формирование структурной модели аппарата производится методами теории подобия, оптимальные показатели проектируемого аппарата достигаются параметрической оптимизацией.

Введение

Авиационная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) имеет особенности, выделяющие ее из аналогичных устройств с такими же функциональными характеристиками – минимальные габариты, минимальное энергопотребление, максимальную надежность и безотказность в условиях эксплуатации.

Наилучшая конструкция радиоэлектронного средства (РЭС) может быть создана, если уже на этапе проектирования аппарата будет поставлена цель получить его показатели оптимальными, и которые соответствующим образом отображены в целевой функции (ЦФ) – системе уравнений, содержащих основные характеристики устройства и их взаимосвязь. Проблема получения такого выражения для ЦФ должна быть решена в начале процесса проектирования, а для ее решения необходимо разрабатывать такие методы проектирования, которые позволят создавать структурные и математические модели РЭС, а в дальнейшем и само устройство с наивысшими показателями качества.

Получение оптимального (наивысшего) значения ЦФ требует выражения этого показателя в числовом измерении, создания соответствующих методов проектирования и оптимизации его параметров, использования систем автоматизированного проектирования (САПР) и современной инструментальной базы – электронных вычислительных машин (ЭВМ), в том числе персональных (ПЭВМ).

Создание целевой функции РЭС методами теории подобия

Методами теории подобия и размерностей возможно создать структурную модель РЭС и его ЦФ в виде функции – нулевой модели, в которой объединены все определяющие параметры в комплексном показателе, а потом оптимизировать ее параметры.

Теория подобия дает возможность определить взаимосвязи между параметрами рассматриваемого процесса в виде критериальных уравнений, заменяющих полную систему дифференциальных уравнений, описывающих этот процесс. Для этого необходимо выбрать обобщенные координаты (физические величины), характеризующие все особенности рассматриваемого явления, и из них сформировать критериальные уравнения [1].

В любом техническом устройстве осуществляется перенос или изменение вещества, энергии, информации: для РЭА – генерирование, излучение, прием или преобразование радиосигналов; в устройствах вычислительной техники – аналогичные процессы для информационных потоков; в механических системах – передача силовых потоков и механической энергии движения. Такие процессы и описывают системами критериальных уравнений, в которые входят основные параметры пространства, где производится передача энергии, или изменяются параметры передаваемого вещества.

В теории подобия для формирования критериев подобия и критериального уравнения, характеризующего процесс, необходимо выделить все физические величины, влияющие на

характеристики процесса, с их размерностями, и выбрать систему единиц измерения для этих физических величин. В соответствии с π-теоремой теории, количество $\pi_к$ безразмерных критериев подобия K_i :

$$\pi_к = \pi_{рп} - \pi_{ов},$$

где $\pi_{рп}$ – число размерных параметров; $\pi_{ов}$ – число основных единиц измерения системы физических величин.

Конструкцию РЭС также можно описать критериальными уравнениями, сформированными методами теории подобия, с использованием обобщенных переменных, которые и формируют единичные критерии подобия, но при этом понятия обобщенных переменных для создания ЦФ конструкции РЭА необходимо расширить: к физическим величинам, характеризующим энергетические процессы, происходящие в РЭА, следует добавить конструктивные параметры – геометрические (размеры), инерционные (массы, моменты инерции), напряжения в элементах конструкции [2].

Из единичных безразмерных критериев K_i, характеризующих один из основных энергетических процессов – электромагнитный, тепловой, механический – необходимо сформировать частичные критерии $\overline{K}_i$, определив соответствующие функции влияния ϕ_{ik}.

Комплексный критерій $\overline{K}$, т.е. ЦФ РЭС, следует сформировать как аддитивный показатель из частичных $\overline{K}_i$ – это и будет нулевая модель устройства, не требующая изменений принципиальных решений и конструктивной структуры объекта на последующих этапах проектирования.

Целевая функция РЭС в виде критерия $\overline{K}$ содержит в себе все конструктивные параметры будущего устройства, а оптимизация этих параметров даст возможность получить его конструкцию с наивысшими показателями качества.

Обобщенный комплексный критерий $\overline{K}$, учитывающий влияние всех параметров на показатели проектируемого РЭС, дает возможность определить, какие параметры и каким образом влияют на его качество, т.е. позволяет спроектировать устройство с наивысшими показателями качества, начиная с создания структурной модели нулевого уровня.

Единичные, частичные и комплексные критерии

Единичные безразмерные критерии подобия, формируемые из физических величин, обычно представляют в виде степенных комплексов:

$$K_i = a^{\alpha} b^{\beta} c^{\gamma} d^{\delta} \ldots,$$

где a, b, c, d ... – размерные параметры, α, β, γ, δ. – коэффициенты влияния соответствующего размерного параметра на критерий K_i.

Единичные критерии K_i, относящиеся к какой-либо одной стороне общего процесса (это могут быть процессы теплообмена объекта и окружающей среды, поведение устройства при вибрационных воздействиях и т.п.) необходимо объединить в частичные критерии $\overline{K}_i$, например, аддитивные:

$$\overline{K}_i = \sum_k^n \phi_{ik} K_i .$$

Совокупность таких аддитивных показателей образуют систему n линейних уравнений, которая и будет целевой функцией устройства:

$$\overline{K} = \sum_i^n \overline{K}_i = \sum_i^n \sum_k^m \phi_{ik} K_i . \qquad (1)$$

Для РЭС комплексный критерий $\overline{K}$ сформирован как система уравнений [2]:

$$\left.\begin{aligned}\overline{K}_1 &= \phi_{1V} K_Q + \phi_{1T} K_{Te};\\ \overline{K}_2 &= \phi_{2Bз} K_{Bз} + \phi_{2м} K_{мΣ} + \phi_{2P} K_{Pу};\\ \overline{K}_3 &= \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt},\end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где $\overline{K}_1$ – частичный критерий, определяемый макропоказателями конструкции; $\overline{K}_2$ – частичный критерий, определяемый механическими процессами, $\overline{K}_3$ – тепловыми.

Приоритеты ϕ_i и ϕ_{ik} определяет проектировщик для каждого конкретного РЭС.

Частичный критерий макропоказателей конструкции $\overline{K}_1$ – влияние единичных критериев конструктивного совершенства K_Q и технологичности K_{Te}.

Единичный критерий K_Q соотносит полную электрическую мощность, необходимую аппарату для реализации его функционального назначения, с его объемом V и массой M [2].

Технологическое совершенство конструкции может быть оценено основными показателями технологичности: критерием уровня технологичности $K_{\text{рт}}$ – по трудоемкости изготовления, и $K_{\text{св}}$ – себестоимости, которые можно объединить в один: $K_{Te} = K_{\text{рт}} \times K_{\text{св}}$.

Механические процессы: нагружение внешними механическими воздействиями и появление внутренних напряжений в материале деталей, колебательные процессы всего РЭА и элементов конструкции, усталость материалов деталей учитывается единичными критериями эффективности виброзащиты $K_{Bз}$ (коэффициентами динамического усиления $K_{дин}$ при силовом возбуждении или $K_{кин}$ при кинематическом), несущей способности конструкционных материалов $K_{\text{м}}$ (отношением действующих нормальных σ, касательных τ, контактных $\sigma_{\text{к}}$ напряжений в элементах конструкции к их допустимым значениям σ_P, τ_P, $\sigma_{\text{к}P}$), надежности конструкции под действием механических нагрузок $K_{P\sigma}$ (вероятности безотказной работы в течение заданного срока службы при механических воздействиях), формирующими частичный критерий $\overline{K}_2$:

$$\overline{K}_2 = \phi_{2Bз} K_{Bз} + \phi_{2м} K_{мΣ} + \phi_{2P} K_{Pу}.$$

Совершенство системы защиты РЭС от вибрационных и ударных влияний оценены критериями динамического усиления $K_{\text{дин}}$ при силовом возбуждении, передачи $K_{\text{кин}}$ – при кинематическом. Общее обозначение критериев эффективности виброзащиты – $K_{Bз}$.

Использование несущей способности конструкционных материалов определяет критерий $K_{\text{м}}$, соотнося действующие напряжения σ, τ, $\sigma_{\text{к}}$ (нормальные, касательные, контактные) с их допустимыми значениями σ_P, τ_P, $\sigma_{\text{к}P}$.

Вероятность безотказной работы всей конструкции из n элементов – произведение вероятностей $P_i(\tau)$ для каждого из них – будет единичным критерием $K_{P\sigma}$ при механических воздействиях:

$$K_{Pу} = P(\phi) = \prod_{i=1}^{n} P_i(\phi).$$

Температуры электрорадиоэлементов и функциональных узлов (ЭРЭ и ФУ) в рабочем режиме могут быть определяющими для радиоэлектронного аппарата, поэтому в выражение ЦФ входит частичный критерий, учитывающий влияние теплового режима на функциональные показатели РЭС, и в нем две составляющие: единичный критерий K_T, характеризующий тепловой режим отношением температуры допустимой T_{iP} и действующей T_i для ФУ, ЭРЭ, элементов конструкции: $K_{iT} = T_{iP}/T_i$, и единичный критерий надежности конструкции K_{Pt}, учитывающий вероятность безотказной работы $P_i(\tau)$ ФУ, ЭРЭ в зависимости от их теплового режима:

$$\overline{K}_3 = \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt}.$$

Критерий K_T – отношение абсолютных температур окружающей среды $T_{\text{о}}$ и температур ЭРЭ и ФУ $T_{\text{эл}}$ [5].

Вероятность безотказной работы всех ЭРЭ и ФУ при тепловых воздействиях:

$$K_{Pt} = P\ (\text{ф}) = \prod_{i=1}^{n} P_i\ (\text{ф}).$$

Основные объекты и методы оптимизации РЭС

Основными структурно-конструктивными модулями первого уровня (СКМ1) любого РЭС являются т.наз. ячейки и микросборки (МСб) – функционально законченные РЭС, ЭРЭ и ФУ которых размещены на пластмассовой, металлической или керамической печатной плате (ПП). В общем объеме всей разнообразной РЭА СКМ1 составляют не менее 67–85% структурных элементов, поэтому они должны рассматриваться как основные объекты оптимизации.

Оптимизация РЭС в процессе проектирования – это обеспечение оптимальности комплексного критерия $\overline{K}$ (1) и частичных $\overline{K}_i$, входящих в систему уравнений (2). Все эти критерии сформированы таким образом, что наивысшее качество оптимизируемых объектов достигается при максимальном значении критериев, поэтому при проектировании необходимо стремиться достигнуть максимума каждого из них. Оптимизационные модули САПР, проектирующей оптимальный РЭС, должны обеспечить максимум критерия $\overline{K}$ параметрической оптимизацией – изменением конструктивных параметров СКМ1 – размеров, массовых характеристик, компоновки элементов на ПП или подложке МСб.

Анализ показывает, что компоновка СКМ1 – расположение ЭРЭ и ФУ на ПП или подложке МСб – определяет показатели надежности РЭС как при механических воздействиях (критерий $\overline{K}_2$) [2], так и при тепловых (критерий $\overline{K}_3$) [3]. Изменением в процессе оптимизации координат *x* и *y* каждого ЭРЭ и ФУ добиваются максимального значения критерия $\overline{K}_2$ при механических воздействиях, критерия $\overline{K}_3$ – при тепловых.

Для параметрической оптимизации конструкции СКМ1 – достижения максимального значения комплексного критерия $\overline{K}$ необходимо создавать т.наз. объектно-ориентированные программные комплексы в интегрированных средах, например, в *C++Builder*.

Выводы

1. Предложено систему уравнений целевой функции для устройств РЭА получить с помощью методов теории подобия в виде безразмерных критериальных уравнений, описывающих основные процессы, протекающие в РЭС – электрические, механические, тепловые. Целевая функция РЭС – комплексный критерий, оптимизация которого обеспечит наивысшие показатели качества проектируемого объекта.

2. Отмечено, что основными объектами оптимизации в составе РЭА должны быть структурно-конструктивные модули первого уровня (СКМ1) – ячейки и микросборки, доля которых в составе большинства РЭС составляет 67–85% структурных элементов.

3. Предложено максимальную надежность СКМ1 и при механических, и при тепловых воздействиях обеспечивать параметрической оптимизацией комплексного критерия, которая достигается рациональной компоновкой на его основании ЭРЭ, МС, ФУ (изменением их координат).

Список литературы

1. *Лыков А.В.* Тепломассообмен (Справочник). 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Энергия, 1978 – 480 с.

2. *Уваров Б.М., Зіньковський Ю.Ф.* Проектування та оптимізація механостійких конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками. – К.: ”Корнійчук”, 2011. – 248 с.

3. *Уваров Б.М., Зіньковський Ю.Ф.* Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками. – К.: ”Корнійчук”, 2011. – 204 с.

УДК: 621.396.96: 551.501.81

Ф.Й. Яновський, доктор технічних наук,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ІСТОРИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ОСТАННІ РЕЗУЛЬТАТИ В ОБЛАСТІ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ

Розглянуто розвиток метеорадіолокаційних систем від традиційних до допплерівсько-поляриметричних (ДП) з ускладненою обробкою сигналу. Поєднання переваг допплерівської радіолокації з поляризаційною різноманітністю дає можливості комплексного дослідження об'єктів та явищ. Показано, що важливі параметри динамічних характеристик та мікроструктури метеорологічних об'єктів можна добути в результаті ДП спостережень.

Метою дистанційного зондування є одержання інформації про віддалені об'єкти спостереження, використовуючи спеціальне обладнання, без фізичного контакту з об'єктом. Радіолокаційна метеорологія використовує засоби дистанційного зондування для вивчення фізичних властивостей хмар та опадів, отримання метеорологічної інформації для різних важливих застосувань в авіації, гідрології, кліматології, сільському господарстві тощо. Поява метеорологічних радіолокаторів (спочатку некогерентних) стала важливою подією для оперативної і досліджень атмосфери. Вимірювання радіолокаційної відбиваності (Z) було першим кроком у кількісних вимірюваннях. З появою допплерівських радіолокаторів було зроблено стрімкий рух вперед [1]. Проте, ні радіолокаційна відбиваність, ні допплерівські вимірювання не можуть по одинці вирішити проблему отримання точної інформації щодо мікроструктури та динаміки вітру в хмарах та опадах.

Перспективними є багатопараметричні методи, що полягають в одночасному застосуванні набору інформативних параметрів та/або набору різних засобів. Радіолокаційна поляриметрія дає найкращий і, щонайменше, найпростіший шанс для переходу від однопараметричних до багатопараметричних вимірювань і не потребує додаткової частоти [2]. Проблема розсіювання еліптично поляризованих електромагнітних хвиль несферичними частинками атмосфери була розв'язана у 50-ті роки; тоді ж виконані перші експериментальні дослідження [3]. Період стрімкого розвитку радіолокаційної поляриметрії відбувався з середини сімдесятих до середини вісімдесятих років, коли були проаналізовані можливості диференціальної радіолокаційної відбиваності (Zdr) [4] та виконано багато досліджень для розвитку і кращого розуміння різноманітних застосувань радіополяриметрії. Окрім Zdr було введено інші поляриметричні параметри такі, як лінійне деполяризаційне відношення (Ldr), питома диференціальна фаза (Kdp) та коефіцієнт кореляції сингалів різних поляризаційних складових (ρhv). З того часу прогрес був поступовим, проте сталим.

У наш час спостерігається зростання активності в радіополяриметрії, пов'язане з допплерівсько-поляриметричними (ДП) дослідженнями. Поява багатополяризаційних технологій дала сильний поштовх для розвитку кількісного радіолокаційного вимірювання опадів, а також більш детального вивчення фізичних процесів в опадах. Коректне використання ДП інформації допоможе дати відповідь на багато запитань, пов'язаних з мікроструктурою та динамікою дощу. Детальний аналіз можливостей багатополяризаційного допплерівського радіолокатора для дистанційного зондування опадів був зроблений у [5]. Для інженерів та наукової спільноти доступними є дві повні книги, в яких описано теорію та застосування допплерівського метеорологічного радіолокатора [6] та поляриметричного метеорологічного радіолокатора [7].

Комбінація поляризаційного рознесення з допплерівськими вимірюваннями відкриває нові можливості для вивчення мікрофізики та динаміки розсіювачів в атмосфері. Ефект такого поєднання має бути більшим, ніж сума ефектів допплерівського та поляриметричного методів окремо. Проте, кількість вимірюваних параметрів завжди обмежена. Також важливим є той факт, що параметри не є повністю незалежними. Очевидно, що просте

збільшення вимірюваних змінних – не найкращий шлях для досягнення високої ефективності дистанційного зондування.

Однією з перших когерентних радіолокаційних систем розроблених для дослідження атмосферних об'єктів з використанням різних поляризацій для передачі та прийому був делфтський атмосферний дослідницький радіолокатор (DARR), розроблений в Нідерландах. Це був 9-см ЧМ допплерівський радіолокатор з неперервним випромінюванням [8]. Наступною ДП розробкою Делфтського технічного університету був Transportable Atmospheric RAdar (TARA) [9], [10]. Обидва радіолокатори DARR і TARA були спроектовані, як повно-поляриметричні системи в лінійному ортогональному поляризаційному базисі. Важливі результати щодо інтерпретації матриці розсіяння у поляриметричному радіолокаторі були отримані у роботі [11].

Поява ДП технологій спостереження супроводжується стрімким зростанням вимірюваних величин. Потенціал інтерпретації даних став кращим, але водночас набагато складнішим. Необхідно було вивчити зв'язки між різними допплерівськими та поляриметричними параметрами і, можливо, знайти нові величини для вимірювання, які є характерними та прийнятними для допплерівської поляриметрії. Це було зроблено в роботі [12], де введено та досліджено нові величини вимірювання такі, як спектральна диференціальна радіолокаційна відбиваність sZdr(v) та інші характеристики, що є функціями допплерівської швидкості (або частоти), а також деякі нові параметри такі, як нахил sZdr(v) (SLP) та диференціальна допплерівська швидкість (DDV). Параметр DDV було досліджено роботі [13], як величину для оцінки розподілу крапель за розміром. Додатковий аналіз було зроблено в роботі [14]. Ідея відображення диференціальної радіолокаційної відбиваності та диференціальної фази у вигляді розподілу по допплерівській частоті була висловлена раніше [15]. Таким чином, використовуючи спектральний аналіз, поляриметричні параметри можуть бути показані як функції допплерівської частоти або радіальної швидкості. Даний підхід був використаний в різних застосуваннях [16], [17], [18], [19], [20].

Різноманітні метеорологічні двополяризаційні допплерівські радіолокатори (дослідницькі та експлуатаційні) були розроблені у Великобританії, Франції, Німеччині, Нідерландах, США в різних частотних діапазонах (S, C, X). Наприклад, SELEX-Gematronik виробляє двополяризаційні допплерівські радіолокатори METEOR 635C та METEOR 1600C. Радіолокатори KOUN є ДП варіантом системи WSR-88D, яка модернізується в США [21].

Беручи до уваги те, що найближчим часом очікується масове впровадження ДП метеорологічних радіолокаторів в експлуатацію, важливою є розробка нових ефективних підходів та алгоритмів обробки сигналів та інтерпретації даних. Існуючі дослідницькі радіолокатори є важливими інструментами для цього. Наприклад, серед експериментальних результатів, отриманих з радіолокатора DARR під час ДП спостережень обложного дощу в 90-х, був один неочікуваний – значна кореляція між Ldr та шириною допплерівського спектру, яка іноді спостерігалася [22]. Це було попередньо інтерпретовано як викликане турбулентністю, але потребувало більш повного дослідження і спонукало до подальших досліджень, які привели до введення спектральних поляриметричних функцій [12].

В даний час багато зусиль спрямовано на розробку різних схем, що пов'язують ДП характеристики з різними властивостями розсіювачів. Обернена задача розсіяння завжди є некоректно поставленою з математичної точки зору. Складно виконати верифікацію результатів розв'язання такої задачі. Один з підходів включає моделювання характеристик розсіяння для певних сукупностей гідрометеорів, обчислюючи очікувані значення параметрів та порівнюючи їх з даними вимірювань. На жаль, придатні для порівняння прямі (нерадіолокаційні) вимірювання в більшості випадків є недоступними. Проте, є можливості отримання даних з непрямих вимірювань, що пов'язані з застосуванням багато-параметричних та багато-режимних методів. Наприклад, розподіли крапель за розмірами, отримані допплерівськими радіолокаторами при вертикальному зондуванні можуть бути порівняні з поляриметричними вимірюваннями при горизонтальному зондуванні; або і

допплерівська, і поляриметрична інформація має бути вилучена з відбитого сигналу при похилому зондуванні тощо.

Проблема інтерпретації даних може спроститися, якщо доступні надійні та фізично зрозумілі моделі взаємозв'язків між ДП величинами спостереження та виміряними характеристиками об'єкту. Деякі спеціальні моделі були розроблені та описані в літературі. Наприклад, модель радіолокаційного розсіювання від опадів представлена у роботі [23]. Ця модель бере до уваги поляризаційні характеристики, викликані формою та нахилом крапель і представляє середньоквадратичну матрицю розсіяння для сукупності нахилених крапель із заданим двопараметричним розподілом кута нахилу. Модель впливу турбулентності на радіолокаційний сигнал від хмар та опадів [24] бере до уваги інерційність крапель, що дуже важливо для коректної інтерпретації. Кілька важливих окремих моделей можна знайти в [5]. Проте ці моделі використовують деякі інтегральні параметри розподілу крапель як початкові дані, але не пов'язують їх всі разом: параметри турбулентності, розподіл крапель, форму та просторову орієнтацію крапель з одного боку, та допплерівський спектр і поляризаційні параметри з іншого. Успішна спроба розробки загальної ДП моделі зроблена в роботі [25]. Згодом ця феноменологічна модель була широко обговорена [26] та успішно використана для оцінки турбулентності [27], [18]. Зазначимо, що ДП вимірювання в багатьох випадках потребують корекції накладання спектрів (через неоднозначність вимірювання швидкості) та неодночасних вимірювань на різних поляризаціях [28].

Висновки

Розроблено концепцію ДП радіолокаційного зондування як результат поступового розвитку ідей радіолокаційної метеорології. Важливі деталі комплексної математичної моделі ДП сигналів від опадів з урахуванням мікроструктури та динамічних характеристик об'єкту спостереження будуть представлені у доповіді. Теорія, моделювання та обробка реальних даних підтверджують, що важливі параметри турбулентності та мікроструктури метеорологічних об'єктів з можуть бути отримані з даних ДП спостережень.

Список літератури

1. *Rogers, R.R.,* 1990: The early years of Doppler radar in meteorology. In: Radar in Meteorology, D. Atlas, Editor, AMS, Boston, 122-129.

2. *Seliga, T.A., R.G. Humphries, and J.I. Metcalf*, 1990: Polarization diversity in radar meteorology: Early developments. In: Radar in Meteorology, D. Atlas, Editor, AMS, Boston, 109-114.

3. *Шупяцкий А.Б.,* 1959: Рассеяние радиолокационного излучения несферическими частицами. Труды Центральной Аэрологической Обсерватории (ЦАО), Вып. 30, 39-52.

4. *Seliga, T.A. and V.N. Bringi*, 1976: Potential use of radar differential reflectivity measurements at orthogonal polarizations for measuring precipitation. J. Applied Meteorology, 15, 69–76.

5. *Russchenberg, H.W.J.,* 1992: Ground-based remote sensing of precipitation using a multipolarized FM-CW Doppler radar, Dissertation, Delft University Press, 206 p.

6. *Doviak, R.J. and D. S. Zrnić*, 1993: Doppler radar and weather observations. Academic Press, 2nd edition, San Diego, CA.

7. *Bringi V.N. and V. Chandrasekar*, 2001: Polarimetric Doppler Weather Radar, Principles and Applications, Cambridge University Press, 636 p.

8. *Ligthart, L.P. and L.R. Nieuwkerk*, 1980: FM-CW Delft Atmospheric Research Radar, Proc. IEE, 127, Pt.F, No.6, 421-426.

9. *Yanovsky, F. J., L. P. Ligthart, and H. W. J. Russchenberg*, 1997: Analysis of Transportable Atmospheric Radar (TARA) possibilities for the remote sensing of dangerous meteorological phenomena, PIERS Proceedings, Cambridge, MA, USA, 116.

10. *Heijnen, S. H., L. P Ligthart, and H. W. J. Russchenberg*, 2000: First measurements with TARA; An S-Band transportable atmospheric radar, Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 25, Issues 10-12, 2000, 995 – 998.

11. *Ryzhkov, A. V.,* 2001: Interpretation of polarimetric radar covariance matrix for meteorological scatterers: theoretical analysis. J. Atmos. Oceanic Technol., 18, 315-328.

12. *Yanovsky F.J.*, 1998: Model of the relationship between Doppler and polarization parameters of the radar signal from precipitation. Report No IRCTR-S-002-98, TU-Delft, The Netherlands, 108 p.

13. *Wilson R., A.J. Illingworth, and T.M. Blackman*, 1997: Differential Doppler velocity: a radar parameter for characterizing hydrometeor size distributions. J. Appl. Meteorology, 36, 649–663.

14. *Glushko D.N. and F.J. Yanovsky,* 2010: Analysis of differential Doppler velocity for remote sensing of clouds and precipitation with dual-polarization S-band radar, International Journal of Microwave and Wireless Technologies (Cambridge University Press), 2, issue 3-4, 391-398.

15. *Kezys, V., E. Torlaschi, and S. Haykin*, 1993: Potential capabilities of coherent dual polarization X-band radar," in Proc. 26th Int. Conf. on Radar Meteorology, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 106–108.

16. *Yanovsky F.J. and L.P. Ligthart*, 2000: Microwave Remote Sensing of Dangerous Meteorological Phenomena, XIII International Conference on Microwave, Radar and Wireless Communications (MIKON-2000), Vol. 3: Invited Papers, Wroclaw, Poland, 70-82.

17. *Unal, C.M.H., D.N. Moisseev, F.J. Yanovsky, and H.W.J. Russchenberg*, 2001: Radar Doppler polarimetry applied to precipitation measurements: Introduction of the spectral differential reflectivity. Preprints, 30th Int. Conf. on Radar Meteorology, Munich, Germany, Amer. Meteor. Soc., 316–318.

18. *Yanovsky, F.J., C.M.H. Unal, H.W.J. Russchenberg, and L.P. Ligthart*, 2005: Doppler-Polarimetric Weather Radar: Returns from Wide Spread Precipitation. Proc. International Workshop on Microwaves, Radar and Remote Sensing (MRRS), Kiev, Ukraine, 139-146.

19. *Bachmann, S. and D.S. Zrnić*, 2006: Spectral density of polarimetric variables separating biological scatterers in the VAD display. J. Atmos. Oceanic Technol., 24, 1186–1198.

20. *Wang Yadong, Xiao Xiao, and Tian-You Yu*, 2008: Spectral Analysis of Dual-Polarization Radar Signals in a Tornadic Supercell Storm. 24th Conference on Severe Local Storms, Savannah, GA, USA, 3B.5, pp. 1-10.

21. *Zrnić, D. and D. Boren*, 2008: Weather Radar – Recent Developments and Trends. Proc. Microwave, Radar and Remote Sensing Symposium (MRRS) Kiev, Ukraine, 174-179.

22. *Russchenberg, H.W.J.,* 1994: Combined radar measurements of the Doppler spectrum and the linear depolarization ratio of rain; a turbulence-canting model. 3rd Int. Symposium on tropospheric profiling, Hamburg, Germany, 456-459.

23. *Kwiatkowski, J.M., A.B. Kostinski, and A. R. Jameson*, 1995: The Use of Optimal Polarizations for Studying the Microphysics of Precipitation: Nonattenuating Wavelengths. J. Atmos. Oceanic Technol., 12, 96–114.

24. *Yanovsky F.J.*, 1996: Simulation study of 10 GHz radar backscattering from clouds, and solution of the inverse problem of atmospheric turbulence measurements. Computation in Electromagnetics, IEE CP. No. 420, Bath, UK, 10-12 Apr 1996, 188–193.

25. *Яновский Ф.И.*, 1998: Моделирование процессов взаимодействия радиолокационного сигнала с турбулизированным метеорологическим объектом. Вестник КМУГА вып.1, 125-136.

26. *Yanovsky F.J.*, 2002: Phenomenological Models of Doppler-Polarimetric Microwave Re-mote Sensing of Clouds and Precipitation. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS-02, Toronto, Canada, 3, 1905 -1907.

27. *Yanovsky, F.J., H.W.J. Russchenberg, L.P. Ligthart*, Doppler-Polarimetric Models of Microwave Remote Sensing of Rain, 2001: Proc. 11th Conference on Microwave Technique (COMITE), University of Pardubice, the Czech Republic, 47-62.

28. *Unal C.M.H. and D.N. Moisseev*, 2004: Combined Doppler and Polarimetric Radar Measurements: Correction for Spectrum Aliasing and Nonsimultaneous Polarimetric Measurements. J. Atmospheric and Oceanic Technology, AMS, 21, March, 443-456.

УДК 532.526

Е.Г. Азнакаєв, кандидат технічних наук; Є.О. Шквар, доцент,
(Національний авіаційний університет, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ З ДОМІШКАМИ, ЩО НАТІКАЄ НА ПЛОСКУ ПОВЕРХНЮ

Побудовано математичну модель осесиметричного струменя з домішками. Проаналізовані основні геометричні та режимні параметри, що характеризують течію з домішками.

Постановка задачі. Метою даної статті є побудова математичної моделі струменя двохфазної течії, що натікає на плоску необмежену поверхню під прямим кутом. Сформулюємо основні ознаки, притаманні течії, що моделюється (рис. 1). Струмінь несучої рідини (повітря) формується в соплі кругового поперечного перерізу. Вісь сопла є перпендикулярною до поверхні, яка в області взаємодії зі струменем вважається плоскою. Всередині сопла вздовж його осі встановлено ще одне кругове сопло значно меншого поперечного перерізу, через яке подається речовина, що переноситься основним струменем. Вважатимемо, що речовина, яка переноситься, не реагує хімічним чином та шляхом теплообміну з несучою рідиною. Крім того припустимо, що речовина, що переноситься потоком, являє собою суміш маленьких твердих недеформованих частинок, які при русі не взаємодіють між собою, і кожна з яких рухається індивідуально і незалежно від інших виключно завдяки кінематичній та динамічній взаємодії її з основною течією. Останнє припущення дозволяє знехтувати в'язкими властивостями фази, що переноситься, яке дозволяє розглядати її як ідеальне середовище. Несучий потік вважатимемо стаціонарною течією нестисливої в'язкої ньютонівської рідини.

Отже, струмінь являє собою двохфазну течію з неоднорідним розподілом фаз, які рухаються, впливаючи одна на одну. З фізичної точки зору ця задача є цікавою для розробки методів очистки поверхонь від забруднень.

Таким чином, при моделюванні на даному етапі приймемо наступні припущення.

1. Рідина несучої течії вважається нестисливою;
2. Речовина, що переноситься, розглядається по відношенню до несучого потоку як скалярна субстанція;
3. Течія є осесиметричною та стаціонарною;
4. Потік можливо умовно поділити на дві фази, одна з яких є основною (рідина або газ), тоді як інша – домішковою. Остання фаза, що переноситься основною течією, являє собою маленькі шматочки твердої речовини, які не змішуються і не взаємодіють хімічно з рідиною (газом) основного потоку.
5. Фаза, що переноситься, вважається невагомою по відношенню до основної течії. Придатність цього неочевидного припущення обумовлена надто малою довжиною ділянки від сопла до стінки, вздовж якої відбувається взаємодія фаз.
6. Концентрація і швидкість руху фази, що переноситься струменем на зрізі сопла вважаються відомими.
7. Розподіл швидкостей основного потоку у вихідному перерізі сопла вважається відомим (рівномірний – у випадку короткого сопла, параболічний – при ламінарному режимі течії або степеневий чи близький до нього, якщо режим течії на зрізі сопла є турбулентним).
8. На даному етапі моделювання розгляд даної задачі обмежимо виключно ламінарним режимом течії в струмені.

Модель повинна відтворювати поля швидкостей, тиску та напружень тертя як на поверхні, до якої спрямовано струмінь, так і в усій області його розповсюдження. Метою дослідження є математичне моделювання розподілів швидкостей, концентрації фази, що переноситься, а також нормальних і дотичних напружень в області формування течії струменя.

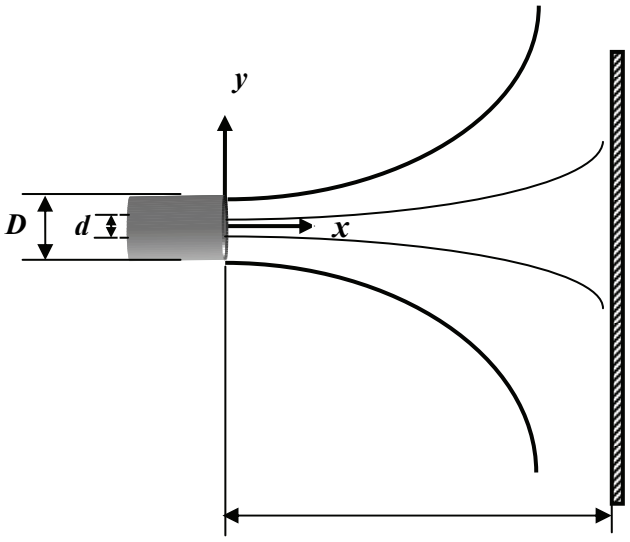


Рис. 1. Геометричні характеристики течії

Геометричні і режимні параметри, що характеризують течію. Описану вище конфігурацію характеризуватимемо наступними основними геометричними параметрами (рис. 1): D - діаметр сопла основного потоку; d - діаметр сопла потоку переносимої рідини; S - відстань від сопла до поверхні. Течія, що розглядається, також характеризується об'ємними витратами газу і домішкової фази, які позначатимемо Q_1 та Q_2 відповідно. Всі розрахунки, наведені нижче, було виконано з урахуванням наступних діапазонів геометричних і режимних параметрів, які відповідають конкретному обладнанню, що використовується в струминному обладнанні для очистки, а саме: $D = 6-12$мм; $d = 2-4$мм; $Q_2 = 0{,}2-0{,}5\,\text{м}^3/\text{хв}$; $Q_1/Q_2 = 1/2-1/4$; середовище основного потоку – повітря (густина $\rho_1 = 1{,}225\,\text{кг/м}^3$); речовина, що переноситься – суміш твердих частинок, лінійні розміри яких лежать в межах 10-50 мкм, а середні значення цих розмірів знаходяться в проміжку 25-30 мкм (густина $\rho_2 = 1200-1800\,\text{кг/м}^3$). Відстань від сопла до поверхні була приймається рівною $S = 50-100$ мм. В розрахунках згідно загальноприйнятої технології чисельних обчислень доцільніше користуватись безрозмірними геометричними параметрами. Параметрами, за якими здійснюється обезрозмірювання, є: характерний лінійний розмір L – діаметр основного сопла D; U_0 – початкова швидкість рідини на зрізі сопла; характерна об'ємна витрата – витрата основної фази Q_1.

Побудова математичної моделі. Течія не має єдиного переважаючого напрямку розвитку в усій області її формування. Тому в даному дослідженні використовується найбільш загальний підхід, що базується на системі диференціальних рівнянь в частинних похідних в формі Нав'є – Стокса.

Враховуючи симетричність струменя відносно його осі, використаємо декартову систему координат *XOY*, початок якої лежить на осі сопла в перерізі вихідного зрізу сопла, поздовжня вісь *OX* співпадає з віссю сопла, а вісь *OY* спрямована уздовж радіального напрямку (рис. 1). В цій системі координат рівняння Нав'є – Стокса мають вигляд:

$$\frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{v}}{\partial \bar{y}} = 0\,; \tag{1}$$

$$\frac{1}{\bar{y}^{\chi}}\left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} + \frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{u}^2}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{u}\bar{v}}{\partial \bar{y}}\right] = \frac{1}{\bar{y}^{\chi}}\left[\frac{\partial}{\partial \bar{x}}\left(\Gamma_u \bar{y}^{\chi}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}}\right) + \frac{\partial}{\partial \bar{y}}\left(\Gamma_u \bar{y}^{\chi}\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{y}}\right)\right] - \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{x}} + S_u\,; \tag{2}$$

$$\frac{1}{\bar{y}^{\chi}}\left[\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{t}} + \frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{u}\bar{v}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{v}^2}{\partial \bar{y}}\right] = \frac{1}{\bar{y}^{\chi}}\left[\frac{\partial}{\partial \bar{x}}\left(\Gamma_u \bar{y}^{\chi}\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{x}}\right) + \frac{\partial}{\partial \bar{y}}\left(\Gamma_u \bar{y}^{\chi}\frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}}\right)\right] - \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{y}} + S_v\,; \tag{3}$$

$$\frac{1}{\bar{y}^{\chi}}\left[\frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{t}}+\frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{u}\bar{c}}{\partial \bar{x}}+\frac{\partial \bar{y}^{\chi}\bar{v}\bar{c}}{\partial \bar{y}}\right]=\frac{1}{\bar{y}^{\chi}}\left[\frac{\partial}{\partial \bar{x}}\left(\Gamma_u \bar{y}^{\chi}\frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}}\right)+\frac{\partial}{\partial \bar{y}}\left(\Gamma_u \bar{y}^{\chi}\frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{y}}\right)\right]+S_c, \qquad (4)$$

де рівняння (1) є рівнянням нерозривності, (2, 3) – рівняння руху для поздовжньої *u* та радіальної υ складових швидкості, рівняння (4) описує перенос рідиною концентрації додаткової фази. Рівняння (1-4) подано в безрозмірному вигляді. При обезрозмірюванні координат *x* та *y* використовується характерний розмір розрахункової області *L*, в якості якого можна вибрати відстань від сопла до поверхні або, наприклад, діаметр сопла, таким чином, $\bar{x}=\frac{x}{L}$, $\bar{y}=\frac{y}{L}$. Складові швидкості *u* і υ обезрозмірюються за характерною швидкістю u_H в якості якої можна вибрати швидкість на зрізі сопла, тобто $\bar{u}=\frac{u}{u_H}$, $\bar{\upsilon}=\frac{\upsilon}{u_H}$. Тиск *p* обезрозмірено наступним чином $\bar{p}=\frac{p}{\rho u_H^2}$, де ρ - густина рідини. Час *t* обезрозмірюється згідно виразу $\bar{t}=t\frac{u_H}{L}$. Символами Г позначено безрозмірні дифузійні коефіцієнти, що обчислюються через кінематичний коефіцієнт ефективної в'язкості $\nu_{eff}=\nu+\nu_t$ за формулами: $\Gamma_u=\Gamma_\upsilon=\frac{\nu_{eff}}{u_H L}$, $\Gamma_c=\frac{\Gamma_u}{Sc}$, де Sc - молекулярне число Шмідта, значення якого визначається фізично-хімічними властивостями домішкової фази та основного потоку. В першому наближенні значення Sc може бути покладено сталим. Концентрація додаткової фази *c* в рівнянні (4) обезрозмірюється за значенням в початковому перерізі c_o, тобто $\bar{c}=c/c_o$. Символами S в рівняннях (2-4) позначено джерельні члени, які відтворюють міжфазну взаємодію. Їх визначення становить одну з важливих задач моделювання. Показник ступеню χ дозволяє використовувати наведену вище систему для моделювання як пласких ($\chi=0$), так і осесиметричних ($\chi=1$)течій.

Турбулентна в'язкість ν_t, що входить складовою в формулу ефективної в'язкості, мусить визначатися моделлю турбулентності. Обмежимо розгляд лише ламінарним режимом формування течії, в зв'язку з чим покладемо коефіцієнт турбулентної в'язкості рівним нулю, тобто $\nu_t=0$. Слід зазначити, що зроблене обмеження впливатиме лише на кількісні, а не на якісні характеристики формування течії. Система (1-4) має еліптичний тип за просторовими координатами, що передбачає постановку граничних умов на усіх межах розрахункової області.

В початковому розрахунковому перерізі:

$$(\bar{x}=0):\ \bar{u}=f(\bar{y}),\ \bar{\upsilon}=0,\ \bar{c}_o=\varphi(\bar{y}). \qquad (5)$$

На поверхні, нормальної до осі струменя:

$$(\bar{x}=x_s):\ \bar{u}=0,\ \bar{\upsilon}=0, \qquad (6)$$

де x_s - відстань від зрізу сопла до поверхні. На зовнішніх межах логічним є задання умов відсутності зміни параметрів, що розраховуються, або, так званих, м'яких граничних умов.

Вирази (5, 6) містять неповний перелік граничних умов, які є очевидними. Решта граничних умов обумовлена властивостями домішкової фази. Функція $\bar{u}=f(\bar{y})$ задає

початковий профіль швидкості, її джерелом можуть бути, наприклад, експериментальні дані. Функція $\bar{c}_o = \varphi(\bar{y})$ визначається відомою концентрацією c_o фази, що переноситься основним потоком, на зрізі сопла ежектора, а також геометричними характеристиками самого ежектора.Таким чином, маємо систему з чотирьох взаємозв'язаних диференціальних рівнянь в частинних похідних (1-4) разом з граничними умовами (5, 6). Складність цієї системи обумовлюють необхідність застосування до розв'язування задачі чисельних методів інтегрування системи (1-4).

Порівняльний аналіз чисельних методів інтегрування системи рівнянь, що описують рух рідини. Чисельні методи є важливим елементом сучасних технологій моделювання різноманітних течій [1, 2]. Для течій в'язкої рідини поширені два підходи до інтегрування системи рівнянь.

Перший метод полягає у спрощенні системи рівнянь шляхом переходу до перетворених змінних (функція струму - збуреність). Цей підхід дозволяє виключити з рівнянь одну з невідомих змінних – тиск $\bar{p}$, тобто зменшити в процесі розв'язування кількість взаємозалежних параметрів на одиницю, що значно спрощує як систему рівнянь, так і розрахунковий метод. Це дозволяє побудувати ефективний метод чисельного розв'язку, але для отримання розподілу тиску слід використовувати додаткове рівняння.

Другий метод інтегрування системи рівнянь руху рідини в оригінальних неперетворених змінних: складові швидкості *u, υ*, а також тиск *p*. В спеціальній літературі [1, 2] клас таких методів розрахунку отримав абревіатуру SIMPLE (Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations – напівнеявний метод для розв'язування зв'язаних через тиск рівнянь). Цей підхід є більш громіздким з точки зору алгоритмізації і програмування, передбачає використання рознесеної в області розрахунку різницевої сітки для різних розрахункових змінних (так званої шахматної сітки). Але ці недоліки цілком покриваються більшою універсальністю цього методу щодо діапазону чисел *Re* і інших параметрів, що характеризують режим течії. Цей метод значно краще пристосований до можливості узагальнення на випадок моделювання турбулентних режимів течій. Крім того, цей метод забезпечує задовільне для практичних потреб передбачення розподілу тиску. Саме ці властивості SIMPLE метода дозволяють обґрунтувати його використання для моделювання течії струменя, що натікає під прямим кутом на плоску поверхню.

Висновки

Подано постановку задачі розрахунку параметрів багатофазного струменя, що натікає на плоску поверхню під прямим кутом і визначено основні геометричні і режимні параметри, що обумовлюють її формування. Складено систему рівнянь, що описує цю течію при ламінарному режимі обтікання. Виконано аналіз методів розрахунку параметрів течії, обґрунтовано перевагу істотних змінних при побудові розрахункового методу і виконанні чисельних розрахунків. Обґрунтовано перевагу методу SIMPLE для розв'язання задачі.

Список літератури

1. *Роуч П.* Вычислительная гидромеханика / Пер. с англ. – М: "Мир", 1980. -616 с.

2. *Флетчер К.* Вычислительные методы в динамике жидкостей/Пер. с англ. – т. 2. - М: "Мир". – 1991. – 552с.

3. *Шквар Е.А.* Математическое моделирование переноса примесей турбулентным пограничным слоем. // В зб.: Прикладна гідромеханіка. Т. 2 (74). – 2000. - С. 96-105.

УДК 532.526

Е.Г. Азнакаєв, кандидат технічних наук; Є.О. Шквар, доцент,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЧИСЕЛЬНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ СТРУМЕНЯ, ЩО НАТІКАЄ НА ПЛОСКУ ПОВЕРХНЮ

Наведені метод та алгоритм розрахунку осесиметричного струменя, що натікає на плоску поверхню. Наведено систему рівнянь, що описує характеристики течії, а також побудовано скінченно-різницеву апроксимацію даних рівнянь.

Постановка задачі, побудова чисельного методу розрахунку. Розглянемо однофазну струменеву течію. Загальна система рівнянь руху рідини (1-4) з попередньої роботи [1], може бути представлена у формі узагальненого диференціального рівняння (ДР), яке в декартовій системі координат має наступний вигляд:

$$a_F \frac{1}{y^\chi}\left[\frac{\partial \overline{F}}{\partial \overline{t}} + \frac{\partial \overline{y}^\chi \overline{u}\overline{F}}{\partial \overline{x}} + \frac{\partial \overline{y}^\chi \overline{\upsilon}\overline{F}}{\partial \overline{y}}\right] = \frac{1}{y^\chi}\left[\frac{\partial}{\partial \overline{x}}(\overline{\Gamma}_F \overline{y}^\chi \frac{\partial \overline{F}}{\partial \overline{x}}) + \frac{\partial}{\partial \overline{y}}(\overline{\Gamma}_F \overline{y}^\chi \frac{\partial \overline{F}}{\partial \overline{y}})\right] + S_F \quad (1)$$

де F - шукана змінна, $F = \{u, \upsilon, c\}$; x, y - декартові координати. Γ_F– дифузійний коефіцієнт; S_F – джерельний член. Обезрозмірювання виконується наступним чином: $\overline{t} = tU_H / L$; $\overline{x} = x/L$; $\overline{y} = y/L$; $\overline{u} = u/U_H$; $\overline{\upsilon} = \upsilon / U_H$; $\overline{\Gamma}_F = \Gamma_F /(U_H L)$; $\overline{\psi} = \psi /(U_H L)$; $\overline{\Omega} = \Omega L / U_H$, де U_H та L – характерні масштаби швидкості і довжини течії.

Вирази для дифузійного та джерельного членів залежать від конкретної фізичної змінної, що підставляється на місце *F*. Конкретні вирази дифузійних коефіцієнтів та джерельного членів рівняння (1) для кожної з зазначених вище змінних наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Змінні	a_F	$\overline{\Gamma}_{F1}$	S_F
1	1	0	0
$\overline{u}$		$1/Re + \overline{\nu}_t$	$\frac{1}{y^\chi}\left[\frac{\partial}{\partial \overline{x}}\left(\nu_{eff} y^\chi \frac{\partial \overline{u}}{\partial \overline{x}}\right) + \frac{\partial}{\partial \overline{y}}\left(\nu_{eff} y^\chi \frac{\partial \overline{u}}{\partial \overline{x}}\right)\right] - \frac{\partial \overline{p}}{\partial \overline{x}}$
$\overline{\upsilon}$	1	$1/Re + \overline{\nu}_t$	$\frac{1}{y^\chi}\left[\frac{\partial}{\partial \overline{x}}\left(\nu_{eff} y^\chi \frac{\partial \overline{\upsilon}}{\partial \overline{y}}\right) + \frac{\partial}{\partial \overline{y}}\left(\nu_{eff} y^\chi \frac{\partial \overline{\upsilon}}{\partial \overline{y}}\right)\right] - \frac{\partial \overline{p}}{\partial \overline{y}} - 2\nu_{eff}\chi \frac{\overline{\upsilon}}{\overline{y}^2}$

де $Re = U_H L/\nu$ - число Рейнольдса; ν, ν_t, $\nu_{eff} = \nu + \nu_t$ - кінематичні коефіцієнти молекулярної, турбулентної та ефективної в'язкості відповідно; $\overline{\nu}_t = \nu_t / U_H L$, $\overline{\nu}_{eff} = \nu_{eff} / U_H L$ - обезрозмірені ν_t та ν_{eff}.

Найбільш адаптованим з точки зору врахування особливостей диференціальних рівнянь (1), постановки граничних умов, простоти алгоритмування і подальшої програмної реалізації, а також забезпечення задовільної для різноманітного практичного застосування точності є скінчено-різницевий метод.

Першим етапом розробки цього методу є вибір геометрії та побудова різницевої сітки. Форма розрахункової області обумовлює запис диференціального рівняння (1) в декартовій

системі координат *OXY*, зв'язаній з обтікаючою поверхнею. Це, в свою чергу, обумовлює вибір прямокутної різницевої сітки, обмеженої обтікаючою поверхнею, площиною вихідного перерізу сопла, віссю течії та вільною межею, що розташована на деякій досить значній відстані від осі (в розрахунках ця відстань закладалася рівною 20 діаметрам сопла). Для забезпечення необхідної точності розрахунків в області, де формується течія, а також з метою належного врахування ефектів міжфазної взаємодії, побудуємо нерівномірну різницеву декартову сітку, в якій згущення вузлів вається по мірі наближення до поверхні та струменя.

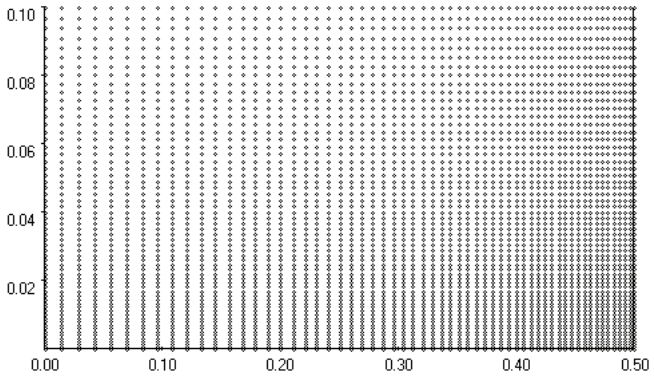


Рис. 1 Різницева сітка

При побудові сітки розподіл вузлів нювався за формулами геометричної есії незалежно для кожного з напрямків тових осей. Такий підхід при притаманній достатній простоті забезпечує необхідну ість, що дозволяє покрити різницевою товою сіткою розрахункові області досить них форм і досягти необхідної пропускної ості чисельного метода. Сітка, побудована для розрахункової конфігурації, зображена на рис. 3. Кількість вузлів цієї сітки в кожному з напрямків дорівнює 60, тобто її розмірність 60×60. Вузли на рис.1 умовно позначені точками. Наступним після побудови різницевої сітки етапом розробки розрахункового методу є скінчено-різницева апроксимація диференціального рівняння (1). Виконаємо її на п'ятиточковому шаблоні, який об'єднує довільний (але не розташований на межі розрахункової області) вузол (*P*) та чотири сусідніх з ним (*W, N, E, S*), які показані на рис.2. Позначимо вузлові значення змінних, що підлягають розрахунку, індексами, відповідними до позначень вузлів, тобто великими літерами *P, W, N, E, S,* а значення величин в точках, розташованих посередині між вузлом *P* та сусідніми з ним вузлами – індексами у вигляді маленьких літер, що співпадають з позначенням відповідного сусіднього вузла, тобто *w, n, e, s*. Використаємо з метою апроксимації диференціального рівняння (1) гібридну скінчено-різницеву схему, яка завдяки притаманній їй стійкості набула широкого використання. Застосування цієї схеми приводить до наступного різницевого аналогу рівняння (1)

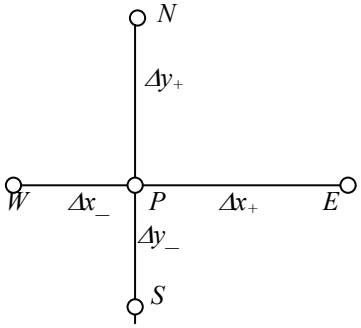


Рис.2. Різницевий шаблон

$$a_p F_P = a_e F_E + a_w F_W + a_n F_N + a_s F_S + S_{FP} + F_P^{old} \Big/ \Delta\bar{t}, \qquad (2)$$

де a_p, a_e, a_w, a_n, a_s – коефіцієнти, що знаходяться за формулами

$$a_p = \frac{1}{\Delta\bar{t}} + \Gamma_P\left(\frac{\Gamma_{1e}}{\Delta\bar{x}_+\Delta\bar{x}} + \frac{\Gamma_{1w}}{\Delta\bar{x}_-\Delta\bar{x}} + \frac{\Gamma_{1n}}{\Delta\bar{y}_+\Delta\bar{y}} + \frac{\Gamma_{1s}}{\Delta\bar{y}_-\Delta\bar{y}}\right) + \left(\frac{c_{e+}}{\Delta\bar{x}} - \frac{c_{w-}}{\Delta\bar{x}} + \frac{c_{n+}}{\Delta\bar{y}} - \frac{c_{s-}}{\Delta\bar{y}}\right);$$

$$a_e = \Gamma_{2E}\frac{\Gamma_{1e}}{\Delta\bar{x}_+\Delta\bar{x}} - \frac{c_{E-}}{\Delta\bar{x}}; \qquad a_w = \Gamma_{2W}\frac{\Gamma_{1w}}{\Delta\bar{x}_-\Delta\bar{x}} + \frac{c_{W+}}{\Delta\bar{x}};$$

$$a_n = \Gamma_{2N}\frac{\Gamma_{1n}}{\Delta\bar{y}_+\Delta\bar{y}} - \frac{c_{N-}}{\Delta\bar{y}}; \qquad a_s = \Gamma_{2S}\frac{\Gamma_{1s}}{\Delta\bar{y}_-\Delta\bar{y}} + \frac{c_{S+}}{\Delta\bar{y}};$$

$$\Delta\bar{x} = \frac{\Delta\bar{x}_- + \Delta\bar{x}_+}{2}; \qquad \Delta\bar{y} = \frac{\Delta\bar{y}_- + \Delta\bar{y}_+}{2};$$

$$c_{\ldots+} = c_{\ldots} + |c_{\ldots}|; \qquad c_{\ldots-} = c_{\ldots} - |c_{\ldots}|,$$

де F_P^{old} - значення змінної у вузлі P з попередньої ітерації(для стаціонарної течії), або з попереднього кроку за часом при моделюванні нестаціонарної течії; S_{FP} - значення джерельного члена в вузлі P апроксимується в скінчено-різницевому вигляді залежно від змінної, що розраховується відповідно до наведеної вище таблиці.

Коефіцієнти c_e, c_w, c_n, c_s залежать від значень локальних сіткових чисел Рейнольдса $Re_{\Delta x} = u\Delta x/\nu$ та $Re_{\Delta y} = \upsilon\Delta y/\nu$ наступним чином: в разі, якщо відповідне сіткове число Рейнольдса є меньшим за 2 ($c_e = f_1(Re_{\Delta x}), c_w = f_2(Re_{\Delta x})$, $c_n = f_3(Re_{\Delta y})$, $c_s = f_4(Re_{\Delta y})$), приймаємо: $c_{n-} = c_{n+} = \bar{\upsilon}_N/2$; $c_{s-} = c_{s+} = \bar{\upsilon}_S/2$; $c_{e-} = c_{e+} = \bar{u}_E/2$; $c_{w-} = c_{w+} = \bar{u}_W/2$, а в протилежному випадку: $c_n = \bar{\upsilon}_n$; $c_s = \bar{\upsilon}_s$; $c_e = \bar{u}_e$; $c_w = \bar{u}_w$.

При застосуванні рівняння (2) послідовно до всіх внутрішніх вузлів будь якої лінії різницевої сітки отримаємо систему алгебраїчних рівнянь з тридіагональною матрицею, розв'язування якої ефективно виконується методом прогонки [2-4]. Для підвищення точності розрахунків прогонка виконується спочатку вздовж всіх внутрішніх ліній різницевої сітки в напрямку однієї осі, а потім – уздовж всіх внутрішніх ліній в напрямку іншої осі. Описана процедура складає так званий внутрішній ітераційний цикл. Застосування цієї процедури послідовно до кожної зі змінних поля яких обчислюються, разом з диференціальним рівнянням для розрахунку поля тиску p і алгебраїчними рівняннями корекції поля швидкостей (метод SIMPLE [4]), складає зовнішній ітераційний цикл. Результати розрахунків порівнюються в кожному вузлі з відповідними значеннями з попередньої ітерації і в разі, коли найбільша відносна похибка для всіх змінних в межах всієї розрахункової області не перевищує 0,1%, відбувається вихід з ітераційного процесу. Для забезпечення стійкості ітераційної процедури при виконанні розрахунків, особливо в разі моделювання турбулентної течії, виникає необхідність в застосуванні нижньої релаксації. Релаксаційні коефіцієнти для рівнянь, що описують перенос складових швидкості вибирались близькими до 0,1÷0,3, а для рівняння, що дозволяє знаходити розподіл тиску згідно метода SIMPLE, релаксація або зовсім не застосовувалася, або її коефіцієнти лежали в межах 0,8-1.

Результати розрахунків. Результати чисельних розрахунків досліджуваної течії наведено на рисунку 3. На ньому представлені профілі швидкості, отримані в перерізах струменя, які демонструють характер і особливості розвитку течії. Це демонструє здатність розрахункового методу відтворювати зміну напрямку течії поблизу поверхні, що обтікається.

Висновки

Розроблені математична модель і розрахунковий метод дозволяють коректно відтворювати якісні характеристики досліджуваної течії. Для вдосконалення розробленої моделі необхідне: врахування турбулентних властивостей течії та взаємодії між фазами, шорсткість поверхні, діапазон кутів натікання твердих частинок на поверхню, а також налипання частинок чи до поверхні після зіткнення з нею.

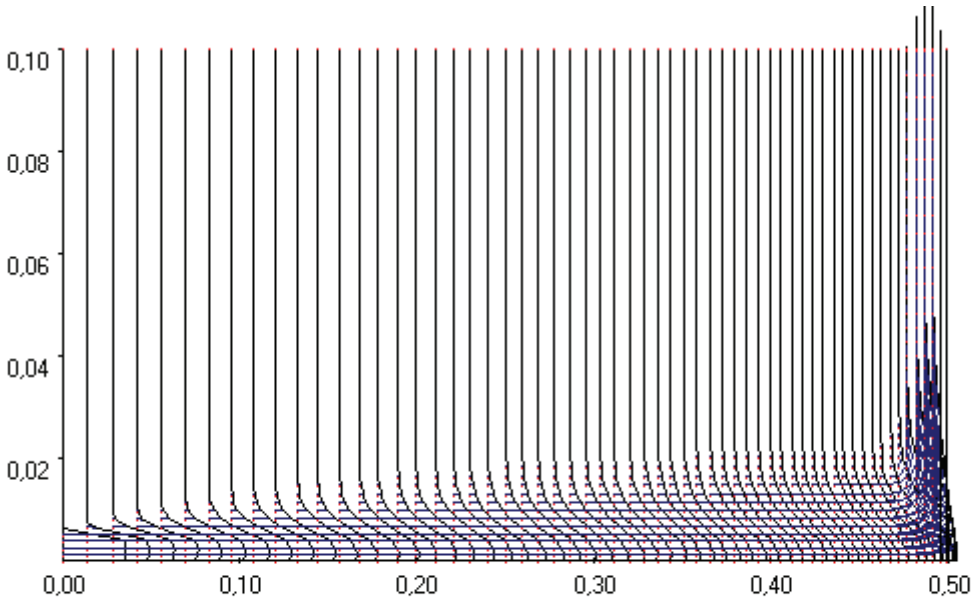


Рис. 3. Ілюстрація розрахунку струменя, що натікає під прямим кутом на поверхню

Список літератури

1. *Азнакаєв Е.Г., Шквар Є.О.* Моделювання течії з домішками, що натікає на плоску поверхню. – (див. попередню статтю), AVIA-2011.

2. *Белов И.А., Шеленшкевич В.А., Шуб Л.И.* Моделирование гидромеханических процессов в технологии изготовления полупроводниковых приборов и микросхем. – Ленинград: “Политехника”. –1991. –287 с.

3. *Роуч П.* Вычислительная гидромеханика / Пер. с англ. – М: “Мир”, 1980. -616 с.

4. *Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен / Пер. с англ. - т.2 - М: “Мир”. – 1990. – 329 с.

УДК 004.31(045)

А.П. Корчинский, кандидат технических наук, Н.В.Бурцева
(Национальный авиационный университет, Украина)

КОНЕЧНЫЕ АВТОМАТЫ И ПЛИС

Рассматривается подход к проектированию конечных автоматов на ПЛИС с использованием языка описания аппаратуры (Hardware Description Language). Одним из которых является язык высокого уровня VHDL.

Схемы, в которых присутствуют цепи обратной связи и элементы памяти , называются последовательностными. Последовательностные схемы могут быть представлены моделью Хаффмана, которая показана на рис. 1. Базовые компоненты этой модели-блок комбинационной логики и множество контуров обратной связи. На вход блока комбинационной логики поступают внешний входной вектор X и текущее значение состояния схемы Q. Выходы блока это выход схемы 2 и следующее значение переменных состояния Y. Задержка DEL может быть либо "тактированной (синхронной), либо чистой задержкой распространения (асинхронной).

Модель конечного цифрового автомата (Finite State Machine – FSM) это модель Хаффмана, которая включает комбинационный блок, описываемый последовательными операторами языка VHDL(Combinatorial Logic), и блок синхронной памяти(Flip – Flops).

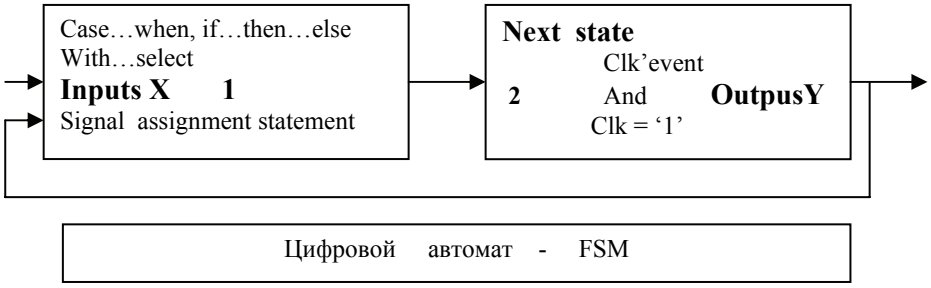


Рис. 1. Цифровой конечный автомат как FSM

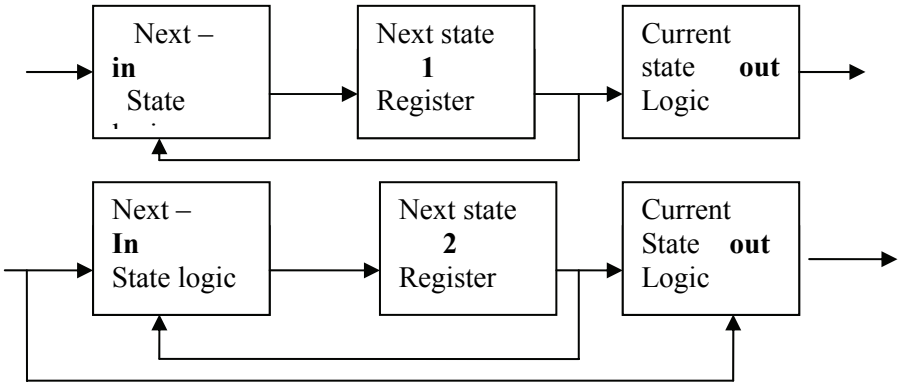


Рис. 2. Автоматы Мура (Moore FSM - 1) и Мили (Mealy FSM - 2)

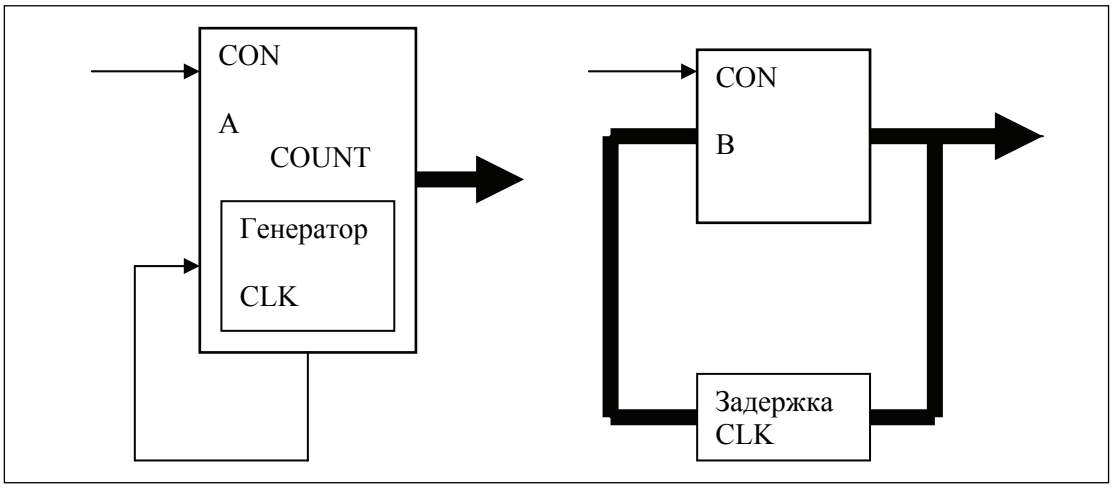


Рис. 3. Модель Хаффмана для схемы прямого счетчика: а- прямой счетчик; б- модель Хафмана

На Рис. 3., показана модель Хаффмана для этого счетчика. Блок комбинационной логики счетчика-это инкрементор, разрешением для которого служит входной управляющий сигнал CON. Задержка обратной связи реализуется при помощи тактированных триггеров. Функцию инкрементора можно описать при помощи модели комбинационной логики. Полная модель счетчика выглядит следующим образом:

```
        entity COUNTER  is
port(CON: in BIT;
Z: out BIT_VECTOR(0 to 3});
generic(CLOCK_WIDTH,COUNT_DEL);
end COUNTER;
use INC.all;
architecture HUFFMAN of COUNTER is
signal CLK: BIT:= '0';
begin
process(CON.CLK)
variable COUNT: BIT_VECTOR{0 to 3):= "0000";
begin
if not CON'STABLE then
if CON = T then
CLK <= transport '1' after CLOCK_W!DTH;
else
CLK <= transport '0';
end if;
end if;
if ((CLK ='1') and not CLK'STABLE) then
COUNT := INC(COUNT);
CLK <= transport '0' after CLOCK_WIDTH/2;
CLK <= transport '1' after CLOCK_WIDTH;
end if;
Z <= COUNT after COUNT_DEL;
end process;
end HUFFMAN;
```

Модель представляет последовательностную природу счетчика двояким образом. Во-первых, состояние счетчика отображается в переменной COUNT. Поскольку все процессы в языке VHDL живут в течение периода прогона модели, значение, зафиксированное в этой переменной счетчика, будет сохраняться. Во-вторых, функция синхронизации, реализуемая встроенным генератором счетчика, моделируется путем задержанного присваивания значений '0' и '1' сигналу CLK с учетом того факта, что изменение CLK будет активировать процесс, вырабатывающий этот сигнал. Таким образом представляется механизм задержанной обратной связи модели Хаффмана. Отметим, что генератор запускается положительным фронтом сигнала CON и отключается по отрицатель ному фронту этого сигнала. Наконец, оператор назначения синхросигнала CLK содержит ключевое слово transport (транспорт). Так еделано для того, чтобы один оператор присваивания не накладывался на другой. Аналогичным образом могут быть описаны асинхронные схемы причем механизм процессов предусматривает возможность гибко указывать уровень, на котором моделируется схема.

Конечный автомат – система способная находиться в одном из состояний из некоторого дискретного множества, изменять состояние в зависимости от входа и формировать выходы в соответствии с определенным алгоритмом. Изменение состояний в синхронных автоматах происходит в моменты появления фронта сигнала на тактирующем входе. Интервал времени между двумя соседними фронтами тактирующего сигнала называется тактом работы автомата.

В описании автомата в абстрактной форме используются обобщенные обозначения состояний, входов и выходов как данные перечислимого типа. При описании близком к реальным устройствам входы, состояния и выходы определяются как данные типа битового вектора или именованные сигналы.

В реальных системах входы и выходы представлены конкретными кодовыми комбинациями и их представление в абстрактной форме не всегда удобно. Однако запись функций переходов и выходов при представлении соответствующих данных в форме битовых векторов структурно не отличается от приведенного примера, записанного в абстрактном представлении. Достаточно указывать в выражениях условий не абстрактные имена входов и выходов, а соответствующие коды. Любому абстрактному входу соответствует одна и только одна кодовая комбинация. Иногда более компактная и наглядная запись получается, если условия переходов формируются как функции конкретных битов входного кода, а каждому переходу соответствует установка или сброс конкретного бита результата.

Таблица 1.

Выходы	0	0	0	1
Вх / Состоян.	0	1	2	3
X0	0	2	0	2
X1	1	1	3	1

Программа автомата Мура, заданного отмеченной таблицей переходов(табл.1), обнаруживающего последовательность 101 в потоке битов поступающих на вход автомата. В автомате Мура выходной сигнал Y зависит только от состояния автомата в текущий момент времени и обычно включается в состав отмеченной таблицы переходов

Листинг программы автомата, заданного таблицей 1.

```
 Library ieee;
Use ieee. Std_logic_1164. all;
Entity Decoder is
 Port(clock,reset,x : in std_logic;
```

```
            Y : out std_logic);
End Dekoder;
Architecture Decoder_arch of Decoder is
Type state_machine is (s0,s1,s2,s3);
Signal state : state_machine;
Begin
  Process(clk, x)
Begin
If clk'efent and clk = '1' then
      Case state is
  When  s0 => If x =  '0' then State <= s0;
                Else state <= s1;
                End  if;
                Y < = '0';
   When  s0 => If x =  '1' then State <= s1;
                Else state <= s2;
                End  if;
                Y < = '0';
    When  s2 => If x =  '1' then State <= s3;
                Else state <= s0;
                End  if;
                Y < = '0';
    When  s3 => If x =  '0' then  State <= s2;
                Else state <= s1;
                End  if;
                Y < = '1';
       End  case;
  End  if;
End  process;
End  Decoder_arch;
```

Выводы

При синтезе последовательностных цифровых схем используются модели автоматов Мура и Мили. Очень важно при разработке различных цифровых устройств и систем применять методы синтеза конечных автоматов. Одним из современных базисов, используемых для реализации схем автоматов, являются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). При этом необходимо эффективно использовать архитектурные возможности этой элементной базы.

Список литературы

1.*Грушвицкий Р.М., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П.* Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: BXB – Петербург, 2002. – 608с.

2.*Перельройзен Е,З.* Проектируем на VHDL. – М.: Солон – Пресс, 2004. – 448с

3.*Уэйкерли Дж.Ф.* Проектирование цифровых устройств. Т1,2. – М.: Постмаркет, 2002.

УДК 621.317.757(045)

Н.А. Миронов, кандидат технических наук,
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ФУРЬЕ И РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрена возможность расширения области применения преобразования Фурье для анализа переходных процессов в электрических цепях и системах путем устранения ограничений, традиционно оговариваемых на применение этого метода.

Введение. Спектральные методы и их основа - преобразование Фурье широко используются в задачах анализа линейных электрических цепей и систем. Однако для анализа переходных процессов, приводящих к искажениям информации в информационных электронных системах, преобразование Фурье практически не применяется из-за ограничений, обычно оговариваемых при использовании этого метода. Основными ограничениями являются требование абсолютной интегрируемости протекающих в цепях и системах процессов и утверждение, что метод преобразования Фурье применим к анализу переходных процессов лишь при нулевых начальных условиях [1…6]. Для расчета переходных процессов традиционно обращаются к методу преобразования Лапласа, который считают свободным от отмеченных недостатков преобразования Фурье, и, кроме того, к настоящему времени составлены многочисленные таблицы прямого и обратного преобразований Лапласа. В силу изложенных причин анализ линейных систем и анализ переходных процессов в цепях и системах проводят разными методами, что вызывает определенные технические неудобства. Представляется целесообразным расширить область применения метода преобразования Фурье так, чтобы получить единый метод анализа линейных систем и анализа переходных процессов в цепях и системах.

Цель статьи. Цель доклада заключается в расширении области применения метода преобразования Фурье для охвата задач анализа переходных процессов в электрических цепях и системах путем устранения общепринятых ограничений на применение этого метода.

Преобразование Фурье и переходные процессы. Метод анализа линейных электрических систем на основе преобразования Фурье базируется на соотношении:

$$y(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}F_x(\omega)\tilde{H}(\omega)e^{j\omega t}d\omega, \qquad (1)$$

где $y(t)$ - реакция (отклик) системы на воздействие $x(t)$, $\tilde{H}(\omega)$ - комплексная частотная характеристика системы, $F_x(\omega)$ - прямое преобразование Фурье процесса $x(t)$:

$$F_x(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty}x(t)e^{-j\omega t}dt. \qquad (2)$$

Метод преобразования Лапласа (иначе - операторный метод), базируется на соотношени:

$$y(t)=\frac{1}{2\pi j}\int_{\alpha-j\infty}^{\alpha+j\infty}L_x(p)\mathrm{K}(p)e^{pt}dp, \qquad (3)$$

где $p=\alpha+j\omega$ - операторная переменная, $K(p)$ - операторная характеристика системы, $L_x(p)$ - прямое преобразование Лапласа воздействия $x(t)$:

$$L_x(p)=\int_{0}^{\infty}x(t)e^{-pt}dt. \qquad (4)$$

Из сравнения (2) и (4) видно, что в преобразовании Лапласа требование абсолютной интегрируемости процесса $x(t)$ устранено путем модификации преобразования Фурье введением в (2) затухающего множителя $\exp(-\alpha t)$. Однако в (4) нижний предел интегрирования не может быть отрицательным, то есть преобразование (4) является «односторонним» и применимо лишь к односторонним процессам $x(t)$, тождественно равных нулю при $t<0$. Кроме того, одностороннее преобразование Лапласа не удовлетворяет потребностям практики в полной мере [7]. Известно также двустороннее преобразование Лапласа (с нижним пределом интегрирования в (4) равным $-\infty$), однако оно не находит широкого применения, поскольку условия его сходимости еще более жесткие, чем требование абсолютной интегрируемости.

В недавней публикации [7] предлагается иная в сравнении с (4) модификация преобразования Фурье - преобразование Фурье на плоскости комплексной переменной $\omega_к$:

$$\Im_x(\omega_к)=F_x(\omega,\alpha)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-\alpha|t|}e^{-j\omega t}dt, \qquad (5)$$

где $\omega_к=\omega-j\alpha$, $\alpha>0$. Между $F_x(\omega)$ и $\Im_x(\omega_к)$ существует простая связь:

$$F_x(\omega)=\lim_{\alpha\to 0}\Im_x(\omega_к). \qquad (6)$$

В (5) процесс $x(t)$ может быть как односторонним, так и двусторонним, причем не обязательно абсолютно интегрируемым. В [7] также показано, что вычисление (5) может быть сведено к вычислению интегралов с нулевым нижним пределом, т.е. для вычислений $\Im_x(\omega_к)$ могут использоваться существующие таблицы прямого преобразования Лапласа. Таким образом, с использованием преобразования Фурье на плоскости комплексной переменной $\omega_к$ устраняется требование абсолютной интегрируемости, являющееся одним из общепринятых ограничений на применение метода преобразования Фурье.

Другим ограничением, как упоминалось, является утверждение о применимости метода преобразования Фурье к анализу переходных процессов лишь при нулевых начальных условиях. Однако вследствие подобия структуры выражений (1) и (3) это утверждение не очевидно, причем доказательства его справедливости в литературе отсутствуют. Для оценки степени обоснованности обсуждаемого утверждения целесообразно рассмотреть способы учета начальных условий по методам преобразования Лапласа и преобразования Фурье.

Согласно общепринятому определению начальные условия являются ненулевыми, если до момента коммутации $t_к$ в цепи (в системе) уже присутствовали источники электрической энергии (или заряженные энергонакопительные элементы). Процессы на полюсах этих источников могут быть условно названы докоммутационными воздействиями. Отклики в заданном участке системы на такие воздействия - это составляющие докоммутационного отклика системы, образуемого суперпозицией этих составляющих. В момент коммутации $t_к$ в системе возникает новый процесс, который условно может быть назван коммутационным воздействием $x_к(t)$. Отклик на воздействие $x_к(t)$ представляет переходный процесс в системе с нулевыми начальными условиями. Суперпозиция отклика системы на воздействие $x_к(t)$ и продолжающегося при $t>t_к$ докоммутационного отклика образует искомый переходной процесс с ненулевыми начальными условиями.

В случае расчета переходных процессов методом преобразования Лапласа ненулевые начальные условия представляют значения докоммутационного отклика системы и его производных в момент $t_к$. В простейших случаях такие условия могут быть заранее заданы или легко определены. Обычно же заданными являются не начальные условия, а схема электрической цепи и содержащиеся в ней источники электрической энергии. Тогда для

получения ненулевых начальных условий необходимо отыскивать докоммутационный отклик системы. Однако докоммутационые процессы по отношению к моменту $t_к$ являются двусторонними и их нельзя описать с помощью преобразования Лапласа. В литературе [1…6] рекомендуется отыскивать их другими (неоператорным) методами.

В случае использования для расчета переходных процессов метода преобразования Фурье каждая из составляющих докоммутационного отклика системы без видимых затруднений может быть определена с помощью формулами (1), (2) в отсутствие других составляющих. Коммутационное воздействие $x_к(t)$, принципиально являющееся односторонним (поскольку до момента $t_к$ оно отсутствует), целесообразно отобразить двусторонним процессом. Возможность такого отображения воздействия $x_к(t)$ заключается в том, что на интервале времени, где $x_к(t)$ отсутствует, оно принимается тождественно равным нулю и таким образом становится точно известным на всем бесконечном интервале $-\infty < t < \infty$. Тогда отклик системы на это воздействие можно найти, как и составляющие докоммутационного отклика, с помощью (1), (2). Способ отображения коммутационного воздействия $x_к(t)$ зависит от характера коммутации системы (цепи). Основные виды коммутации - это обрыв (отключение) одной из ветвей цепи и подключение (присоединение) к цепи новой ветви. При этом содержащиеся в коммутируемой ветви пассивные и (или) активные элементы должны быть отнесенными к цепи.

Если коммутация цепи заключается в отключении (обрыве) в момент $t_к$ какой-либо ветви *аб,* по которой до коммутации между точками *а*, *б* протекал ток $i(t)$ (рис.1а), то такая ветвь может быть заменена некоммутируемой ветвью путем замены коммутатора **К** эквивалентным источником тока i (рис.1б). Ток источника до коммутации должен быть таким же, как и ток ветви $i(t)$, а после момента $t_к$ должен быть принят тождественно равным нулю:

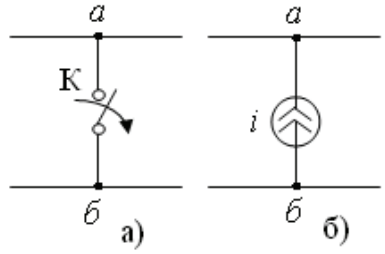


Рис.1

$$i = \begin{cases} i(t) & \text{при } t < t_к, \\ 0 & \text{при } t > t_к, \end{cases} = i(t) \cdot 1\left[-(t - t_к)\right]. \qquad (7)$$

При равенстве нулю тока эквивалентного источника ветвь *аб* автоматически отключится от цепи, поскольку внутреннее сопротивление источника тока бесконечно велико.

Если коммутация заключается в подключении к цепи в момент $t_к$ какой-либо новой ветви *аб* (рис.2а), причем до коммутации между точками *а*, *б* действовало напряжение $u_{аб}$, то подключаемая ветвь может быть заменена некоммутируемой путем замены коммутатора **К** эквивалентным источником ЭДС e (рис.2б). ЭДС источника должна быть до коммутации такой же, как и напряжение $u_{аб}$, а после момента $t_к$ должна быть принята тождественно равной нулю:

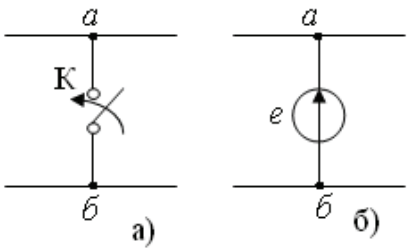


Рис.2

$$e = \begin{cases} u_{аб} & \text{при } t < t_к, \\ 0 & \text{при } t > t_к, \end{cases} = u_{аб} \cdot 1\left[-(t - t_к)\right]. \qquad (8)$$

.До момента $t_к$ ЭДС e компенсирует напряжение $u_{аб}$ и ток в ветви отсутствует, а после момента $t_к$ точки цепи *а* и *б* соединяются через нулевое внутреннее сопротивление эквивалентного источника ЭДС e.

Из проведенного рассмотрения следует, что при использовании для анализа переходных процессов преобразования Фурье отсутствует необходимость в задании или в

специальном отыскании ненулевых начальных условий, поскольку эти условия автоматически учитываются на этапе отображения коммутационного воздействия $x_{к}(t)$ двусторонним процессом. Тогда отклик системы на это воздействие может быть найден, как и составляющие докоммутационного отклика, с помощью (1), (2). Таким образом, утверждение о непригодности преобразования Фурье для анализа переходных процессов в случае ненулевых начальных условий не является состоятельным. Тем самым устраняется второе из общепринятых ограничений на применение метода преобразования Фурье для анализа переходных процессов.

Выводы

На основании результатов проведенного анализа представляется возможным заключить следующее:

- ограничение на применение метода преобразования Фурье для анализа переходных процессов, обусловленное требованием абсолютной интегрируемости коммутационных процессов, легко устраняется (в случае необходимости), если использовать преобразование Фурье на плоскости комплексной переменной;
- показано, что в расчетах переходных процессов методом преобразования Фурье ненулевые начальные условия учитываются автоматически и их не нужно специально задавать или отыскивать, если коммутационные воздействия отображать двусторонними процессами. При этом как коммутационные, так и докоммутационные составляющие искомых переходных процессов могут быть рассчитаны независимо друг от друга одним и тем же способом;
- показано, что выполнение отмеченных выше условий не приводит к увеличению трудоемкости расчетов.

Таким образом, цель доклада достигнута: найдены пути устранения общепринятых ограничений на применение метода преобразования Фурье, что позволило расширить область применения метода для задач анализа переходных процессов в электрических цепях и системах как при абсолютно неинтегрируемых воздействиях, так и при ненулевых начальных условиях. Тем самым представилось возможным использовать метод преобразования Фурье в качестве единого метода анализа линейных систем и анализа переходных процессов в цепях и системах.

Список литературы

1. Теоретические основы электротехники: в 3-х т. Учебник для вузов. Том 2. – 4-е изд. / К.С. Демирчан, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровин, В.Л. Чечурин. –СПб.: Питер., 2006–576 с.

2. *Бычков Ю.А., Золотницкий В.М., Чернышов Э.П.* Основы теории электрических цепей: Учебник для вузов. – СПб.: Издательство "Лань", 2004. – 464 с.

3. *Бессонов Л.А.* Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник. – М.: Гардарики,2000. – 638 с.

4. *Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В.* Основы теории цепей. Учебник для вузов. Изд. 4-е, переработанное. М., "Энергия", 1975, 527 с.

5. *Атабеков Г.И.* Теоретические основы электротехники. Ч.1. Линейные электрические цепи, изд. 4-е, М., "Энергия", 1972. 592 с.

6. *Зернов Н.В., Карпов В.Г.* Теория радиотехнических цепей. Л., "Энергия", 1972. 816 с.

7. *Миронов Н.А.* Преобразование Фурье на плоскости комплексной переменной. // Радиоэлектроника. – 2004. - №6. – С. 71 – 77.

8. *Жевержеев В.Ф., Кальницкий Л.А., Сапогов И.А.* Специальный курс высшей математики для вузов. " Высшая школа", 1970.

УДК 519.21.(045)

И.Ф. Бойко, доктор технических наук,
(Национальный авиационный университет, Украина)

СИСТЕМА ОРТОГОНАЛЬНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИОНАЛОВ, ИНВАРИАНТНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНО СДВИГОВ ВО ВРЕМЕНИ

Рассматривается построение системы ортогональных случайных процессов, порождаемых однородным процессом с независимыми приращениями. Процесс ортогонализации последовательности линейно независимых процессов осуществляется на основе индикаторной функции отсутствия одинаковых аргументов. Для такой системы сохраняется ортогональность ее элементов при их сдвигах во времени

Рассмотрим бесконечную последовательность случайных гильбертовых процессов [1, 2]

$$\{\Phi_n(t), \quad n = 0,1,2,\ldots\}, \tag{1}$$

где элементы $\Phi_n(t)$ порождаются однородным случайным процессом с независимыми приращениями и нулевым средним $\eta(\tau)$, $\tau \in (-\infty,\infty)$, удовлетворяющим условиям, указанным в [2].

Любой элемент последовательности (1) при $n > 1$ можно представить в виде такой суммы

$$\Phi_n(t) = Q_n(t) + \Theta_n(t), \quad n = 2,3,\ldots, \tag{2}$$

где

$$Q_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)\, I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)\, d\eta(\tau_1)\cdots d\eta(\tau_n) \tag{3}$$

и

$$\Theta_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)\, \delta_n(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)\, d\eta(\tau_1)\cdots d\eta(\tau_n) \tag{4}$$

Введенные в выражениях (3) и (4) функции $I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)$ и $\delta_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)$ будем называть индикаторными. Первая из них является индикаторной функцией отсутствия одинаковых аргументов и определяется соотношением

$$I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n) = \begin{cases} 1, & \textit{если все аргументы различные}, \\ 0, & \textit{если есть одинаковые аргументы}, \end{cases}$$

$n = 2,3,\ldots; \quad I_1(\tau) \equiv 1.$

Вторая индикаторная функция дополняет первую и определяется так:

$$\delta_n(\tau_1,\ldots,\tau_n) = \begin{cases} 1, & \textit{если все аргументы различные}, \\ 0, & \textit{если есть одинаковые аргументы}, \end{cases}$$

$n = 2,3,\ldots; \quad \delta_1(\tau) = 0.$

Так как в сумме эти две функции тождественно равны единице, т.е. $I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n) + \delta_n(\tau_1,\ldots,\tau_n) \equiv 1$, то равенство (2) справедливо при любых $t \in (-\infty,\infty)$ и при любых сочетаниях аргументов τ.

Рассмотрим более детально свойства последовательности стохастических функционалов

$$Q_n(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n^{(I)}(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)\, d\eta(\tau_1)\cdots d\eta(\tau_n), \quad n = 1,2,\ldots; \quad Q_0(t) \equiv 1, \tag{5}$$

где

$$K_n^{(I)}(\tau_1,\ldots,\tau_n;\,t) = K_n(\tau_1,\ldots,\tau_n;\,t)\; I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)\,. \qquad (6)$$

Заметим прежде всего, что $I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)$ является симметричной по определению относительно аргументов τ, а $K_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)$ - симметричная по предположению [2], поэтому функцию $K_n^{(I)}(\tau_1,\ldots,\tau_n;\,t)$ буде считать также симметричной.

Теорема 1. Пусть $\{Q_n(t)\}_{n=1}^{\infty}$ - последовательность стохастических функционалов, определяемых согласно (5) с учетом (6). Тогда для элементов этой последовательности справедливы равенства

$$\mathrm{M}\,[Q_n(t)] = 0 \quad n = 1,2,\ldots$$

Справедливость этого утверждения следует из свойств индикаторной функции $I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)$ и равенства нулю математического ожидания порождающего процесса $\eta(t)$.

Таким образом, умножение ядра стохастического функционала $\Phi_n(t)$ на индикаторную функцию $I_n(\tau_1,\ldots,\tau_n)$ приводит к его центровке. Отсюда, следует, что среднее значение стохастического функционала $\Phi_n(t)$ равно среднему значению функционала $\Theta_n(t)$, т.е.

$$\mathrm{M}\,\Phi_n(t) = \mathrm{M}\,\Theta_n(t)\,.$$

Теорема 2. Пусть $\{Q_n(t),\quad n = 0,\,2,\,...\}$ - система стохастических функционалов вида (3) с ядрами, определяемыми согласно (6). Тогда справедливо соотношение

$$\mathrm{M}\,[Q_n(t)\,Q_m(t)] = \delta_{nm}\; n!\,\kappa_2^n\,[\eta(1)] \int_{-\infty}^{\infty}\cdots\int_{-\infty}^{\infty} K_n^2(\tau_1,\ldots,\tau_n;\,t)\,d\tau_1\cdots d\tau_n, \quad n,\,m = 0,\,1,\,... \qquad (7)$$

Доказательство. В соответствии со свойствами однородных стохастических функционалов $\Phi_n(t)$ (1) [1, 2], для элементов последовательности $\{Q_n(t),\quad n = 0,\,2,\,...\}$ можем записать

$$\mathrm{M}\,[Q_n(t)\,Q_m(t)] =$$

$$= n!m! \sum_{\sum_1^{\nu} n_j p_j = n+m} \prod_{j=1}^{\nu} \frac{\kappa_{pj}^{nj}\,[\eta(1)]}{(p_j!)^{nj}\cdot n_j} \int_{-\infty}^{\infty}\cdots\int_{-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{\binom{n+m}{n}} K_{n+m}\,(\tau_{k_1}^{(p_1)},\,\tau_{k_2}^{(p_1)},\,\ldots,$$

$$\tau_{k_{n_1}}^{(p_1)},\,\tau_{k_{n_1+1}}^{(p_2)},\ldots,\tau_{k_{n_1}+k_{n_2}}^{(p_2)},\ldots,\tau_{k\sum_1^{\nu-1} n_j+1}^{(p_\nu)},\ldots,\tau_{k\sum_1^{\nu} n_j}^{(p_\nu)};\,t)\times$$

$$\times\, I_n(\tau_{k_1},\ldots,\tau_{k_n};\,t)\; I_m(\tau_{k_{n+1}},\ldots,\tau_{k_{n+m}};\,t)\,d\tau_1\cdots d\tau_{\sum_1^{\nu} n_j}, \qquad (8)$$

где $\kappa_j[\eta(1)]$ - кумулянт j-го порядка случайной величины $\eta(1)$.

В правой части выражения (8) обращаются в нуль все слагаемые, для которых хотя бы при одном значении j имеем $p_j \geq 3$ так как в этом случае произведение индикаторных функций $I_n(\cdot)\times I_m(\cdot)$ обращается в нуль за счет наличия хотя бы в одном из сомножителей подобных аргументов. Это является очевидным фактом, если учесть, что при разбиении трех одинаковых аргументов на две группы всегда в одной из групп будет как минимум два одинаковых. Таким образом, видим, что величина правой части (8) не изменится, если при суммировании ограничиться только двумя значениями $p_j = \{1;\,2\}$.

Заметим теперь, что если в некотором слагаемом появится индекс $p_j = 1$, то такое слагаемое также обращается в нуль уже за счет множителя $\kappa_1\,[\eta(1)] = 0$.

Отсюда делаем вывод, что величина правой части (8) останется без изменений, если при суммировании ограничиться только слагаемым, у которого $\nu = 1$, $n_1 = \dfrac{n+m}{2}$, $p_1 = 2$, т.к. при невыполнении этого условия соответствующее слагаемое обращается в нуль. Рассмотрим случай, когда $n \neq m$. Для определенности положим $n > m$.

Если $(n+m)$ - нечетное, то правая часть (8) обращается в нуль, т.к. при $\nu = 1$ не выполняется условие, чтобы $p_1 = 2$ и $n_1 = \dfrac{n+m}{2}$. Пусть $(n+m)$ - четное. В этом случае разность $(n-m)$ всегда будет кратна двум. Таким образом, учитывая тот допустимый случай, когда p_j должны быть равно 2 а $n_1 = \dfrac{n+m}{2}$, при условии $n > m$ получаем, что в индикаторе $I_n(\cdot)$ всегда будет хотя бы на два подобных аргумента τ больше, чем в индикаторе $I_m(\cdot)$, при всех возможных их перестановках. Следовательно, и в этом случае правая часть равенства (8) обращается в нуль.

Таким образом, мы установили ортогональность рассматриваемой системы стохастических функционалов, т.е. при $n \neq m$ формула (8) справедлива.

При $n = m$ один элемент любой отождествленной пары аргументов τ всегда находится в составе аргументов $I_n(\cdot)$, в то время, как другой элемент этой же пары обязательно находится в составе аргументов $I_m(\cdot)$, т.к. в противном случае слагаемое в правой части (8) обращается в нуль. В виду того, что функция $K_n^{(I)}(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)$ является симметричной относительно первых n аргументов, то в каждом из рассматриваемых слагаемых, не изменяя их величины, аргументы τ всегда можно считать расположенными в порядке возрастания их индексов, поэтому во всех слагаемых правой части (8) интегралы одинаковы и имеют вид

$$\int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n^2(\tau_1,\ldots,\tau_n;t)\, d\tau_1 \cdots d\tau_n .$$

При взятии суммы по всем перестановкам аргументов, число которых, согласно (8), в рассматриваемом случае равно $\begin{pmatrix} 2n \\ n \end{pmatrix} = \dfrac{2n!}{n!n!}$, для получения ненулевого слагаемого имеется только две ситуации для каждой фиксированной пары: первая - исходная; вторая - когда элементы отождествленной пары поменять между собой местами. Все остальные ситуации, связанные со взаимными обменами элементов между различными отождествленными парами неизбежно обращают оба сомножителя в нуль, т.к. при этом и в $I_n(\cdot)$ и в $I_m(\cdot)$ сразу оказывается по два одинаковых аргумента. Следовательно, общее число ненулевых ситуаций при всех $\begin{pmatrix} 2n \\ n \end{pmatrix}$ перестановках, предусмотренных формулой (8), равно 2^n, а именно, произведению, состоящему из одинаковых сомножителей, каждый из которых равен числу 2 (количеству ненулевых ситуаций, обусловленных перестановками в одной паре), взятых в количестве, равном числу всех пар n. Теперь нетрудно определить коэффициент, стоящий перед интегралом в (8). Он равен

$$\frac{(2n)!\cdot 2^n}{(2!)^n \cdot n! \begin{pmatrix} 2n \\ n \end{pmatrix}} k_2^n[\eta(1)] = n!\, k_2^n[\eta(1)],$$

чем и устанавливаем справедливость соотношения (7) при $n = m$.

Формула для нормы функционалов (5) выглядит достаточно просто:

$$\| Q_n(t) \| = \sqrt{\mathrm{M} \mid Q_n(t)^2} = \left[n!\, \kappa_2^n\, [\eta(1)] \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n^2(\tau_1, \ldots, \tau_n; t)\, d\tau_1 \cdots d\tau_n \right]^{1/2}, \quad n = 0, 1, 2, \ldots$$

Это позволяет легко осуществить переход к ортонормированной системе

$$\overline{Q}_n(t) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n^{(I)}(\tau_1, \ldots, \tau_n; t)\, d\tau_1 \cdots d\tau_n}{\left[n!\, \kappa_2^n\, [\eta(1)] \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n^2(\tau_1, \ldots, \tau_n; t)\, d\tau_1 \cdots d\tau_n \right]^{1/2}}, \quad n = 1, 2, \ldots, \quad \overline{Q}_0(t) \equiv 1,$$

для которой $\mathrm{M}\,[\overline{Q}_n(t)\, \overline{Q}_m(t)] = \delta_{nm}, \quad n, m = 0, 1, 2, \ldots$

Заметим теперь, что индикаторная функция $I_n(\tau_1, \ldots, \tau_n)$ не зависит от значений временного параметра t, входящего в ядро $K_n(\tau_1, \ldots, \tau_n; t)$. Поэтому, с учетом теоремы 2, получаем следующее следствие. Пусть $\{Q_n(t), \quad n = 0, 2, \ldots\}$ последовательность ортогональных стохастических функционалов, определяемых согласно (5). Обозначим через T^s оператор сдвига, т.е. $T^s\, Q_n(t) = Q_n(t + s) = Q_n(t')$, $T^s\, Q_0(t) = Q_0(t)$, где $t' = t + s$. Тогда для системы функционалов $\{T^s\, Q_n(t) = Q_n(t'), \quad n = 0, 1, 2, \ldots\}$ справедливы соотношения

$$\mathrm{M}\,[T^s Q_n(t), T^s Q_m(t)] = n!\, \delta_{nm}\, \kappa_2^n\, [\eta(1)] \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n^2(\tau_1, \ldots, \tau_n; t')\, d\tau_1 \cdots d\tau_n,$$

и

$$\mathrm{M}\,[T^s Q_n(t), T^s Q_m(t)] = n!\, \delta_{nm}\, \kappa_2^n\, [\eta(1)] \int_{-\infty}^{\infty} \cdots \int_{-\infty}^{\infty} K_n(\tau_1, \ldots, \tau_n; t')\, K_n(\tau_1, \ldots, \tau_n; t)\, d\tau_1 \cdots d\tau_n,$$
$$n, m = 0, 1, 2, \ldots$$

Выводы

Свойство функционалов (5), сформулированное в указанном выше следствии является очень важным при представлении корреляционной функции отклика нелинейного устройства на воздействие безгранично делимого процесса в виде ряда по ортогональной системе (5). Кроме того, использование индикаторной функции при ортогонализации последовательности однородных стохастических функционалов (1) выгодно отличается от классического метода своей простотой. При этом удается получить ортонормированный стохастический базис в явном виде. Это позволяет решать в аналитическом виде задачи корреляционного анализа прохождения случайных сигналов через нелинейные радиоэлектронные системы.

Литература

1. *Марченко Б.Г.* Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. – К.: Наук. думка, 1973. - 192 с.

2. *Бойко И.Ф., Марченко Б.Г.* Анализ нелинейных преобразований сигналов в системах диагностики с использованием стохастических ортогональных разложений. – К.: ИЭД АН УССР, 1987. – 57 с. (Препринт № 542).

УДК: 621.37: 621.391.519.21

Д.С. Демьяник, аспирант
(Национальный авиационный университет, Украина)

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРА ОДНОСВЯЗНОГО МАРКОВСКОГО ГАУССОВСКОГО ПРОЦЕССА В РАЗЛИЧНЫХ БАЗИСАХ

В работе получены аналитические выражения для дисперсии откликов частотных каналов процессоров дискретного преобразования Фурье в различных базисах ортогонального разложения последовательности отсчетов коррелированного гауссовского процесса.

1. Тригонометрический базис Фурье (дискретно-экспоненциальные функции, ДЭФ). Прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ) входной последовательности $\dot{x}_n$ в этом базисе задаётся следующим соотношением

$$\dot{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \dot{x}_n W^{kn}$$

где

$$W = \exp(-j\frac{2\pi}{N})$$

– фазовый (или поворачивающий) множитель, N – объём выборки отсчётов сигнала $\dot{x}_n$.

Воспользовавшись формулой Эйлера, представим W^{kn} в виде

$$W^{kn} = c_{kn} - js_{kn}, \tag{1}$$

где

$$\left.\begin{aligned} c_{kn} &= \cos\left(\frac{2\pi}{N}kn\right) \\ s_{kn} &= \sin\left(\frac{2\pi}{N}kn\right) \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Допустим, на вход процессора, реализующего ДПФ в базисе ДЭФ, подаётся последовательность

$$\dot{x}_n = a_n + jb_n, \ \ n = \overline{0, N-1},$$

где a_n и b_n взаимно независимы, а по отдельности представляют собой последовательности действительных гауссовских случайных величин (СВ) с дисперсиями, равными ψ, и математическими ожиданиями (МО), равными 0, образующие односвязные марковские цепи.

Выражения для вещественной A_k и мнимой B_k квадратурных составляющих k-й гармоники спектра имеют вид

$$A_k = \sum_{n=0}^{N-1} a_{kn}; \ \ B_k = \sum_{n=0}^{N-1} b_{kn}, \ \ k = \overline{0, N-1} \tag{3}$$

где

$$a_{kn} = c_{kn}a_n + s_{kn}b_n, \ \ b_{kn} = c_{kn}b_n - s_{kn}a_n, \tag{4}$$

причем $< a_{kn} >$ и $< b_{kn} >$ равны нулю и, более того, эти СВ некоррелированы, т.е.

$$< a_{kn} b_{kn} > = 0 .$$

Соответственно, $< A_k > = < B_k > = 0$. Поэтому дисперсия *k*-й гармоники ψ_k равна

$$\psi_k = < A_k^2 > . \tag{5}$$

Из (3) и (5) получаем

$$\psi_k = < \left(\sum_{n=0}^{N-1} a_{kn} \right)^2 > . \tag{6}$$

Операцию возведения в квадрат ряда (6) удобно представить в виде квадратной матрицы (табл.1) размером $N \times N$, на пересечении *i*-й строки и *j*-го столбца которой находится элемент (i, j), причём

$$(i, j) = a_{ki} a_{kj} .$$

Строки и столбцы матрицы пронумерованы от 0 до $N-1$.

Таблица 1

	0	1	2	…	j	…	N-1
0	0,0	0,1	0,2	…	0,j	…	0,N-1
1	1,0	1,1	1,2	…		…	1,N-1
2	2,0	1,2	2,2	…		…	2,N-1
…	…	…	…	…	…	…	…
i	i,0	i,1	i,2	…	i,j	…	i,N-1
…	…	…	…	…	…	…	…
N-1	N-1,0	N-1,1	N-1,2	…	N-1,j	…	N-1,N-1

Согласно табл.1, дисперсию ψ_k можно представить в виде суммы дисперсий $\psi_{ij}^{(k)}$ всех элементов матрицы:

$$\psi_k = \sum_{i,j=0}^{N-1} \psi_{ij}^{(k)}$$

где

$$\psi_{ij}^{(k)} = < a_{ki} a_{kj} >$$

После ряда элементарных преобразований, учитывая (2) и (4), приходим к следующему выражению для $\psi_{ij}^{(k)}$:

$$\psi_{ij}^{(k)} = \psi R^{|i-j|} \cos\left(\frac{2\pi}{N} k(i-j) \right).$$

где R – коэффициент корреляции отсчётов марковского процесса, разнесённых на один период дискретизации: $R = \frac{< x_i x_{i+1} >}{\psi}$, $i = \overline{0, N-1}$.

Анализируя табл. 1, получаем окончательную формулу для определения ψ_k:

$$\psi_k = \psi \left(N + 2 \sum_{m=1}^{N-1} (N-m) \cos\left(\frac{2\pi}{N} km \right) R^m \right). \tag{7}$$

2. Базис функций Уолша-Кули. Функции Уолша принимают 2 значения: +1 и -1. Для простоты значения элементов этих функций обозначаются только их знаками “+” или “-“. Матрица Уолша-Кули [2] при N=8 имеет следующий вид:

$$C = \begin{array}{c|cccccccc} k \backslash n & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 0 & + & + & + & + & + & + & + & + \\ 1 & + & + & - & - & - & - & + & + \\ 2 & + & - & - & + & + & - & - & + \\ 3 & + & - & + & - & - & + & - & + \\ 4 & + & - & + & - & + & - & + & - \\ 5 & + & - & - & + & - & + & + & - \\ 6 & + & + & - & - & + & + & - & - \\ 7 & + & + & + & + & - & - & - & - \end{array} \quad (8)$$

Спектр комплексного сигнала $\dot{x}_n$ в базисе Уолша-Кули определяется соотношением

$$\dot{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \dot{x}_n c(k,n), \;\; k,n = \overline{0, N-1}$$

где $c(k,n)$ – есть n-ный отсчёт k-той базисной функций в системе УКФ (другими словами, n-й элемент k-й строки в матрице (8)).

Дисперсии ψ_k можно найти при помощи рассмотренного для базиса ДЭФ алгоритма, который предполагает возведение в квадрат вещественной A_k или мнимой B_k составляющей гармоники посредством квадратной матрицы размером $N \times N$. Опуская промежуточные вычисления, приведём общий вид выражения для ψ_k в базисе Уолша-Кули:

$$\psi_k = \psi\left(N + 2\sum_{z=1}^{N-1} \alpha_{kz} R^z \right), \quad (9)$$

весовые коэффициенты для ряда (9) при $N = 8, \;\; k,z = \overline{1,7}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

	z	1	2	3	4	5	6	7
k								
1		3	-2	-3	-4	-1	2	1
2		-1	-6	1	4	-1	-2	1
3		-5	2	1	-4	3	-2	1
4		-7	6	-5	4	-3	2	-1
5		-3	-2	3	-4	1	2	-1
6		1	-6	-1	4	1	-2	-1
7		5	2	-1	-4	-3	-2	-1

3. Базис функций Виленкина-Крестенсена (ВКФ). Система функций ВКФ-Адамара может быть аналитически представлена следующим образом

$$h(k,l) = W^{\sum_{z=0}^{n-1} k_z l_z},$$

где k – номер базисной функции системы ВКФ-Адамара, l – дискретное время, W – фазовращающий множитель ($W = e^{-j\frac{2\pi}{m}}$, где m - основание системы счисления, на которой основан базис), n – показатель кронекеровской степени, k_z и l_z – z-е разряды чисел k и l, представленных в m-ичной системе счисления.

Комплексный спектр входного сигнала $\dot{x}(l)$ в базисе ВКФ-Адамара определяется соотношением

$$\dot{X}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \dot{x}(n) h(k,n), \;\; k,n = \overline{0, N-1},$$

где $N = m^n$ – количество отсчётов входного сигнала (размер матрицы ВКФ-Адамара равен $N \times N$).

По аналогии с (1) и (2) получаем

$$W^{\sum_{z=0}^{n-1} k_z l_z} = c_{kl} - j s_{kl}$$

где

$$\left.\begin{aligned} c_{kl} &= \cos\left(\frac{2\pi}{N} \sum_{z=0}^{n-1} k_z l_z\right) \\ s_{kl} &= \sin\left(\frac{2\pi}{N} \sum_{z=0}^{n-1} k_z l_z\right) \end{aligned}\right\},$$

Опуская промежуточные вычисления, приводим формулы для оценки ψ_k при ДПФ в базисе ВКФ-Адамара

$$\psi_k = \psi \sum_{i,j=0}^{N-1} R^{|i-j|} \cos\left(\frac{2\pi}{N}\left(\sum_{z=0}^{n-1} k_z i_z - \sum_{z=0}^{n-1} k_z j_z\right)\right) \tag{10}$$

и ВКФ-Пэли

$$\psi_k = \psi \sum_{i,j=0}^{N-1} R^{|i-j|} \cos\left(\frac{2\pi}{N}\left(\sum_{z=0}^{n-1} k_{n-1-z} i_z - \sum_{z=0}^{n-1} k_{n-1-z} j_z\right)\right) \tag{11}$$

Выводы

На основании результатов проведенных исследований найдены аналитические выражения для определения дисперсий квадратур гармоник при спектральном анализе дискретного односвязного марковского процесса в различных базисах. Серия экспериментов по определению порогов решения при помощи статистического моделирования подтвердила правильность соотношений (7), (9)-(11), посредством которых рассчитываются дисперсии откликов частотных каналов процессоров ДПФ во множестве выбранных базисов спектрального разложения сигналов.

Список литературы

1. *Тихонов В. И.* Статистическая радиотехника. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1982. – 624 с.
2. *А.Я. Белецкий, А.А. Белецкий, Е.А. Белецкий.* Преобразования Грея. Т. 2. Прикладные аспекты. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 644 стр.
3. *А.М. Трахтман, В.А. Трахтман.* Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. – М.: Сов. радио, 1975. – 208 с.

УДК: 629.735.066.32: 621.396.969.1 (045)

І.М. Конченко, аспірантка,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЕФЕКТ БАГАТО ШЛЯХОВОГО ПОШИРЕННЯ В МУЛЬТИЛАТЕРАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В даній статті розглядається вплив ефекту багатошляхового поширення сигналу на результуючу точність визначення координат цілі. Зроблено розрахунок інтенсивності прийнятого сигналу для вертикальної поляризації. Запропоновано підходи виявлення сигналу багатошляхового поширення.

Мультилатераційні системи спостереження широко впроваджуються в аеропортах всього світу. Дані системи забезпечують високу точність визначення координат цілі навіть при складних топографічних умовах та несприятливих погодних умовах. Мультилатераційні системи використовуються як для спостереження за об'єктами на території аеропорту, так і для спостереження за літаками на маршруті (Wide area multilateration). Найголовнішою проблемою, яка виникає в процесі впровадження таких систем є оптимальне розміщення її компонентів з метою забезпечення високої точності знаходження координат цілі у визначеній зоні спостереження. Дана задача була вирішена за допомогою генетичного алгоритму оптимізації на основі нерівності Крамера-Рао [1]. Проте даний підхід ілюструє вплив загальної похибки, що включає в себе величини усіх похибок, на кінцевий результат вимірювання координат. В даній роботі зроблено дослідження похибок, викликаних багатошляховим поширенням сигналу.

Ефект багатошляхового поширення присутній, коли сигнал на шляху від передавальної до приймальної антен змінює траєкторію руху в результаті перешкод, що трапляються на шляху. Відбиття, дифракція та розсіювання є формами багатошляхового поширення. Дані форма залежать від характеристик сигналу, що передається, середовищем поширення і відстані передавач-приймач. Ціллю даного дослідження є вивчення впливу багатошляхового поширення сигналу на результуючу точність вимірювання координат цілі та врахування даного ефекту при розміщенні мультилатераційної системи. Відбиті сигнали призводять до змін в щільності потоку потужності, поляризації та часі приходу сигналу. Таким чином, можна здійснювати виявлення багатошляхового сигналу за допомогою кожного х цих параметрів. Час приходу відбитого сигналу до приймача буде більшим, ніж час приходу сигналу по лінії прямої видимості. Виключення невірних результатів в такому випадку може бути досягнуто при впровадженні порогу для часу поширення сигналу (між фактичним та очікуваним часом приходу) [2]. Щільність потоку потужності та поляризація відбитого сигналу залежить від електричних властивостей відбиваючої поверхні (провідності та відносної діелектричної проникності), частоти переданого сигналу та середовища поширення. Міжнародною організацією цивільної авіації (ІСАО) встановлено пороги для мінімальних та максимальних рівнів потужності прийнятого сигналу (18.5-27 дБ/Вт). Поляризація переданого сигналу повинна бути вертикальною [3].

Результуюча інтенсивність електричного поля для відбитого сигналу:

$$E_{рез}^{відб} = E_h^{відб} + E_v^{відб}, \quad (1)$$

де $E_h^{відб}$ та $E_v^{відб}$ – інтенсивності поля в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно:

$$E_h^{відб} = \Gamma_h \cdot E_h^{пад}, \quad (2)$$

$$E_v^{відб} = \Gamma_v \cdot E_v^{пад}, \quad (3)$$

де Γ_h та Γ_v – коефіцієнти відбиття для горизонтальної та вертикальної поляризацій [4]:

$$\Gamma_h = \frac{\sin\theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}}{\sin\theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}}, \quad (4)$$

$$\Gamma_v = \frac{\varepsilon\sin\theta - \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}}{\varepsilon\sin\theta + \sqrt{\varepsilon - \cos^2\theta}}, \quad (5)$$

де $\varepsilon = \varepsilon_r - j\dfrac{\sigma}{\omega\varepsilon_0}$ – комплексна діелектрична стала,

σ – провідність відбиваючої поверхні,

ε_r – відносна діелектрична провідність відбиваючої поверхні,

θ – кут падіння сигналу.

$E_h^{пад}$ та $E_v^{пад}$ – інтенсивності поля падаючого сигналу в горизонтальній та вертикальній площинах, що відповідно до закону Малюса дорівнюють:

$$E_h^{пад} = E\cdot\cos^2\theta, \quad (6)$$

$$E_v^{пад} = E\cdot\sin^2\theta, \quad (7)$$

де E – інтенсивність поля падаючого сигналу.

В даній роботі проаналізовано інтенсивність та поляризацію відбитого сигналу. Інтенсивність переданого сигналу було взято $E = 300$ В/м , що відповідає питомій потужності (напруженості поля) 24 дБ Вт/м^2 [5]. Сигнал випромінюється з вертикальною поляризацією, його частота становить $f = 1090$ МГц. Результати розрахунків інтенсивності та напруженості поля для різних відбиваючих поверхонь (бетон, земля середньої сухості, морська вода) показані на Рис. 1-6, де червоний та блакитний кольори відповідають горизонтальному та вертикальному компонентам відповідно.

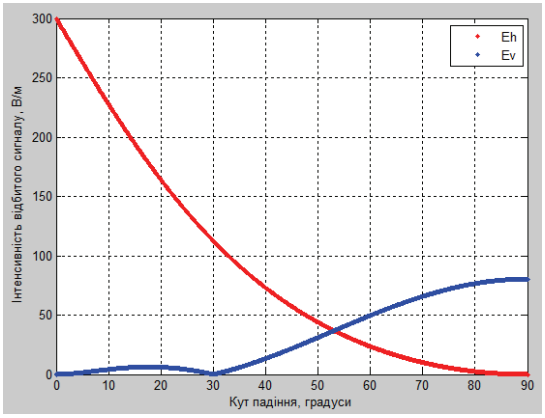


Рис. 1. Залежність величин інтенсивності сигналу від кута падіння для бетону

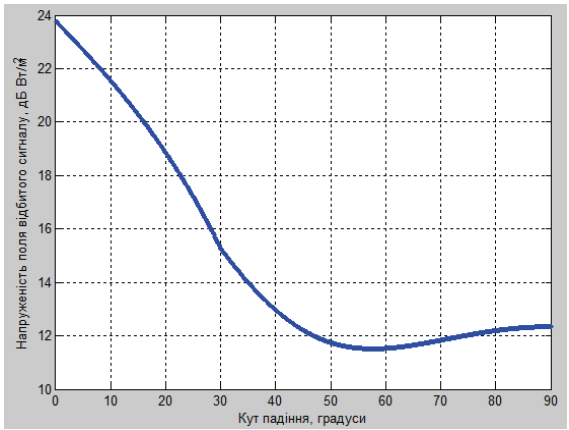


Рис. 2. Залежність величини напруженості поля відбитого сигналу від кута падіння для бетону

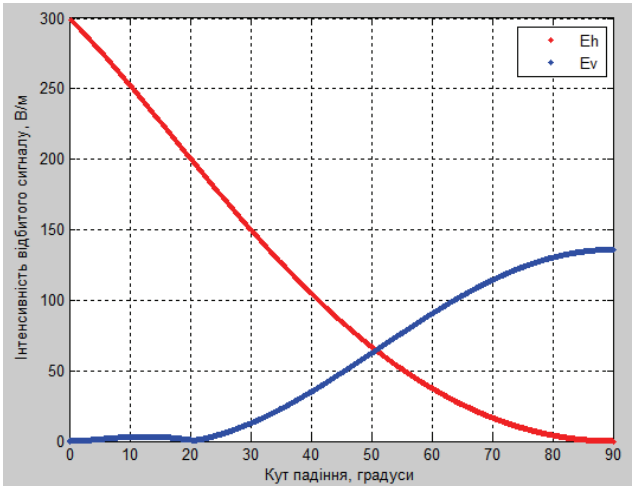


Рис. 3. Залежність величин інтенсивності сигналу від кута падіння для землі середньої сухості

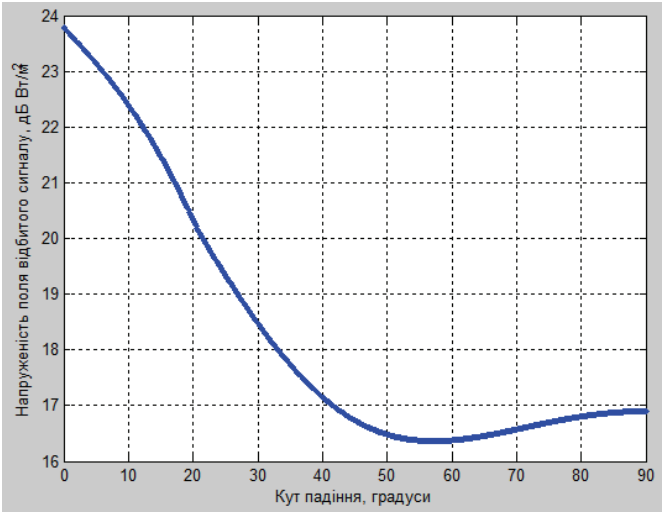


Рис. 4. Залежність величини напруженості поля відбитого сигналу від кута падіння для землі середньої сухості

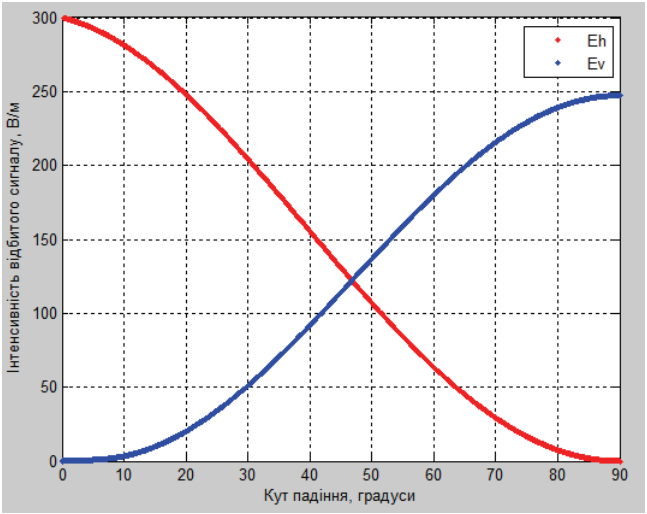


Рис. 5. Залежність величин інтенсивності сигналу від кута падіння для морської води

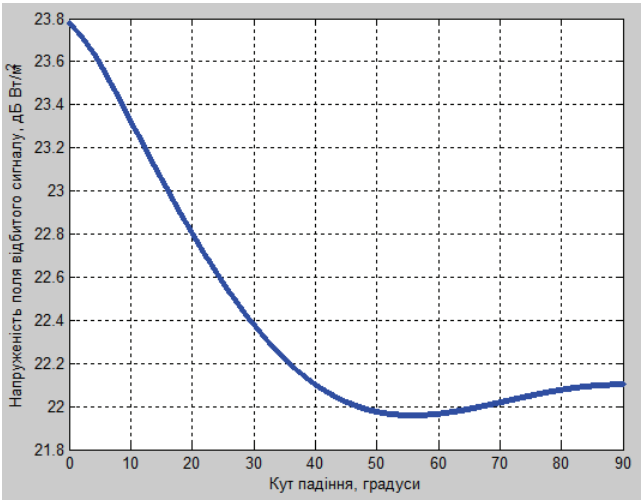


Рис. 6. Залежність величини напруженості поля відбитого сигналу від кута падіння для морської води

Як видно з Рис. 1, Рис. 2 та Рис. 3, величини напруженості поля для горизонтальної та вертикальної площин різні. Дані величини залежать від кута падіння та відбиваючої поверхні. Проте горизонтальний компонент у відбитому сигналі завжди присутній, тільки при $\theta = 90^0$ $E_h = 0$ для усіх середовищ. При кутах, рівних куту Брюстера $E_v = 0$. Якщо антена приймає і горизонтальну і вертикальну поляризації, то наявність горизонтальної компоненти напруженості поля може бути використано для виявлення відбитого сигналу. Графіки на Рис. 2, Рис. 4 та Рис. 6 показують, що найменші величини напруженості поля характерні для кутів $\theta > 40^0$, а найбільші величини інтенсивності відбитого сигналу спостерігаються при нижчих величинах кута падіння. При низьких величинах напруженості поля можна ввести порогові значення для максимальної та мінімальної величин прийнятого сигналу для того, щоб виключити невірні результанти. Також великі величини горизонтальних компонентів інтенсивності поля водночас з високими значеннями напруженості поля покажуть, що отриманий сигнал є відбитим.

Висновки

Дані результати можуть бути використані при розробці моделі багатошляхового поширення сигналу у визначеній зоні спостереження з метою передбачення впливу даного ефекту на результуючу точність визначення координат цілі та вибору приймальної антени.

Список літератури

1. *Konchenko I., Yanovsky F.* Multilateration surveillance system arrangement at the airport area //Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments : International conference 24-29 May 2010 : Proc. SPIE, Vol. 7745.

2. *Turner R.* Multilateration Technology Overview. Technical Lead for Surface Systems // ICAO, Proc. of Surveillance Seminar for the NAM/CAR/SAM Regions, 18-20 June, 2007. Available at: http://www.icao.int/nacc/meetings/2007/SURV_SEMI/Day02_SENSIS_Turner.pdf

3. ICAO Annex 10 Aeronautical Telecommunications, Volume IV Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems, July 2002.

4. *W. L. Flock* Propagation Effects on satellite Systems at Frequencies Below 10 GHz: A Handbook for Satellite Systems Design, NASA, December, 1987.

5. Field intensity and power density,
Available at: http://www.phys.hawaii.edu/~anita/new/html/publications.html

УДК: 621.382:62-1/-9

О.С. Мельник, кандидат технічних наук, В.В. Івахнюк
(Національний авіаційний університет, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ НАНОСХЕМ ЗАДОПОМОГОЮ САПР QCA DESIGNER НА ПРИКЛАДІ ДЕКОДЕРА

В статті розглядаються основні принципи побудови наносхем на квантових коміркових автоматах. Розглядається проблема забезпечення повного базису логічних функцій за допомогою мажоритарного елементу та інвертора. Наведено приклад наносхеми на квантових коміркових автоматах на прикладі декодера.

Розвиток сучасної мікро- та наноелектроніки напряму залежить від мінімізації структурних елементів та збільшення щільності їх розміщення на схемах. Сучасна транзисторна технологія в недалекому майбутньому досягне границі свого розвитку, тому ведуться активні розробки технологій, які б змогли замінити транзисторну та забезпечити подальший розвиток електроніки. Одним з таких напрямків досліджень є розробка квантових коміркових автоматів (КА). КА це впорядкована група квантових точок, які розміщені по куткам квадрату і з'єднані (рис. 1). Розмір однієї комірки може становити всього 20×20 нм Квантові точки це зони низького потенціалу оточені кільцем високого потенціалу. Принцип роботи КА базується на кулонівській взаємодії. Кожна комірка КА містить два надлишкові електрони які можуть тунелювати між квантовими точками, через взаємне відштовхування вони можуть розміщуватись тільки в радіально протилежних кутках. Таким чином існують тільки дві можливі конфігурації розташування (поляризації) електронів. Це дозволяє використовувати бінарну логіку при побудові пристроїв на КА. Дві можливі конфігурації позначені як поляризація комірок P= - 1(логічний нуль) та P= + 1(логічна одиниця)[1].

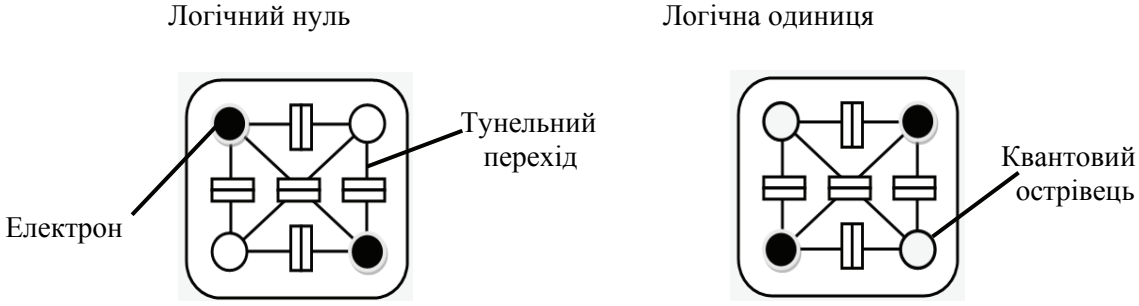
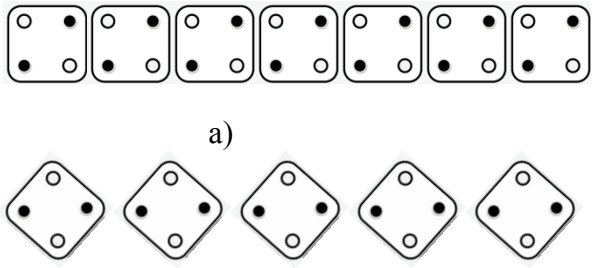


Рис.1. Квантові комірки в станах логічного нуля (а) та логічної одиниці(б)

Якщо розмістити дві комірки одну біля одної і змінити поляризацію однієї з них, то інша, щоб зберегти стан з найменшою енергією, набуде такого ж рівня поляризації. Якщо ж ми розмістимо в ряд кілька комірок, то при зміні рівня поляризації однієї з них, інші переймуть їх стан за принципом доміно (рис. 2). Таким чином відбувається передача бінарної інформації в провідниках побудованих на КА.



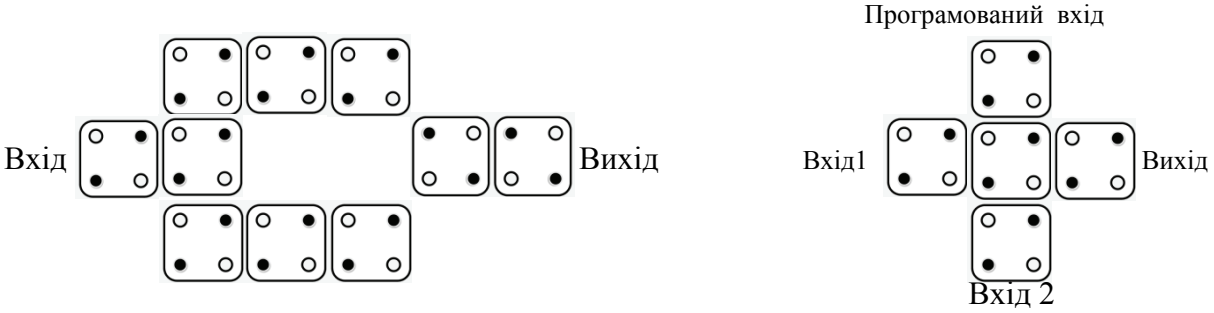
а)

б)

Рис.2. Нанопровідники на КА для передачі (а)
та передачі з запереченням (б) логічної інформації

Якщо змінити орієнтацію комірок в лінійному масиві то ми отримаємо кутоцентрованим провідник на КА. В такому провіднику рівень поляризації в кожній наступній комірці міняється на протилежний. Тому його використання дозволяє не тільки передавати сигнал, а при потребі й інвертувати його.

Основою для створення базису логічних функцій є мажоритарний елемент (рис. 3,б). Якщо ми подамо на один з входів логічну одиницю, то інші два можна використати для здійснення логічної функції "АБО". А якщо ми подамо на програмований вхід логічний нуль то інші два будуть працювати як елемент "І". Таким чином за допомогою мажоритарного елементу можна реалізувати будь яку логічну функцію.



а) б)

Рис.3. Наноінвертор (а) та мажоритарний елемент (б) на КА

В колах на КА для передачі інформації та виконання логічних операцій необхідна синхронізація сигналів, для чого використовуються синхроімпульси. Вони не тільки синхронізують сигнал, а й фактично забезпечують його енергією для передачі. Ці синхроімпульси контролюють потенціальний бар'єр між квантовими точками. Коли сигнал синхроімпульсу високий, потенціальний бар'єр низький і електрони можуть вільно тунелювати між квантовими точками. І навпаки коли сигнал синхроімпульсу низький, то потенціальний бар'єр підвищується і фіксує електрони на їх поточних позиціях[2]. Вся схема на КА ділиться на 4 синхрозони у яких комірки по черзі знаходяться в одному з чотирьох станів : переходу з високого до низького потенціалу, низького потенціалу , переходу з низького до високого потенціалу та високого потенціалу. Таким чином сигнал кожної синхрозони зміщений відносно попередньої на 90^o (рис.4). Тому в наносхемах на КА кожна наступна синхрозона збуджується на четверту частину періоду синхроімпульсу пізніше попередньої комірки. Через це на результуючих діаграмах моделювання спостерігаються затримки вихідних сигналів відносно вхідних.

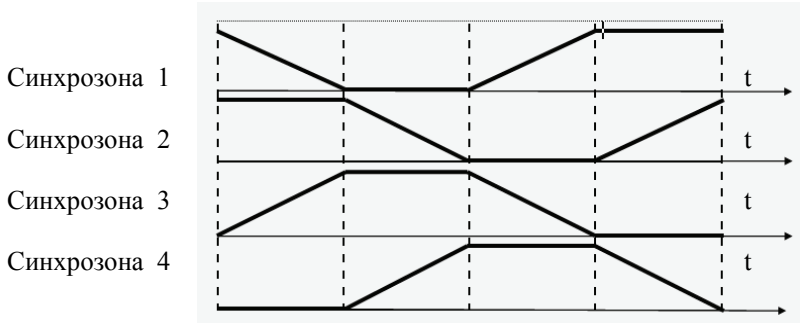


Рис.4. Зміщення сигналу в різних синхрозонах

Значною перевагою пристроїв на КА є те що для передачі інформації не потрібне протікання струму. Такі пристрої споживатимуть мізерну кількість енергії.

Для реалізації декодера на класичних елементах використовуються функції:

$$y_0 = \overline{A}\,\overline{B}, \quad y_1 = \overline{A}B, \quad y_2 = A\overline{B}, \quad y_3 = AB. \tag{1}$$

В базисі мажоритарних функцій:

$$y_0 = maj(\overline{A},\overline{B},0), \quad y_1 = maj(\overline{A},B,0), \quad y_2 = maj(A,\overline{B},0), \quad y_3 = maj(A,B,0). \tag{2}$$

Для моделювання схем на КА використовують САПР QCADesigner. Вона дозволяє створювати багатошарові схеми та моделювати їх роботу. На рис. 5 показано як буде виглядати схема декодера змодельована за допомогою САПР QCADesigner.

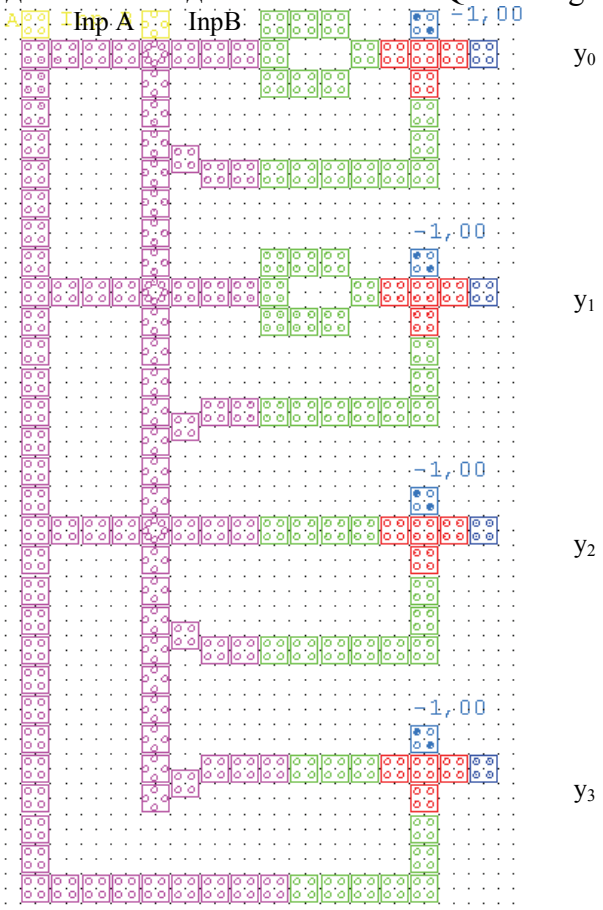


Рис.5. Наносхема декодера на КА

На рис. 6 показано результати моделювання декодера. На часових діаграмах добре видно затримки вихідних сигналів відносно вхідних.

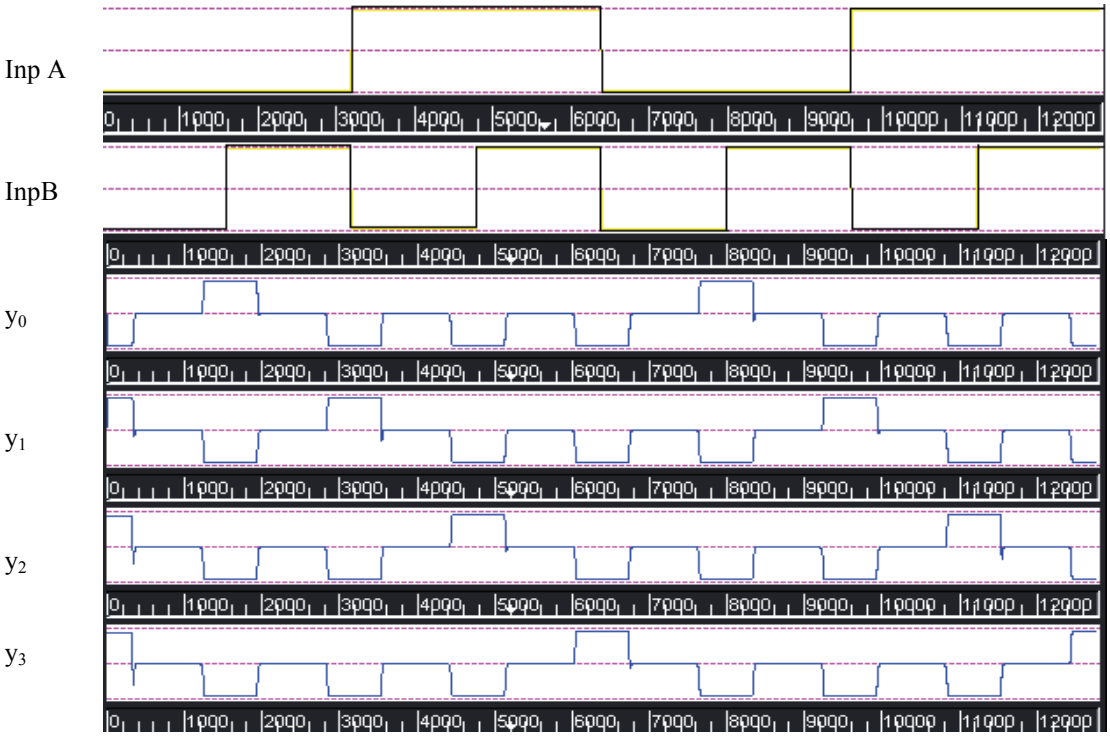


Рис.6. Результати моделювання наносхеми декодера з допомогою САПР QCADesigner

Висновки

КА в майбутньому може стати технологією, яка замінить транзисторну. Вона може забезпечити більшу щільність елементів та менше споживання енергії. На прикладі наносхеми декодера ми показали що за допомогою реалізації мажоритарної функції та заперечення виконаних на КА можна реалізовувати складні логічні функції. При побудові схем на КА треба враховувати особливості їх синхронізації та специфіку мажоритарної функції.

Список літератури

1. *C. S. Lent, P. D. Tougaw, W. Porod, G. H. Bemmstein* Quantum cellular automata «Nanotechnology», 1993, p. 49.

2. *E. N. Ganesh, Lai Kishore, M. J. S. Rangachar*, Implementation of Quantum cellular automata combinational and sequential circuits using Majority logic reduction method International «Journal of Nanotechnology and Applications».

3. *Н. И. Пакулов* Мажоритарный принцип построения надёжных узлов и устройств ЦВМ. – М.: «Сов радио», 1974,1840.

УДК 621.382:(045)

О.С. Мельник, кандидат технічних наук, О.С. Пономарьов
(Національний авіаційний університет, Україна)

МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЕЛЕКТРОННИХ НАНОТРАНЗИСТОРІВ

Розроблено нелінійну модель одноелектронного нанотранзистора для інформаційного забезпечення системи автоматизованого схемотехнічного проектування Electronics Workbench. Проаналізовано залежність виду вольт-амперних характеристик наноприладу від робочого режиму.

Актуальність дослідження. Одноелектронні нано-тераприлади (ОЕП) є сучасною та перспективною елементною базою великих інтегральних схем (ВІС), оскільки вони забезпечують ультранизькі споживану потужність (менше 10 нВт) і надвисокий робочий частотний діапазон (до 10 ТГц) нових наноелектронних функціональних пристроїв. Це поянюється тим, що, тунелювання є безінерційним, тож теоретична межа швидкодії ОЕП надзвичайно висока. З іншого боку, робота, необхідна для переміщення одного електрона, також мала, відповідно, споживання енергії одноелектронними схемами має бути надзвичайно малим [1] .

Такі пристрої мають одну або декілька надмалих областей провідності, що мають надзвичайно низьку ємність. Внаслідок великої результуючої зарядної енергії цієї області електричний заряд в ній стає квантованим, а це значить, що, створивши певні електричні поля, можна спонукати або припинити тунелювання електронів в квантову область чи з неї. Такий ефект, що носить назву кулонівської блокади, використовується для керування надмалими потоками електронів через одноелектронний нанотранзистор.

Одноелектронний транзистор (ОЕТ) – це базовий елемент ОЕП. Він має лише одну область провідності, з`єднану з витоковим і стоковим електродами тунельними бар`єрами. Ця область називається кулонівським острівцем (КО) і має електростатичний зв`язок з одним чи двома електродами затвору [2] .

В заблокованому стані немає доступних рівнів енергії всередині області тунелювання на контакті джерела. Всі енергетичні рівні на електроді острівця з меншими енергіями заповнені електронами. Енергетичні рівні острівця знижуються, коли до електроду затвора прикладається додатня напруга. Електрон може тунелювати на острівець, на попередньо вакантний енергетичний рівень. Звідси він може тунелювати на електрод стоку і досягати рівня Фермі на ньому.

Періодично змінюючи напругу на затворі ОЕТ, за рахунок повторюваного ефекту кулонівської блокади можлива ступенева (сходинкова) модуляція струму, що протікає від витоку до стоку. Більше того, в ОЕП, які мають декілька областей зі взаємним ємнісним зв`язком, стає можливим переміщення через ці області окремо взятих електронів. Таким чином, на основі ОЕП можлива реалізація принципово нових логічних схем, розрахованих на управління окремими електронами.

Однак виготовлення одноелектронних пристроїв потребує геометричної точності на нанометровому рівні, тому одночасно можна створювати лише невелику кількість пристроїв, що гальмує їх широкомасштабне виготовлення.

Схемотехнічна модель ОЕТ. Для моделювання вольт-амперних характеристик (ВАХ) ОЕТ, застосуємо електронну модель у вигляді еквівалентної електричної схеми [3], яку було запроваджено в інформаційне забезпечення системи автоматизованого проектування (САПР) Electronics Workbench.

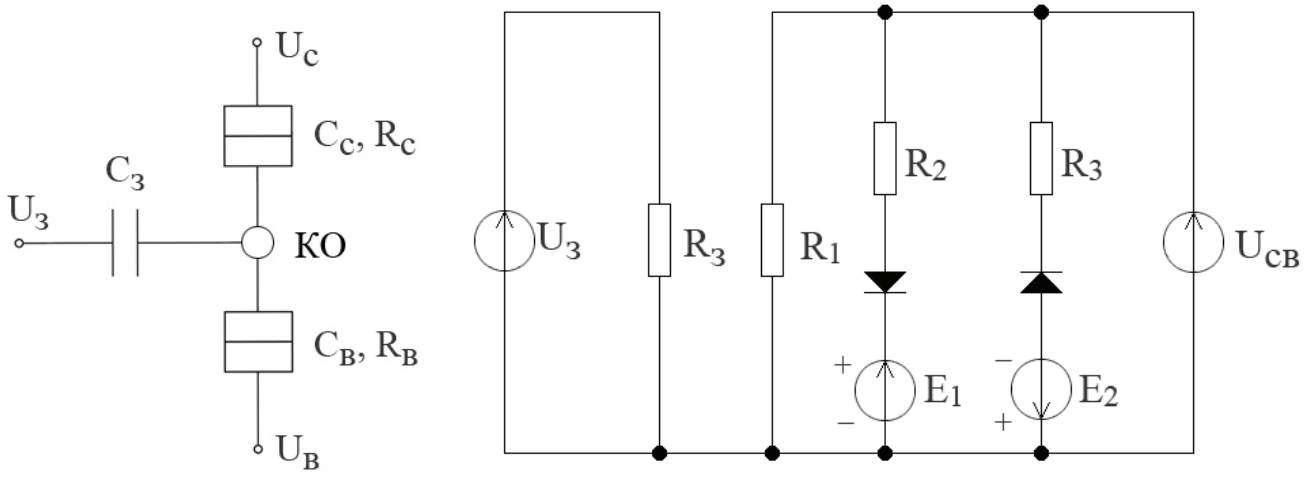


Рис. 1. Умовне позначення одноелектронного транзистора з параметрами $C_з = 3{,}2$ аФ, $C_в = C_с = 1{,}6$аФ, $R_в = R_с = 100$ МОм (а) та еквівалентна електрична схема його моделі (б)

На схемі ОЕТ, наведеній на рис. 1,а, $U_{з,с,в}$, $R_{з,с,в}$, $C_{з,с,в}$ – відповідно потенціали, тунельні (квантові) опори та ємності затвору, стоку і витоку.

На еквівалентній схемі ОЕТ на рис. 1,б $U_з$ – керуюча напруга на затворі, $U_{св}$ – напруга живлення сток-виток, $R_з$ – опір затвору, $R_{1,2,3}$ – еквівалентні квантові опори між стоком і витоком, а діоди VD_1, VD_2 та додаткові джерела напруги $E_1 = 20$ мВ і $E_2 = -20$ мВ моделюють ефекти кулонівської блокади в прямому та інверсному режимах.

В нелінійній моделі ОЕТ залежність опорів резисторів R_1, R_2 та R_3 від вхідної напруги $U_з$ на затворі пропонується апроксимувати наступними функціями:

$$R_1(U_з) = \mathrm{R}_{11} + R_{12}\cos\left(\pi \cdot \frac{U_з}{\mathrm{U}_т} + \mathrm{k}_1\right), \tag{1}$$

$$R_2(U_з) = R_3(V_g) = \frac{\mathrm{R}_{23} \cdot R_1(U_з)}{\mathrm{k}_2 \cdot R_1(U_з) - \mathrm{R}_{23}}\ , \tag{2}$$

де R_{11}, R_{12} R_{23} – резистивні параметри налаштування моделі, $U_T = \frac{\mathrm{k} \cdot T}{q} = \frac{T}{11600}$ [В] – термодинамічний потенціал, який при температурі $T = 297$ К дорівнює 25 мВ, k_1 та k_2 – коефіцієнти апроксимізації.

Термозалежні параметри налаштування змінюються за наступними законами:

$$R_{11}(T) = R_{11}(T_0) + R_{2T} \cdot \exp(-0.09 \cdot T)\ , \tag{3}$$

$$R_{12}(T) = R_{2T} \cdot \exp(-0.09 \cdot T)\ , \tag{4}$$

$$R_{23}(T) = R_{23}(T_0) + R_{3T} \cdot T\ , \tag{5}$$

де T – температура, а параметри апроксимізації мають такі значення: $R_{11}(T_0) = 11.8$ ГОм, $R_{23}(T_0) = 0{,}2$ нОм, $R_{2T} = 3$ ГОм та $R_{3T} = 0{,}05$ нОм.

Температурні залежності резистивних параметрів моделі ОЕТ показані на рис. 2.

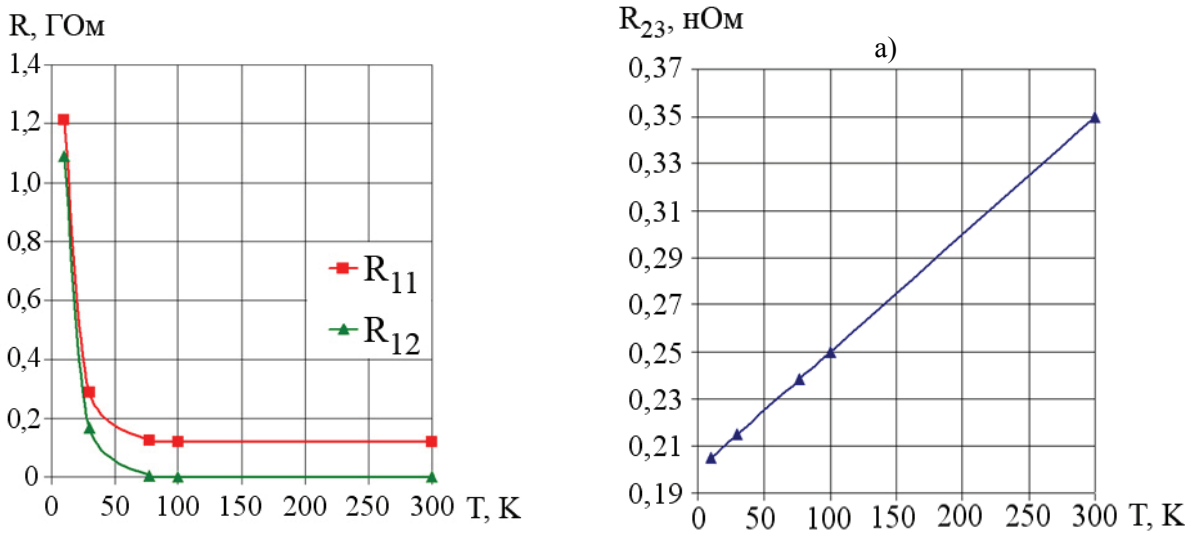


Рис. 2. Залежності резистивних параметрів налаштування
R_{11}, R_{12} (а) та R_{23} (б) від температури

Промоделюємо за допомогою САПР Electronics Workbench ВАХ моделі ОЕТ, фіксуючи напругу на затворі, змінюючи напругу сток-виток і реєструючи значення струму стоку (рис. 3).

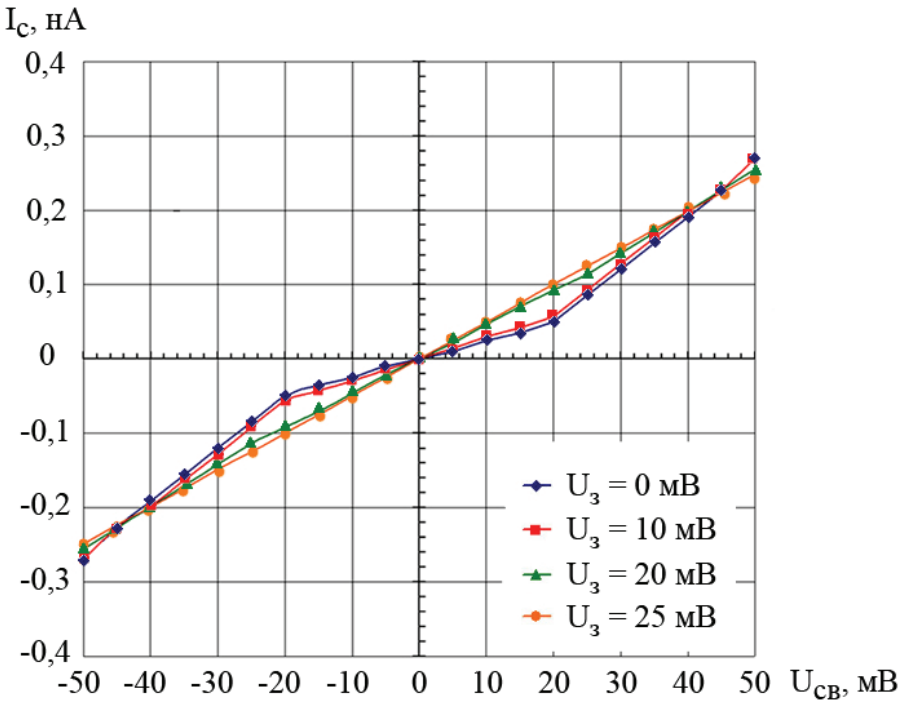


Рис. 3. ВАХ моделі ОЕТ, побудовані за різних значень напруги затвору.
$C_с = C_в = 1.6$ аФ, $C_з = 3.2$ аФ, $R_с = R_в = 100$ МОм, $T = 30$ К

Вочевидь, при значеннях напруги затвору, більших за 10 мВ, кулонівська блокада починає поступово зникати, а при $U_з = 25$ мВ зникає повністю.

Проаналізуємо поводження ВАХ при змінах температури за нульової напруги на затворі ($U_з$=0).

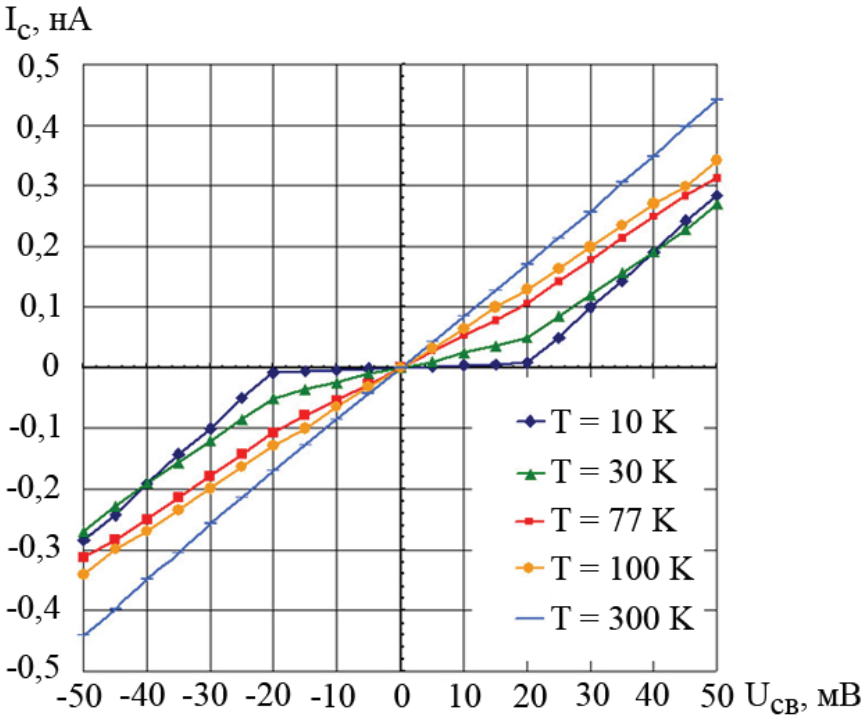


Рис. 4. ВАХ одноелектронного транзистора,побудовані за різних значень температури

Як бачимо (рис. 4), при значеннях температури, більших за 30 К, кулонівська блокада починає поступово зникати, і при Т = 100 К зникає зовсім. Розраховані модельні ВАХ ОЕТ практично повністю співпадають з експериментальними, наведеними у [3, 4].

Висновки

Дослідивши ВАХ моделі одноелектронного транзистора, побудованих за допомогою комплекса Electronics Workbench при різних умовах, визначено, що ВАХ ОЕТ великою мірою залежить від двох параметрів – напруги затвору та температури:

- При значеннях напруги затвору, більших за 10 мВ, кулонівська блокада починає зникати, а при $U_з$ = 25 мВ зникає повністю, а ВАХ вироджується в лінійну.
- При значеннях температури, більших за 30 К, кулонівська блокада починає поступово зникати і при Т = 100 К зникає зовсім.

Список літератури

1. *Лихарев К.К.* Введение в динамику джозефсоновских переходов. - М.: Наука, 1985;

2. *Неизвестный Н.Г., Соколов О.В.* Одноэлектроника. Микроэлектроника, 1999, т. 28, №2, с. 83-107.

3. *Yu Y.S.* Modelling of Single-Electron Transistors for Efficient Circuit and Design. IEEE Trans. Electron. Devices, 1999, №7, p. 1667-1682.

4. *Hwang S.W.* KOSEC developed at Nanoelectronics Laboratory in Korea University. Seoul, Korea, 2008.

УДК 004.9:612.822(045)

О.М. Ключко, канд. біол. наук, Р.Р. Хайрудінов
(Національний авіаційний університет, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОШИРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ У НЕЙРОНІ ПРИ ОПТИЧНІЙ РЕЄСТРАЦІЇ ЗМІН В ЙОГО НАНОСТРУКТУРАХ

Подано аналіз деяких результатів досліджень поширення електричних імпульсів у біологічному нейроні, створено модель в C# на базі результатів експериментів з оптичної реєстрації цього явища.

Вступ. Останніми роками швидкими темпами прогресує розвиток оптоелектричної реєстрації процесів на нейронах, пов’язаних з передачею інформації. До таких методик відносяться експерименти в областях релеєвскої і доплерівської спектроскопії розсіяного світла, оптоелектронним методам аналізу мікрозображень, інших.

Реєстрація електричних сигналів за допомогою потенціалзалежних молекулярних зондів вперше була проведена у 1964 р. І. Г. Штранкфельдом та Г. М. Франком, які зареєстрували зміну квантового виходу флуоресценції при електричній стимуляції забарвленого люмінесцентним фарбником аксона. Пізніше, застосувавши потенціалзалежні флуоресцентні зонди, Тасакі з співавторами виявили, що барвник анілінонафталінсульфонат (АНС), зв'язаний з мембраною гігантського аксона кальмара, виявляє потенциалзалежні властивості, що виражаються в зміні інтенсивності його флуоресценції ($\Delta I/I \sim 10\text{-}4$). Подальші дослідження флуоресцентних властивостей АНС показали, що інтенсивність оптичного сигналу у відповідь на пред'явлення деполяризуючого імпульсу залежить лише від потенціалу на мембрані.

Всі зазначені вище методи дають багатий набір експериментальних результатів для наступного математичного та комп’ютерного моделювання, яке автори спробували виконати, ставлячи за мету створення моделі поширення сигналів по нейрону у вигляді електричних імпульсів, які супроводжуються відповідними змінами оптичних характеристик в сомі нейрона. Моделювання в C# проводили на основі аналізу результатів експериментів з оптичної реєстрації відповідних електричних сигналів.

Основна частина. Деякі методи застосування потенціалчутливих барвників у біофізичному експерименті. При застосуванні потенціалчутливих барвників певні обмеження виникають внаслідок того, що інтенсивність потенціалзалежної флуоресценції якої може змінюватися при перенесенні фарбника в різні частини мембрани, при дифузії в примембранну область, зміні мікрооточення, тощо. Отже, використовуючи потенціалзалежне забарвлення (ПЗЗ) як оптичний індикатор електричного стану мембрани, слід бути обережним в оцінці результатів. Наприклад, кількість сорбованого мембранами різних клітин барвника важко контролювати, внаслідок чого амплітуда оптичних відповідей змінюється в широкому діапазоні, або сигнал відсутній взагалі. Залежно від наявності аніонних, катіонних або нейтральних груп в ПЗЗ може різко мінятися динаміка його зв'язування з мембраною. Наприклад, відмічено, що при деполяризації мембрани аніонні фарбники електрофоретично входять у мембрану з розчину сильніше, ніж катіонні або нейтральні, також впливають на спектрально- поляризаційні властивості флуоресценції зміни pH середовища.

Перші оптичні реєстрації потенціалів дії (ПД) нейронів, що були зафарбовані флуоресцентним барвником мероцианіном провели Залсберг, Коен та інші на препаратах з пиявки нейронів. Так, була досліджена семиденна культура мозочка, специфіка експерименту базувалася на властивості фарбування М-540 тільки збудливих мембран. Такі експерименти дозволили дослідити динаміку просторово-часових зв'язків і розвитку електрогенезу в процесі росту, диференціювання, при різних структурних модифікаціях у зв'язку з функціональними перебудовами мережі під впливом хімічних або фізичних чинників, що призводять, наприклад, до змін синаптичної ефективності. Можливість реєстрації оптичних збуджуючих постсинаптичних потенціалів (ЗПСП), була показана

Коеном. Слід назвати також роботи по вивченню розподілу синаптичних пулів і їх функціонування на поверхні гігантських нейронів (у маутнеровських клітинах, нейронах Ретциуса, пейсмекерних елементах гангліїв молюсків, тощо). Описані також експерименти на реагрегованих нейронних мережах та ізольованій сомі клітин.

Моделювання поширення електричного імпульсу по нейрону. Отже, розвиток оптичних методів досліджень нейронів та інших клітин пов'язаний, головним чином, з вивченням збудливих мембран, вивченням таких їх властивостей, як підтримка постійної різниці потенціалів за рахунок активних і пасивних механізмів, генерація постсинаптичних потенціалів і потенціалів дії, поширення електричних сигналів у мережі нейронів. Відповідно індикаторами цих процесів можуть виступати зміни оптичних характеристик нервових клітин і їх елементів [1 – 3]. Під час проходження електричного сигналу по біологічним нейронам, навантаженим потенціазалежним флуоресцентним барвником можна спостерігати виникнення флуоресценції в тілі нейрона. При цьому флуоресцентний барвник виконує роль індикатора електричного імпульсу. Одночасно молекули маркерів входять до складу клітинних або мембранних молекулярних комплексів тобто, до наноструктур клітин.

Базуючись на даних експериментів з оптоелектронної реєстрації електричного сигналу за допомогою потенціалчутливих маркерів [1 – 3] та наступним аналізом зображень, нами була виконана робота з моделювання поширення електричного імпульсу по нейрону. За основу взято спрощені уявлення, в наступних моделях будуть розглянуті ускладнені явища, більш наближені до реальних. Саме моделювання було виконано з використанням C #. В моделі наочно представлений поетапний (у 9 фаз) процес поширення імпульсу, основні результати будуть викладені під час доповіді.

Висновки. Отже, взявши за основу та проаналізувавши існуючі на сьогодні деякі результати експериментів з оптичною реєстрацією змін, що відбуваються в біологічному нейроні при проходженні електричного імпульсу за допомогою маркерів, поєднаних з наноструктурами клітин, було зроблено наступне.

- Створено візуальну-демонстративну модель змін оптичних характеристик нейрона, які відбуваються при проходженні по ньому електричного імпульсу за умови, що в сомі міститься потенціал-чутливий флуоресцетний маркер.

- Створені алгоритм та програма у середовищі програмування C# для візуалізації світіння флуоресцентного маркера в окремих точках модельного нейрона.

- Вищезазначені алгоритм та програма можуть бути використане, як зразок вітчизняного програмного забезпечення в роботі багатоканальних програмно-керованих електронно-оптичних комплексів. Це є кроком до створення вітчизняних електронних дослідницьких комплексів, які містять блок оптичної реєстрації від біологічних об’єктів клітинних розмірів, для виконання допоміжних робіт в галузях нанотехнологій.

- Оскільки за результатами роботи можуть бути візуалізовані процеси проходження електричного імпульсу по нейрону, що призводить до реакції молекулярних комплексів в його об’ємі, то це може створювати передумови для наступних студентських науково-дослідних робіт в галузі нанотехнологій.

- Результати виконаної роботи можуть бути використані в лабораторній, академічній та освітній практиці.

Список літератури

1. *Belan P., Gerasimenko O., Tepikin A. etc.* Localization of Ca++ extrusion sites in pankreatic acinar cells. – Journal of Biological Chemistry. – V.271. – 1996. – P. 7615-7619.

2. *Belan P., Gardner J., Gerasimenko O. etc.* Extracellular Ca++ spikes due to secretory events in salivary gland cells. – Journal of Biological Chemistry. – V.273. – 1998. – P. 4106-4111.

3. *Jabs R., Pivneva T., Huttmann K. etc.* Synaptic transmission onto hyppocampal glial cells with hGFAP promoter activity. – Journal of Cell Science. – 2005. – V.118. - P. 3791-3803.

УДК 681.51

Д.З. Джурунтаев, доктор технических наук
(Академия гражданской авиации, Казахстан)

ОБ АЛГОРИТМЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ ГИПЕРГРАФОВ СХЕМ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ

В работе предложен алгоритм декомпозиции гиперграфа схемы, который основан на применении модели описания схемы с блочно-иерархической структурой в виде списков.

Технология сверхбольших интегральных схем(СБИС) обеспечивает разработку и промышленное освоение выпуска широкой номенклатуры интегральных схем, составляющих элементную базу высокопроизводительных ЭВМ, специализированной и бытовой радиоэлектронной аппаратуры, средств связи и телекоммуникаций, в том числе космического базирования. Однако с повышением степени интеграции СБИС происходит увеличение затрат на их проектирования и изготовления и, следовательно, увеличение стоимости кристалла. Кроме того, в них менее рационально используется площадь кристалла, так как часть элементов СБИС оказывается избыточной (не используется в данной схеме), из-за того, что взаимное расположение элементов и пути межсоединений не являются не наилучшими и, следовательно, длины связи не минимальными. Эти недостатки в определенной степени устраняются в процессе проектирования СБИС на основе базового матричного кристалла(БМК) с применением САПР. Однородность структуры БМК обуславливает возможность эффективного применения САПР для решения задач проектирования СБИС.

При автоматизированном конструкторском проектировании СБИС возникает проблема организации процесса решения задач в условиях, когда невозможно размещение в оперативной памяти ЭВМ полной информации о проектируемом СБИС. Блочно-иерархическая структура БМК позволяет осуществить декомпозицию задачи проектирования СБИС на подзадачи в соответствии с числом блоков БМК.

Для алгоритмизации и формального решения задачи декомпозиции широко применяют модели описания соединений элементов электрической схемы в виде мультиграфа и гиперграфа. Аппарат теории графов широко применяется для решения задач автоматизации конструкторского проектирования СБИС. Это объясняется тем, что язык теории графов во многих случаях адекватен в той или иной мере объектам проектирования, описывает их естественным образом и в то же время позволяет абстрагироваться от конкретных объектов и иметь дело с абстрактными моделями. Это в свою очередь дает возможность строить математически обоснованные алгоритмы конструкторского проектирования СБИС, находить простые и эффективные решения, рационально и экономно использовать вычислительные ресурсы ЭВМ.

Известные алгоритмы декомпозиции (разбиения) [1-3], основаны на матричном и одномерном представлении моделей описания коммутационной схемы. Поэтому эти алгоритмы в случае СБИС, из-за чрезмерно больших размерностей матриц, не пригодны для решения задач конструкторского проектирования СБИС. В этой связи актуальна задача разработки алгоритмов декомпозиции, учитывающих особенности решения задач проектирования СБИС и позволяющих редуцировать(понизить) размерности этих задач.

В работе на основе модели описания коммутационной схемы с блочно-иерархической структурой в виде списков[4], которая отличается информационной полнотой отображения всех компонентов функциональной электрической схемы, разработан алгоритм, обеспечивающий качественное решение задачи декомпозиции СБИС с относительно малыми вычислительными затратами и затратами памяти. В предлагаемом алгоритме декомпозиции реализован комбинированный метод, сочетающий особенности методов минимального сечения и максимальной конъюнкции-минимальной дизъюнкции. В данном алгоритме также используется эффективный с позиций вычислительных затрат способ организации связей

между функциональными единицами различных уровней и списками элементов, контактов и цепей.

Сформулируем задачу декомпозиции СБИС на блоки как задачу разбиения гиперграфа схемы $G(X,U)$ на части(куски). Требуется разбить гиперграф схемы $G(X,U)$ на части $G_1(X_1, U_1)$, $G_2(X_2, U_2)$, …, $G_N(X_N, U_N)$, так, чтобы число реберного соединения всех частей гиперграфа было минимальным. Формально это можно записать следующим образом:

$$\min \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} |U_{ij}|,\ i \neq j$$

$$\text{при} \quad \forall G_i(X_i,U_i), G_j(X_j,U_j) \subset G(X,U), [G_i(X_i,U_i) \neq G_j(X_j,U_j) \,\&$$

$$\& X_i = X_i^0 \cup \bar{X}_i \,\& U_i = U_i^0 \cup \bar{U}_i \Rightarrow X_i \cap X_j = \varnothing \,\&\, U_i^0 \cap U_j^0 = \varnothing \,\&\, \bar{U}_i \cap \bar{U}_j = U_{ij}],$$

$$\bigcup_{i=1}^{N} G_i(X_i,U_i) = G(X,U),\ i,j = \overline{1,N}$$

где X^0 – множество вершин графа G соответствующих элементам схемы; X_i – подмножество вершин части подграфа) G_i; X_i^0 – подмножество вершин подграфа G_i, соответствующих элементам схемы, вошедшим в G_i; $\bar{X}_i$ – подмножество вершин, соответствующих выводам (контактам) подграфа G_i; U_i – подмножество ребер, инцидентных вершинам X_i ; U_i^0 – подмножество ребер, соединяющих между собой вершины подмножества X_i^0 внутри G_i; $\bar{U}_i$ – подмножество внешних ребер, инцидентных вершинам подмножества $\bar{X}_i$; U_{ij} – подмножество ребер, попадающих в разрез между кусками G_i и G_j $(i \neq j)$; N – число кусков, на которое разбивается гиперграф.

Декомпозиционными ограничениями при разбиении гиперграфа являются: число кусков N разрезания гиперграфа; число вершин n_i подмножества (определяется числом конструктивных элементов, которые необходимо разместить на кристалле БМК):

$$\bigcup_{i=1}^{N} X_i^0 = X^0,\ X^0 \subset X,\ X_i^0 = \{x_l \mid l = \overline{1,n_i}\};$$

число ребер v_i подмножества $\bar{U}_i$, т. е. число внешних соединений каждого i-го куска гиперграфа: $\bar{U}_i \subset U_i$, $\bar{U}_i = \{u_s \mid s = \overline{1,v_i}\}$,

Число ребер между вершинами подмножества X_i и вершинами, не вошедшими в X_i однозначно связаны с числом выводов(контактов) v_1 формируемого куска G_i. Поэтому обычно, при декомпозиции гиперграфа схемы на куски G_i $(i = \overline{1,N})$ в качестве целевой функции, которая минимизируется, принимается суммарное количество контактов всех кусков: $v = \sum_{i=1}^{N} v_i(X_i^0 \cup x_1)$ при ограничении на число вершин n_i $(\bigcup_{i=1}^{N} n_i = n)$, входящих в каждое подмножество X_i^0, $X_i^0 \subseteq X^0$, где

$$v_i(X_i^0 \cup x_l) = |\Gamma(X_i^0 \cup x_l) \cap \Gamma(X^0 \setminus (X_i^0 \cup x_l))|; \qquad (1)$$

x_l – вершина из списка кандидатов X_j^{01}; $\Gamma(X_i^0 \cup x_l)$ – отображение $(X_i^0 \cup x_l)$. Подсчет количества контактов v_i по формуле (1) требует больших вычислительных затрат.

В предложенном в работе алгоритме декомпозиции реализован более экономичный по вычислительным затратам способ, согласно которому подсчет показателя v_i осуществляется следующим образом:

1) составляются списки ребер (связей), инцидентных каждой из вершин-кандидатов x_l подмножества X_j^{01};

2) из списка ребер выбирается первое по порядку ребро, инцидентное вершине x_l для включения в подмножество X_1^0, например x_t из блока G_2;

3) если данное ребро вершины x_t через соответствующий контакт блока G_2 связано хотя бы с одним из ребер подмножества U_{12} (например, u_r), то:

– ребро u_r исключается из подмножества ребер U_{12}, если ребро u_r образует внешнюю связь только с самой вершиной-кандидатом x_t, в этом случае корректируется число ребер v_1, образующих внешние цепи формируемого блока G_1, т. е. v_1 уменьшается на единицу;

– ребро u_r остается в подмножестве U_{12}, если u_r соединяет вершины подмножества X_1^0 (включая x_t) с одной или более вершинами подмножества $X^0 \setminus (X_i^0 \cup x_l)$, в этом случае v_1 остается неизменным;

4) если ребро (например, u_k), инцидентное вершине x_t не связано ни с одним из ребер подмножества U_{12} и имеет внешнюю связь хотя бы с одной вершиной, не включенной в подмножество $X_i^0 \cup x_l$, то это ребро u_k добавляется в подмножество U_{12} и число контактов v_1 формируемого куска G_1 увеличивается на единицу.

Далее производится переход ко второму, третьему и т. д. ребрам, инцидентным вершине x_t, и операции по коррекции и подсчету количества контактов куска G_1 производятся аналогично. Такие же процедуры коррекции и подсчета числа контактов выполняются при условном включении в X_1^0 других вершин-кандидатов из подмножества X_j^{01}. Затем из числа этих кандидатов выбирается вершина, включение которой в подмножество X_1^0 обеспечивает минимальное число контактов куска G_1.

В предложенном алгоритме список внешних цепей, соответствующих выводам блока и список смежных элементов-кандидатов X_1^0, инцидентных этим цепям, формируются автоматически на основе данных о схеме СБИС, представленных в виде каталога C1 и таблиц(списков) элементов TEL1, контактов TKN1 и цепей TCP1[4], которые имеют блочно-иерархическую структуру.

Ниже приведены основные процедуры предложенного алгоритма декомпозиции гиперграфа.

1. Выбрать из списка(таблицы) элементов TEL1 первый элемент $x_q \in X^0$ с минимальной локальной степенью вершины $\rho(x_q)$ и включить его в подмножество элементов X_1^0 первого блока G_1, т. е. $X_1^0 = \{ x_q \}$.

2. Произвести по таблице TCP1 поиск цепей, принадлежащих выводам G_1 и составить список цепей U_{1j}: $\Gamma \bar{X}_1 = U_{1j} \subseteq U_{ij}$ $(i \neq j)$.

3. Произвести по TEL1 поиск смежных элементов, связанных через соответствующие цепи $\bar{U}_j^{/}$ и контакты $\bar{X}_j^{/}$ блоков G_j с цепями подмножества U_{1j} и составить список элементов – кандидатов: $\Gamma^{-1} \bar{U}_j^{/} = X_j^{01} \subseteq (X^0 \setminus X_1^0)$, где $\Gamma^{-1} \bar{U}_j^{/}$ – обратное отображение $\bar{U}_j^{/}$.

4. Для каждого элемента - кандидата

$$\forall x_l \in X_j^{01} = \{x_l : x_l \in \Gamma^{-1} \bar{U}_j^{/} \text{ и } x_i \in X^0 \setminus X_1^0\}$$

произвести оценку показателя качества $v_i (X_1^0 \cup x_i)$ согласно способу, основные процедуры которого изложены выше.

5. Если наименьший показатель качества v_i имеет только один элемент x_t :

$v(X_1^0 \cup x_t) = \min_i v(X^0 \cup x_i)$, то перейти к п. 8.

6. Если наименьший показатель $v_j (j = t, p)$ имеют два (или более) элемента x_t и x_p, то определить число их связей с элементами подмножеств

$$X_1^0 \text{ и } X^0 \setminus X_1^0, \text{ т. е. } s_i(X^0) \text{ и } s_i(X^0 \setminus X_1^0).$$

7. Если

$$[s_t(X_1^0) - s_t(X^0 \setminus X_1^0)] < [s_p(X_1^0) - s_p(X^0 \setminus X_1^0)], \text{ то } x_t := x_p.$$

8. Если $(X_1^0 \cup x_t) > k_1$ (k_1 - допустимое число внешних выводов блока G_1), то перейти к п. 11.

9. Включить вершину x_t в подмножество X_1^0: $X_1^0 = (X_1^0 \cup x_t)$.

10. Если $|X_1^0| < m_1$ (m_1 – допустимое число внешних выводов блока G_1), то перейти к п. 2, иначе перейти к п. 12.

11. Дальнейшее формирование подмножества X_1^0 невозможно из-за нарушения ограничения (условия) по числу внешних выводов.

12. Подмножество X_1^0 блока G_1 сформировано.

Формирование подмножеств элементов других блоков осуществляется по таким же процедурам с той лишь разницей, что очерёдные элементы-кандидаты выбираются не из всего множества X^0, а из подмножества $X^0 \setminus X_1^0$, $i = 1,2, \ldots n\text{-}1$; n - число блоков.

Экспериментальное исследование на основе разбиения ряда фрагментов СБИС показали, что если критерием качества декомпозиции является суммарная длина соединений, то предложенный в работе алгоритм лучше, чем известные алгоритмы, использующие в качестве модели матрицу смежности или матрицу инцидентности примерно, на 8-10%.

Выводы: В работе предложен алгоритм декомпозиции гиперграфа схемы, который основан на применении модели описания схемы с блочно-иерархической структурой в виде списков. В алгоритме реализован более экономичный по вычислительным затратам способ оценки показателя качества декомпозиции, а также комбинированный метод, обеспечивающий минимальное межблочное сечение и максимальную связанность элементов внутри блоков. Предложенный алгоритм декомпозиции гиперграфа позволяет более качественно решить задачу разбиения СБИС по блокам при относительно малых затратах машинного времени и памяти, чем известные алгоритмы, основанные на использовании в качестве модели матрицы смежности или матрицы инцидентности.

Список литературы

1. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 384 с.

2. Батищев Д.И., Старостин Н.В., Филимонов А.В. Многоуровневый генетический алгоритм решения задачи декомпозиции гиперграфа // Известия СПГЭТУ «ЛЭТИ». Серия «Информатика, управление и компьютерные технологии», №2, - 2007г. С.3-13.

3. Лузин С. Ю. Алгоритм разбиения графа. – СПб.: Санкт-Петербургский государствен-ный университет аэрокосмического приборостроения. http://www.nit.gsu.unibel. by/resources/ Contest_Intel/04Cadgsu.html - 51,65 байт.

4. Джурунтаев Д.З. Модель описания схемного набора данных и автоматзация процесса его подготовки Алматы - Вестник КазНТУ,. №3, - 2006г. С. 87–92..

СЕКЦІЯ 22.

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

УДК 001.891.7(043.2)

М.П. Мухіна, канд. техн. наук, доц.
(Національний авіаційний університет, Україна)

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ ОБ'ЄКТА ПРИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННІ

Розглянуто проблему прогнозування траєкторії руху об'єкта, за яким ведеться відео стеження, при зникненні його з поля зору. Проведено аналіз існуючих алгоритмів візуального стеження. Запропоновано алгоритм прогнозування, що базується на апроксимації траєкторії поліномами третього порядку за методом найменших квадратів.

Вступ. Системи відеоспостереження отримують все більше поширення в різних сферах людської діяльності. Успішне вирішення низки складних і неоднозначних задач обробки (аналізу) зображень робить можливою автоматизацію безлічі процесів і операцій, які до цього управлялися і контролювалися тільки людиною.

Однією з найбільш складних і актуальних задач обробки відеозображень є проблема виділення і розпізнавання рухомих або нерухомих об'єктів і створення на цій основі систем автоматизованого моніторингу.

Автосупровід об'єкта – режим роботи різноманітних автоматизованих комплексів, при якому без участі людини-оператора, а тільки під її контролем забезпечується зміна орієнтації осі або напрямку руху деяких елементів комплексу слідом за змінами траєкторії і швидкості руху об'єкта. Візуальне стеження (трекінг) – визначення положення рухомого об'єкта (або декількох об'єктів) в часі за допомогою камери. Візуальному автосупроводу об'єкта передують детектування і «захоплення » об'єкта. Основна проблема авто супроводу об'єкта - повна або часткова втрата об'єкта з поля зору внаслідок природних або штучних перешкод, наприклад таких як ліс, туман, погана видимість, інші об'єкти. Виникає необхідність прогнозування руху об'єкта, коли його втрачено з поля зору, щоби в подальшому, коли об'єкт буде видимий повністю, можна було провести повторне захоплення і продовжити трекінг об'єкта.

Аналіз досліджень і публікацій. Системи візуального стеження за декількома об'єктами використовують виявлення і візуальне стеження за об'єктом, на основі створеної раніше математичної моделі. Крім того, для відстеження рухомих об'єктів також використовуються різні підходи, такі як підхід, оснований на пошуку в певній області, підхід, оснований на пошуку за певними характеристиками об'єкту, і комбінований, що включає в себе два попередніх підходи.

Наприклад, в праці [1] використовується кольорова інформація для сортування об'єктів за глибиною під час перекривання одного об'єкта іншим. В праці [2] застосовується кольорова гістограма, основана на техніці розпізнавання кожного об'єкту та подальшої ідентифікації їх при перекриванні.

В праці [3] об'єднано декілька рівнів обробки зображення: низький, середній та високий. Низький рівень включає найпростіші операції типу BLOB-аналізу, виділення країв та ін., середній рівень ґрунтується на рекурсивному визначенні траєкторії у трьохвимірному просторі, тоді як високий рівень вже використовує розпізнавання дій об'єкту та їх прогнозування. У вказаній роботі було розширено низько-рівневі методи для обробки руху кількох об'єктів, також були використані явні моделі перекриття об'єктів і оцінено та виконано прогнозування траєкторій руху у трьохвимірному просторі.

Недоліком всіх вище зазначених робіт є те, що алгоритм візуального стеження за об'єктами під час перекриття виконується завжди, незалежно від того, є перекриття чи немає, навіть якщо візуальне стеження проводиться для одного рухомого об'єкта. Це вимагає більших затрат часу для розрахунків і досить складного алгоритму. Цю проблему було вирішено в праці [4]. Спочатку проводиться стеження за об'єктами у часовій області і тільки в разі виникнення ситуації перекриття, спрацьовує алгоритм стеження за об'єктами у просторовій області. Це значно спрощує алгоритм і підвищує продуктивність всієї системи в

цілому. Одним із найбільш суттєвих недоліків є те, що в даній роботі не були явно сформульовані умови втрати об'єкта з поля зору за рахунок перекриття іншими.

Постановка завдання. В статті формулюється задача прогнозування руху об'єкта при його зникненні з поля зору, тобто необхідно визначити залежність від часу таких основних параметрів руху, як швидкість і курс.

В загальному вигляді рух об'єкта та процес спостереження за об'єктом можна записати

$$\hat{X}(k+1/k) = A(k)\hat{X}(k/k) + u(k) \qquad \hat{Z}(k+1/k) = H(k+1)\hat{X}(k+1/k) \tag{1}$$

$\hat{X}(k+1/k)$ – вектор стану в момент часу k+1; $A(k)$ – матриця коефіцієнтів об'єкта; $u(k)$ – білий шум; $\hat{Z}(k+1/k)$ – вектор вимірювань екранних координат об'єкта; $H(k+1)$ – матриця спостережень.

Задача формулюється наступним чином: виконати прогноз параметрів об'єкта, що спостерігається, якщо він зник з поля зору, використовуючи дані, зібрані в ході нормального спостереження. Припустимо, що об'єкт, що спостерігається, задається оператором, як одна з точок, яка належить об'єкту.

Визначення характеристик об'єкта можна зробити за допомогою методу BLOB аналізу. Він передбачає визначення наступних геометричних характеристик об'єкта: площа, центр мас, периметр, орієнтація зображення щодо осей і т. д.

Відео представлено кадрами розміром 320×240 пікселів, чорнобіле, з частотою 25 кадрів за секунду.

Будуть застосовані наступні обмеження: розміри об'єкта не перевищують 48×48 пікселів; розміри об'єкта не менші ніж 4×4 пікселя; контрастність об'єкту порівняно з фоном не менше 5 %; максимальна швидкість переміщення центру об'єкта не більше 8 пікселів за один кадр.

Досліджуваний об'єкт спостерігається на протязі деякого періоду часу і для нього можливе обчислення екранних координат X_i, Y_i де X, Y – масиви екранних координат об'єкта i – номер кадру.

Для визначення координат об'єкта використовується метод BLOB аналізу. За його допомогою обчислюються координати X, Y, що відповідають координатам центру мас об'єкта.

В статті формулюється задача прогнозування руху об'єкта при його зникненні з поля зору, тобто необхідно визначити залежність основних параметрів руху від часу. Будемо вважати, що рух об'єкта у загальному випадку описується наступною системою рівнянь

$$\left.\begin{aligned} X_i &= X_{i-1} + V_i \sin\psi_i \\ Y_i &= Y_{i-1} + V_i \cos\psi_i \end{aligned}\right\}, \tag{1}$$

де X, Y – координати центру мас спостережуваного об'єкта; V – швидкість спостережуваного об'єкта; ψ – курс спостережуваного об'єкта; i – індекс, що означає поточний кадр; i-1 – попередній; $V_i \sin\psi_i$ і $V_i \cos\psi_i$ – компоненти швидкості по x і y відповідно.

Курс спостережуваного об'єкта визначається як кут між вектором швидкості V та віссю ординат Oy і підраховується за формулою $\psi_i = \tan^{-1}\dfrac{X_i - X_{i-1}}{Y_i - Y_{i-1}}$, що випливає з системи рівнянь (1). Відповідно і швидкість об'єкта можна підрахувати за формулою $V_i = \dfrac{X_i - X_{i-1}}{\sin\psi_i}$.

Очевидно, що для того щоб отримати модель руху об'єкта необхідно знайти такі основні параметри як V, ψ. У загальному випадку пропонується описувати їх зміну в часі за допомогою поліноміальної функції третього порядку

$$\psi = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \cdots, \; V = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 \cdots \tag{2), (3}$$

Можливі наступні частинні випадки:

– об’єкт рухається з постійною швидкістю і змінним курсом $(V = \text{const}, \psi = \text{var})$; – об’єкт рухається з постійним курсом і змінною швидкістю $(V = \text{var}, \psi = \text{const})$; – об’єкт рухається з змінним курсом і змінною швидкістю $(V = \text{var}, \psi = \text{var})$; – об’єкт рухається з постійним курсом і постійною швидкістю $(V = \text{const}, \psi = \text{const})$.

Задача формулюється як знаходження таких коефіцієнтів поліномів, що забезпечують мінімум квадрата похибки $S_V = \sum_{i=1}^{n}\left(V_i - \hat{V}_i\right)^2$ та $S_\psi = \sum_{i=1}^{n}\left(\psi V_i - \hat{\psi}_i\right)^2$.

Для цього будемо використовувати метод найменших квадратів, що добре себе зарекомендував для вирішення задач такого типу і є простим у реалізації.

Розробка алгоритму. Модель являється лінійною в коефіцієнтах і в матричній формі можна записати

$$\psi = TA \qquad\qquad V = TB$$

де ψ і V – $n\times 1$ вектор значень курсу та швидкості відповідно на кожному з кадрів видео; n –

кількість кадрів; A і B – $m\times 1$ вектор коефіцієнтів поліномів, що описують модель курсу та швидкості руху об’єкта; m – вказує на порядок поліному; T – $n\times m$ матриця степенів параметру полінома (це може бути час, номер кадру і т. ін.)

Для нашої задачі ми використовуємо поліном третього порядку, тому в матричній формі наша модель буде виглядати як

$$\begin{bmatrix}\psi_1\\ \psi_2\\ \vdots\\ \psi_n\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & i_1 & i_1^2 & i_n^3\\ 1 & i_2 & i_2^2 & i_n^3\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ 1 & i_n & i_n^2 & i_n^3\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}a_0\\ a_1\\ a_2\\ a_3\end{bmatrix}, \qquad \begin{bmatrix}V_1\\ V_2\\ \vdots\\ V_n\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}1 & i_1 & i_1^2 & i_n^3\\ 1 & i_2 & i_2^2 & i_n^3\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ 1 & i_n & i_n^2 & i_n^3\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}b_0\\ b_1\\ b_2\\ b_3\end{bmatrix}$$

Для того щоб обчислювати за вказаними формулами необхідно підраховувати поточні значення курсу та швидкості об’єкта на кожному кроці.

Очевидно, що коефіцієнти полінома можна порахувати як

$$A = \left(T^T T\right)^{-1} T^T \psi, \qquad\qquad B = \left(T^T T\right)^{-1} T^T V.$$

Блок-схема алгоритму прогнозування траєкторії руху об’єкта подана на рис. 1.

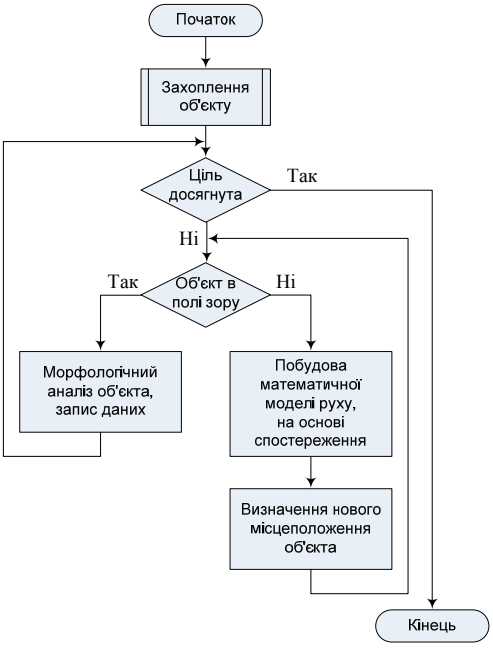


Рис. 1. Алгоритм прогнозування траєкторії рухомого об’єкта

Оскільки вказаний алгоритм був реалізований в програмному середовищі Matlab, для находження арктангенса було використано функцію atan2, так як вона на відміну від функції atan, область визначення якої обмежена проміжком $[-\pi/2, \pi/2]$, дозволяє знаходити арктангенс кута на всьому проміжку $[0, 2\pi]$.

Експериментальні результати. Вказаний алгоритм був реалізований в програмному середовищі Matlab 7,0. Для перевірки ефективності розробленого алгоритму траєкторія руху об'єкта моделювалася за формулами (2), (3), а потім відтворювалася додаванням випадкового шуму з нормальним розподіленням, результати досліджень наведено у таблиці. Коефіцієнти полінома для моделі були $a_0 = 1$, $a_1 = 0{,}001$, $a_2 = 0{,}0015$, $a_3 = 0{,}00002$; $b_0 = 1$; $b_1 = 0{,}03$; $b_2 = 0{,}009$; $b_3 = 0{,}0011$ з шумом, який моделюється за нормальним розподілом, з середньою величиною 0 і дисперсією 0,095

Також було реалізовано лістинг алгоритму і на 20 с імітувалося зникнення об'єкта з поля зору. Інформація про координати об'єкта була відсутньою 5 с. Далі об'єкт на 26 с знову з'являється в полі зору, тому ефективність алгоритму перевіряється як різниця між прогнозованими і дійсними координатами. Для вказаного випадку ця різниця склала по координаті X – 0,1691 пікселів і по координаті Y – 0,2072 пікселів, що при розмірах об'єкта буде складати не більше 2,5 %. Ефективність алгоритму можна визначити як середнє арифметичне суми відхилень прогнозованих значень від дійсних і складає для швидкості 3,9786*e*-023, а для курсу – 9,6414*e*-025.

Було проведено дослідження роботи алгоритму для всіх можливих моделей руху об'єкта, також було проведено дослідження величини похибки при неправильному підборі математичної моделі руху для прогнозування руху об'єкта.

Висновки

Запропонований алгоритм може бути використаний в задачах авто супроводу і дозволяє спрогнозувати положення об'єкта при його втраті з точністю не менше 97,5 % при умові вибору правильного порядку поліному, що описує зміну таких параметрів як швидкість і курс об'єкта. В разі вибору неправильного порядку поліному похибка значно зростає. Час необхідний для обробки даного алгоритму складає 0,3432 с.

Список літератури

1. *S. McKenna and S. Jabri et al.,* Tracking groups of people, Comput. Vis. Imag. Underst. 80 (2000) 42–56.

2. *W. Lu and Y. P. Tan*, A color histogram based people tracking system, in IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (IEEE Press, May 2001), pp. 137–140.

3. *R. Rosales and S. Sclaroff,* 3D trajectory recovery for tracking multiple objects and trajectory guided recognition of actions, in IEEE Int. Conf. Computer Vision and Pattern Recognition (IEEE Press, June 1999).

4. *Heungkyu Lee and June Kim* , PREDICTION BASED OCCLUDED MULTITARGET TRACKING USING SPATIO-TEMPORAL ATTENTION, International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence , Vol. 20, No. 6 (2006) 925–938 World Scientific Publishing Company

5. *S.-W. Lee, J. Kang, J. Shin and J. Paik*, Hierarchical active shape model with motion prediction for real-time tracking of non-rigid objects

УДК 681.5(045)

А.К. Аблесимов, профессор, Р.Ю. Красавчиков, С.В. Крупа
(Национальный авиационный университет, Украина)

ПРИНЦИПЫ ЭКСПЛУТАЦИОННЫХ РЕГУЛИРОВОК ЗАМКНУТЫХ САУ

Рассмотрены способы регулировки по заданным значениям косвенных показателей качества систем автоматического управления

Вступление. Основная задача эксплуатационных регулировок замкнутых систем автоматического управления (САУ) состоит в том, чтобы сформировать стабилизирующий момент, наиболее полно компенсирующий все внешние возмущения, действующие на объект управления. Вместе с тем случайный характер изменения суммарного возмущающего момента практически исключает возможность его полной компенсации при какой-либо неизменной регулировке. Поэтому эксплуатационные регулировки должны обеспечивать выбор такого сочетания регулируемых параметров, при которых действующие на систему возмущения компенсировались бы стабилизирующим моментом «в среднем», т.е. так, чтобы среднее (среднеквадратическое или среднеамплитудное) значение ошибки стабилизации не выходило за пределы заданной техническими условиями точности.

Постановка задачи. Известно, что момент $M_{\text{с}}$, стабилизирующий объект управления при действии на него внешних возмущений $M_{y\Sigma}$, формируется по двум каналам: каналу датчика отклонения объекта управления и каналу датчика скорости отклонения объекта управления. Структурная схема САУ с разделенными каналами формирования моментов от каждого из управляющих сигналов приведена на рис.1.

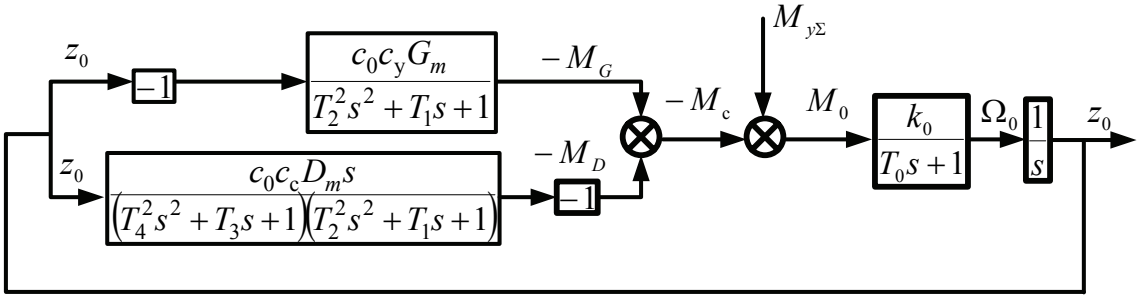


Рис.1 Структурная схема типовой САУ с разделением моментов, действующих на объект управления

Здесь G_m - конструктивная жесткость системы; D_m - конструктивное демпфирование; $0 < c_{\text{у}} < 1$, $0 < c_{\text{с}} < 1$, $0 < c_0 < 1$ - передаточные коэффициенты потенциометров контура суммирования, зависящие от положения их подвижных контактов.

Контуры суммирования (КС) предназначены для суммирования сигналов, пропорциональных отклонениям $U_{\text{у}}$ и скоростям отклонения $U_{\text{с}}$ объекта управления. На практике они реализуются как на резисторах, так и на суммирующих усилителях. Структурная схема контура представлена на рис.2.

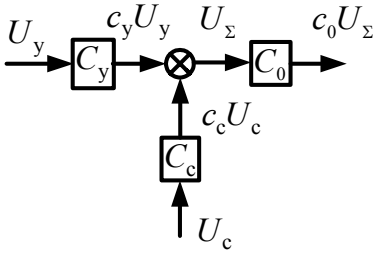


Рис.2 Структурная схема КС

Анализ структурной схемы показывает, что стабилизирующий момент можно представить в виде векторной суммы двух составляющих

$$\overline{M}_{\text{с}} = \overline{M}_G + \overline{M}_D,$$

где $M_G = c_0 c_{\text{у}} G_m z_0 \equiv c_0 c_{\text{у}} U_{\text{у}}$ - составляющая, пропорциональная жесткости системы; $M_D = c_0 c_{\text{с}} D_m s z_0 \equiv c_0 c_{\text{с}} U_{\text{с}}$ - составляющая, пропорциональная демпфированию системы.

Таким образом, изменяя с помощью потенциометров c_0 ,$c_{\text{у}}$,$c_{\text{с}}$ контура суммирования сигналы датчиков, можно изменять момент стабилизации, т.е. настраивать (регулировать) систему.

В принципе при настройке можно задействовать все три потенциометра. Однако с целью упрощения технологии настройки в контурах суммирования оставляют не более двух регулируемых потенциометров. Наиболее часто на практике встречаются контуры $c_0 - c_{\text{с}}$, $c_0 - c_{\text{у}}$, $c_{\text{у}} - c_{\text{с}}$. В зависимости от схемы контура суммирования задачу регулировки системы в принципе можно решить несколькими способами.

Решение задачи. Возможности каждого из контуров по формированию вектора стабилизирующего момента в зависимости от изменения регулируемых параметров подробно рассмотрены в [2].

Так контур суммирования $c_{\text{у}} - c_{\text{с}}$ обеспечивает наиболее широкий диапазон регулировки амплитуды $M_{\text{с}}$ и фазы ψ стабилизирующего момента.

$$M_{\text{с}} = \sqrt{c_{\text{у}}^2 M_{Gm}^2 + c_{\text{с}}^2 M_{Dm}^2}; \quad \psi = \operatorname{arctg} \frac{c_{\text{с}} M_{Dm}}{c_{\text{у}} M_{Gm}}.$$

Его амплитуду можно изменять от нуля (при $c_{\text{у}} = 0, c_{\text{с}} = 0$) до максимального значения $M_{\text{С}m}$ (при $c_{\text{у}} = 1, c_{\text{с}} = 1$), а фазовый угол ψ - от нуля (при $c_{\text{у}} \neq 0, c_{\text{с}} = 0$) до 90^0 (при $c_{\text{у}} = 0, c_{\text{с}} \neq 0$).

Временные диаграммы контура приведены на рис.3. Здесь приняты обозначения: $M_{y\Sigma}$ - суммарный возмущающий момент; $M_{\text{с}}$ - стабилизирующий момент; M_0 - результирующий момент на объекте управления.

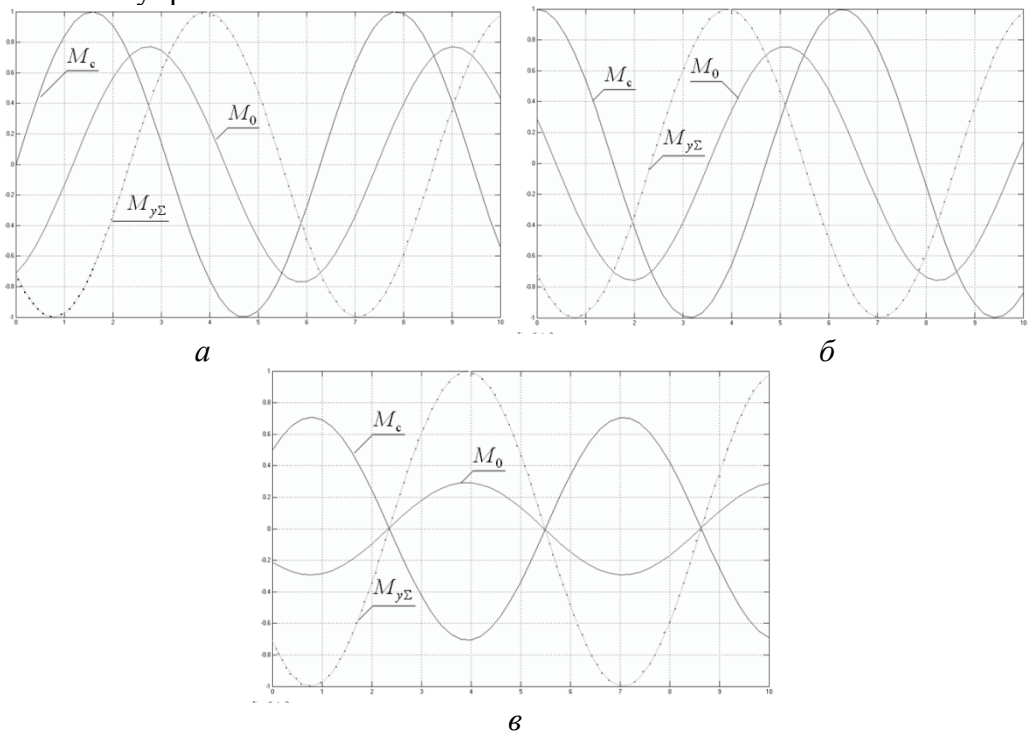


Рис.3 Временные диаграммы контура $c_{\text{у}} - c_{\text{с}}$:

а - $c_{\text{у}} = 1, c_{\text{с}} = 0$; *б* - $c_{\text{у}} = 0, c_{\text{с}} = 1$; *в* - $c_{\text{у}} = 0{,}5, c_{\text{с}} = 0{,}5$

Возможности контуров $c_{\text{у}} - c_0$, $c_{\text{с}} - c_0$ несколько ограничены. Первый позволяет изменять амплитуду стабилизирующего момента $M_{\text{с}} = c_0 \sqrt{c_{\text{у}}^2 M_{Gm}^2 + M_{Dm}^2}$ в диапазоне от $M_{\text{с}} = 0$ при $c_0 = 0$ до максимального значения $M_{\text{с}m}$ при $c_{\text{у}} = 1$, $c_0 = 1$. Фаза

стабилизирующего момента $\psi = \operatorname{arctg}\dfrac{M_{Dm}}{c_к M_{Gm}}$ изменяется от значения ψ_m при $c_y = 1$ до $\psi = 90^0$ при $c_c = 0$. Второй - варьировать амплитудой стабилизирующего момента $M_c = c_0\sqrt{M_{Gm}^2 + c_c^2 M_{Dm}^2}$ от нуля при $c_0 = 0$ до значения M_{cm} при $c_c = 1$, $c_0 = 1$. Диапазон регулирования фазы $\psi = \operatorname{arctg}\dfrac{c_c M_{Dm}}{M_{Gm}}$ равен 0 - ψ_m при $c_c = 0 - 1$ соответственно.

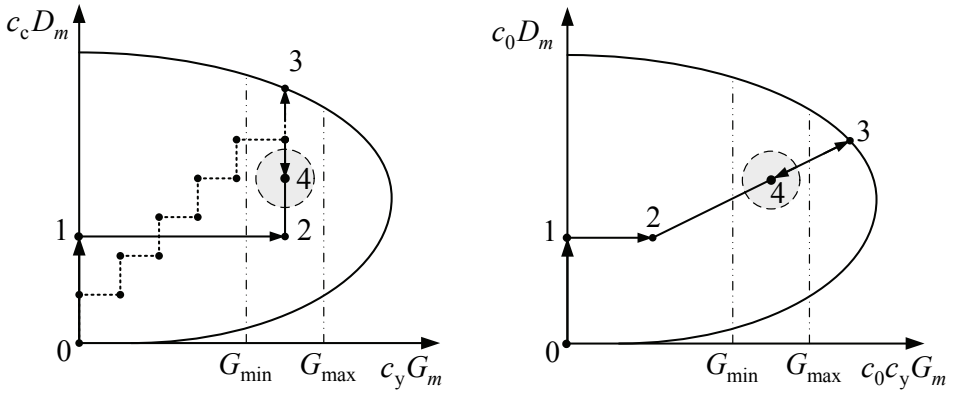
Следует обратить внимание на контур суммирования с дифференциатором сигнала отклонения, обеспечивающий возможность одновременной регулировки амплитуды и фазы стабилизирующего момента с помощью потенциометра c_0

$$M_c = \sqrt{c_0^2 M_{Gm}^2 + (1 + c_0)^2 M_{Dm}^2}; \quad \psi = \operatorname{arctg}\frac{(1 + c_0) M_{Dm}}{c_0 M_{Gm}}.$$

Данный контур c_0 позволяет изменять амплитуду стабилизирующего момента от значения $M_c = M_{Dm}$ при $c_0 = 0$ до значения $M_c = M_{cm}$ при $c_0 = 1$. При этом диапазон изменения фазы составит $90^0 - \psi_m$. По своим характеристикам контур c_0 во многом аналогичен контуру $c_y - c_0$.

Рассмотренные способы настройки полностью согласуются с методикой получения области желаемых регулировок по заданным значениям косвенных показателей качества САУ. Основными контролируемыми параметрами систем будем рассматривать жесткость и демпфирование. Методы их определения задаются в каждой отрасли разработчиком систем и излагаются в инструкциях по эксплуатации.

Регулировка системы, имеющей в своем составе контур суммирования $c_y - c_c$, может выполняться двумя способами. Их иллюстрация приведена на рис.4а. На рисунке показана область устойчивости типовой системы в координатах регулируемых параметров – жесткости и демпфировании. Внутри области выделена зона оптимальных регулировок. Траектория перемещения рабочей точки внутри области устойчивости при первом способе регулировки показана сплошными линиями, при втором – пунктиром.



а *б*

Рис.4 Способы эксплуатационных регулировок:
а – контур $c_y - c_c$; б – контур $c_y - c_0$

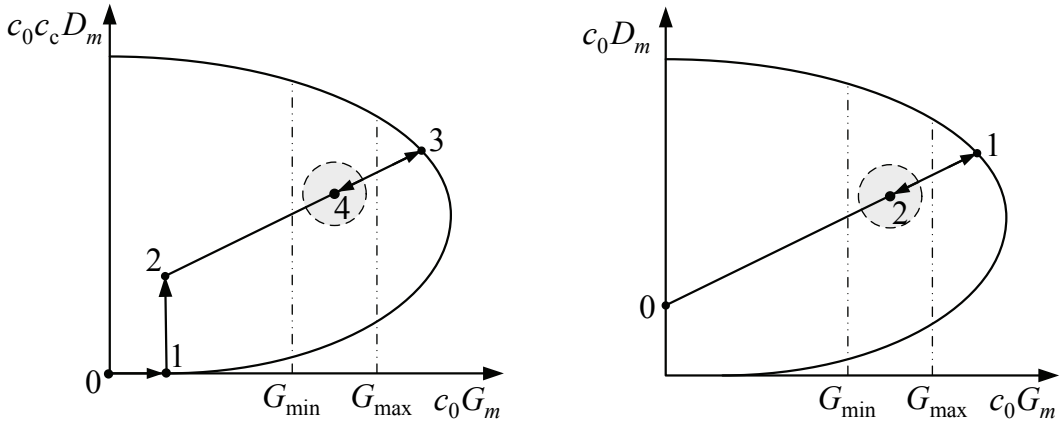
В соответствии с первым способом необходимо при включенной системе вывести регулируемые потенциометры c_y; c_c в нулевые положения. Это будет соответствовать нулевой рабочей точке области устойчивости. Потенциометром c_c устанавливается произвольное значение демпфирования $D = c_c D_m$ - точка 1 на рисунке. Перемещением подвижного контакта потенциометра c_y необходимо добиться значения жесткости $G_{max} > c_y G_m > G_{min}$, удовлетворяющего требованиям технических условий – точка 2 в области устойчивости. Увеличивая демпфирование системы с помощью потенциометра c_c,

добиваемся возникновения незатухающих высокочастотных колебаний объекта управления-система находится на границе устойчивости – точка 3. Остается переместить подвижный контакт потенциометра c_c в обратном направлении до прекращения вибраций объекта управления. С определенной вероятностью имеем рабочую точку 4 в зоне оптимальных регулировок. При необходимости возможна корректировка жесткости и демпфирования.

Второй способ можно характеризовать как метод последовательных приближений. Потенциометрами c_y; c_c, выведенными изначально в нулевые положения, поочередно обеспечиваем небольшие приращения демпфирования и жесткости. Добиваемся возникновения в системе высокочастотных незатухающих колебаний – точка 3 (рис.4а). Устраняем вибрации, перемещая подвижный контакт потенциометра c_c в обратном направлении.

Способ настройки САУ с контуром суммирования $c_y - c_0$ показан на рис.4б. Исходная операция – обнуление потенциометров $c_y = 0$; $c_0 = 0$, что соответствует точке 0. С помощью потенциометра c_0 устанавливается некоторое произвольное значение демпфирования – точка 1 в области устойчивости. Увеличением сигнала потенциометра c_y устанавливается такая жесткость – точка 2, при которой переходные процессы соответствуют требованиям технических условий. Перемещением подвижного контакта потенциометра c_0 изменяем степень демпфирования, добиваясь выхода системы на верхнюю границу области устойчивости – точка 3. Снимаем вибрации в системе уменьшением сигнала потенциометра c_0. Проверяем и корректируем параметры системы.

Логику эксплуатационных регулировок с помощью контура $c_c - c_0$ и контура c_0 иллюстрирует рис.5.



а *б*

Рис.5 Способы эксплуатационных регулировок:
а – контур $c_c - c_0$; б – контур c_0

Выводы:

- Требуемое качество функционирования замкнутых САУ может быть обеспечено путем варьирования их основных параметров – жесткости и демпфирования.
- Задача настройки и регулировки систем в принципе решается изменением момента стабилизации с помощью потенциометров контуров суммирования.
- Рассмотренные способы эксплутационных регулировок просты и не требуют высокой квалификации операторов.

Список литературы

1. *Аблесімов О.К., Александров Є.Є., Александрова І.Є.* Автоматичне керування рухомими об'єктами й технологічними процесами. - Харків: НТУ "ХПІ", 2008. - 443с.

2. *Аблесімов О.К., Пахомов С.В., Погонець П.В*. Контури підсумовування систем автоматичного управління. Електроніка та системи управління. – 2011. – №1(27).

3. *Аблесимов А.К., Сенькович А.А.* Анализ влияния конструктивных параметров на устойчивость СУ методом D-разбиения. Електроніка та системи управління. – 2009. – №2(20).

УДК 531.383-11

Ш.І. Аскеров
(Національний авіаційний університет, Україна)

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Розглянуто проблему автоматизованого проектування пілотажно-навігаційних комплексів безпілотних літальних апаратів на основі використання мікроелектромеханічних систем. Обґрунтовано вибір структури таких комплексів та запропоновано методологію їх побудови.

Пілотажно-навігаційний комплекс (ПНК) безпілотних літальних апаратів (БПЛА) являє собою комплекс апаратних і програмних засобів, що включає бортову і наземну апаратури керування (БАК й НАК), взаємодіючих через радіоканал зв'язку. Вона забезпечує керування двигуном і кермовими приводами для всіх режимів польоту БПЛА. Авіоніка управляє також роботою корисного навантаження, виконуючи такі функції: стабілізація апаратури спостереження, синхронізація за часом і координатами БПЛА та місця зйомки спрацьовування затвора фотоапарата, спрацьовування системи порятунку й т. ін. [1].

В основі роботи будь-якої системи автоматичного керування (САК) лежить послідовність дій: вимір стану системи, порівняння поточного стану з бажаним, формування впливу для компенсації відхилення поточного стану від бажаного. Визначальним в цій послідовності є «вимір стану системи». Найбільш повно ця функція реалізується за допомогою інтегрованої навігаційної системи, що складається з безплатформеної інерціальної навігаційної системи (БІНС), яка комплексується із системою повітряних сигналів (датчики висоти й швидкості), тривісним магнітометром і системою GPS (ГЛОНАСС).

Інтегрована навігаційна система складається із трьох систем навігації: інерціальної, магнітометричної та супутникової, кожна з яких має свої принципи роботи і свої частоти відновлення інформації.

Загальну структурну схему комплексу навігації БПЛА наведено на рис. 1.

Навігаційний комплекс БПЛА представляє собою комплекс бортового радіоелектронного обладнання склад та розміщення якого наведено на рис. 2.

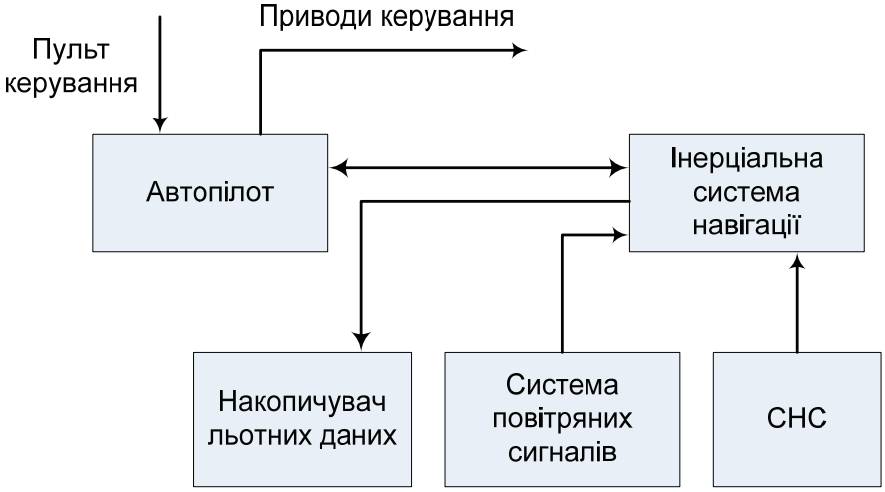


Рис. 1. Загальна структурна схема комплексу навігації БПЛА

Модулем, що визначає кутові координати БПЛА, є БІНС на мікрогіроскопах, яка має значний дрейф, внаслідок якого кутові параметри БПЛА визначаються з великими похибками. Поліпшення результатів виміру кутових параметрів забезпечується застосуванням калманівскої фільтрації й комплексуванням із магнітним компасом (Мкс) і супутниковою навігаційною системою (СНС).

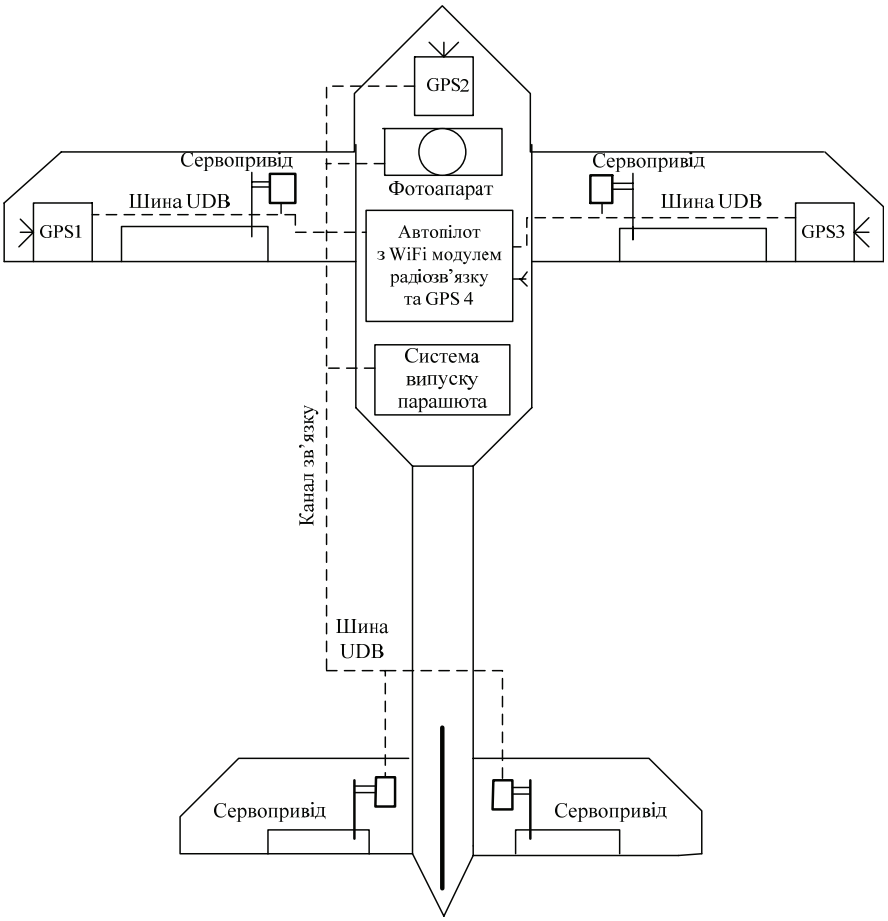


Рис. 2. Склад та схема розміщення бортового радіоелектронного обладнання

Модуль автопілоту включає мікроконтролер (МК) або мікроконтролери, які виконують операції порівняння поточного стану із заданим та формування керуючого впливу у вигляді сигналів широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) відповідно до прийнятих законів керування для компенсації відхилення поточного стану від заданого.

У пам'ять автопілота заносять контрольні точки проходження маршруту по цифровій карті (поворотні пункти маршруту), кожна з яких характеризується координатами, висотою й швидкістю польоту.

Функції накопичення польотної інформації й телеметрії також покладено на автопілот. По каналу телеметрії передається обсяг інформації, необхідний для керування БПЛА, а також для спостереження за якістю виконання польотного завдання.

Подальшого поліпшення точності БІНС можна досягти його комплексуванням з пірогоризонтом і триосьовим магнітометром (рис. 3).

Важливою особливістю пірогоризонта є те, що точність визначення кутів крену й тангажу прямо залежить від різниці температур земля/зеніт. Нехай розрізнювальна здатність вимірювальної системи пірометрів за температурою становить 0,1 градуса Цельсія. Тоді у разі різниці температур земля/зеніт в 40 градусів Цельсія точність визначення кутів крену/тангажу складе 180/(40/0,1) – 0,45 (або + 0,225) градуса. У разі різниць температур земля/зеніт у два градуси Цельсія, яка може бути взимку, у хмарність, над сніговим настом, точність обчислення кутів складе вже ± 4,5 градуси. Таким чином, математичний апарат, що обробляє сигнали пірометрів, має бути адаптивним, забезпечуючи найкращі умови фільтрації й виправлення показань датчиків за поточних і погодних умов, які змінюються. Погодні умови з достатньою точністю можна визначити за різницею показань додаткової вертикальної пари пірометрів при стартовому або безперервному калібруванні. Для нейтралізації дії сторонніх засвіток і перешкод добре зарекомендував себе фільтр Калмана, що комплексує показання пірогоризонта й триосьового магнітного датчика. Всі зміни, що

фіксуються пірогоризонтом, піддаються перевірці через магнітометр. Тільки у випадку фіксування еквівалентної зміни магнітометром, зміна, зафіксована пірометром, вважається дійсною. Фільтр Калмана, на відміну від інших видів фільтрації, не підсумовує помилки пірогоризонта й магнітометра, а лише використовує магнітометр як перевірочний датчик.

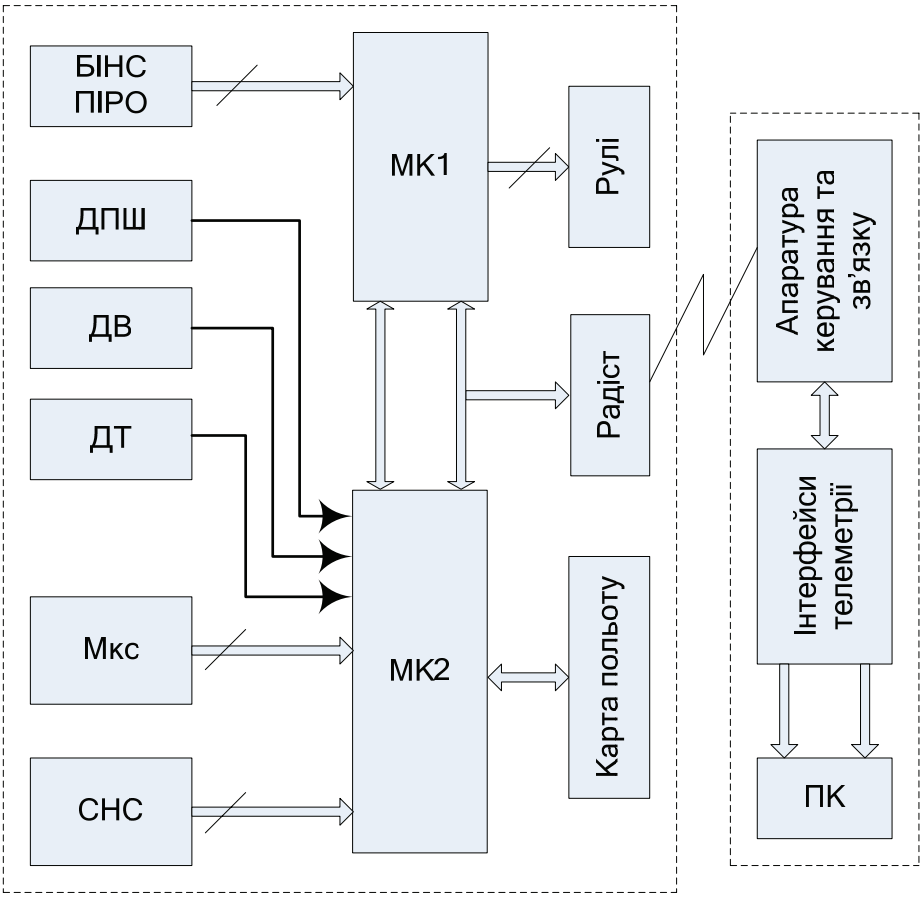


Рис. 3. Структурна схема ПНК БПЛА: ДПШ – датчик повітряної швидкості; ДВ – датчик висоти; ДТ – датчик температури; ПК – персональний комп'ютер

З огляду на це, припустимі крени БПЛА не мають перевищувати 30 градусів (глибокий віраж), працездатність пірогоризонта в діапазоні 0...30 градусів є достатньою умовою для забезпечення стабілізації БПЛА в польоті.

Отримані результати дослідження дозволяють зробити висновок про можливості застосування пірогоризонта у складі системи стабілізації БПЛА. За умови компенсації нелінійності пірометра й фільтрації його вихідного сигналу стандартними методами помилка пірогоризонта не перевищує одного градуса в діапазоні припустимих кренів БПЛА 0...30 градусів і погодних умов, мінімально придатних для проведення аерофотознімання. У разі поліпшення погодних умов помилка визначення кутів буде зменшуватися.

За результатами аналізів можна зробити висновок, що на борту БПЛА доцільно використовувати БІНС, що побудована на трьох акселерометрах і трьох вимірниках кутової швидкості (найбільш перспективними чутливими елементами БІНС цього класу є лазерні кільцеві гіроскопи). Вартість таких датчиків менша за вартість прецизійних триступеневих гіроскопічних вимірників кутових положень, проте з метою додаткового зменшення вартості навігаційного обладнання необхідно оцінити потрібні точносні характеристики та обрати датчики первісної інформації, враховуючи ті обставини, що БІНС працює в комплексі зі супутниковою системою навігації і підтримує інформаційне забезпечення БПЛА тільки в короткі проміжки часу.

З урахуванням того, що БІНС працює у складі комплексної інерціально-супутникової системи навігації необхідно обрати спільну навігаційну систему координат (СК) й для обраної СК розробити алгоритми розв'язку кінематичних рівнянь числення навігаційних

параметрів. З урахуванням того, що СНС частіше за все працює в географічній системі координат алгоритми роботи БІНС також слід формувати в цій системі координат.

Автоматизоване проектування ПНК БПЛА полягає у оптимальному виборі комплексу технічних засобів, які використовуються, та побудові алгоритму їх комплексування.

З метою зменшення габаритів та ваги у ПНК БПЛА використовуються мікромеханічні акселерометри (ММА) і гіроскопи (ММГ), які належать до класу інерційних вимірників параметрів лінійних і кутових переміщень БПЛА, виконаних за технологіями МЕМС (мікроелектромеханічних систем) і утворюють одну з підмножин мікросистемної техніки. Основною відмінною ознакою мікромеханічних чутливих елементів (ЧЕ) від ЧЕ інерційних мікродатчиків інших типів (п'єзогіроскопи, мікроакселерометри на поверхнево-акустичних хвилях і ін.) є наявність механічно рухливих елементів [2].

Основними недоліками приладів даного типу є: низька точність виміру, нестабільність масштабного коефіцієнту, зашумленість вихідного сигналу. Проте ці недоліки, по завіреннях розробників, в найближчих 2-3 роки будуть істотно покращені, а конструктивного виконання у вигляді мікрочіпів переводить їх в розряд компонентів електронних схем з характерними для них технологіями проектування і виготовлення.

Проте, не дивлячись на меншу порівняно з іншими гіроскопами точність, мікромеханічні гіроскопи мають велику кількість унікальних переваг, що робить їх незамінними в багатьох випадках.

Перш за все – це малі габарити і маса, у багато разів менші, ніж в будь-якого іншого гіроскопа. Датчики кутової швидкості типа ADXRS150 і ADXRS300 фірми Analog Devices випускаються в мініатюрних корпусах розміром 7×7×3 мм, вага такого приладу не перевищує 0,5 г. Рекордно низькі ваго-габаритні показники чутливих елементів, що забезпечуються мікромеханічною технологією МЕМС, поєднуються з інтеграцією всіх необхідних електронних схем обробки сигналу в одній мікросхемі.

Найважливіший для портативних автономних пристроїв параметр – це енергоспоживання. Гіроскопи ADXRS150 і ADXRS 300 споживають струм величиною 5 мА при номінальній напрузі живлення 5 В. Цей параметр в ММГ сильно відрізняється в меншу сторону в порівнянні з іншими гіроскопами.

Низька вартість датчиків кутової швидкості (що не перевищує десятків доларів) також ставить їх у відособлене положення серед інших гіроскопів.

Крім того, гіроскопи відрізняються високою надійністю. У даних приладах для підвищення надійності (вперше в комерційно доступних гіроскопах даного класу) передбачена вбудована система повного механічного і електронного автотестування, яка функціонує без необхідності відключення датчиків. Патентовані рішення, які втілені в технології МЕМС, забезпечують екстраординарну стійкість датчиків до ударів і вібрації. Наприклад, гіроскопи ADXRS видають стабільний вихідний сигнал у присутності механічних шумових коливань з величиною прискорення до 2000 g в широкому діапазоні частот.

Висновки

Запропоновано структурну схему побудови ПНК БПЛА. Обгрунтовано використання датчиків, виконаних за МЕМС технологіями.

Список літератури

1. *Захарін Ф. М.* Алгоритмічне забезпечення інерціально-супутникових систем навігації: монографія / Ф. М. Захарін, В. М. Синєглазов, М. К. Філяшкін. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2011. – 320 с.

2. *Распопов В. Я.* Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007. – 400 с.

УДК 621.316.925.4(045)

О.П. Барановська
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ТРЕНАЖЕРА ОПЕРАТОРІВ СЛУЖБ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ

У роботі розглянуті питання побудови функціонального тренажера операторів служб релейного захисту, які використовують у своїй роботі мікропроцесорні системи релейного захисту а саме: МРЗС-05, МРЗС-05М. Навчання на функціональному тренажері виконується в 2-х режимах: електронного підручника та інтерактивного. У процесі навчання застосовано адаптивний метод, який дозволяє формувати завдання на кожний урок.

Впровадження ринкових відносин в електроенергетиці України виконується з дотриманням дуже важливого і характерного принципи, сутність якого полягає в збереженні й в подальшому вдосконалюванні єдиного централізованого диспетчерського керування джерелами, що генерують, магістральними й розподільними електромережами. Забезпечення оперативної керованості процесами передачі, розподілу й споживання електроенергії у зв'язку з появою генеруючих та енергопостачальних компаній, а також не залежних виробників вимагає застосування нових підходів і рішень до розвитку диспетчерської інфраструктури.

Автоматизована система керування енергетичною інфраструктурою аеропортів призначена для технологічного моніторингу й оперативного керування процесами передачі, розподілу й споживання електричної потужності й енергії в розподільній мережі аеропорту. При цьому створення системи спрямоване на: надання диспетчерській службі аеропорту сучасної, зручної й прозорої технології керування електричної мережею; забезпечення оперативної служби, керівництва, а також структурних підрозділів своєчасною поточною, ретроспективною і перспективною інформацією щодо стану і введення існуючих режимів споживання в припустиму область керування; моніторинг (контроль, оцінка і аналіз) поточних режимів роботи електричної мережі з обліком лімітів і оперативних обмежень; розрахунок, аналіз і оптимізація сталих електричних режимів, розрахунок струмів короткого замикання (КЗ) і вибір релейного захисту і автоматики; визначення режимів споживання і компенсації реактивної потужності; розрахунок і аналіз технологічних і комерційних втрат електроенергії в електричних мережах; розрахунок балансів потужності і електроенергії з економічною фінансовою оцінкою складових балансу; формування диспетчерських відомостей, журналів, звітів, оперативних зведень та інших документів.

Електромережа аеропорту є ієрархічно розподіленою автоматизованою системою оперативного управління і її дія розповсюджується на: керування власними об'єктами, контроль стану фізичної межі з магістральними мережами електроенергетичних систем; контроль і керування електричними приєднаннями підстанцій, а також здійснюють диспетчерське керування закріпленими підстанціями; керування в цілому для замикання контуру контролю і керування процесами передачі, розподілу і споживання електричної енергії в мережі аеропорту.

Головна мета керування енергетичної інфраструктурою аеропорту полягає в забезпеченні надійності і безперебійності процесів трансформації, розподілу і споживання електроенергії з підтримкою необхідних значень показників якості електроенергії, оптимізації втрат у силових трансформатора, мінімізації витрат на власні і господарські потреби аеропорту, компенсації втрат активної потужності на прийом реактивної енергії, а також реалізації оптимальних тарифних систем регулювання споживання електроенергії.

У якості основного елемента системи релейного захисту використовується блок мікропроцесорного релейного захисту МРЗС-05, якій забезпечує виконання наступних функцій релейного захисту: двухступенчатий максимальний струмовий захист, захист від міжвазних коротких замикань, захист від на землю за струмом нульової послідовності,

включенняі відключення вимикача, автоматичним прискорення максимального сумового захисту, однократне автоматичне повторне включення.

Функціональний тренажер операторів служб релейного захисту дозволяє організувати навчання у службах релейного захисту, формувати навички і уміння, які необхідні під час роботи. Його основні властивості наступні:

- забезпечення імітації окремих фрагментів діяльності у реальних умовах;
- забезпечення можливості відпрацювання реальних дій слухача;
- забезпечення можливості об'єктивного контролю результатів всіх відпрацьованих на тренажері операцій.

Створення функціонального тренажеру вимагає:

- наявність алгоритму імітованої послідовності операцій і чітко визначених параметрів з якими проходить робота;
- наявність програмного імітатора МРЗС-05, який імітує виконання вище вказаних операцій у реальних умовах;
- забезпечення адекватності реакцій імітованого обладнання надії слухача.

У склад функціонального тренажера повинно входити автоматизоване робоче місце (АРМ) викладача (інструктора) і 6 АРМ слухачів на базі локальної комп'ютерної мережі.

Функціональна схема функціонального тренажера представлена на рис. 1.

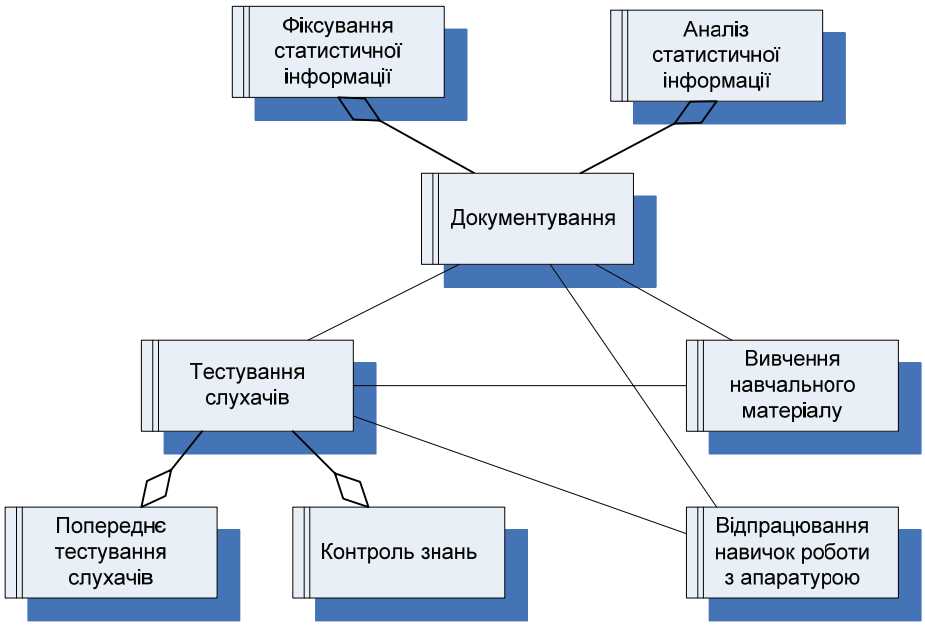


Рис. 1 Функціональна схема

Основними функціональними вимогами, які пред'являються до функціонального тренажера є:

- попереднє та поточне тестування слухачів;
- можливість вивчання навчального матеріалу з використанням електронних підручників (з віртуальним представленням навчального матеріалу);
- інтерактивна обробка дій при роботі з МРЗС-05 згідно інструкції з експлуатації;
- автоматизований контроль ступеню готовності слухача в процесі навчання;
- фіксування статистичної інформації відносно процесу навчання для кожного слухача.

Автоматизоване робоче місце викладача повинно забезпечувати:

- контроль та управління процесом навчання кожного з слухачів;
- фіксування статистичної інформації процесу навчання.

Автоматизовані робочі місця слухачів повинні забезпечувати

- роботу з підсистемою, яка призначена для інтерактивного відпрацювання дій з МРЗС-05 згідно інструкції з експлуатації;

- роботу з електронними підручниками;
- вивчання інструкцій і установ з експлуатації МРЗС-05.

У відповідності до функціональних вимог для реалізації функціонального тренажеру необхідно розробити наступні підсистеми: навчання, контролю і тестування, статистики, аутентифікації, мережевої взаємодії. Структурна схема функціонального тренажера наведено на рис. 2.

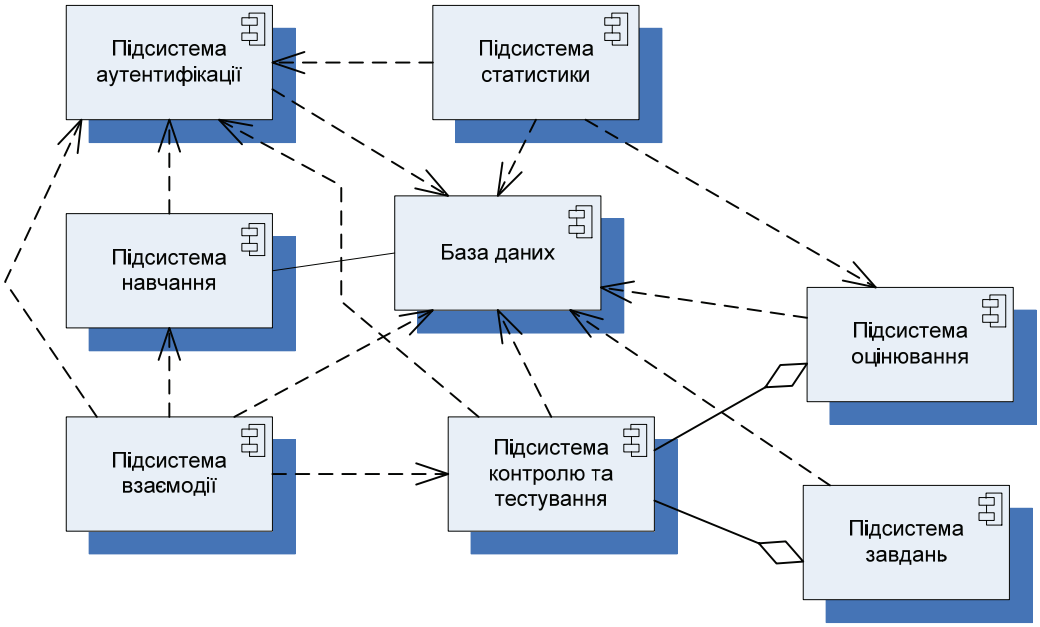


Рис. 2 Структурна схема

Підсистема навчання реалізує такі функціональні вимоги: вивчання навчального матеріалу, відпрацювання навичок роботи з МРЗС.

Підсистема контролю і тестування реалізує функціональну вимогу тестування слухачів. У склад даної підсистеми входять наступні:

- підсистема завдань;
- підсистема оцінки.

Підсистема статистики реалізує функціональну вимогу документування.

Для організації роботи декількох слухачів необхідно реалізувати:

- підсистему аутентифікації;
- підсистему мережевої взаємодії.

Для кожного слухача функціональний тренажер зберігає обліковий запис, який має унікальне ім’я та пароль. Аутентифікація слухача при запуску функціонального тренажера відбувається за допомогою перевірки правильності вводу імені облікового запису і паролю. Це забезпечує можливість роботи з функціональним тренажером тільки слухачі, для яких створено облікові записи.

Для кожного користувача функціонального тренажера задана одна із ролей: слухач або викладач. Якщо користувачу задана роль слухача, то він має обмежені можливості роботи з функціональним тренажером. Якщо користувачу задана роль викладача, то к доповненню до прав слухача він має права на налаштування функціонального тренажеру.

Слухач має можливість:

- вивчати теоретичний матеріал з допомогою електронних підручників;
- проходити контрольне тестування;
- переглядати свою статистику.

Викладач має можливість:

- виконувати дії, які дозволені для ролі слухача;
- налаштовувати облікові записи слухачів;

- назначати ролі;
- налаштовувати структуру електронних підручників;
- переглядати статистику кожного слухача;
- виконувати налаштування роботи функціонального тренажеру.

Підсистема контролю та тестування забезпечує контроль знань слухачів шляхом формування контрольних питань, ситуаційних завдань та імітування ситуацій, а також обробку результатів тестування і визначення оцінки виконання тестових завдань. За проведення тестування відповідає підсистема завдань, за обробку результатів і визначення оцінок відповідає підсистема оцінки.

Підсистема статистики фіксує всі події які відбуваються в процесу функціонування функціонального тренажеру і формують звіти за подіями які виникли. Дана підсистема реєструє моменти початку і завершення роботи з програмою, початку і завершення роботи з електронними підручниками, початку і завершення тестування. Виходячи з зареєстрованих подій формуються та відображаються звіти. Підсистема мережевої взаємодії забезпечує взаємодію екземплярів програми через мережу. Дана підсистема інформує програму, яка запущена на комп'ютері викладача про події, які реєструються для слухачів, відображає у реальному часі події, які відносяться до слухачів, а саме: Роботу з електронним підручником, процес тестування.

База даних забезпечує зберігання даних функціональним тренажерам, а також обмін даними між підсистемами.

Висновки

Використання запропонованого функціонального тренажеру для операторів служб релейного захисту дозволить підвищити ефективність роботи електромереж.

Список літератури

1. *Рэндал Л. Шварц, Брайан Д. Фой и Том Феникс* Perl: изучаем глубже. – М.: O'Reilly, «Символ», 20007. – ISBN 978-5-93286-093-9

2. *Линкольн Д. Штайн,* Разработка сетевых программ на Perl: Пер. с англ. – М.: 2001. – 752 стр. с ил., Издательства «Вильямс».

3. *Кузнецов Максим, Симдянов Игорь* MySQL 5. В подлинникею – Спб.: «БХВ-Петербург», 2006. – С. 1024. – ISBN 5-94157-928-4

4. *Поль Дюбуа* MySQL = MySQL. – 3-е изд. – М.: «Вильямс», 2006. – С. 1168. – ISBN 0-672-32673-6

5. *Эви Немет, гарат Снайдер, Трент Хейн*. Руководство администратора Linux. Установка и настройка = Linux Administration Handbook. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 1072 с. – ISBN 0-13-148004-9

6. Официальный сайт Фреймворка Ext http://extjs.com|

УДК 121.548.5

В.М. Синєглазов, д.т.н., Б.І. Дмитренко, А.В. Кульбака
(Національний авіаційний університет, Україна)

АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглянуто проблему автоматизованого проектування вітроенергетичних установок. Обґрунтовано доцільність застосування вітроколіс з вертикальною віссю обертання. В якості вітроколеса запропоновано ротор Дарьʻє, для якого наведено методику його розрахунку.

У найбільш розвинених країнах: США, Німеччини, Франції, Данії, Голландії та інших - в останні десятиліття швидкими темпами розвивається енергетика з використанням альтернативних поновлюваних джерел енергії. До них відносяться, зокрема, безпосередньо сонячна і вітрова. В енергобалансі деяких із згаданих держав частка поновлюваних джерел енергії вже зараз істотна, досягаючи 10-15%, а в подальшому планується досягнення 30%-вої частки альтернативної енергетики у світовому енергобалансі. Велика роль у цьому відводиться вітроенергетиці. Розробка та виготовлення вітроенергетичних установок для України є дуже суттєвою справою і актуальною задачею для розробників.

Необхідність розвитку вітроенергетики в Україні обумовлена наступними причинами: дефіцит органічного палива, зростаюча вартість енергоносіїв, триваюче погіршення екологічної обстановки [1]. Крім того, можливість використання ВЕУ (вітроенергетичних установок) як автономних джерел енергії для споживачів, віддалених від ТЕС, і, як результат, корисний соціальний та економічний ефект від енергозабезпечення невеликих фермерських та інших сільських господарств є важливими з точки зору що склалася в даний час економічної ситуації в Україні.

Найважливіша особливість вітрових потоків - їх нестабільність, що включає в себе сезонну мінливість, обумовлену законом обертання Землі навколо Сонця, і добову, пов'язану з обертанням Землі навколо своєї осі. Окрім сезонних і добових змін величини та напрямку швидкості вітру виділяють і інші коливання – мікрометеорологічні, синоптичні, глобальні та інші[2].

Дуже істотним є зміна швидкості вітру за висотою. Абсолютний максимум осередненої швидкості вітру спостерігається на межі тропосфери (8-11 км від поверхні Землі) [2, 3], проте для практики набагато важливіше інформація про зміну швидкості вітру в приземному шарі. Відомо, що в нижньому шарі товщиною до 200 м швидкість змінюється з певною закономірністю, що дає можливість обчислення швидкості на заданій висоті більш-менш точними методами.

Найчастіше на практиці застосовується спрощена формула [1, 2, 4]:

$$U_{(z)}=U_{(10)}\left(\frac{Z}{10}\right)^{m}, \qquad (1)$$

де $U_{(10)}$ – осереднена швидкість вітру на висоті 10 м, м/с; Z – висота, для якої визначається швидкість вітру, м; m – параметр, що залежить від шорсткості поверхні землі і стійкості атмосфери.

Величина m коливається від 0,05 до 0,69 за даними [2, 5], а, згідно [1], для відкритої місцевості m = 0,14.

Коефіцієнт використання енергії вітру C_p є одним з основних критеріїв енергетичної ефективності ВЕУ. Повітряний потік, що набігає на вітроколесо і віддає йому енергію, повинен далі покинути околиці вітроколеса, а це неможливо без достатньої кількості кінетичної енергії. Отже, величина взятої з потоку енергії обмежена в силу даної обставини і C_p також має якесь граничне значення. Максимальне значення C_p обґрунтовано теоретично і може досягати 0.59 [28].

Вертикально-осьові ВЕУ мають певні переваги перед горизонтально-осьовими.

По-перше, вони не вимагають пристроїв орієнтації на вітер, оскільки знаходяться в робочому положенні при будь-якому напрямку вітру.

По-друге, вони малочутливі до явища некомпланарності вітру.

По-третє, спрощується і, як наслідок, може бути здешевлена конструкція лопаті і знижуються гіроскопічні ефекти. Оскільки, за даними [3], вартість вітроколеса становить 40% від загальної вартості ВЕУ, то здешевлення вітроколеса навіть в невеликій мірі дає суттєвий економічний виграш.

По-четверте, пристрій перетворення енергії, що виробляється ВЕУ, в електричну (або будь-яку іншу) розміщують на землі, що підвищує надійність, спрощує технічне обслуговування під час експлуатації, а також дає економічний виграш, пов'язаний із зменшенням витрат на вежу, на монтаж ВЕУ у цілому і на технічне обслуговування.

По-п'яте, велика потужність у вертикально-осьових ВЕУ може бути досягнута збільшенням охоплюваної вітроколесом площі за рахунок її ширини, а не висоти, що, зокрема, позитивно з точки зору обмеження перекидаючого моменту, що діє на ротор ВЕУ.

До недоліків вертикально-осьових ВЕУ відносяться, в першу чергу, такі:

- зміна величини тягнучої сили лопаті при русі її по круговій траєкторії внаслідок особливостей процесу обтікання;

- малий момент рушання для вітроколіс з криловими лопатями, що веде до необхідності застосування допоміжних пристроїв з обов'язковим погодженням їх характеристик. Іншими словами, повинен бути виконаний певний обсяг робіт з оптимізації конструкції конкретного призначення. Безумовно, це ускладнює і здорожує ВЕУ.

Тим не менш, вертикально-осьові вітроустановки мають хороші перспективи застосування, особливо для місцевостей, де часто змінюється напрямок вітру, що досить актуально для внутрішніх областей України. Ця обставина обумовлює необхідність розробки, дослідження і вдосконалення вертикально осьових ВЕУ, особливо їх лопатевих систем. При цьому особливої уваги заслуговують такі цілі як здешевлення вітроколеса, здатність його до самозапуску при високому коефіцієнті використання енергії вітрового потоку.

Оскільки запропонована ВЕУ за кліматичними умовами України планується до експлуатації при наявності малих вітрів, то першорядною задачею є використання та проектування конфузорів, які підсилюють швидкість вітру.

Кардинальне значення при проектуванні ВЕУ як великої так і малої потужності має правильний вибір геометрії лопатевої системи і конструкції кріплення лопатей до валу. Суттєвий вплив на аеродинаміку вітроколеса може надати стан поверхні лопатей та інших деталей ротора. Вимоги до якості поверхні слід призначати для конкретних умов роботи і кліматичної ситуації з урахуванням економічної доцільності. Тому одним з етапів автоматизованого проектування є вибір матеріалу вітроколеса та якості його поверхні.

Таким чином, система автоматизованого проектування ВЕУ складається з розв'язання наступних задач, а саме:

1.Вибору та розрахунку вітроколеса.

2.Математичного моделювання аеродинаміки роторів з застосуванням чисельних методів розв'язання нестаціонарних усереднених за Рейнольдом рівнянь Нав'є-Стокса.

3.Вибору матеріалу вітроколеса та якості його поверхні.

Кінематична енергія вітру перетворюється вітродвигуном в механічну енергію і далі за допомогою генератора ця енергія перетворюється в електричну.

Запропонована методика автоматизованого проектування вітроенергетичних комплексів передбачає розрахунок наступних характеристик:

1.Коефіцієнт використання енергії вітру.

2.Коефіцієнт швидкохідності вітроколеса.

3.Момент обертання на валу вітродвигуна.

4.Загальна середня аеродинамічна сила ротора.

5.Залежність коефіцієнту використання енергії вітру від кількості лопатів та швидкохідності вітродвигуна.

6.Потужність перетвореної енергії вітрового потоку на роторі.

Гальмування потоку в роторі відповідно до імпульсної теорії ідеального вітродвигуна враховується відношенням швидкостей:

$$V_1 = \frac{V_0 + V_2}{2} = V_0 \frac{1+\overline{V_2}}{2} \tag{2}$$

де V_2 - швидкість потоку далеко за ротором; V_1 – швидкість потоку в площині ротора; V_0 – швидкість незбуреного потоку; $\overline{V_2} = \frac{V_2}{V_0}$.

Відносна швидкість W повітряного потоку визначається як

$$W = V_0 - U = V_0 - \omega R \tag{3}$$

де U – лінійна швидкість повороту ротора; ω – кутова частота обертання ротора; R – середній радіус ротора.

Коефіцієнти C_n і C_t – компоненти аеродинамічних сил, які діють на профіль паралельно і перпендикулярно відносно хорди в його площині та відносно до динамічного тиску $q = \frac{1}{2}\rho W^2$, визначаються:

$$\begin{aligned} C_n &= C_y \cos\alpha + C_x \sin\alpha; \\ C_t &= C_x \cos\alpha - C_y \sin\alpha; \end{aligned} \tag{4}$$

де α – кут атаки лопаті, C_y і C_x – аеродинамічні коефіцієнти підйомної сили і сили лобового опору профілю.

Загальна середня аеродинамічна сила F, яка діє в напрямку вітру на весь ротор з кількістю i лопатей постійної ширини b, визначається як:

$$F = \frac{ib}{2\pi} \int_0^H dz \int_0^{2\pi} q(C_n \sin\beta + C_t \frac{\cos\beta}{\cos\delta}) d\beta \tag{5}$$

Де H – висота ВЕУ, δ – кут нахилу лопаті у вертикальній площині, β – кут переміщення лопаті у горизонтальній площині, q – динамічний тиск, δ – кут нахилу лопаті у вертикальній площині.

Обертаючий момент M аеродинамічних сил усього ротора відносно вісі обертання може бути розрахований за формулою:

$$M = \frac{ib}{2\pi} \int_0^H dz \int_0^{2\pi} \frac{qrC_t}{\cos\delta} d\beta \tag{6}$$

де r – середнє значення радіусу кола обертання для нахилених лопатей.

Потужність P перетвореної енергії вітрового потоку на роторі може бути визначена як:

$$P = M\omega = \frac{ib}{2\pi} \int_0^H dz \int_0^{2\pi} q \frac{\omega r C_t}{\cos\delta} d\beta \tag{7}$$

де ω – кутова швидкість обертання.

З урахуванням рівняння переносу імпульсу в потоці середню аеродинамічну силу F можна визначити таким чином [6]:

$$F = \frac{1}{2}\rho S\left(V_0^2 - V_2^2\right) = 2\rho S V_1 \frac{1-\overline{V_2}}{1+\overline{V_2}} \tag{8}$$

де $S = 2RH$ – міделевий перетин обертаючого ротора.

Порівнюючи сили F із (5) та (8) можна отримати рівняння зв'язку у вигляді:

$$\frac{1-\overline{V_2}}{1+\overline{V_2}} = \frac{ib}{8\pi S} \int_0^H dz \int_0^{2\pi} \frac{W^2}{V_1^2} \left(C_n \sin\beta + C_t \frac{\cos\beta}{\cos\delta} \right) d\beta \tag{9}$$

відношення $\frac{W^2}{V_1^2}$ визначається як:

$$\frac{W^2}{V_1^2} = \left(\frac{\omega r}{V_1} + \cos\beta \right)^2 + \sin^2\beta \cos^2\delta \tag{10}$$

Кут атаки α визначається за формулою:

$$tg\alpha = \frac{\sin\beta\cos\delta}{\frac{\omega r}{V_1} + \cos\beta} \tag{11}$$

Якщо визначити відносну швидкість $\overline{V}_2$ із формули (9), то швидкохідність θ, коефіцієнт C_F лобового опору і коефіцієнт C_p потужності вітроколеса можна подати в такому вигляді:

$$\theta = \frac{\omega r}{V_1}\left(\frac{1+\overline{V}_2}{2} \right) \tag{12}$$

$$C_F = \frac{2F}{\rho S V_0^2} = \frac{ib\left(1+\overline{V}_2\right)^2}{8\pi S} \int_0^H dz \int_0^{2\pi} \left(\frac{W}{V_1} \right)^2 \left(C_n \sin\beta + C_t \cos\beta \right) d\beta \tag{13}$$

$$C_p = \frac{2P}{\rho S V_0^3} = \frac{ib(1+\overline{V}_2)^3}{16\pi S} \int_0^H dz \int_0^{2\pi} \left(\frac{W}{V_1} \right)^2 C_t \frac{\omega R}{V_1} \frac{r}{R\cos\delta} d\beta \tag{14}$$

де S – міделевий перетин.

Оскільки кожному значенню $\frac{\omega R}{V_1}$ відповідно до формул (13) і (14) встановлюють визначені величини C_p і C_F, то можна отримати залежності: $C_p = C_p(\theta)$ і $C_F = C_F(\theta)$.

Приведені співвідношення дозволяють аналізувати вплив геометричних розмірів та форми ротора на основі аеродинамічних характеристик вітродвигуна. Ці співвідношення можна використовувати при проектуванні вітродвигунів на основі ротора типу Дар'є.

Висновки

На основі проведеного аналізу, враховуючи силу діючих вітрів на території України, для побудови вітроенергетичних установок використовувати ВЕУ з вертикальною віссю обертання з ротором типу Дарьʻє, для яких розроблено методику розрахунку.

Список літератури

1. *Куцан Ю.Г., Білодід В.Д.* Щодо проекту концепції енергетичної політики України на період 2030 року // Энергетика и электрификация. – 2001. –№ 3. –С. 2–5.

2. *Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И.* Неисчерпаемая энергия. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 919 с.

3. *Малахов Ю.В., Шевченко Н.Е., Воробьев И.Е.* О стратегии и основных направлениях развития электроэнергетики Украины в первой половине XXI века // Энергетика и электрификация.– 2001.– № 7.– С. 8–11.

4. *Белоцерковский О.М.* Численное моделирование в механике сплошных сред: 2-е изд.. перераб. и доп. – М.: Физматлит, 1994. – 448 с.

5. *Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р.* Вычислительная гидромеханика и теплообмен.– М.: Мир, 1990. – Т.1. – 392 с., Т.2. –336 с.

6. *Госмен А.М., Пан В.М., Рончел А.К.* Численные методы исследования течений вязкой жидкости. – М.: Мир, 1972. – 323 с.

УДК 623.746-519

В. М. Синеглазов, д. т. н., Р. К. Кадем
(Национальный авиационный университет, Украина)

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БПЛА КАК РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Рассмотрена проблема автоматизированного проектирования беспилотных летательных аппаратов как решение задачи многокритериальной оптимизации. Определена взаимосвязь аэродинамических коэффициентов с частными критериями оптимизации и геометрическими параметрами элементов конструкции. Разработан алгоритм решения задачи многокритериальной оптимизации на основании использования метода перебора.

Задача проектирования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) формулируется следующим образом: найти те значения основных конструктивных параметров (параметры, совокупность которых определяют форму, размеры и массу конкретного БПЛА), которые обеспечивают достижение целей, поставленных в тактико-технических требованиях.

В роли поставленных целей для БПЛА выступают частные критерии качества, которые представляют собой некоторые характеристики БПЛА (заданные в техническом задании или определяемые в процессе проектирования), используемые для сравнения вариантов его построения. В качестве этих критериев обычно используют следующие параметры:

– массу полезной нагрузки $m_н$ или удельную нагрузку на крыло p;

– расчетную дальность полета $L_р$;

– высоту применения H;

– максимальную скорость полета V_{max};

Эти критерии составляют вектор частных критериев оптимизации $W = (W_1, W_2, \dots W_n)$, где W_1 – удельная нагрузка на крыло БПЛА, W_2 – расчетная дальность полета $L_р$, W_3 – высота применения, W_n – максимальная скорость полета V_{max}.

В качестве конструктивных параметров выступают основные и относительные геометрические параметры, которые определяют размерность вектора конструктивных параметров, где каждый элемент вектора представляет определенный параметр i_p:

$$X^0 = \left(S, S_{го}, S_{во}, l, L_ф, L_{мг}, d_{эф}, \chi_п, \chi_з, \chi_{пго}, \chi_{зго}, \chi_{пво}, \chi_{зво}, \lambda, \lambda_{го}, \lambda_{во}, \lambda_ф, \eta, \eta_{го}, \eta_{во}, \overline{c}, b_0, b_к, b_а\right) \qquad (1)$$

где S – площадь крыла, м^2; $S_{го}, S_{во}$ – площадь горизонтального и вертикального оперения, м^2; l – размах крыла, м; $L_ф$, $L_{мг}$ – длина фюзеляжа и мотогондолы, м; $d_{эф}$ – эквивалентный диаметр фюзеляжа, м; $\chi_п, \chi_з$ – угол стреловидности по передней и задней кромке крыла, град; $\chi_{пго}, \chi_{зго}, \chi_{пво}, \chi_{зво}$ – угол стреловидности по передней и задней кромке горизонтального и вертикального оперения, град; λ – относительное удлинение крыла; $\lambda_{го}, \lambda_{во}, \lambda_ф$ – относительное удлинение горизонтального и вертикального оперения и фюзеляжа; $\eta, \eta_{го}, \eta_{во}$ – сужение (крыла, горизонтального и вертикального оперения); $b_к$ – концевая хорда крыла, м; b_0 – корневая хорда крыла, м; $b_а$ – средняя аэродинамическая хорда (САХ), м.

На этапе проектирования по вектору частных критериев $W(X)$ формируется множество эффективных вариантов БПЛА $X \in X_0$ (при этом каждый вариант конкурирующей компоновочной схемы рассматривается с полным набором альтернатив компонентов БПЛА).

При такой постановке задача нахождения эффективных вариантов БПЛА сводится к задаче многокритериальной оптимизации, а именно нахождению вектора конструктивных параметров в области допустимых значений и его оптимизации по заданным критериям. Остальные характеристики БПЛА используются в качестве ограничений, определяющих область допустимых решений. Любой вектор X принадлежащий допустимой области ($X \in X_{доп}$), определяет допустимый вариант проекта БПЛА.

Анализ связей между параметрами и критериями БПЛА показывает:

– значение критериев зависит только от его относительных (удельных) параметров: p, $\overline{P}_0$, c_y, c_x, К, c_p, $\overline{m}_т$, где p – удельная нагрузка на крыло (m/S), $\overline{P}_0$ – стартовая тяговооруженность, c_y – коэффициент подъемной силы, c_x – коэффициент лобового сопротивления, К – аэродинамическое качество, c_p – удельный расход топлива, $\overline{m}_т$ – тносительная масса топлива;

– независимо от размеров БПЛА, чтобы удовлетворить требованиям ТЗ по критериям, БПЛА должен обладать строго определенным набором потребных относительных параметров.

При этом, такие параметры, как p, c_y, c_x, К в обобщенном виде отражают внешнюю форму БПЛА и его размеры, а параметры $\overline{P}_0$, c_p, $\overline{m}_т$, выражают удельные тяговые усилия, которые должны развивать двигатели и удельный запас энергии. Названные аэродинамические и энергетические параметры в то же время являются функциями геометрических параметров БПЛА и газодинамических параметров двигателя, важнейшими из которых являются:

– удлинение крыла, оперения, фюзеляжа $\lambda_к, \lambda_{оп}, \lambda_ф$;

– *углы стреловидности крыла и оперения* $\chi_{кр}$, $\chi_{оп}$;

– сужение крыла и оперения $\eta_{кр}$, $\eta_{оп}$;

– относительные площади горизонтального и вертикального оперения $\overline{S}_{го}$, $\overline{S}_{во}$, и их расстояния от центра масс БПЛА $\overline{L}_{го}$, $\overline{L}_{во}$;

– мидель фюзеляжа и гондол двигателя $S_{мф}$, $S_{мд}$;

Отмеченные выше схемные признаки и параметры дают только обобщенное представление об облике БПЛА. По каждому агрегату БПЛА имеется целый ряд дополнительных параметров (факторов), от рационального выбора которых в значительной степени зависит совершенство облика проектируемого БПЛА. Так, для крыла такими факторами могут быть величина и форма корневых наплывов и законцовки крыла, стреловидность по задней кромке, тип механизации и т. д.

Предположим, что внешние условия, влияющие на функционирование БПЛА, известны и фиксированы. Тогда критерий эффективности функционирования БПЛА является функцией $W(X)$ только конструктивных параметров X, а все критерии сводятся к комплексному критерию W, который определяется по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^{k} c_i W_i , \qquad (2)$$

где $\sum c_i = 1$; c_i – весовой коэффициент i-го показателя качества; W_i – i-й показатель качества; k – число показателей качества.

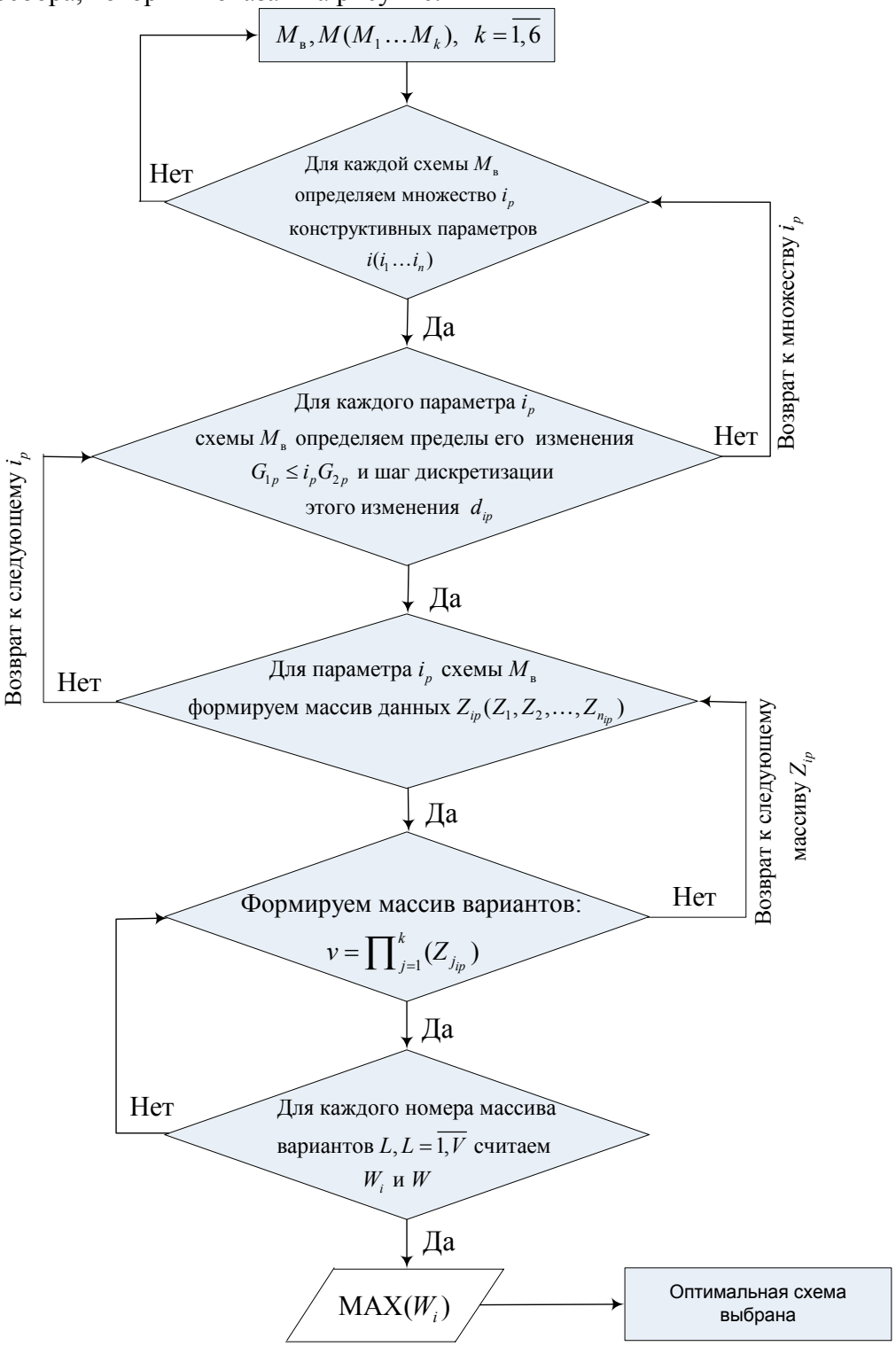
Присвоение каждому показателю качества весового коэффициента осуществляется экспертом в соответствии со степенью влияния показателя на выполнение поставленной задачи. В том случае, когда эксперты проводят только ранжирование показателей в порядке убывания их важности, весовые коэффициенты могут быть определены по формуле:

$$c_i = \frac{e^{-i/k}}{\sum_{i=1}^{k} e^{-i/k}} \qquad (3)$$

Предположим, что глобальный критерий $W(X)$ один и что его желательно максимизировать. Тогда задача проектирования состоит в нахождении $X^* \in \underset{X \in X_{доп}}{\mathrm{Arg\,max}}\, W(X)$, т. е. в решении задачи найти $\max\limits_{X \in X_{доп}} W(X)$.

Представленные методы решения многокритериальной задачи не имеют четко определенного алгоритма решения. В связи с этим целесообразно предложить следующий

алгоритм решения задачи многокритериальной оптимизации основанный на использовании метода перебора, который показан на рисунке.



Алгоритм решения задачи многокритериальной оптимизации основанный на использовании метода перебора

Представим данный алгоритм в детальной форме:

1. Определяем множество аэродинамических схем $M(M_1 \dots M_k)$, где k – количество компоновок. В нашем случае $k = \overline{1,6}$ (M_1 – нормальная аэродинамическая схема; M_2 – схема «утка»; M_3 – схема «бесхвостка»; M_4– «летающее крыло»; M_5 – «тандем»; M_6 – «двухбалочная схема»).

2. Для каждого номера схемы $M_в$, определяем множество конструктивных параметров $i(i_1 \dots i_n)$, где n – количество конструктивных параметров.

3. Для каждого параметра i_p (1) схемы $M_в$ определяются пределы его изменения, т. е. $G_{1p} \le i_p \le G_{2p}$, G_{1p} – нижний предел, G_{2p} – верхний предел.

4. Для параметра i_p схемы $M_в$ задают шаг дискретизации его изменения d_{ip}.

5. Для параметра i_p схемы $M_в$ формируем массив данных $Z_{ip}(Z_1, Z_2, ..., Z_{n_{ip}})$, где $n_{ip} = \dfrac{G_{2p} - G_{1p}}{d_{ip}}$.

6. Формируем массив вариантов $V = \prod_{j=1}^{k} \left(Z_{j_{ip}} \right)$.

7. Для каждого номера массива вариантов L, $L=\overline{1,V}$ начиная с первого, рассчитывается значения каждого частного критерия W_i, обобщенного критерия W, исходя из формул (2, 3).

8. Решается задача многомерной оптимизации методом перебора. В результате находится наилучшая схема БПЛА.

Выводы

Разработана процедура автоматизированного проектирования внешнего вида БПЛА основанная на решении задачи многомерной оптимизации. Предложен алгоритм решения задачи многомерной оптимизации, основанный на использовании метода перебора.

Список литературы

1. *Ильюшко В. М.* Беспилотные летательные аппараты: Методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик / В. М. Ильюшко, М. М. Митрахович, А. В. Сам-ков, В. И. Силков, О. В. Соловьев, В. И. Стрельников; Под общ. ред. В. И. Силкова. – К.: ЦНИИ ВВТ ВС Украины, 2009. – 302 с.

УДК 681.586:620.172.21:629.735.05(045)

А.П. Козлов, канд. техн. наук
(Национальный авиационный университет, Украина)

ТРЕХКООРДИНАТНИЙ НЕКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Рассмотрено устройство для измерения микроперемещений при сварке конструкций воздушных судов. Дается анализ функционирования устройства и его характеристик. Приведены результаты экспериментальных исследований статической характеристики датчика микроперемещений и выполнен их анализ. Рассмотрена конструкция емкостного преобразователя, позволяющая получить линейную статическую характеристику. Рассмотрена структурная схема трёхкоординатного измерителя микроперемещений.

При сваривании современных конструкций воздушных судов необходимо контролировать формы полученной конструкции. Для измерения формоизменений конструкции был разработан емкостный датчик микроперемещений (Рис.1).

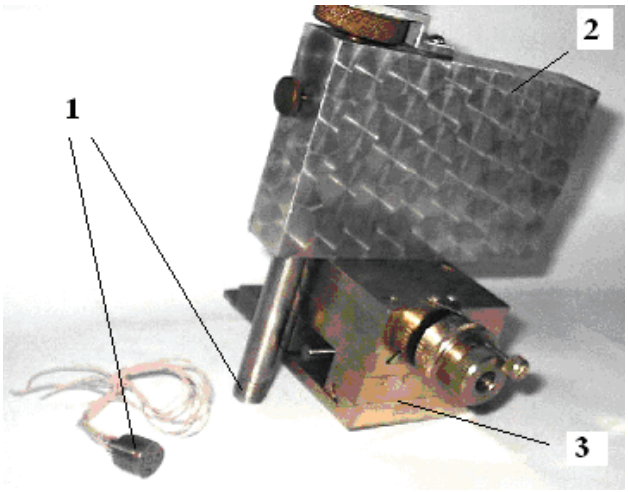


Рис.1 Датчик микроперемещений: 1 – зонд датчика; 2 – корпус с платами измерительной схемы; 3 – двухкоординатная платформа.

Устройство состоит из зонда датчика 1, корпуса 2 с соответствующими полостями для размещения плат высокочастотного генератора питания измерительного моста и измерительной схемы, двухкоординатной платформы 3, предназначенной для точной начальной выставки и тарировки датчика.

Конструкция зонда 1 (рис.2) представляет собой систему электродов ёмкостного преобразователя, которая формирует электромагнитное поле, взаимодействующее с контролируемой поверхностью. Чувствительный элемент устройства представляет собой емкостной преобразователь с «открытым» неоднородным полем.

Высокопотенциальные электроды 1, 1′ и 1″, 1‴ (два последних на рисунке не обозначены), попарно расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях, 2 – низкопотенциальный электрод, «маска» зонда 3 и медная трубка-экран 5 обеспечивают уменьшение влияния паразитных емкостей.

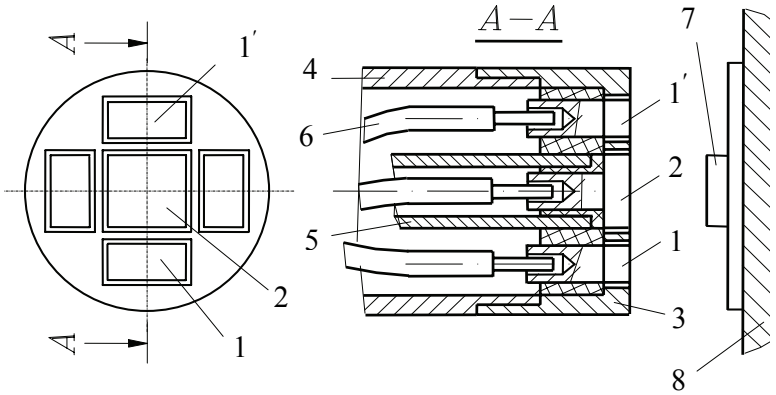


Рис.2 Зонд ёмкостного датчика микроперемещений:

1, 1′ – высокопотенциальные электроды;
2 – низкопотенциальный электрод; 3 – “маска” зонда; 4 - корпус;
5 – экран низкопотенциального электрода; 6 – выводы; 7 – «контрольная точка»;
8 – контролируемая поверхность

Обобщенная структурная схема емкостного преобразователя, построенная на основе трансформаторного моста, представлена на рис.3. Схема подключения электродов преобразователя, представленная на рис.3а, обеспечивает измерения в продольном направлении, при этом электроды 1″, 1‴

заземлены. Для измерения в поперечном направлении электроды 1″, 1‴ подключаются к обмоткам трансформатора моста, а 1, 1′ заземляются. Зонд датчика размещается над контрольной точкой, которая представляет собой металлический цилиндр диаметром равным ширине низкопотенциального электрода и высотой 0,5…0,7 мм, который закреплен на

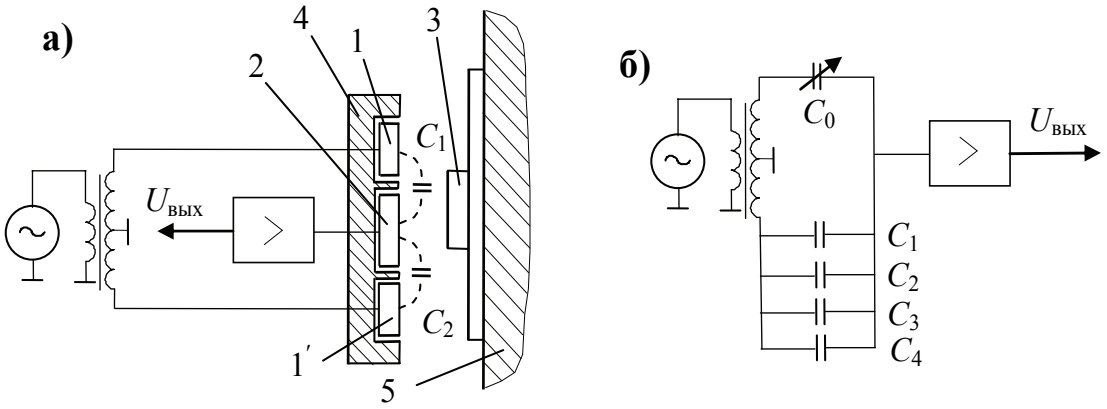


Рис.3. Обобщенная структурная схема емкостного преобразователя

1, 1′ – высокопотенциальные электроды; 2 – низкопотенциальный электрод; 3 – «контрольная точка»; 4 - корпус зонда; 5 – контролируемая поверхность.

контролируемой поверхности. Начальная настройка производится с помощью двухкоординатной платформы, которая обеспечивает точное симметричное размещение зонда над «контрольной точкой». Оценка точности начальной выставки зонда осуществляется по минимуму выходного сигнала, что соответствует равенству емкостей между электродами 1-2 и 1′-2. Рассмотренная схема использовалась также для контроля горизонтального смещения контрольной точки в процессе сварки. Результат измерения оценивался как по выходному сигналу моста, ранее оттарированному, так и путем балансировки моста с помощью двухкоординатной платформы. Точность отсчета по поворотным лимбам 0,005мм.

Схема подключения электродов преобразователя, представленная на рис.3б, обеспечивает измерения в вертикальном направлении, что является необходимым при контроле качества профиля конструкции после сварки. Высокопотенциальные электроды емкостного преобразователя 1, 1′, 1″, 1‴ соединены между собой и подключены к плечевой обмотке трансформатора, низкопотенциальный электрод 2 подключен к входу усилителя, начальное уравновешивание моста осуществляется изменением емкости переменного конденсатора C_0, специально разработанной конструкции. Электроды 1-2, 1′-2, 1″-2, 1‴-2 образуют конденсаторные емкости C_1,C_2,C_3,C_4.При измерении вертикальных смещений «контрольная точка» не используется.

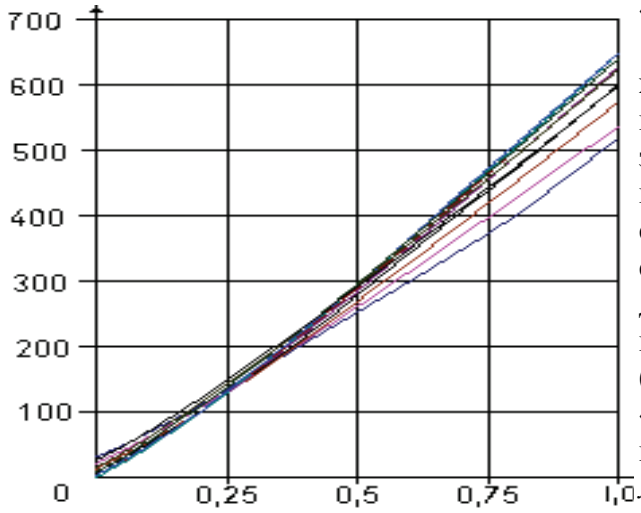


Рис.4 Экспериментальные данные

Для оценки качества статических характеристик емкостного датчика микроперемещений были проведены экспериментальные исследования. На Рис.4 представлены кривые изменения выходного сигнала (в *mV*) измерительной схемы при смещении зонда в продольном направлении в диапазоне 0…1 *мм*. Были выполнены измерения по 7-ми продольным сечениям (одна симметричная относительно «контрольной точки» и по 3-м сечениям вправо и 3-м влево с шагом смещения 0,2 *мм*).

Анализ функционирования измерителя и его статических характеристик показывает на необходимость совершенствования устройства. Для выяснения причин нелинейности характеристик, их зависимости от поперечного смещения, а также поиска путей решения этих проблем были проведены исследования влияния изменений геометрических параметров системы электродов емкостного преобразователя на характеристики измерителя путем математического моделирования его электростатических полей. Проведен перебор размеров электродов преобразователя и их взаимного размещения. На Рис.5 представлена статическая характеристика измерителя с приемлемыми параметрами.

Рис.5 Расчетная статическая характеристика емкостного преобразователя микроперемещений.

Исходя из результатов моделирования, разработана конструкция более совершенного зонда датчика.

Конструкция зонда (Рис. 6) представляет собой высокопотенциальный электрод 1, размещенный на вертикальной поверхности зонда квадратного сечения по его периметру, и 4 низкопотенциальных электрода 2,3,4,5 квадратной формы.

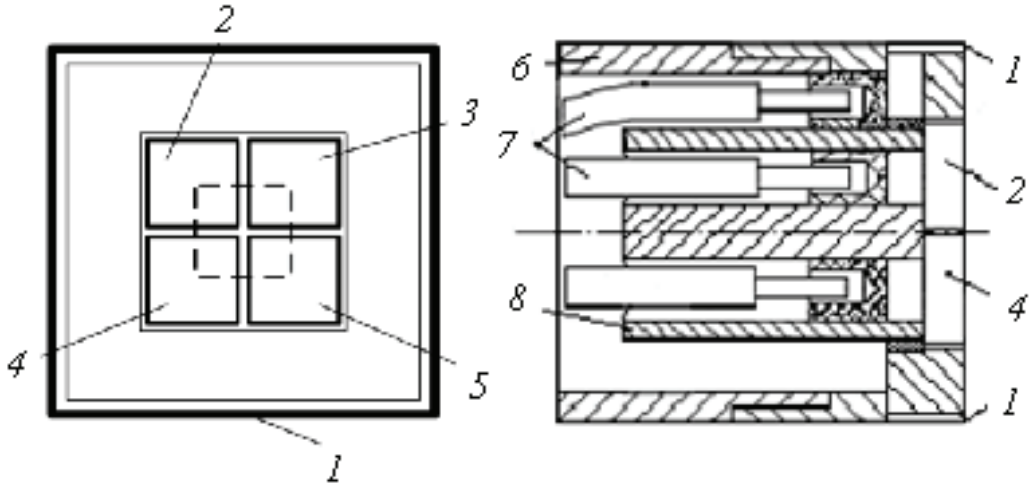


Рис.6. Зонд 4-х канального емкостного преобразователя.
1 - высокопотенциальный электрод, 2,3,4,5 - низкопотенциальные электроды, 6 - корпус, 7-выводы, 8 - экран.

Предлагаемая конструкция зонда позволяет получить практически линейную характеристику емкостного преобразователя, независимую от поперечного смещения. «Контрольная точка» имеет форму квадрата, по размеру равного размеру

низкопотенциальному электроду. В пространстве между высокопотенциальным и низкопотенциальными электродами размещен экран 8.

Уменьшение размера контрольной точки относительно размера зонда позволяет достичь линейности статической характеристики преобразователя.

Рассмотренная конструкция зонда позволила создать трехкоординатний неконтактный измеритель микроперемещений. Функциональная схема измерителя (Рис.7) состоит из генератора питания моста, 5-ти плечевого трансформаторного моста, 4-х усилителей и 6-ти сумматоров.

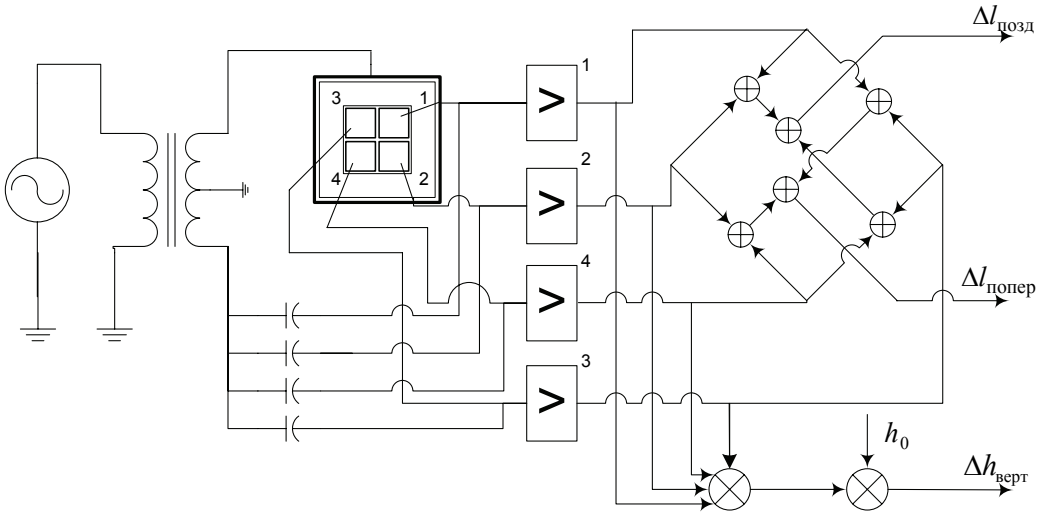


Рис.7 Функциональная схема трехкоординатного неконтактного измерителя микроперемещений.

Устройство позволяет выполнять измерения по 3-м координатам одновременно. Информацию о микроперемещении в продольном направлении получаем как разницу сумм информационных емкостей $\Delta_{прод}= [(C_1+C_2)-(C_3+C_4)]$, в поперечном направлении - $\Delta_{попер}= [(C_1+C_3)-(C_2+C_4)]$, в вертикальном - $\Delta_{верт}= (C_1+C_2+C_3+C_4)$.

Выводы

Рассмотренное устройство позволит автоматизировать процесс контроля сварки конструкции, контролировать деформации элементов конструкции в процессе динамических испытаний конструкции летательного аппарата, проводить диагностику состояния конструкции в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. *Козлов А. П.* Система контролю критичних деформацій конструкцій повітряних суден // Електроніка та системи управління. – 2007. – №2(12). – С. 41 – 46.

2. *Аблесимов А. К., Гайдамака А. З., Козлов А. П.* Бесконтактное измерение микроперемещений // Електроніка та системи управління. – 2005. – №3(5). – С. 141 – 146.

3. *Спектор С. А.* Электрические измерения физических величин, методы измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.

4. *Гриневич Ф. Б., Новик А. И.* Измерительные компенсационно-мостовые устройства с емкостными датчиками. – К.: Наук. думка. 1987. – 112 с.

5. *Пат. SU 1428908 A1,* МПК G 01 B 7/22. Емкостный датчик для измерения перемещений по трем координатным осям / Г. Р. Леиашвили. – №4087721/25-28; заявл. 18.07.86; опубл. 07.10.86, Бюл. №37.

УДК 681.7.06

С. М. Довгалець, к. т. н, доц., М.В. Лакей
(Вінницький національний технічний університет)

ПЕРЕДАВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЧЕРЕЗ ОПТИЧНІ ХВИЛЕВОДИ З ВІД'ЄМНИМ ПОКАЗНИКОМ ЗАЛОМЛЕННЯ

Проблема діагностики рельєфних поверхонь у важкодоступних, заглиблених місцях і на сьогодні залишається достатньо актуальною. Вона стосується багатьох галузей науки і техніки.

У медицині і насьогодні існує проблема візуалізації внутрішніх органів людини, серцево-судинної, дихальної, нервової та інших систем, а зокрема дослідження мікротріщин, мікродеформацій, неоднорідності поверхонь, які насправді є невидимими для різного роду мікроскопів та інших приладів. Подібна проблема наявна і в геодезії, при вивченні об'єкта на відстані без безпосереднього контакту з ним. Це також стосується нафтоводів, шляхів залізничних сполучень, а зокрема діагностики внутрішньої поверхні труб та причин їх деформацій.

Для вирішення цієї проблеми використовують відеокамери, ендоскопи, мікроскопи, а також лазерні сканери, де об'ємне та чітке зображення отримують за допомогою, наприклад цифрового фотографування, лазерного сканування або ж за допомогою методів дистанційного зондування поверхні(лідарне, спектрометричне або сканерне знімання). Але недоліком цього класу приладів є часта неспроможність їхнього застосування для віддаленого огляду та обмежена роздільна здатність. Існуючі насьогодні мікроскопи та ендоскопи дають можливість або отримувати тривимірне зображення, або здійснювати віддалені дослідження, але поєднання цих двох властивостей не зустрічається. Отже, актуальним насьогодні залишається створення приладу для вимірювання рельєфу поверхні у важкодоступних, заглиблених, радіаційних, небезпечних місцях, тощо.

Метою даної роботи являється розробка математичної моделі отримання та передавання тривимірних зображень через оптичні хвилеводи.

В даній роботі рельєфна поверхня реєструється за допомогою різниці фаз двох променів, що виходять з одного і того ж точкового джерела. В даному випадку, у фазі міститься інформація про кожну із точок поверхні. Основною метою є розрахунок величини фази в довільній точці, яка знаходиться в площині реєстрації рельєфної моделі. При цьому вважається, що простір з обох боків від голограми має однаковий показник заломлення, оскільки саме це дасть можливість розрахувати фазу по різницях ходу світлових променів. В результаті цього було отримано математичну модель для розрахунку точок голограми, характеристичне рівняння якої має вигляд:

$$\varphi_a = 2\pi/\lambda(1/2z_p(x^2 + y^2 - 2xx_p - 2yy_p)), \quad (1)$$

де - координати площини голограми, – відстань об'єктного джерела від початку координат, , - координати опорного точкового джерела, - довжина хвилі в повітрі.

Формула (1) – дискретне перетворення для відтворення цифрової моделі і подальшого отримання рельєфу поверхні.

Для передавання використаємо плоский симетричний хвилевід з від'ємним показником заломлення серцевини (рисунок 1). Даний хвилевід складається із серцевини 2, яка містить діелектричну ε_2 і магнітну μ_2 проникності та оточена відповідно оболонкою 1 з параметрами ε_1 і μ_1. До того ж серцевина виготовлена з матеріалу з ВПЗ, тобто $\varepsilon_2 < 0$ і $\mu_2 < 0$, а оболонка являється звичайним діелектриком, а отже $\varepsilon_1 > 0$ і $\mu_1 > 0$ [1].

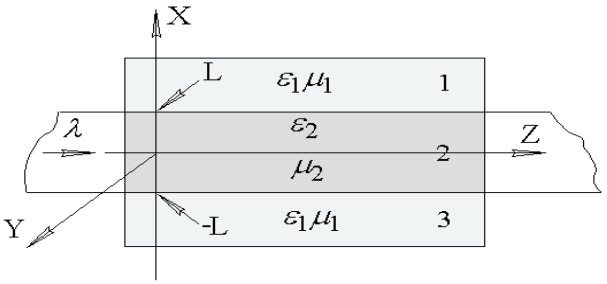


Рисунок 1 – Плоский симетричний хвилевід. Поперечний розмір розрізу серцевини хвилеводу рівний $2L$, причому оболонка є обмеженою у напрямі по осі X. В напрямках осей Y и Z як серцевина так и оболонка також необмежені. Математичною моделлю такого хвилеводу є відповідне характеристичне рівняння [2]:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2}\kappa_2 \tanh^{\pm 1}(\kappa_2 L) + \kappa_1 = 0 , \tag{2}$$

де:

$$\kappa_1^2 = h^2 - k^2\varepsilon_1\mu_1 , \tag{3}$$

$$\kappa_2^2 = h^2 - k^2\varepsilon_2\mu_2 , \tag{4}$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - хвильове число,

h - стала розповсюдження,

а $\pm$ відповідає парним і непарним модам відповідно. Хвилеводи з ВПЗ серцевини володіють рядом відмітних від класичних хвилеводів особливостей, що добре видно із залежності нормованої сталої розповсюдження:

$$b = \frac{\frac{h}{k} - \sqrt{\varepsilon_1\mu_1}}{\sqrt{\varepsilon_2\mu_2} - \sqrt{\varepsilon_1\mu_1}} , \tag{5}$$

від приведеної частоти:

$$V = 2kL\sqrt{\varepsilon_2\mu_2 - \varepsilon_1\mu_1} , \tag{6}$$

При сталих параметрах серцевини хвилеводу, залежність критичних довжин хвиль від показника заломлення зовнішнього середовища матиме вигляд:

$$\lambda_1 = \frac{4\pi L}{V_1}\sqrt{\varepsilon_2\mu_2 - n_1^2} , \tag{7}$$

$$\lambda_2 = \frac{4\pi L}{V_2}\sqrt{\varepsilon_2\mu_2 - n_1^2} , \tag{8}$$

$$n_1 = \sqrt{\varepsilon_1\mu_1} . \tag{9}$$

Для оцінки впливу волокна на якість передавання зображення використовується два типи волокон: градієнтне волокно та волокно із ступінчастим показником заломлення. Внаслідок цього було проведено розрахунки діаметра поверхонь даних двох типів волокон. Кількість

мод, що можуть розповсюджуватись в градієнтному волокні, матиме вигляд: $M = \frac{V^2}{4}$, де $V = \frac{2\pi}{\lambda} a\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ - нормована частота.

Для того, щоб коректно сприймати рельєф, різниця фаз у двох сусідніх точках прийнятого зображення не повинна перевищувати $\lambda/2$. Тому в цьому випадку Δx- відстань між двома точками, яку повинен фіксувати пристрій визначається залежно від досліджуваного об'єкта. Діаметр поверхні, що спостерігається, обчислюється за формулою:

$$d = 2\sqrt{\frac{\pi a^2 (n_1^2 - n_2^2)\Delta x^2}{\lambda^2 (1 + 2\Delta x + \Delta x^2)}} \tag{10}$$

Враховуючи це, нормована частота матиме вигляд:

$$V = \frac{2\pi}{\lambda} a\sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

Шляхом введення у формулу (2) значення нормованої частоти(3) одержано формулу для діаметра поверхні градієнтного волокна:

$$d = 2\Delta x V \sqrt{\frac{1}{\pi(4 + 8\Delta x + 4\Delta x^2)}}, \tag{11}$$

У випадку волокна із ступінчастим показником заломлення, формула для розрахунку діаметра вимірюваної поверхні, враховуючи, що для цього типу волокна кількість мод, які розповсюджуються в ньому, рівна $M = \frac{V^2}{4}$, формула для розрахунку діаметру вимірюваної поверхні запишеться як:

$$d = 2\Delta x V \sqrt{\frac{1}{\pi(4 + 8\Delta x + 4\Delta x^2)}} \tag{12}$$

Достовірність математичної моделі було перевірено на еталонних поверхнях у вигляді простої плоскої фігури, синусоїдальної, куполоподібної та інших складніших форм. Похибка при розрахунках не перевищила : $\Delta \approx 0.942$..

Було проведено розрахунки з використанням формул (11) та (12), щоб порівняти можливості по передаванню зображення двома типами волокон: градієнтним та волокном із ступінчастим показником заломлення. Внаслідок чого зроблено висновок, що волокно із ступінчастим показником заломлення дає дещо кращі результати для передавання зображень, діаметр вимірюваної поверхні більший у волокна із ступінчастим показником заломлення, ніж у градієнтного волокна з таким ж показниками. Але ця різниця не значима, і перевага надається градієнтному волокну за рахунок його кращих характеристик в області зменшення набігу фаз між різними модами.

Висновки. Таким чином, у результаті дослідження зроблено висновок, що при застосуванні описаної моделі можна створити пристрій, який дозволить отримувати тривимірні зображення для діагностики важкодоступних місць. Наявність у пристрої оптоволоконного хвилеводу дозволить застосовувати його в різних галузях. І навіть на фоні сильного радіоактивного випромінювання на зображення, що передається, завади не наводитимуться. Оскільки діаметр оптичного волокна дуже малих розмірів, це дозволяє йому потрапляти для дослідження в місця з тонкими щілинами та отворами. Задавши потрібну відстань між сусідніми точками досліджуваного об'єкта, можна довільно змінювати параметри пристрою, щоб він задовольняв необхідним умовам.

Список літератури

1. Довгалець С.М., Присяжнюк В.В, Хомчук П.А. «Модуляція випромінювання в оптичних хвилеводах з від'ємним показником заломлення» // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2005. – №2. – С. 12-18.

2. Shadrivov I. V. Guided modes in negative-refractive-index waveguides / I. V. Shadrivov, A. A. Sukhorukov, Y. S. Kyivshar // Physical Review E. – 2003. – Vol. 3, № 67. – P. 10 – 14.

УДК 681.518.3(045)

В.П. Подольський
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ АВІАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Проведений аналіз аварійних ситуацій під час підйому фундаментних плит на задану висоту та запропоновані математичні моделі статики і динаміки стенда, запропоновані рішення по нейтралізації аварійних ситуацій.

Актуальність дослідження. У зв'язку з триваючим ускладненням устаткування, використовуваного в космічній галузі, а також значними зовнішніми навантаженнями на нього, виникає небезпека аварійних ситуацій, які вимагають негайного вирішення. До зазначеного устаткування можна віднести іспитові стенди, до складу яких входять фундаментні плити, що володіють значною просторовою довжиною і вагою. Автоматизований підйом таких плит зв'язаний зі значними навантаженнями на гідроопори, що забезпечують підйом. Розрив гідроопор може призвести до перекидання або зісковзування плити, що може призвести до людських жертв і значного ушкодження випробуваного устаткування. З огляду на те, що процес розриву гідроопор може мати ланцюговий характер, необхідно провести аналіз можливих наслідків їхнього розриву і вироблення оптимальних рішень, які без участі оператора будуть миттєво прийняті промисловим комп'ютером і реалізовані системою автоматичного контролю.

Постановка задачі. Потрібно виконати аналіз сил і моментів, що діють на стенд та провести аналіз аварійних ситуацій, запропоновати рішення по їхній нейтралізації.

Сили і моменти, що діють на стенд.

Сили, що діють на стенд, показані на рис.1.

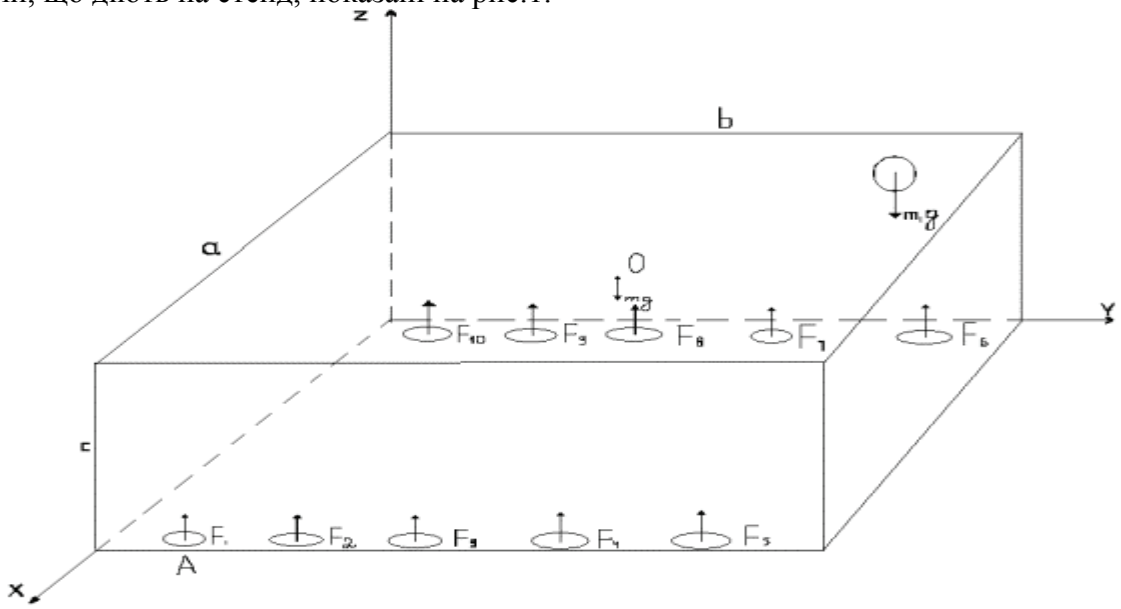


Рис. 1 . Сили, що діють на стенд.

Умови рівноваги тіла:

1. Тіло може знаходитися в рівновазі, якщо сума проекцій всіх прикладених до нього сил дорівнює нулю.
2. Тіло, може знаходитися в рівновазі, якщо сума моментів сил, що діє на нього дорівнює нулю.

Нехай ненульова тільки z-компонента сил.

$$F_i = (0, 0, F_{iz}), \tag{1}$$

де i - номер сили (номер пневмоопори).

На сили умова:

$$\sum_{k=1}^{10} F_i = mg + m_1 g, \tag{2}$$

де m,m_1 - відповідно маса стенда та маса досліджуваного виробу.

На моменти умова:

$$\sum_{k=1}^{10} \vec{N}_i + \vec{N}_{mg} + \vec{N}_{m_1 g} = 0 \tag{3}$$

Застосуємо умови (2) та (3) відносно центра мас стенда, тобто відносно точки O. Координати центра мас в випадку однорідної прямокутної пластини будуть O(a/2,b/2,c/2). Точка A, точка до якої прикладена, наприклад, сила №1 має координати $A(x_1,y_1,0)$, чи в загальному випадку $A(x_i,y_i,0), 0 \le x_i \le a$, $0 \le y_i \le b$. За дефініцією момент сили є $\vec{N} = [\vec{r} \times \vec{F}]$. Відносно точки O, момент сили тяжіння стенда дорівнює нулю. Тоді $\sum_{k=1}^{10} \vec{N}_i + \vec{N}_{m_1 g} = 0$. $\vec{r}_i$-радіус-вектор з точки O в точку, до якої прикладена сила $\vec{r}_i = (x_i - a/2, y_i - b/2, -c/2)$.

$$\vec{N}_i = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ r_1 & r_2 & r_3 \\ 0 & 0 & F_{iz} \end{vmatrix} = \vec{i} r_2 F_{iz} - \vec{j} r_1 F_{iz}, \text{ чи} \tag{4}$$

$$\vec{N}_i = \left(\left(y_i - b/2 \right) * F_{iz},\ -\left(x_i - a/2 \right) * F_{iz},\ 0 \right), \tag{5}$$

де $\vec{N}_i$ - момент i-тої сили, відносно центра мас,

x_i, y_i – координати точки, до якої прикладена i-та сила.

F_{iz} – i-та сила.

Нехай (x_a,y_a,z_a) - координати центра мас досліджуваного виробу. Тоді $\vec{N}_{m_1 g} = \left(-\left(y_a - b/2 \right) * m_1 g,\ \left(x_a - a/2 \right) * m_1 g, 0 \right)$ - момент сили тяжіння виробу відносно центра мас стенда.

Для розрахунку моментів сил використовується формула (5). Легко бачити, що z-проекція моменту сил дорівнює нулю. Нехай mg, m_1g, (сила тяжіння стенда та виробу), x_i, y_i ,a,b,c (параметри стенда), $F_1, F_2, F_3, F_4, F_7, F_8, F_9$ - сили пневмоопір основного каналу – відомі, тоді дані дві умови зводяться до системи трьох рівнянь.

$$F_5 + F_6 + F_{10} + F_\Sigma = mg + m_1 g, \text{-} \tag{6}$$

рівняння сил, де F_Σ - сума сил в основному каналі.

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k \ne 5,6,10}}^{10} (y_i - b/2) * F_i - (y_a - b/2) * m_1 g + (y_5 - b/2) * F_5 + (y_6 - b/2) * F_6 + (y_{10} - b/2) * F_{10} = 0 \tag{7}$$

X-проекція моменту сил дорівнює нулю.

$$\sum_{\substack{k=1 \\ k \ne 5,6,10}}^{10} (x_i - a/2) * F_i - (x_a - a/2) * m_1 g + (x_5 - a/2) * F_5 + (x_6 - a/2) * F_6 + (x_{10} - a/2) * F_{10} = 0 \tag{8}$$

Y-проекція моменту сил дорівнює нулю.

Z- проекція завжди дорівнює нулю при умові (1).

В результаті отримали систему трьох рівнянь (6-8) з трьома невідомими, керуючими силами: F_5, F_6, F_{10}.

Використовуючи математичну модель стенду, можна моделювати аварійні ситуації: вихід з ладу різних каналів.

На рис.2 показано положення фундаментної плити стенду при виході з ладу 1-ого каналу.

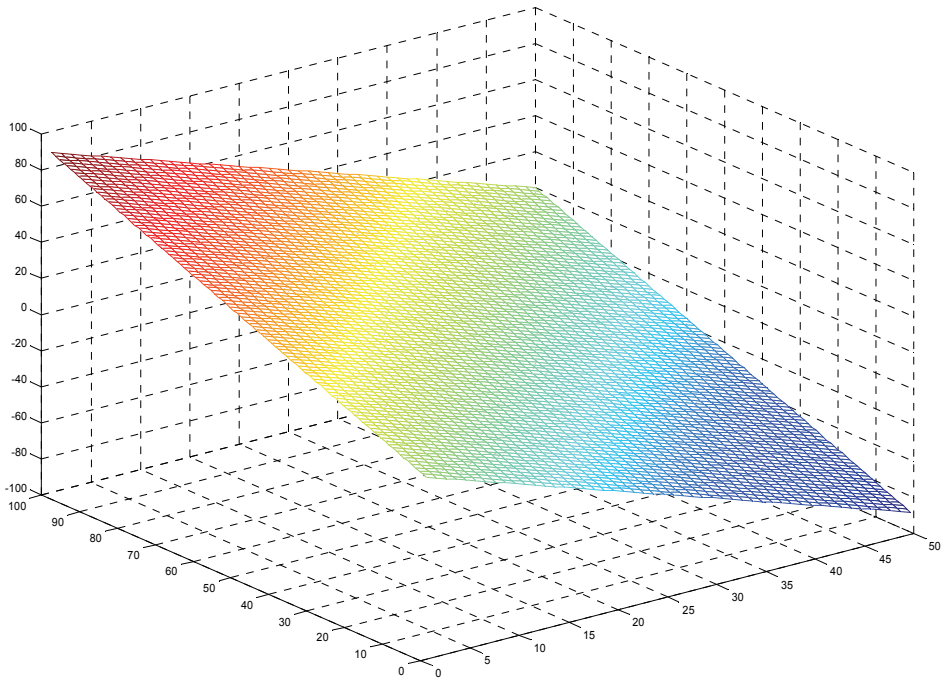


Рис. 2

Вихід з ладу другого каналу показано на рис. 3

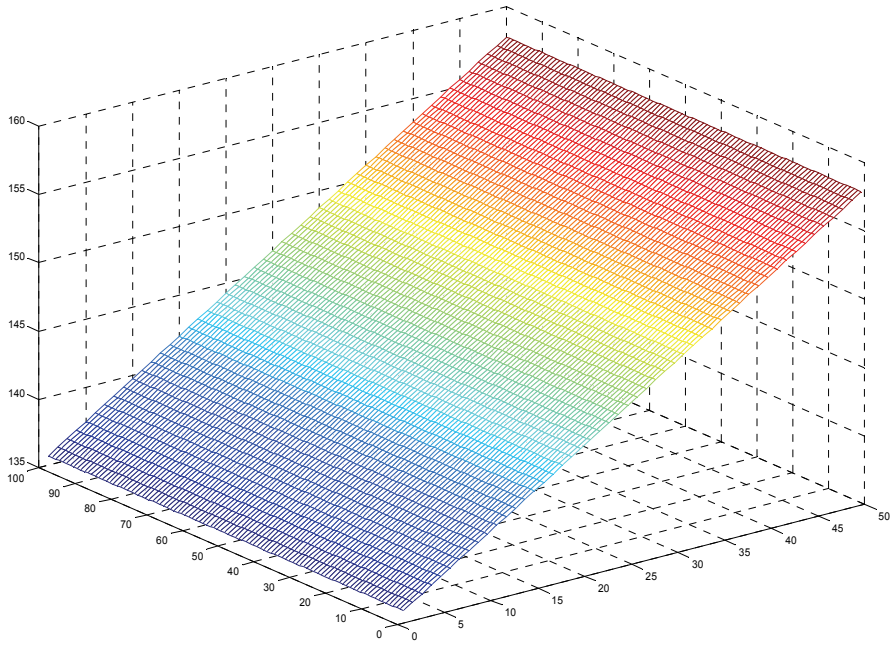


Рис. 3

Висновок

На основі аналізу фізичного процесу підйому фундаментних плит та застосуванні законів теоретичної механіки побудована математична модель стенду, визначені можливі аварійні ситуації, які можуть виникнути в процесі підйому. На базі моделювання аварійних ситуацій можуть бути запропоновані відповідні рішення по їх нейтралізації з метою збереження елементів конструкції випробувальних стендів та обладнання, яке на них випробувалось Запропоновані рішення можуть бути реалізовані у програмному забезпеченні автоматизованої системи підйому фундаментних плит що дозволить запобігти або зменшити наслідки розриву гідро опор під час підйому фундаментних плит.

Список літератури

1. *В.М. Синєглазов, Е.П. Решетняк, Ю.К.Зиатдинов* ”Активное управление как средство повышения ресурса воздушных судов.”-К.:Техніка,1998.-229 с.

2. *В. Комков* ”Теория оптимального управления демпфированием колебаний простых упругих систем.”-М.:Мир,1975.-158 с.

3. *В.И. Гуляев, В.А. Баженов, С.Л.Попов* “Прикладные задачи теории нелинейных колебаний механических систем. ” - М.:Высшая школа,1989.-382с

4. *И.М. Бабаков* “Теория колебаний.”-М.:Наука,1968.-559с.

5. *В.А.Гробов* “Теория колебаний механических систем.”-К.:Вища школа,1982.-182с.

6. М.*А. Павловський, Е.С. Щербина* “Методические указания к изучению курса теоретической механики по теории колебаний: методы и принципы построения систем активной виброзащиты”.-К.:КПИ,1979.-91с.

7. *А.Кобаяси* “Экспериментальная механика.”.-М.:Мир,1990.-551с.

УДК 625.735.(043.2)

М.К. Філяшкін, к.т.н., проф.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВИСТАВКА ТА КАЛІБРУВАННЯ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ МІКРОМЕХАНІЧНОЇ КУРСОВЕРТИКАЛІ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Розглядаються алгоритми виставки та калібрування інерціально-супутникової курсовертикалі, що побудована на основі малогабаритного магнітометра і блоку мікромеханічних датчиків для безпілотних літальних апаратів з катапультним стартом.

Відповідно до концепції ICAO CNS/ATM, у найближчому майбутньому авіаційне навігаційне забезпечення буде побудовано на базі інтегрованих інерціально-супутникових систем навігації. Інтеграція інерціальної (ІНС) та супутникової (СНС) систем реалізується шляхом комплексування двох систем.

При використанні в складі ІНС вимірювального модуля навіть грубих мікромеханічних (MEMS) датчиків: гіроскопів і акселерометрів, можна забезпечити числення кутів кренові й тангажу з прийнятною точністю, використовуючи схему швидкісної корекції для демпфірування шулеровських коливань за інформацією від СНС. Однак при цьому залишається проблема визначення курсу, оскільки існуючий курсовий MEMS гіроскоп не в змозі почути кутову швидкість обертання Землі. Тому похибка обчисленого за алгоритмами ІНС курсу постійно зростає в часі. Проблему забезпечення вимог до азимутального каналу в інерціально-супутникових системах навігації з грубими та середньо точними інерціальними датчиками намагаються вирішити, зокрема, за рахунок використання прийомної апаратури супутникових навігаційних систем з рознесеними антенами. Однак у системах навігації малих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) це рішення не можна використати через не велику вимірювальну міжантенну базу.

Тому пропонується альтернативна схема побудови малогабаритної інерціально-супутникової курсовертикалі (ІСКВ), що включає, бортовий обчислювач, інерціальний модуль MEMS датчиків (ІММД), приймач СНС та трикомпонентний малогабаритний магнітометр (МГ). Сигнали МГ дозволяють моделювати на борті БПЛА напрям на магнітний Північний полюс і використовуються для обмеження погрішності ІММД за курсом. До достоїнств такої схеми побудови ІСКВ варто віднести малі масогабаритні характеристики і точності числення параметрів орієнтації БПЛА на рівні сучасних закордонних інерціальних модулів на динамічно настроюваних гіроскопах.

Для підвищення точності роботи ІСКВ побудованої на грубих MEMS датчиках потрібно здійснювати їхнє передстартове калібрування, що полягає у визначенні повного дуже не стабільного вектора власних систематичних похибок модуля ІММД. При цьому варто розділяти процедури калібрування і процедури початкової виставки ІСКВ.

Режим виставки це один з головних режимів роботи будь-якої інерціальної системи. В азимуті прискорена виставка ІСН повинно здійснюватися за інформацією датчика курсу. Процес виставки ІСН у горизонті зазвичай виконується по корпусу ЛА або за сигналами акселерометрів. Проте виставка ІСКВ за сигналами не відкаліброваних грубих MEMS акселерометрів може призвести до великих похибок процедури горизонтування.

У статті пропонується виставку ІСКВ БПЛА проводити за інформацією від апаратури стартової катапульти з опорою на данні магнітометра і приймача СНС БПЛА. Спеціалізований модуль керування стартом, установлений на катапульті, окрім обчислення стартових параметрів і перевірки всіх систем БПЛА забезпечує також процес передстартової виставки ІСКВ БПЛА. Апаратура, що забезпечує процес виставки, має містити: прийомну апаратури супутникової навігаційної системи з рознесеними антенами по типі інтегрованої системи Seapath 200 норвезької фірми Seatex AS та еталону вертикаль, що побудована на високоточних прецизійних гіроскопах або на акселерометрах.

На відміну від виставки БІНС у польоті виставка на стартовій катапульті значно спрощена, тому що відсутній рух основи і є точна інформація про положень БПЛА відносно стартової катапульти. У процесі початкової виставки повинні бути обчислені параметри, що характеризують взаємну орієнтацію тригранника осей, зв'язаного з БПЛА, і тригранника, прийнятого за навігаційний у процесі початкової виставки. У якості навігаційного зручно вибирати триедр, осі якого спрямовані по осях географічного тригранника. У процесі початкової виставки обчислюється матриця направляючих косинусів між осями зв'язаного й осями навігаційного тригранника.

Процедура виставки в горизонті зводиться до передачі інформації про кути крену й тангажу основи катапульти (з урахуванням кута нахилу стартової смуги до горизонту) в обчислювач ІСКВ БПЛА. Для азимутальної виставки використовується інформація про курсове положення катапульти, що сформована мультіантеною приймальної апаратурою катапульти і магнітометром ІСКВ БПЛА.

Точність визначення азимутальної орієнтації за інформацією мультіантенного приймача GPS (у градусній мері) визначається формулою:

$$\sigma_{\psi_{\text{GPS}}} \approx 0.15°/D,$$

де D − вимірювальна міжантенна база; $\sigma_{\psi_{\text{GPS}}}$ − СКО похибки визначення курсу від GPS.

При довжині стартової смуги катапульти рівної 3 м $\sigma_{\psi_{\text{GPS}}} = 0{,}05°$, а СКО помилка магнітометра $\sigma_{\psi_{\text{МГ}}}$ у визначенні магнітного курсу при ретельному врахуванні магнітного схилення та девіації складає порядку 0,25°.

Наявність надлишкової навігаційної інформації спонукає застосовувати додаткові алгоритми обробки цієї інформації з використанням методу максимуму правдоподібності або методу найменших квадратів.

Алгоритм одержання оцінки по методі максимуму правдоподібності має вигляд:

$$\hat{\mathbf{X}}_m = (\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}_z^{-1}\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}_z^{-1}\mathbf{Z}_m$$

де $\mathbf{H}$ − матриця зв'язків спостереження; $\mathbf{R}_z$ − кореляційна матриця похибок вимірників; $\mathbf{Z}_m$ − накопичені спостереження про значення курсу від МГ і GPS.

Кореляційну матрицю похибок вимірників можна отримати на основі дисперсій похибок GPS і МГ. Зокрема це

$$\mathbf{H} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \end{vmatrix}; \quad \mathbf{R}_z = \begin{vmatrix} \sigma^2_{\psi_{\text{GPS}}} & 0 \\ 0 & \sigma^2_{\psi_{\text{МГ}}} \end{vmatrix}; \quad \mathbf{Z} = \begin{vmatrix} z_{\text{GPS}} \\ z_{\text{МГ}} \end{vmatrix}$$

тоді $(\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}_z^{-1}\mathbf{H})^{-1}\mathbf{H}^{\mathrm{T}}\mathbf{R}_z^{-1} = \begin{vmatrix} \dfrac{\sigma^2_{\psi_{\text{GPS}}}}{\sigma^2_{\psi_{\text{GPS}}} + \sigma^2_{\psi_{\text{МГ}}}} & \dfrac{\sigma^2_{\psi_{\text{МГ}}}}{\sigma^2_{\psi_{\text{GPS}}} + \sigma^2_{\psi_{\text{МГ}}}} \end{vmatrix}.$

Отримані оцінки визначення азимутальної орієнтації використовуються для азимутальної виставки ІСКВ БПЛА.

Процес калібрування це наступний підготовчий етап робот ІСКВ. У багатьох дослідженнях пропонується калібрувати датчики БІНС, використовуючи алгоритми калмановской фільтрації, що базуються на математичних моделях похибок інерциальних вимірників або на математичній моделі всієї інерціальної-супутникової навігаційної системи (ІСНС).

Узагальнене рівняння стану похибок вимірювання ІСНС має вигляд:

$$\dot{\mathbf{V}}_{\text{ісис},k} = \mathbf{\Phi}_{\text{ісис},k}\mathbf{V}_{\text{ісис},k-1} + \xi_{\text{ісис}}$$

де $\mathbf{\Phi}_{\text{ісис},k} = \begin{vmatrix} \mathbf{\Phi}_{\text{інс},k} & 0 \\ 0 & \mathbf{\Phi}_{\text{снс},k} \end{vmatrix}$ − відома матриця системи, що сформована на основі матриць $\mathbf{\Phi}_{\text{інс}}$, $\mathbf{\Phi}_{\text{снс}}$ моделей корельованих складових похибок інерціальної та супутникової

навігаційних систем; $\xi_{\text{існе},k}=\left|\begin{matrix}\xi_{\text{інс},k}\\ \xi_{\text{снс},k}\end{matrix}\right|$ – вектор гаусівських шумів з матрицею дисперсії $\mathbf{Q}_{\text{існе},k}$, які отримані з білошумних складових похибок двох навігаційних систем.

Рівняння для оцінки $\widehat{\mathbf{V}}_{\text{існе},k}$ з урахуванням певних допущень виходять із загальних рівнянь оптимальної фільтрації і мають вигляд:

$$\widehat{\mathbf{V}}_{\text{існе},k}=\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{існе},k|k-1}+\mathbf{K}_{\text{ф},k}(\mathbf{Z}_{\text{снс},k}-\widehat{\mathbf{Z}}_{\text{існе},k});$$

$$\widehat{\mathbf{Z}}_{\text{існе},k}=\mathbf{G}(\mathbf{Z}_{\text{інс},k}-\mathbf{M}_{\text{інс},k}\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{інс},k|k-1})+\mathbf{M}_{\text{снс},k}\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{снс},k|k-1};$$

$$\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{існе},k|k\text{-}1}=\mathbf{\Phi}_{\text{існе},k}\mathbf{V}_{\text{існе},k\text{-}1};\ \widetilde{\mathbf{V}}_{\text{інс},k|k\text{-}1}=\mathbf{\Phi}_{\text{інс},k}\mathbf{V}_{\text{інс},k\text{-}1};\ \widetilde{\mathbf{V}}_{\text{снс},k|k\text{-}1}=\mathbf{\Phi}_{\text{снс},k}\mathbf{V}_{\text{снс},k\text{-}1};$$

$$\mathbf{K}_{\text{ф},k}=\mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}_k^{\text{T}}(\mathbf{H}_k\mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}_k^{\text{T}}+\mathbf{N}_k)^{-1};$$

$$\mathbf{P}_{k|k-1}=\mathbf{\Phi}_{\text{ісск},k}\mathbf{P}_{k-1}\mathbf{\Phi}_{\text{ісск},k}^{\text{T}}+\mathbf{Q}_{\text{ісск},k};$$

$$\mathbf{P}_k=\mathbf{P}_{k|k-1}-\mathbf{K}_{\text{ф},\,k}\mathbf{H}_k\mathbf{P}_{k|k-1};$$

$$\mathbf{H}_k=\frac{\partial}{\partial V_{\text{існе},k}}\left[\mathbf{G}(\mathbf{Z}_{\text{інс},k}-\mathbf{M}_{\text{інс},k}\mathbf{V}_{\text{інс},k})+\mathbf{M}_{\text{снс},k}\mathbf{V}_{\text{снс},k}\right]_{\mathbf{V}_{\text{існе},k}=\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{існе},k|k-1}},$$

де $\mathbf{Z}_{\text{снс}}, \mathbf{Z}_{\text{інс}}$ – вектори спостережень з виходів СНС і ІНС; $\mathbf{G}$ – відома матриця векторної функції $\mathbf{G}(\mathbf{X}_k)$, що зв'язує радіонавігаційні параметри сигналові з оцінюваним вектором стану $\mathbf{X}_k$; $\mathbf{M}_{\text{снс}}, \mathbf{M}_{\text{інс}}$ – відомі матриці завад процесу спостережень на виходах СНС і ІНС; $\widehat{\mathbf{Z}}_{\text{існе}}$ – оцінка векторові спостереження; $\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{існе}}, \widetilde{\mathbf{V}}_{\text{інс}}, \widetilde{\mathbf{V}}_{\text{снс}}$ – помилки оцінювання похибок комплексної системи, а також похибок ІНС і СНС; $\widetilde{\mathbf{V}}_{\text{існе},k|k\text{-}1}$ і $\mathbf{P}_{k|k-1}$ – відповідно помилки оцінювання похибок ІНС і СНС і коваріаційна матриця $\mathbf{P}$ для моментові k, які розраховані на основі k вимірювань у попередні моменти години $k-1$, $k-2$; $\mathbf{H}$ – матриця вимірювань для вектора спостереження; $\mathbf{N}$ – кореляційна матриця.

Природно, що модель матриці похибок системи містить складові дрейфів інерціального модуля MEMS-датчиків, тому фільтр Калмана виробляє оптимальну оцінку систематичної складової погрішності цих датчиків з точки зору мінімуму помилки оцінювання. Результати моделювання процесів калібрування акселерометра (похибка оцінювання $\Delta(\Delta a_3)$) і датчики кутової швидкості (похибка оцінювання$\Delta(\Delta eps_1)$) з використанням калманівської фільтрації наведені на рис. 1

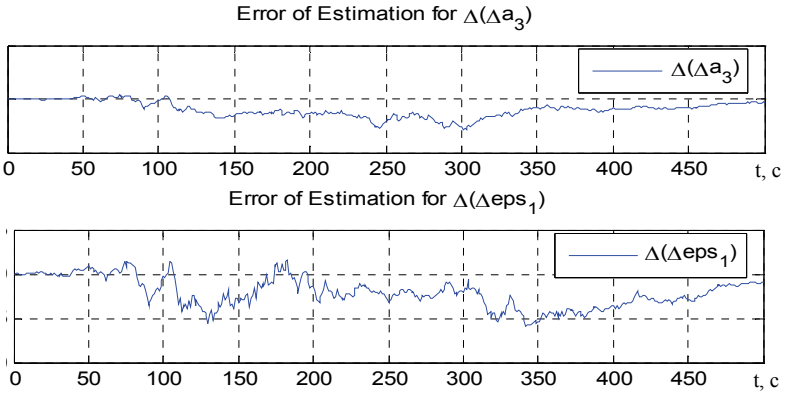


Рис. 1

Тривалість такої процедури калібрування досить велика й складає десь порядкові 10 хв. Тому пропонується передстартове калібрування датчиків кутової швидкості ІСКВ з крену й тангажу (основні джерела похибок числення кутової орієнтації) здійснювати при виставленій системі, використовуючи інформацію про помилки формування інтегральної корекції, зокрема, про помилки алгоритмів числення в ІСКВ складових швидкості польоту (на етапі передстартового калібрування ці складові дорівнюють нулю).

Формуючи при калібруванні додатковий контур корекції з ланцюгами швидкісного зворотного зв'язку, який забезпечить зменшення періоду з одночасним демпфірування шулеровських коливань (на етапі такого калібрування доводиться жертвувати інваріантністю системи по відношенню до ударів і вібрацій), можна за коефіцієнтами підсилення в цих

ланцюгах судити про значення систематичний складових погрішностей MEMS-датчиків кутової швидкості. У ланці додаткового контурові інтегральної корекції, який уводиться в коло формування проекцій вектора абсолютної кутової швидкості на осі зв'язаної системи координат необхідно врахувати проекції кутової швидкості обертання Землі, тобто вважати що

$$\omega_{y_\Sigma} = \omega_{y_{\text{ЛА}}} - \omega_{y_{NHE}}; \omega_{x_\Sigma} = \omega_{x_{\text{ЛА}}} - \omega_{x_{NHE}}; \omega_{z_\Sigma} = \omega_{z_{\text{ЛА}}} - \omega_{z_{NHE}},$$

де $\omega_{y_{\text{ЛА}}}, \omega_{x_{\text{ЛА}}}, \omega_{z_{\text{ЛА}}}$ – проекції кутової швидкості ЛА відносно інерціального просторові на осі зв'язаної СК, які на етапі калібрування дорівнюють величині систематичного дрейфові відповідного датчика кутової швидкості;

$\omega_{x_{NHE}}, \omega_{y_{NHE}}, \omega_{z_{NHE}}$ – проекції кутової швидкості навігаційного тригранника відносно інерціального просторові на осі зв'язаної СК, які на етапі калібрування враховують тільки проекції кутової швидкості обертання Землі – $\Omega_N = \Omega_3 \cos B;\ \Omega_H = \Omega_3 \sin B;\ \Omega_E = 0$

$$\begin{bmatrix} \omega_{x_{NHE}} \\ \omega_{y_{NHE}} \\ \omega_{z_{NHE}} \end{bmatrix} = \mathbf{B}^{\mathrm{T}} \begin{bmatrix} \Omega_N \\ \Omega_H \\ \Omega_E \end{bmatrix}$$

де B − географічна широта точки старту БПЛА; **B** − матриця направляючих косинусів між осями зв'язаного й осями навігаційного тригранника.

Тривалість пропонованої процедури калібрування значно менше й складає десятки секунд. Калібрування азимутального гіроскопа при наявності в складі ІСКВ магнітометра можна здійснювати й в польоті за інформацією про нев’язку численних і вимірюваних значень швидкостей зміни курсу.

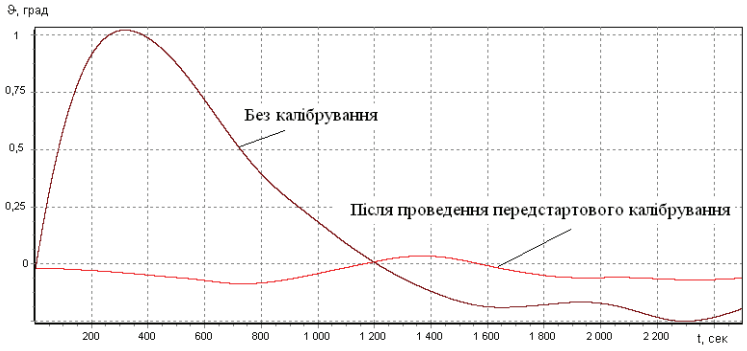


Рис. 2

Результати досліджень робочих режимів ІСКВ (точність числення параметрів кутової орієнтації, зокрема кута тангажа) після проведення процедури передстартового калібрування датчиків кутової швидкості у порівнянні з не відкаліброваними датчиками наведені на рис. 2. При дослідженнях використовувалась модель ІСКВ, модель супутникової системи навігації, як еталона, але викривлена білим шумом навігаційна система й модель схеми, що реалізує процедуру передстартового калібрування. При моделюванні не стабільного вектора систематичних похибок модуля ІММД використовувався білошумний формуючий фільтр.. Результати моделювання свідчать про суттєве зменшення похибки числення параметрів кутової орієнтації після проведення процедури передстартового калібрування.

Висновки

Пропонований спосіб калібрування здійснюється за алгоритмами аналогічними алгоритмам робочого режиму ІСКВ, використовуючи інформацією не про зашумлені сигнали інерціальних вимірників, а інформацію ІСКВ по кутах орієнтації та про значення північної і східної складової лінійної швидкості, які є при калібруванні похибками системи. Виставка і калібрування ІСКВ БПЛА від апаратури стартової катапульти значно прискорює й покращує точність цих процедур.

Список літератури

1. *Філяшкін М.К., Рогожин В.О., Скрипець А.В., Лукінова Т.І.* Інерціально-супутникові навігаційні системи. – К.: НАУ, 2009. – 306 с.

УДК 004.032.26

Е.И. Чумаченко, к.т.н., О.Ю. Левицкий
(НТУУ «КПИ», Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ

В результате проведенного анализа для решения задач диагностики был обоснован выбор нейронной сети Кохонена и определены вид и количество входов и выходов сети.

В настоящее время большое внимание уделяется решению задач диагностики в авиационной технике. Сложность данной задачи заключается в невозможности предугадать все возможные ситуации в рассматриваемой системе. Вот почему в системах диагностики используются интеллектуальные элементы, такие как нейронные сети.

Будем использовать следующую модель задачи диагностики.

Ω – множество объектов диагностики.

ω: $\omega \in \Omega$ – объект диагностики.

$g(\omega)$: $\Omega \rightarrow M$, $M\{1, 2, \dots, m\}$ индикаторная функция, разбивающая пространство Ω на m непересекающихся классов Ω^1, Ω^2, … , Ω^m. Индикаторная функция неизвестна наблюдателю.

X – пространство наблюдений, воспринимаемых наблюдателем (пространство признаков).

$x(\omega)$: $\Omega \rightarrow X$ – функция, ставящая в соответствие каждому объекту ω признак $x(\omega)$ в пространстве признаков. Вектор $x(\omega)$ – это объект, воспринимаемый наблюдателем. В пространстве признаков определены непересекающиеся множества $K_i \subset X$, $i = 1, 2, \dots, m$, соответствующих образам одного класса.

$\hat{g}(x)$: $X \rightarrow M$ – решающее правило – оценка для $g(\omega)$ на основании $x(\omega)$, т.е. $\hat{g}(x) = \hat{g}(x(\omega))$.

Пусть $x_j = x(\omega_j)$, $j = 1, 2, \dots, N$ – доступная наблюдателю информация о функциях $g(\omega)$ и $x(\omega)$, но сами эти функции наблюдателю неизвестны. Тогда (g_j, x_j), $j = 1, 2, \dots, N$ – есть множество прецедентов.

Задача заключается в построении такого решающего правила $\hat{g}(x)$, чтобы диагностика проводилась с минимальным числом ошибок.

В задачах диагностики проявляются преимущество нейросетевых технологий, которые осуществляют такую диагностику, обобщая прежний опыт и применяя его в новых случаях.

Выбор наилучшей структуры нейронной сети предполагает решение следующих задач:

- выбор топологии сети;
- выбор и анализ входов сети;
- выбор объема сети;
- выбор выходов сети;
- выбор метода обучения сети.

Рассмотрим типы нейронных сетей, которые используются для диагностики. Известны следующие топологии.

1. Персептрон

Рассмотрим иерархическую сетевую структуру, в которой связанные между собой нейроны (узлы сети) объединены в несколько слоев. Межнейронные синаптические связи сети устроены таким образом, что каждый нейрон на данном уровне иерархии принимает и обрабатывает сигналы от каждого нейрона более низкого уровня. Таким образом, в данной сети имеется выделенное направление распространения нейроимпульсов – от входного слоя через один (или несколько) скрытых слоев к выходному слою нейронов. Нейросеть такой топологии мы будем называть персептроном.

Персептроны могут применятся в широким кругу задач, в том числе и в задачах диагностики. Поэтому в дальнейшем можно рассматривать эту топологию как возможную. Недостатком этой сети для задач диагностики является то, что она неэффективна в

многомерном входном пространстве, геометрию которого представить практически невозможно.

2. Сети Кохонена

Сети, называемые сетями Кохонена, – это одна из разновидностей нейронных сетей, однако они принципиально отличаются от рассмотренных выше, поскольку используют неконтролируемое обучение. Напомним, что при таком обучении обучающее множество состоит лишь из значений входных переменных, в процессе обучения нет сравнивания выходов нейронов с эталонными значениями. Можно сказать, что такая сеть учится понимать структуру данных.[3]

Сеть Кохонена, в отличие от многослойной нейронной сети, очень проста; она представляет собой два слоя: входной и выходной. Ее также называют самоорганизующей. Элементы сети располагаются в некотором пространстве, как правило, двумерном.

Благодаря своим способностям к обобщению информации сеть Кохонена является удобным инструментом для наглядного представления о структуре данных в многомерном входном пространстве, геометрию которого представить практически невозможно. Это наиболее удобно в задачах диагностики.

3. Когнитрон

Когнитрон состоит из иерархически связанных слоев нейронов двух типов — тормозящих и возбуждающих. Состояние возбуждения каждого нейрона определяется суммой его тормозящих и возбуждающих входов. Синаптические связи идут от нейронов одного слоя (далее слоя 1) к следующему (слою 2).

Этот тип сети был разработан для моделирования процесса распознавания образов человеком и не подходит для задач диагностики.

4. Сеть Хопфилда

Сеть состоит из двух слоев. Первый и второй слои имеют по m нейронов, где m — число образцов. Нейроны первого слоя имеют по n синапсов, соединенных с входами сети (которые образуют фиктивный нулевой слой). Нейроны второго слоя связаны между собой ингибиторными (отрицательными обратными) синаптическими связями. Единственный синапс с положительной обратной связью для каждого нейрона соединен с его же аксоном.

Идея работы сети состоит в нахождении расстояния Хэмминга от тестируемого образа до всех образцов. Расстоянием Хэмминга называется число отличающихся битов в двух бинарных векторах. Сеть должна выбрать образец с минимальным расстоянием Хэмминга до неизвестного входного сигнала, в результате чего будет активизирован только один выход сети, соответствующий именно этому образцу. Такая сеть может быть использована для решения некоторых задач оптимизации и не подходит для задач диагностики

На основании проведенного анализа топологий нейронных сетей для решения задачи диагностики наилучшим образом подходит нейросеть Кохонена.

Для определения входов необходимо определить, какие параметры влияют на принятие решения о том, к какому классу принадлежит образец. При этом могут возникнуть две проблемы. Во-первых, если количество параметров мало, то может возникнуть ситуация, при которой один и тот же набор исходных данных соответствует примерам, находящимся в разных классах. Тогда невозможно обучить нейронную сеть, и система не будет корректно работать (невозможно найти минимум, который соответствует такому набору исходных данных). [10] Исходные данные обязательно должны быть непротиворечивы. Для решения этой проблемы необходимо увеличить размерность пространства признаков (количество компонент входного вектора, соответствующего образцу). Но при увеличении размерности пространства признаков может возникнуть ситуация, когда число примеров может стать недостаточным для обучения сети, и она вместо обобщения просто запомнит примеры из обучающей выборки и не сможет корректно функционировать. Таким образом, при определении признаков необходимо найти компромисс с их количеством.

Далее необходимо определить способ представления входных данных для нейронной сети, т.е. определить способ нормирования. Нормировка необходима, поскольку нейронные

сети работают с данными, представленными числами в диапазоне 0..1, а исходные данные могут иметь произвольный диапазон или вообще быть нечисловыми данными. При этом возможны различные способы, начиная от простого линейного преобразования в требуемый диапазон и заканчивая многомерным анализом параметров и нелинейной нормировкой в зависимости от влияния параметров друг на друга.

Объем сети определяется количеством скрытых слоев. Так как выбрана сеть Кохонена, то объем определен топологией. Сеть Кохонена, представляет собой два слоя: входной и выходной. При этом каждый нейрон входного слоя связан со всеми нейронами выходного, а внутри слоев связей нет. На нейроны входного слоя подаются векторы признаков кластеризуемых объектов. Как и в обычной нейронной сети, входные нейроны не участвуют в процессе обучения и обработки данных, а просто распределяют входной сигнал по нейронам следующего слоя. Число входных нейронов равно размерности вектора признаков (т.е. числу признаков объекта).

Количество выходных нейронов сети Кохонена равно числу кластеров, которое должно быть построено моделью, и каждый нейрон ассоциирован с определенным кластером. Выходы обрабатываются по принципу «победитель забирает все», т.е. нейрон с наибольшим значением выхода выдает единицу, а остальные обращаются в 0. Таким образом, в результате обработки предъявленного сети объекта, на выходе одного из нейронов формируется 1, а на выходе остальных – 0. [2] После чего объект относится к кластеру, ассоциированному с единичным нейроном.

Выходы сети представляют собой группу бинарных переменных. Они отвечают за соответствие определенному классу.

Суть обучения нейронной сети Кохонена заключается в такой подстройке весов, при которой близкие входные векторы будут активировать один и тот же нейрон Кохонена. Обучение слоя Кохонена является самообучением, протекающим без учителя. В связи с этим трудно заранее сказать, какой именно нейрон Кохонена будет активироваться заданным входным вектором.[7]

Классический алгоритм обучения сети Кохонена выглядит следующим образом:

- присвоение весовым коэффициентам некоторых начальных значений. Общепринятой практикой при работе с нейронными сетями является присваивание весам небольших случайных значений;
- подать на вход нейронной сети вектор $\vec{x}_i$ из обучающего множества x;
- рассчитать выход слоя Кохонена и определить «выигравший» нейрон k, т.е. нейрон с максимальным выходом;
- произвести корректировку весов «выигравшего» нейрона по следующей формуле $\vec{w}_k = \vec{w}_k + \beta(\vec{x}_i - \vec{w}_k)$, где β – коэффициент скорости обучения.

Коррекция весов записана в виде векторного выражения. Часто используют расписание с обучением, когда $\beta = \beta(t)$ монотонно убывает. Требования к $\beta(t)$ те же, что и в случае многослойного персептрона.[5]

Веса корректируются так, что вектор весов приближается к текущему входному вектору. Коэффициент скорости обучения управляет быстротой приближения ядра класса (вектора весов) к входному вектору. Алгоритм выполняется до тех пор, пока веса не перестанут меняться.

Обычно переменная β является коэффициентом скорости обучения, который вначале обычно равен 0.7 и может постепенно уменьшаться в процессе обучения. Это позволяет делать большие начальные шаги для быстрого грубого обучения и меньшие шаги при подходе к окончательной величине.

Выводы

В результате проведенного анализа для решения задач диагностики был обоснован выбор нейронной сети Кохонена и определены вид и количество входов и выходов сети.

Литература

1. *Вапник В.Н.* Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. // М.: Наука, 1979. 16с.-17с

2. *Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. // Горячая Линия - Телеком, 2007 г., 18с.-43с.

3. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Искусственные нейронные сети. Теория и практика. // Горячая Линия - Телеком, 2002 г., 23с.-44с.

4. *P.Tavan, H.Grubmuller, H.Kuhnel.* Self-organization of associative memory and pattern classification: recurrent signal processing on topological feature maps. // Biological Cybernetics, 64 (1990), 95p.-105p.

5. *Джеффри Е. Хинтон.* Как обучаются нейронные сети. // В мире науки – 1992г. - N 11 - N 12, 103с.-107с.

6. *Барцев С.И., Охонин В.А.* Адаптивные сети, функционирующие в непрерывном времени // Эволюционное моделирование и кинетика, Новосибирск, Наука, 1992, 24с.-30с.

7. *Гилев С.Е.* Сравнение методов обучения нейронных сетей // Тезисы докладов III Всероссийского семинара "Нейроинформатика и ее приложения", Красноярск: КГТУ, 80с.-81с.

8. *Гилев С.Е.* Forth-propagation - метод вычисления градиентов оценки // Тезисы докладов II Всероссийского рабочего семинара "Нейроинформатика и ее приложения", Красноярск: КГТУ, 1994, 36с.-37с.

9. *Барцев С.И., Ланкин Ю.П.* Сравнительные свойства адаптивных сетей с полярными и неполярными синапсами. // Препринт Института биофизики СО РАН, Красноярск, 1993г., №196Б, 26с.

10. *Аркадьев А.Г., Браверман Э.М.* Обучение машины классификации объектов. // М.: Наука, 1971., 172с.

11. *Савченко А.А., Митрошина Л.В., Россиев Д.А., Догадин С.А.* Моделирование с помощью нейросетевого предиктора реальных чисел иммуноэндокринного взаимодействия при заболеваниях щитовидной железы // Тезисы докладов рабочего семинара "Нейроинформатика и нейрокомпьютеры", Красноярск, 1993г., 18с.

УДК 629.735.054.07(045)

М.К. Філяшкін, к.т.н., Т.І. Мар'ясова, магістр, М.П. Мар'ясов
(Національний авіаційний університет, Україна.)

СХЕМА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ З МОДЕРНІЗОВАНИМ ФІЛЬТРОМ В КОМПЛЕКСНІЙ НАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ

Запропоновано для цілей інтеграції інерціально-супутникових навігаційних систем застосовувати швидкодіючі, некритичні до нестаціонарних випадкових процесів схеми комплексування на основі схем компенсації. Запропонований для схеми компенсації фільтр на основі процедури вейвлет-аналізу показав при дослідженнях добрі фільтруючі властивості, які забезпечують якість оцінювання.

В теперішній час визнано, що одним з основних шляхів вдосконалення навігаційного обладнання є створення комплексних навігаційних систем, що інтегрують командні прибори в єдиний блок, здатний автоматично вирішувати задачу навігації ЛА. Сутність комплексування полягає у використанні інформаційної та структурної надмірності для підвищення точності, надійності та завадостійкості інформації при вимірюванні одних і тих же або функціонально зв'язаних навігаційних параметрів. Інформаційна надмірність полягає в тому, що забезпечується отримання однорідної інформації від декількох навігаційних датчиків різної фізичної природи з наступною сумісною обробкою цієї інформації в спеціалізованому обчислювачі. Надмірність структури комплексу забезпечує його працездатність при відмові, особливо короткотривалій, одного із датчиків.

Ядром сучасного ПНК будь якого класу є інерціальна навігаційна система (ІНС), на даний час більш розповсюдженими стають безплатформенні інерціальні навігаційні системи. Інерціальні навігаційні системи, як найбільш інформативні системи, з тих що встановлюються на борту ЛА. Разом з тим, інерціальним системам притаманні недоліки, що не дозволяють використовувати їх довгий час в автономному режимі, наприклад, зростання похибок з часом. Тому для усунення недоліків ІНС переходять до створення комплексів, забезпечуючи корекцію ІНС.

Численні дослідження та практика експлуатації супутникових систем показують, що найбільш перспективним засобом корекції ІНС є супутникові системи, які володіють найбільш високою точністю і глобальністю застосування. При цьому можливо поліпшення характеристик автономних БІНС не тільки за координатами і швидкістю, але й за кутовою орієнтацією.

Постановка задачі. Задачу досліджень сформулюємо як дослідження можливостей комплексування навігаційної інформації двох систем, що є на борту сучасного літака: однієї - невисокої точності, а значить дешевої безплатформенної інерціальної навігаційної системи (БІНС) і іншої супутникової високоточної навігаційної системи (СНС), а також у виробленні загальних принципів побудови таких комплексних навігаційних систем. Аналіз робіт [2,3,4] показує, що розробка інтегрованої інерціально-супутникової системи навігації є актуальний завданням, яке підвищить рівень безпеки польотів. Перспективі розробки ІССН сприяють наступні обставини: наявність на борту вказаних навігаційних засобів (ІНС, СНС), розробка і вдосконалення рекурентних методів оптимальної фільтрації, поліпшення якісних характеристик бортових ЕОМ, дослідження точністних характеристик навігаційних систем.

Очевидно, побудова інтегрірованних інерціально-супутникових систем дозволяє, зберігши повною мірою переваги кожної з систем, істотно зменшити вплив їх недоліків. Ідея задачі комплексної обробки полягає в побудові таких алгоритмів, за допомогою яких забезпечується максимальна точність визначення основних навігаційних параметрів, – координат, швидкості і кутів орієнтації. Оскільки вихідна вимірювальна інформація в інтегрованих системах, як правило, надлишкова, роль цих алгоритмів в них вельми значуща.

Існує декілька підходів до побудови алгоритмів комплексної обробки в інтегрованих системах залежно від того, яким чином розподіляється вся наявна вимірювальна інформація і на якому рівні реалізується обробка.

Стосовно інерціально-супутникових систем найбільшого поширення набувають дві схеми комплексування: слабозв'язана (loosely coupled) і сильносвязанная (tightly coupled) схеми.

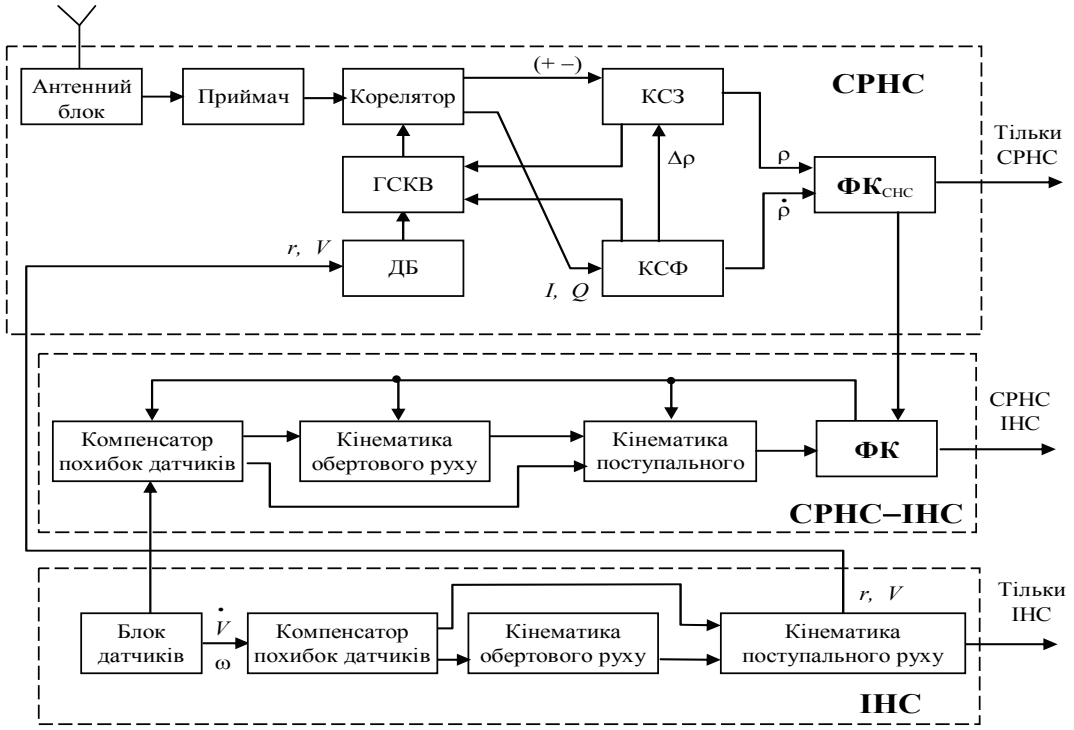


Рис1. Слабкозв’язана схема комплексування

Нас цікавить слабкозв’язана схема комплексування, оскільки вихідна інформація двох систем може піддаватися комплексної обробці з використанням тих чи інших алгоритмів оптимальної фільтрації. Окрім цього, для створення архітектури такої інтегрованої ІССН потрібні мінімальні зміни в апаратних засобах і програмному забезпеченні вже існуючого обладнання ЛА.

Задача синтезу алгоритмів оптимального комплексування ІНС і СНС може формулюватися як знаходження найкращої (у смислі мінімуму дисперсії похибки оцінювання) оцінки вектора стану за спостереженнями сигналів інерціальної та супутникової навігаційних систем.

Найбільш привабливим для розв’язання цієї задачі є залучення калманівської фільтрації. Проте, використання фільтра Калмана зустрічає певні труднощі при його практичній реалізації на борту ЛА суть яких детально викладено в роботах [2,3].

Тому в даний час актуальним є питання про впровадження нових методів розв’язку задачі сумісної обробки інформації, зокрема для ІССН.

Пропонується, як альтернативний варіант використовувати алгоритми комплексування спостережуваних складових вектора стану на основі схеми компенсації.

Структурна схема реалізації методу компенсації зображена на рис.2. Алгоритм же комплексної обробки інформації, що використовує метод компенсації, має досить простий вигляд:

$$\hat{X} = X_{\text{БІНС}} - F(p)(X_{\text{БІНС}} - X_{\text{СНС}}),$$

де F(p) – динамічний фільтр схеми компенсації; $X_{\text{БІНС}}$, $X_{\text{СНС}}$ – навігаційні параметри (координати і складові швидкості), які отримують від БІНС і СНС; $\hat{X}$ – оцінка даного навігаційного параметра.

Сигнал вимірюваної величини разом з сигналами похибок $\xi_{БІНС}$ і $\xi_{СНС}$ надходять на вхід пристрою віднімання В1 на виході якого формується сигнал

$$\xi = (x + \xi_1) - (x + \xi_2) = \xi_1 + \xi_2$$

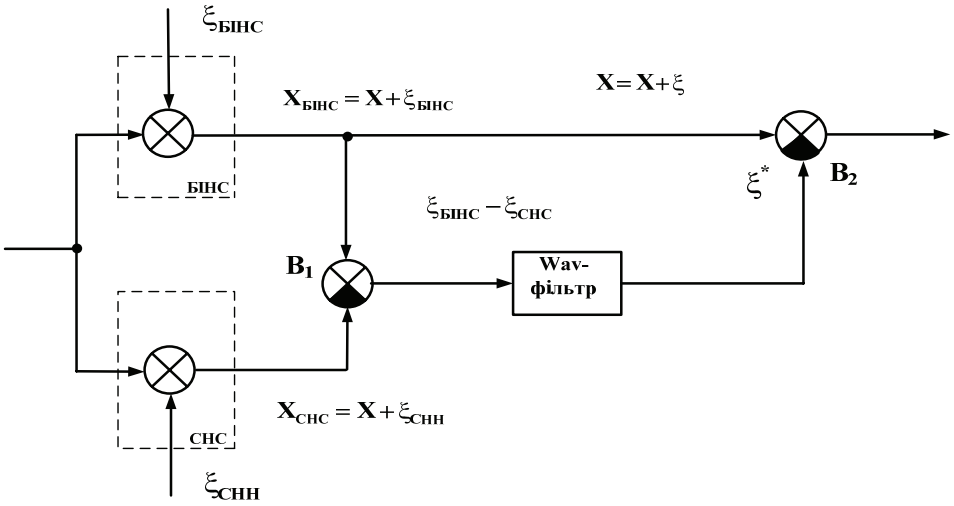


Рис2. Схема компенсації

Цей сигнал проходить крізь динамічний фільтр F(p) і на другому пристрої В2 віднімається від сигналу першої (коригованої) системи. Таким чином формується оцінка параметрів вектора стану. Тож основна проблема реалізації зазначеної схеми полягає у відновленні сигналу похибки БІНС, спотвореного високочастотною похибкою СНС.

Тому перед нами постає одне з найбільш актуальних завдань цифрової обробки сигналів: синтез такого динамічного фільтру, який зміг би найкращим способом очистити корисний сигнал від перешкоди, для подальшої досить точної оцінки навігаційного параметра. З проаналізованих нами методів обробки сигналів, було обрано вейвлет-аналіз.

Процедура фільтрації білошумних в різнецевому сигналі похибок БІНС та СНС $\left(\xi_{\text{БІНС}} - \xi_{\text{СНС}}\right)$ виконується з використанням ортогональних вейвлетів і включає в себе наступні операції:

-Вейвлет-розкладання сигналу $\left(\xi_{\text{БІНС}} - \xi_{\text{СНС}}\right)$ по базису вейвлетів до рівня N. Значення рівня N визначається частотним спектром інформаційної частини сигналу - $\xi_{БІНС}$, яку лишати в рядах аппроксимаціцних коефіціентів. Тип и порядок вейвлета може суттєво впливати на якість очистки сигналу від шуму в як від форми сигналів $\xi_{БІНС}$, так і від кореляційн х характеристик шумів.

-Задання типу та порогових рівнів очистки по відомим апріорним даним про характер шумів чи по визначеним критеріям шумів у вхідному сигналі. Порогові рівні очистки можуть бути гибкими (в залежності від номеру рівня розкладання) чи жосткими (глобальними).

-Порогова фільтрація коефіцієнтів деталізації вейвлет-озкладання у відповідності з установленими умовами очистки.

-Відновлення (реконструкция) сигналу на основі коефіціентів апроксимації та модифікованих деталізаційних коефіціентів.

Сумарну помилку БІНС+СНС будемо обробляти за допомогою математичного апарату вейвлет-перетворення, на рис.3 наглядно представлена фільтрація, чітко видно відокремлення високої частоти, на третьому графіку зображена гіпотетична модель помилки СНС.

Результати досліджень реалізованих в схемі слабкозв’язаного комплексування з використанням вейвлет-фільтра в схемі компенсації представлені на рис.4. На рис.4 представлені залежності: a-сигнал очищений вейвлет фільтром, b-високочастотна складова відфільтрована із показів ІССН, d-похибка оцінювання.

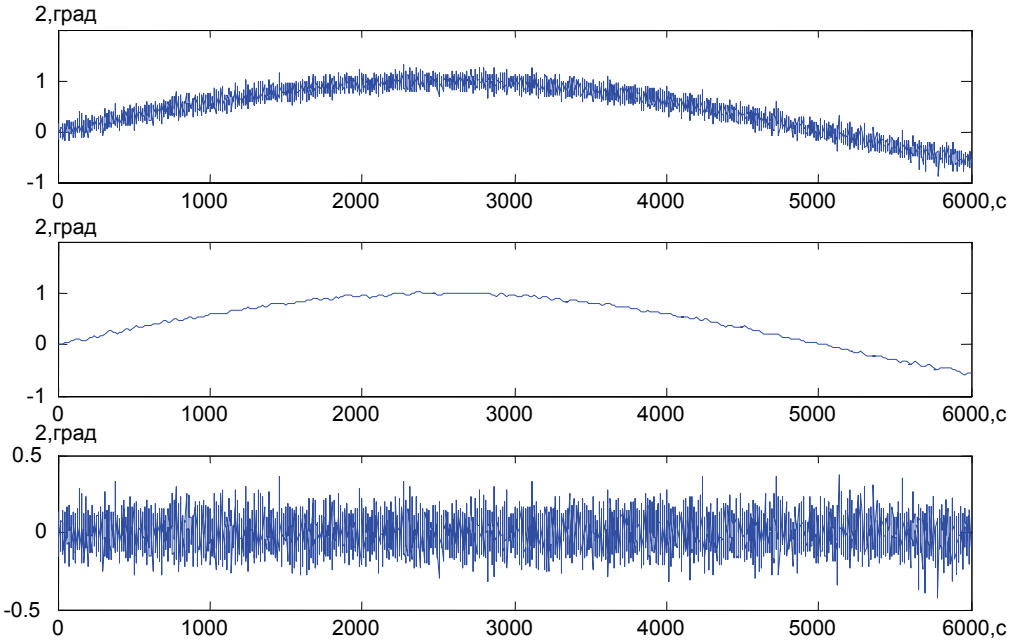


Рис.3 Процедура фільтрації похибки

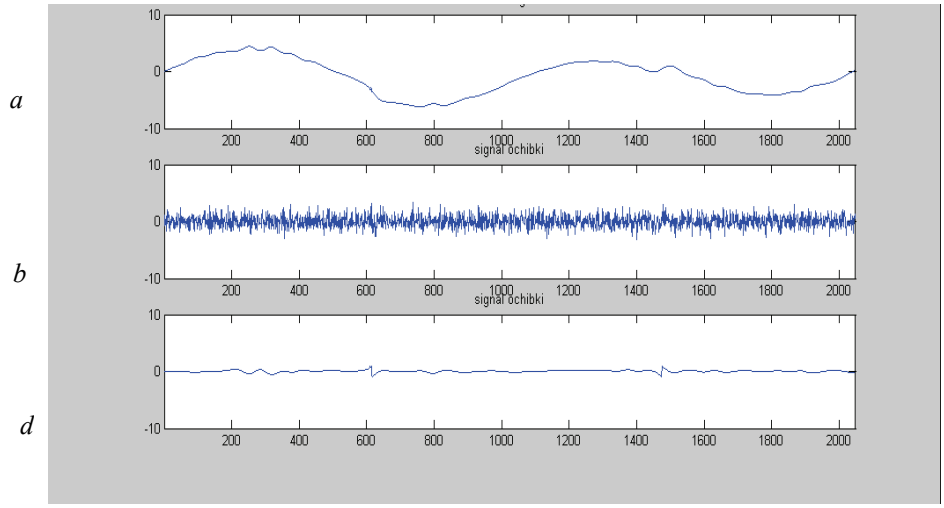


Рис.4 Оцінювання істинного сигналу

Висновки:

Проведені дослідження оптимального оцінювання на основі швидкодіючої, некритичної до нестаціонарних випадкових процесів схеми комплексування на основі схеми компенсації з фільтром на основі процедури вейвлет-аналізу, який показав при дослідженнях добрі фільтруючі властивості, які забезпечують якість оцінювання.

Список літератури

1. *Бабич О. А.* Обработка информации в навигационных комплексах − М: 1991 − 598с.

2. *Бромберг П.В*. Теория инерциальных систем навигации.-М.:Наука,1979.

3. *Кузовков Н.Т., Салычев О.С.* Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация.– М.: Машиностроение, 1978.– 215 с.

4. *Панов А.П.* Математические основы теории инерциальной ориентации. К., 1995

5. *В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін.* Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. – К.: Вид-во НАУ, 2005. – 316 с.

УДК 658.512.011(045)

А.В.Осадчий
(Национальный авиационный университет, Украина)

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ САПР КОМПАС

В данном докладе рассмотрены задачи, которые решаются при проектировании электротехнических изделий на примере счетчика электрической энергии.

К электротехническим изделиям относятся электронные счетчики электрической энергии однофазные и трехфазные, микропроцессорные релейные защиты (МРЗС) воздушных и кабельных линий передачи электрической энергии, специализированные источники электропитания и др. Наиболее типовым представителем электротехнического изделия является счетчик электрической энергии. Счетчик электрической энергии является сложным электронным устройством, работающим под управлением программного обеспечения специального назначения. Электросчетчики могут входить в состав автоматизированных систем контроля энергообъектов.

При выборе САПР для проектирования электросчетчиков учитывалось может ли решать система проблемы с которыми сталкивается разработчик данных изделий.

Критерии отбора были следующие:

-возможность работы с 3D-моделями;

- контроль за пересечением деталей (при работе над изделиями разработчику необходимы средства отчетливой визуализации проекта, а также методы оптимизации размещения деталей в строго ограниченном пространстве изделий);

- взаимосвязь узлов изделий (например, при изменении формы одной половины корпуса другая половина автоматически подстраивается соответствующим образом);

- разработка изделия — сверху вниз и снизу вверх;

- параллельное проектирование (позволяющее нескольким инженерам одновременно работать над разными деталями одного изделия, что существенно ускоряет процесс его разработки. Каждый разработчик может в любой момент наблюдать текущее состояние совместного проекта);

- интуитивный процесс проектирования;

- соответствие стандартам (выпуск конструкторской документации, соответствующей стандартам, является обязательным условием успешного внедрения разработок в производство);

- интеллектуальные средства разработки (возможность каждому пользователю создавать собственные конструктивные элементы, из которых можно формировать библиотеки для предприятия).

Для указанных целей подходит пакет универсального назначения КОМПАС фирмы АСКОН (Россия), который предоставляет разработчику широкие возможности проектирования разнообразных объектов, технических систем и устройств. Пакет представляет собой систему автоматизированной разработки чертежей, причем чертежи, рисунки и схемы создаются в интерактивном режиме, управляемом системой иерархических меню. В любой чертеж может быть вставлен поясняющий текст. В набор функций входит панорамирование, увеличение, масштабирование, поворот, секционирование, штриховка и другие операции преобразования изображений. В системе предусмотрены подсказки в любом состоянии и для любой команды.

Ключевой особенностью КОМПАС-3D является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами АСКОН. Основная задача, решаемая системой — моделирование изделий с целью существенного сокращения периода проектирования и скорейшего их запуска в производство. Эти цели достигаются благодаря возможностям быстрого получения

конструкторской и технологической документации, необходимой для выпуска изделий (сборочных чертежей, спецификаций, деталировок и т.д.), передачи геометрии изделий в расчетные пакеты, передачи геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ, создания дополнительных изображений изделий (например, для составления каталогов, создания иллюстраций к технической документации и т.д.).

Средства импорта/экспорта моделей (КОМПАС-3D поддерживает форматы IGES, SAT, XT, STEP, VRML) обеспечивают функционирование комплексов, содержащих различные CAD/CAM/CAE системы.

В качестве примера проектирования в САПР КОМПАС рассмотрим основные этапы проекта «Разработка конструкторской документации счетчика электрической энергии».

Согласно основного документа задающего необходимы исходные данные для проектирования – технического задания имеем три этапа проектирования конструкторской документации:

- детали;

-сборочные единицы;

-изделие в целом (сборочный чертеж).

Вид окна для этапа детали приведен на рис 1.

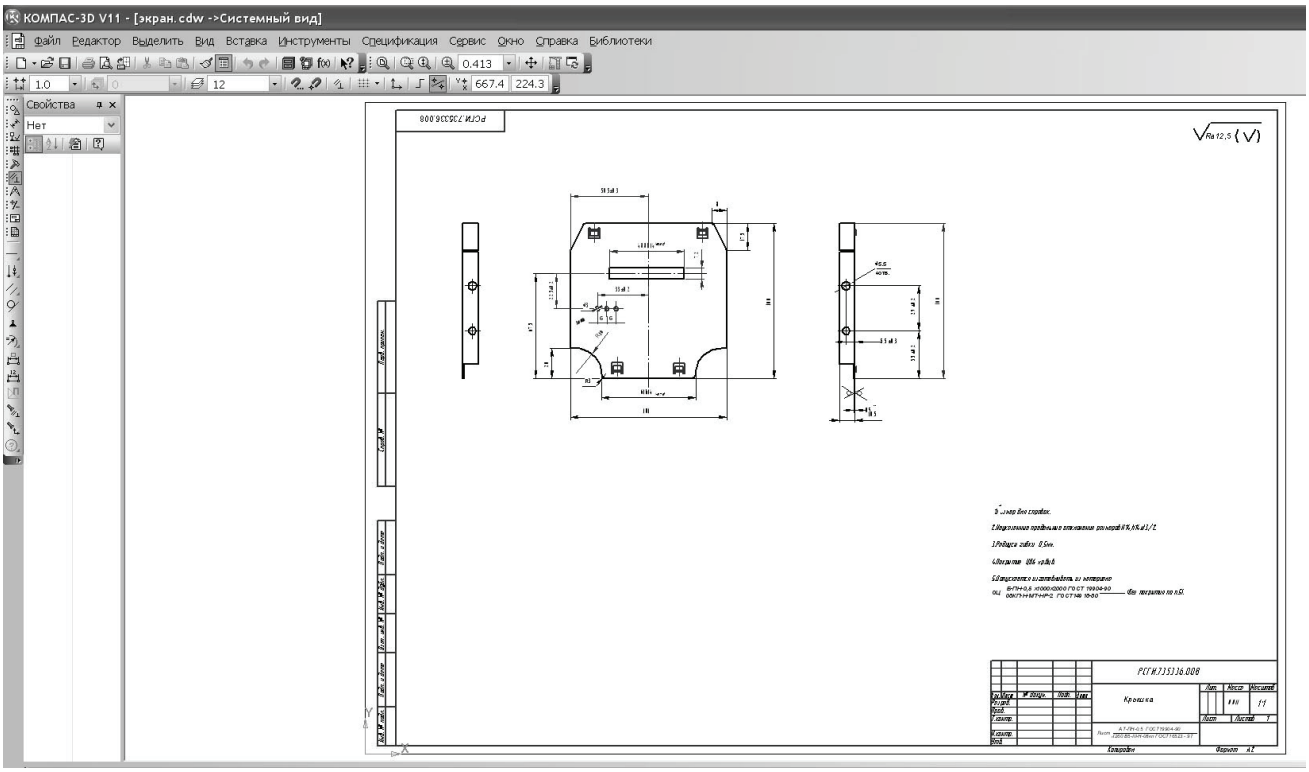


Рис.1. Главное окно системы при работе на этапе разработки деталей (деталь *Крышка*).

Используя панели:

-стандартная;

-текущее состояние;

-переключения;

-инструментов;

в рабочем поле окна выполняем чертеж.

На данном чертеже нужно построить три вида детали *Крышка*, проставить размеры, ввести технологические обозначения, рассчитать массу детали и полностью оформить чертеж: заполнить основную надпись, ввести технические требования.

Компьютерное черчение, в силу некоторых особенностей, часто позволяет создавать изображение более оптимальным способом по сравнению с классическим «бумажным»

черчением. Например, в данном случае нет необходимости вычерчивать внешний контур детали из отдельных отрезков. Удобнее начертить прямоугольник, соответствующий внешним габаритам детали, а потом добавить к нему прочие элементы.

Далее переходим к сборочным единицам. Вид окна для этапа сборочные единицы приведен на рис 2.

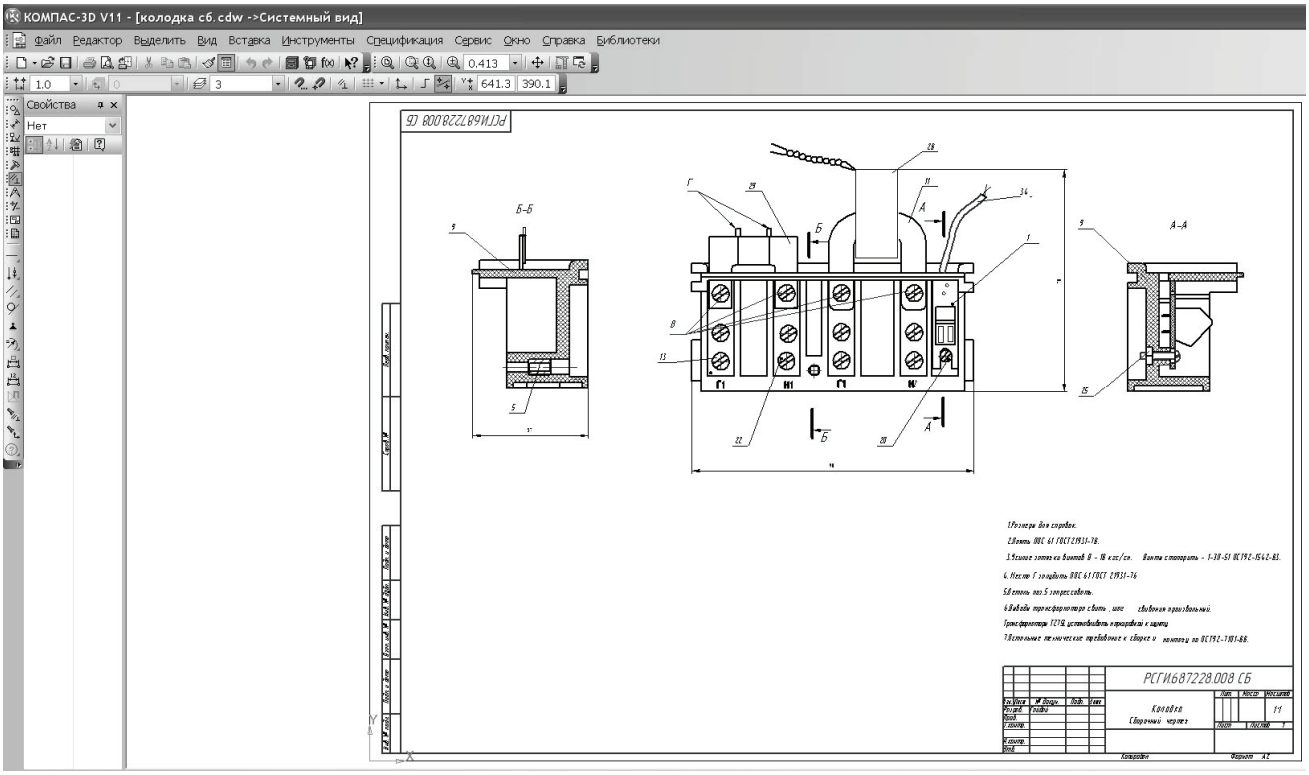


Рис.2. Главное окно системы при работе на этапе разработки сборочных единиц (сборка *Колодка*).

При работе над сборками появляется необходимость разработки текстового документа –спецификация. Данный документ создается с использованием команд панели «Спецификация».

После создания спецификация подключается к сборочному чертежу.

Чертеж КОМПАС-График может состоять из произвольного количества листов. На листах можно создать произвольное количество видов. В каждом виде можно создавать произвольное количество слоев.

При создании нового чертежа система автоматически создает в нем один лист, на этом листе создается один вид, а в виде – единственный слой. В чертеж можно добавлять новые листы, виды и слои, усложняя структуру документа.

На заключительном этапе создается сборочный чертеж корпуса счетчика электрической энергии.

После создания всех деталей и сборочных единиц со своими спецификациями создается сборочный чертеж изделия и спецификация на него.

Система позволяет создать комплект спецификаций на изделие. В каждой спецификации возможно автоматическое создание разделов *Сборочные единицы*, *Детали* и *Стандартные изделия*.

Можно явно указать раздел, котором должен быть описан тот или иной компонент, создав в нем объект спецификации.

Вид окна для этапа изделия в целом приведен на рис.3.

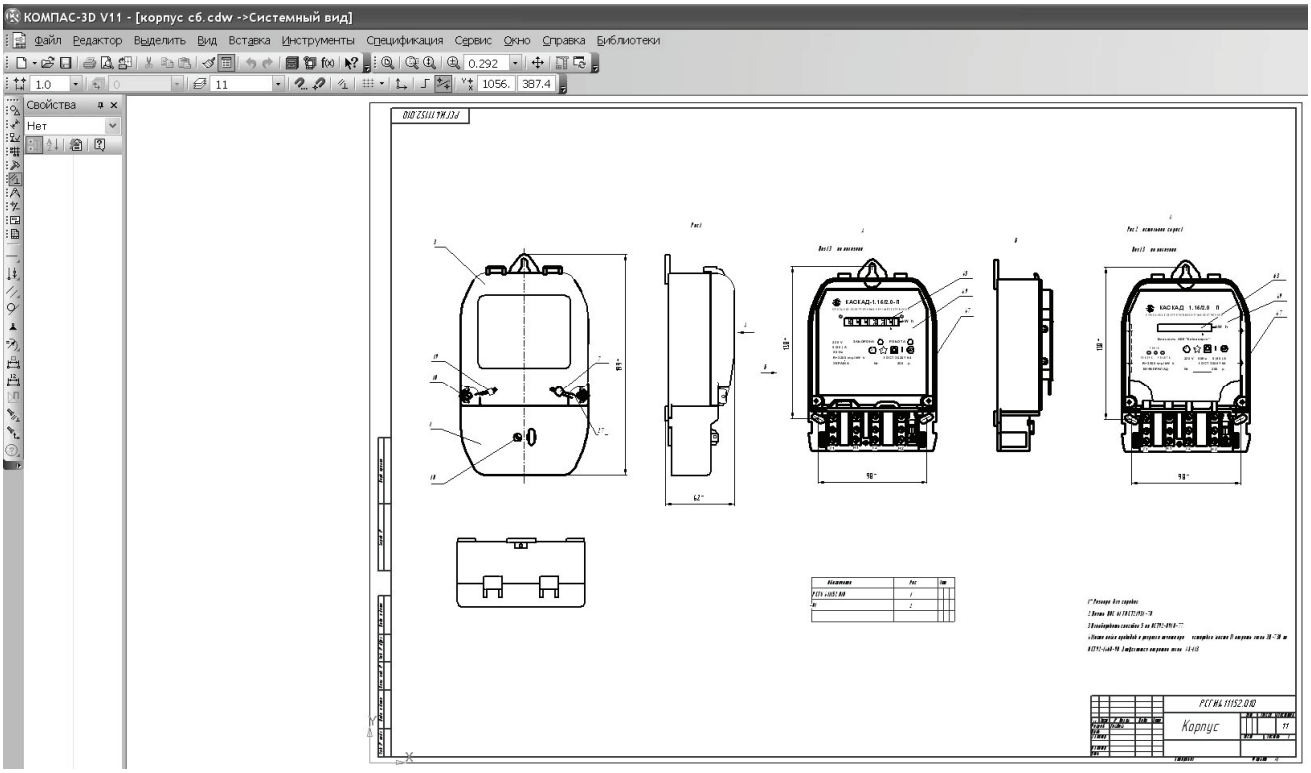


Рис.3. Главное окно системы при работе на этапе разработки сборочного чертежа изделия (сборка *Корпус*).

Выводы

Потребности современного производства диктуют необходимость использования информационных компьютерных технологий на всех этапах жизненного цикла изделия: от допроектных исследований до утилизации изделия. Основу информационных технологий в проектировании и производстве электротехнических изделий составляют сегодня полномасштабные полнофункциональные промышленные САПР, (CAD/CAM/CAE - системы) такие как КОМПАС. Активное использование САПР на персональных компьютерах для подготовки чертежной документации и управляющих программ для станков с ЧПУ и сближение возможностей персональных компьютеров и “рабочих станций” в автоматизации проектирования подготовило тенденцию в разработке и использовании САПР, которая наблюдается в последнее время - интеграция САПР с другими информационными технологиями.

Список литературы

1. Автоматизация проектирования: Сборник статей, Вып. 1\ *Под ред. акад. В.А. Трапезникова* –М.: Машиностроение, 1986 – 304 с.

2. *Б.Хокс.* Автоматизированное проектирование и производство.-М.:Мир,1991-210с.

3. Самоучитель КОМПАС-3D V9. Трехмерное проектирование. – СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 400 с.

УДК 681.518.5 (045)

В.Н. Белый
(Национальный авиационный университет, Украина)

СТРУКТУРА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ.

В данном докладе дано описание структуры программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы контроля качества и диагностики неисправностей электротехнической аппаратуры. Приводится пример работы комплекса.

В производстве электротехнической аппаратуры определяющую роль играет качество выпускаемой продукции. Большое количество типов автоматизированных систем моделирования и проектирования средств и систем позволяет обеспечивать высокое качество изделий на этапе разработки. На этапе производства качество зависит, в основном, от человеческого фактора в лице регулировщика.

Увеличение функциональных возможностей электротехнических устройств, повышение интеграции микросхем, уменьшение размеров проводников и шага сетки электронной платы, увеличение количества электронных элементов и вместе с тем жесткие требования к качеству выпускаемой продукции сделали наладку электронных узлов довольно сложной задачей.

При производстве электронных компонентов модулей и электронных плат затраты фирмы-производителя на контрольную и диагностическую аппаратуру достигают 40-50%. Большой объем выпускаемых изделий окупает затраты на создание специализированных стендов и диагностических устройств, обеспечивающих стопроцентный контроль электронной техники.

Ряд зарубежных фирм выпускают контрольно-диагностическую аппаратуру, предназначенную для поиска и диагностики неисправностей электронной техники. Данная аппаратура, как правило, требует наличия высокого профессионализма обслуживающего персонала, и, следовательно, длительного обучения и постоянной практики. Таким образом, существует актуальная научно-техническая задача создания автоматизированной системы контроля качества и диагностики неисправностей электротехнической аппаратуры.

Рассмотрим на примере прибора микропроцессорной релейной защиты (МРЗС) линий электропередач, которая относится к электротехнической аппаратуре, построение структуры программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы контроля качества и диагностики неисправностей.

Неисправности любых систем по фактору возникновения можно разделить на два вида. К первому виду неисправностей можно отнести неисправности, вызванные внутренними факторами системы, ко второму - внешними.

"Внутренние" неисправности системы обусловлены выходом из строя внутренних элементов системы, независимо от внешних влияний и зависят только от надежности системы и ее комплектующих.

"Внешние" неисправности появляются при воздействии внешних факторов, выходящих за пределы допустимых параметров. Наиболее сильно влияющими причинами появления неисправностей такого типа являются: перепады питающего напряжения, повышенное напряжение входных сигналов, механические сотрясения ударного характера, неправильное подключение внешних устройств и кабелей при замене блоков. В первом случае имеет место равномерное распределение неисправностей по всей площади платы, и выход из строя электронных компонентов является равновероятным. Во втором случае происходит смещение неисправностей к элементам, обеспечивающим связь модуля с внешними устройствами или местам воздействия механических факторов.

Исходя из выше изложенного предлагается следующая структурная схема программно-аппаратного комплекса автоматизированной системы контроля качества и диагностики неисправностей МРЗС, которая представлена на рис. 1.

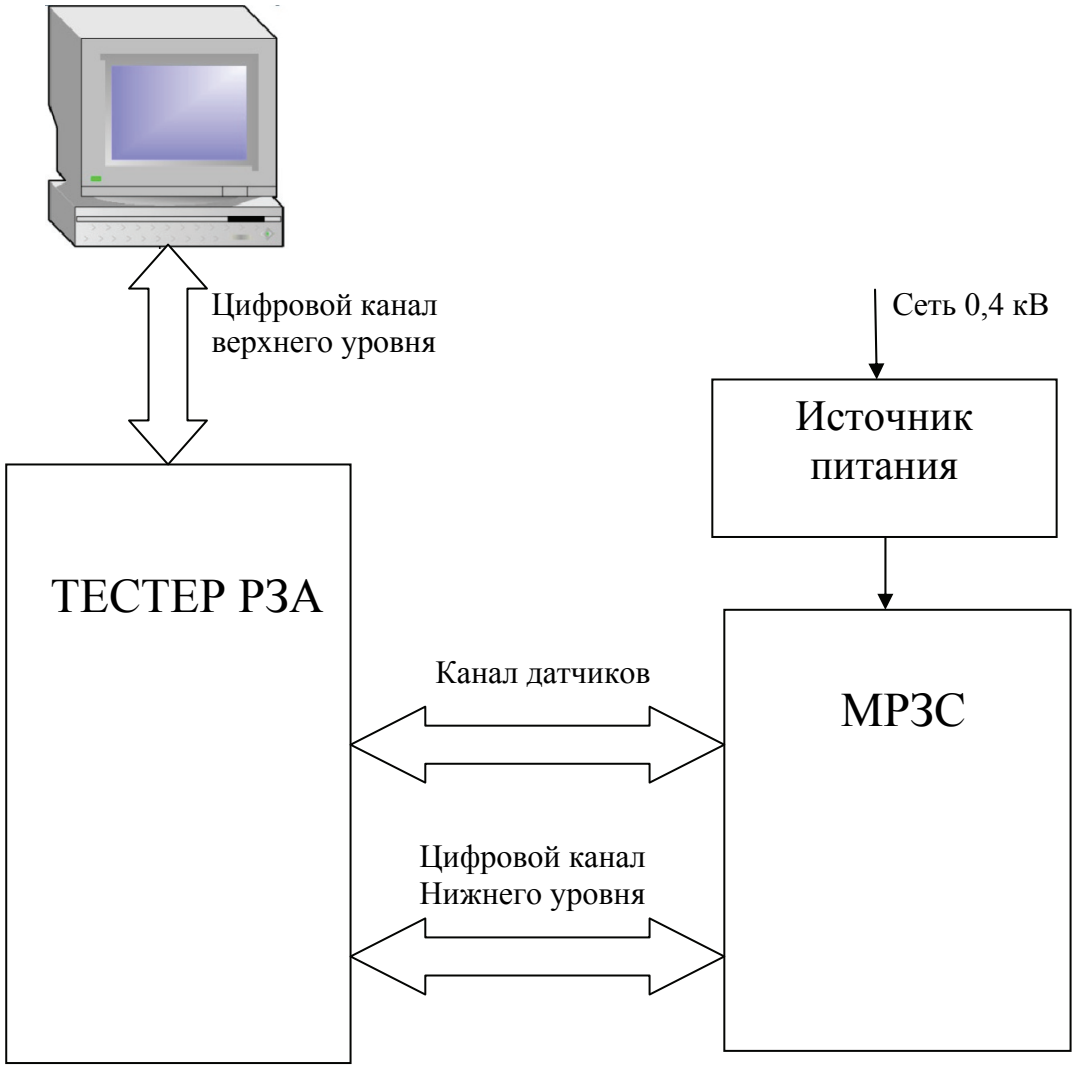


Рис.1 Структурная схема программно - аппаратного комплекса автоматизированной системы контроля качества прибора микропроцессорной релейной защиты (МРЗС)

Одним из составных элементов системы является имитатор отходящих линий электропередач и базового оборудования распределительных подстанций (тестер РЗА).

Цифровая система контроля имеет двухуровневую иерархическую структуру. Верхний уровень создан на основе персонального компьютера работающего под управлением специальной программы, которая решает следующие задачи:

-управление устройством нижнего уровня;
-установка параметров конкретного прибора МРЗС;
-формирование цифрограмм проверок;
-отображение результатов проверок с последующим анализом результатов;
-создание архива результатов проверок.

Нижний уровень образует тестер РЗА с подключенным к нему прибором МРЗС.

На нижнем уровне реализуются следующие функции:

-первичная обработка цифрограмм проверок;
-генерация необходимых аналоговых сигналов для организации циклов проверки;

-производится контроль состояния дискретных входов объекта проверки;

-регистрация часовых интервалов.

В качестве примера рассмотрим работу комплекса в режиме «Векторная диаграмма». Общий вид страницы представлен на рис.2

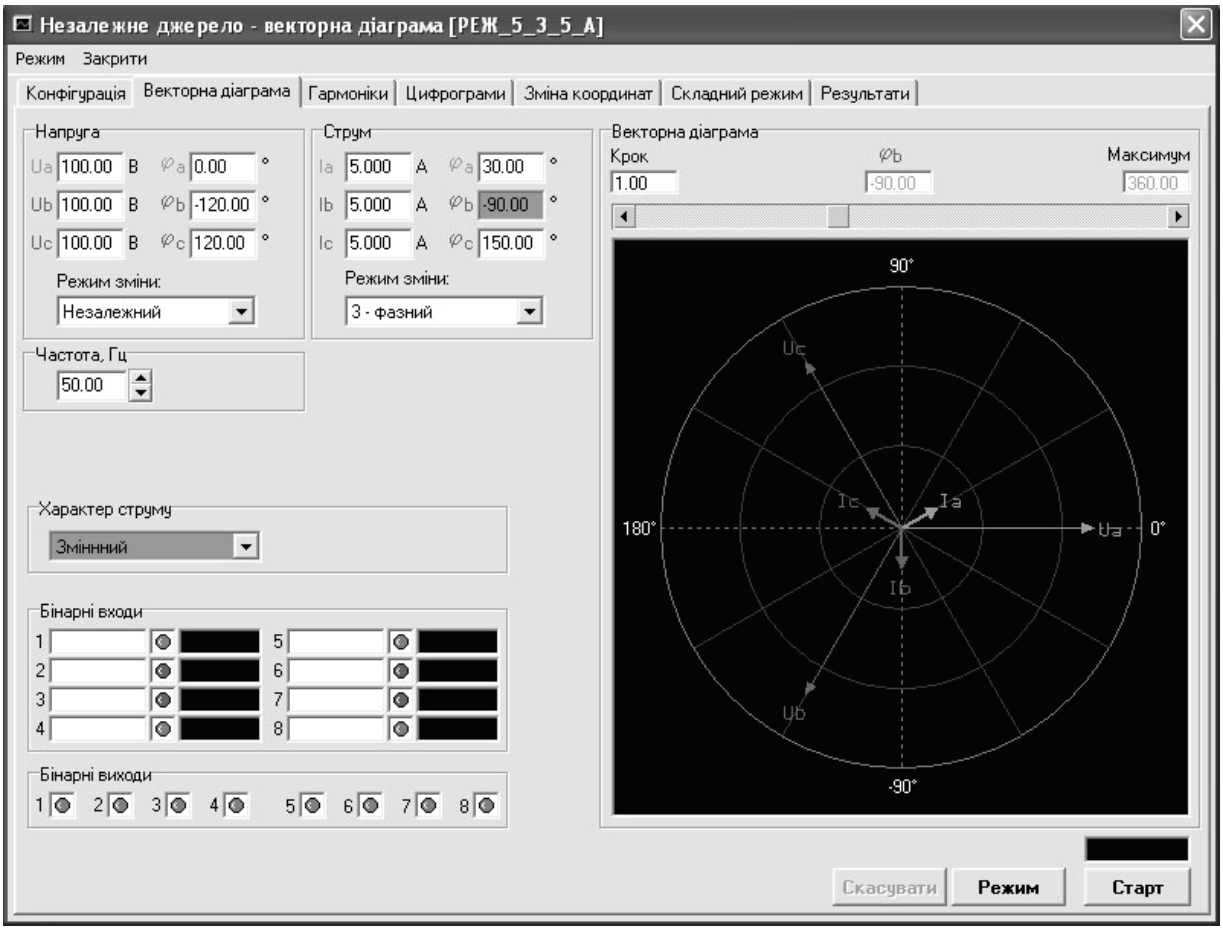


Рис. 2. Страница «Векторная диаграмма» для переменного тока.

Режим предназначен для формирования трехфазных гармоничных сигналов напряжений и токов, сигналов постоянного тока, а также для запуска сложных цифрограмм.

На этой станице можно задавать координаты режима, как переменного, так и постоянного тока. Выбор необходимого режима осуществляется на комбинированном поле «Характер тока». Кроме значений фазных токов и фазных напряжений можно контролировать и другие параметры:

-линейные напряжения U_{AB}, U_{BC}, U_{CA};

-разницу фазных токов $I_A - I_B$, $I_B - I_C$, $I_C - I_A$;

-значения симметричных составляющих напряжений и токов U1, U2, U0, I1, I2, I0;

-значения активной, реактивной и полной мощностей в фазах (P, Q, S).

На странице «Векторная диаграмма» можно менять частоту гармоничных сигналов.

Кроме того имеется возможность задавать режимы формирования токов и напряжений. Предусмотрены следующие режимы:

-Независимый. В этом режиме можно независимо менять величину и фазу каждого из векторов напряжения (тока);

-Трехфазный. В этом режиме предусмотрена возможность задавать начальные условия симметричного режима. После смены любого из трех векторов (по величине и фазе) два других вектора меняются автоматически;

-Однофазный. В этом режиме задаются одинаковые начальные условия для всех трех векторов, как по величине, так и по фазе. Изменение одного из трех векторов автоматически

приводит к аналогичным изменениям двух других векторов. Все вектора изменяются синфазно;

-Двухфазный (АВ – С). В этом режиме изменение вектора напряжения фазы А приводит к автоматическому изменению вектора напряжения фазы В. Третий вектор напряжения - фазу С можно менять независимо. Для токов этот режим действует так: ток фаз А и В изменяются синфазно, а ток фазы С меняется независимо. Это дает возможность осуществлять проверку сложных устройств МРЗС во время имитации двухфазных коротких замыканий;

-Мощность Р (активная) и Q (реактивная). В этом режиме можно задавать значения мощностей Р и Q, которое генерирует тестер для проверяемого устройства МРЗС. Особенность режима в том, что если для проверяемого прибора выставляется этот режим, то в поле фазных напряжений устанавливается режим – «Независимый». Токи, напряжения и генерируемая мощность связаны соотношениями P=Real(U*I), Q=Im(U*I).

Выводы.

Благодаря наличию в составе системы компьютера и удобного программного обеспечения под Windows появляется возможность полной замены ручной работы на автоматизированную. Автоматизированная система имеет следующие преимущества:

-исключаются свойственные человеку ошибки;

-ускоряется процесс испытаний;

-появляется возможность быстрого получения достоверной статистической информации, которую получить измерениями "вручную" практически невозможно из-за больших затрат времени;

-результаты работы могут быть представлены в наглядной форме в виде графиков и автоматически заполненных бланков отчетов с результатами испытаний на каждое изделие.

Список литературы

1. *Гуревич В. И.* Микропроцессорные реле защиты: альтернативный взгляд – “Электро-инфо”, 2006, N 4 (30), с. 40 – 46.

2. Проблемы микропроцессорных устройств релейной защиты: мнения специалистов, нерешенные проблемы, публикации в прессе. - http://digital-relay-problems.tripod.com/

3. *Нудельман Г. С., Шалин А. И.* Микропроцессорные системы РЗА. Оценка эффективности и надежности. – Новости электротехники, 2008, № 3 (51).

УДК 681.325+004.658

О.І. Чумаченко, кандидат технічних наук,
В.В. Цілицький, М.О. Білий
(НТУУ "КПІ", Україна)

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПОЖЕЖНОГО СПОСТЕРІГАННЯ

В статті розповідається про систему централізованого пожежного спостерігання. Вона призначена для підвищення швидкості реагування на пожежі, що виникають під час діяльності юридичних та фізичних осіб на території України.

Головна ціль системи - раннє виявлення пожеж на об'єктах інфраструктури та сповіщення про них підрозділів МНС України для висилки бойових розрахунків до місця пожежі. Впровадження такої системи допоможе значно скоротити час виявлення пожежі і вільного розповсюдження пожежі, час прибуття пожежних підрозділів до місця пожежі, що, в свою чергу, призведе до зменшення матеріальних збитків та людських жертв.

На рис.1 наводиться базова схема, що відображає структуру побудови та функціонування системи централізованого пожежного спостерігання (СЦПС).

Перелік підсистем, їх призначення і основні характеристики, вимоги до кількості рівнів ієрархії і ступеню централізації системи :

СЦПС повинна складатися з таких підсистем :

1. Підсистема маршрутизації (доставки) і прийому сповіщень про пожежу;
2. Підсистема реєстрування пультів пожежного спостерігання і карток об'єктів пожежного спостерігання;
3. Підсистема інтеграції з системо оперативно диспетчерського управління (СОДУ) та системою 112;
4. Підсистема резервування функцій СЦПС і регіонального розподілу Єдиної Бази Даних СЦПС;
5. Підсистема забезпечення контрольованого доступу до карток об'єктів, що містяться в ЄБД СЦПС;
6. Підсистема моніторингу каналів зв'язку;
7. Підсистема архівації тривожних сповіщень;
8. Підсистема документування дій оператора АРМ СЦПС;
9. Підсистема управління СЦПС.

Перелік функцій, задач або їх комплексів (в тому числі тих, що забезпечують взаємодію частин системи), що підлягають автоматизації.

Підсистема маршрутизації (доставки) і прийому сповіщень про пожежу повинна виконувати наступні функції:

- Приймати сповіщення про пожежу від пультів пожежного спостерігання (з урахуванням ДСТУ ЕМ 54-21:2009 і ДСТУ 50136-4);
- Реєструвати отриманих сповіщень про пожежу в ЄБД СЦПС;
- Миттєве (відразу після отримання) резервне дублювання отриманого в ЄБД СЦПС сповіщення про пожежу в Регіональний сегмент ЄБД, якщо Регіональний сегмент ЄБД не отримував цього сповіщення. При цьому порівняння сповіщень має відбуватись за унікальним номером сповіщення, що його зазначено в тілі сповіщення;

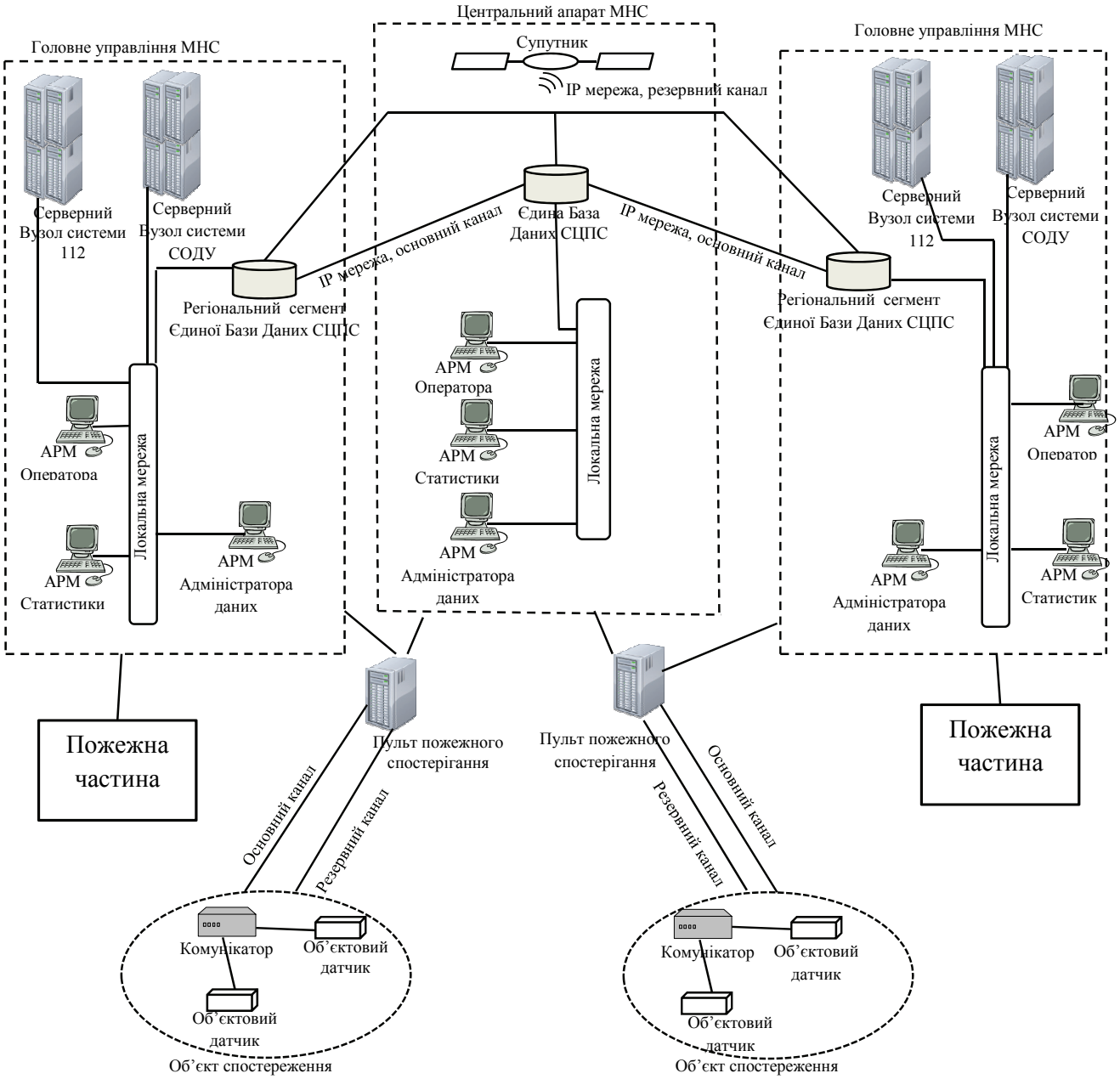


Рис.1 Базова схема побудови СЦПС

- Миттєве (відразу після отримання) резервне дублювання отриманого в Регіональному сегменті сповіщення про пожежу в ЄБД СЦПС, якщо ЄБД СЦПС не отримував цього сповіщення. При цьому порівняння сповіщень має відбуватись за унікальним номером сповіщення, що його зазначено в тілі сповіщення;
- Ідентифікувати в геоінформаційній системі місця події, з якої надійшло сповіщення про пожежу;
- Формувати статистики по подіях, стосовно яких надходили сповіщення про пожежу;
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про збій у разі неможливості приймати сповіщення про пожежу.

Підсистема реєстрування пультів пожежного спостерігання і карток об'єктів пожежного спостерігання повинна виконувати наступні функції:

- Здійснювати в автоматизованому режимі (за участю користувача) реєстрацію пультів пожежного спостерігання та об'єктів пожежного спостерігання (з формуванням карток об'єктів);

- Перед початком внесення змін до ЄБД СЦПС (пультів пожежного спостерігання і карток об'єктів) здійснювати перевірку імені користувача та його коду доступу СЦПС;
- Під час роботи над корегуванням змісту ЄБД СЦПС, здійснювати контроль за виконуваними користувачем операціями відповідно до його прав доступу;
- Здійснювати встановлення відповідності адрес об'єктів пожежного спостерігання і пультів пожежного спостерігання до адрес геоінформаційної системи;
- Формувати статистику по поставлених на спостерігання / відключених об'єктах пожежного спостерігання (з зазначенням причини відключення);
- Формувати статистику по зареєстрованих і знятих з реєстрації пультових організаціях і пультах пожежного спостерігання (з зазначенням причини зняття з реєстрації);
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про спробу несанкціонованого доступу у разі виявлення спроб несанкціонованого втручання у систему.

Підсистема інтеграції з СОДУ та Системою 112 повинна виконувати наступні функції:

- Повторювати здійснення в автоматичному режимі передачі сповіщення про пожежу в СОДУ і Систему 112 до отримання відповіді про прийняття цього сповіщення відповідними системами;
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про аварію у разі неможливості доставки сповіщень про пожежу в СОДУ і Систему 112.

Підсистема резервування функцій СЦПС і регіонального розподілу Єдиної Бази Даних СЦПС повинна виконувати наступні функції:

- Здійснювати активне резервування всіх функцій СЦПС;
- У разі виявлення проблем у виконанні технічних функцій СЦПС, інформувати про аварію та здійснювати автоматичних перехід на гарячий резерв;
- У разі неможливості переходу на гарячий резерв, ініціонувати збереження всіх даних СЦПС на даному вузлі та інформувати персонал, що обслуговує систему, про збій;
- Розподіл даних ЄБД СЦПС за наступним принципом:
  - Дані пультових організацій (пультів пожежного спостерігання) реплікуються з ЄБД СЦПС в повному обсязі на всі Регіональні сегменти ЄБД;
  - Дані об'єктів пожежного спостерігання (включаючи плани об'єктів та інші дані) реплікуються з ЄБД СЦПС на відповідний Регіональний сегмент ЄБД, до юрисдикції Головного Управління МНС якого відносяться ці об'єкти.

Підсистема забезпечення контрольованого доступу де карток об'єктів, що містяться в ЄБД СЦПС повинна виконувати наступні функції:

- Надавати можливість доступу (з метою ознайомлення і редагування) до карток об'єктів пожежного спостерігання персоналу пультових організацій за технологією WEB - доступу відповідно до прав доступу користувачів;
- Надавати можливість доступу з правами ознайомлення операторам СОДУ і Системи 112 за технологією WEB - доступу відповідно до прав доступу цих операторів;
- Формувати статистику по поставлених на спостерігання / відключених об'єктах пожежного спостерігання (з зазначенням причини відключення);
- Під час роботи над корегуванням змісту ЄБД СЦПС, здійснювати контроль за виконуваними користувачем операціями відповідного до його прав доступу;
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про спробу несанкціонованого доступу у разі виявлення спроб несанкціонованого втручання у систему.

Підсистема моніторингу каналів зв'язку повинна виконувати наступні функції:

- Контролювати працездатність всіх каналів зв'язку, що використовуються СЦПС;
- Переводити систему на використання резервних каналів зв'язку у разі неможливості передачі даних по основних каналах зв'язку;
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про відмову каналів зв'язку у разі неможливості використання будь-якого каналу зв'язку.

Підсистема архівації тривожних сповіщень має виконувати наступні функції:

- Здійснювати зберігання в архіві отриманих сповіщень про пожежу,

- Уможливлювати відновлення на АРМі оператора СЦПС сповіщень про пожежу із архіву в автоматизованому режимі, з урахуванням прав доступу користувача на здійснення такого відновлення;
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про неможливість архівації сповіщень про пожежу або їх відновлення у разі виявлення проблем.

Підсистема документування дій оператора АРМ СЦПС повинна виконувати наступні функції:

- Здійснювати документування всіх дій користувачів СЦПС для їх автоматизованого відновлення;
- Відображати журнал дій користувачів на АРМі оператора СЦПС по обраній події (отриманому сповіщенню про пожежу), що відкрита та обробляється;
- Уможливлювати відновлення (відповідно до прав доступу на здійснення такого відновлення) на АРМі оператора СЦПС дій оператора СЦПС по опрацюванню сповіщенню про пожежу, що його було отримано і документовано у минулому;
- Інформувати персонал, що обслуговує систему, про неможливість документування або відновлення у разі виникнення таких проблем.

Підсистема конфігурування СЦПС має виконувати наступні функції:

- Надавати інструменти конфігурування СЦПС в розрізі налаштування таких параметрів:
  - Параметрів роботи з носіями інформації (вибір носія, вибір директорії і т.п.);
  - Параметрів мережевих пристроїв (мережеві інтерфейси, мережеві адреси, резервні мережеві адреси, параметри маршрутизації, і т.п.);
  - Параметрів роботи з СУБД (дані доступу до баз і таблиць даних, режими реплікації даних, джерела реплікації даних, і т.п.);
  - Параметрів роботи з даними (Відповідність об'єктів системних даних СЦПС до таблиць даних, назви об'єктів і полів даних, і т.п.);
  - Параметрів сполучення з СОДУ і Системою 112 (Протоколи даних, використані поля даних, відповідність полів даних протоколів до полів системних даних СЦПС, і т.п.);
  - Ролі користувачів СЦПС (Назви ролей, дозволи доступу до даних СБД СЦПС, дозволи доступу до функцій на елементів графічних інтерфейсів АРМ, і т.п.);
  - Інших параметрів;
- Здійснювати документування дій по реконфігурації СЦПС або підсистем з зазначенням часу реконфігурування і особи, що його здійснювала.

Висновки

По роботі запропоновано принципи побудови та саму розподіленої інформаційної системи пожежної безпеки яка базується на використанні теорії систем та елементів штучного інтелекту з метою розв’язання задачі прийняття рішень.

Список літератури

1. *Зиатдинов Ю.* Інформаційні системи прийняття рішень: НАУ-друк, 2009. – 136 с.
2. *Юринець В.Є.* Автоматизовані інформаційні системи: Е-книга, 2009. – 185 с.
3. *С. Г. Карпенко, В. В. Попов, Ю. А. Тарнавський, Г. А. Шпортюк* Інформаційні системи і технології: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. — К.: МАУП, 2004. — 192 с

УДК 625.735.(043.2)

М.Ф. Туріцин, к.т.н., доц.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ БЕЗАЭРОДРОМНЫЙ СПОСОБ ВЗЛЕТА И ПОСАДКИ БПЛА

Описаны этапы функционирования СУ летательного аппарата для нового устройства, обеспечивающегоего безаэродромный взлет и посадку. Записаны уравнения, описывающие движение ЛА при газодинамическом безаэродромном способе взлета и посадки.

Вступление и анализ проблемы Беспилотным авиационным комплексам (БАК) уделяется значительное внимание в большинстве развитых стран. Перечень задач, стоящих перед такими комплексами, расширяется как в военной, так и в гражданской сфере. В качестве примера можно привести задачу наблюдения за состоянием водных ресурсов (рек, водоемов и т. д.) Украины. Возможности применения БАК значительно расширятся при применении газодинамичес-кого безаэродромного способа взлета и посадки БПЛА.
Газодинамический без-аэродромный способ по-садки (ГБСП) ЛА был предложен еще в 1926 году Ф. Брунером [1]. Суть способа, предложен-ного Ф. Брунером, стано-вится очевидной из рис. 1, взятого из описания к патенту [1], на котором показаны: 10 – поса-дочная полоса (палуба корабля), 11, 12 – газоди-намические установки (ГУ), 13 – спрямляющая перфорированная решет-ка, 14 – самолет, 15 – искусственный воз-душный поток (ИВП). Существенным недостат-ком данного способа и

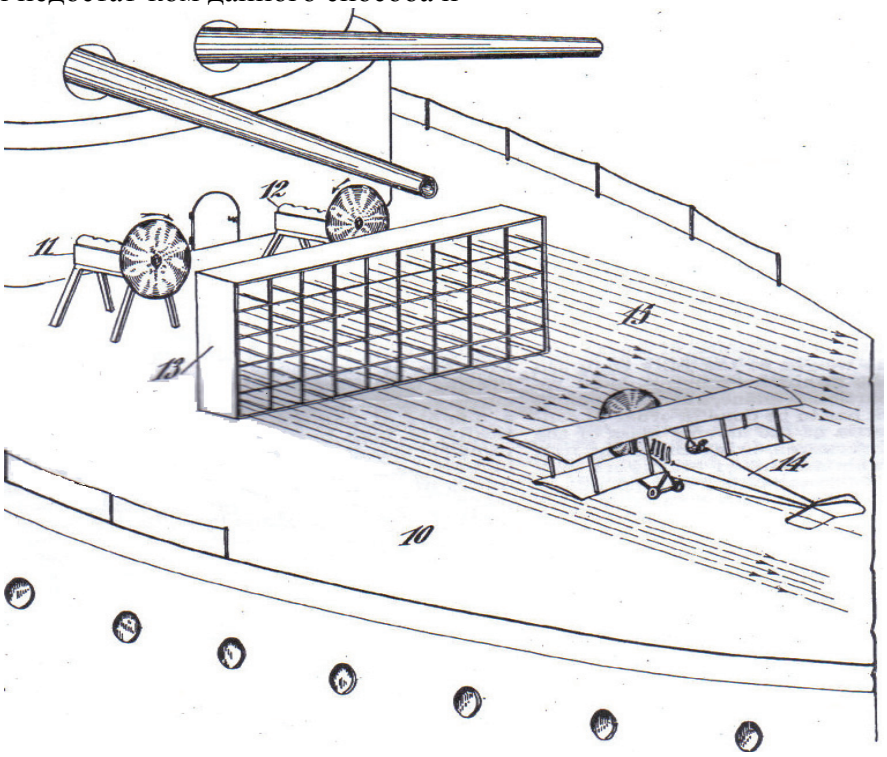


Рис. 1

устройства, реализующего его является то, что посадочная полоса сплошная, а значит при включении ГУ будет создаваться неблагоприятный для посадки экранный эффект. Кроме того, наличие трудно контролируемой вертикальной составляющей скорости ЛА при посадке создает предпосылки для аварийной ситуации. Последующие технические решения [2-4] по разработке и совершенствованию ГБСП не устранили указанные недостатки.

Постановка задачи. Для обеспечения взлета и посадки ЛА при контролируемой вертикальной составляющей скорости предлагается наземное взлетно-посадочное устройство (НВПУ) с газодинамическими установками, создающими искусственный

воздушный поток не только в горизонтальном (ГУ 2), но и в вертикальном направлениях (ГУ 1), как это показано на рис. 2 и рис. 3.

При посадке ЛА изменяется порядок действий в НВПУ, а именно [5]:

- ЛА 1 заходит на посадку по траектории 2 (рис. 4), причем на НВПУ сначала включается ГУ 1 и создается ИВП 3, тормозящий ЛА 1 в положении I;
- после полного торможения ЛА 1, включается ГУ 2 и создается ИВП 4, позволяющий плавно опуститься ЛА 1 в положение II.

Необходимо рассмотреть особенности функционирования СУ на этапе взлета и посадки.

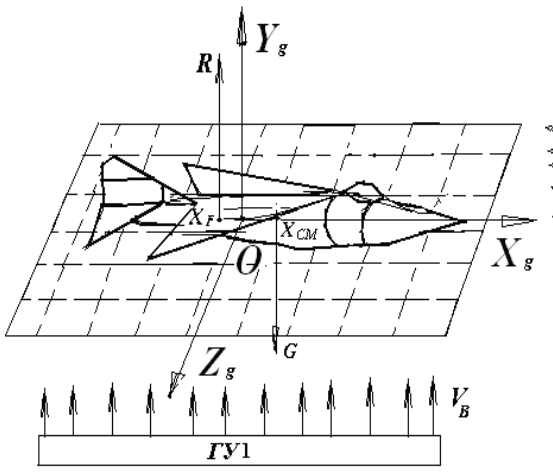


Рис. 2

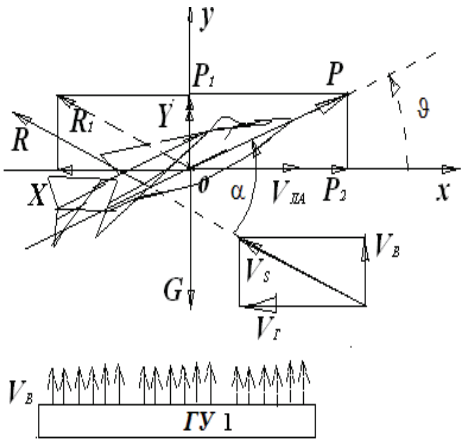


Рис. 3

Алгоритм функционирования СУ. Особенности построения системы управления летательным аппаратом (СУЛА) определяются газодинамическими режимами его взлета и посадки Для решения поставленной задачи необходимо рассмотреть функционирование НВПУ более подробно.

При взлете ЛА можно задать следующие этапы функционирования СУ :

I. подъем ЛА на заданную высоту ($H_з$), СУ решает задачу стабилизации по углу тангажа (ϑ) и по угловым скоростям крена (ω_x), тангажа (ω_y) и рысканья (ω_z);

II. разгон ЛА до заданной скорости ($V_з$), производится включение двигателя ЛА на режим максимальной тяги, в СУ подключается дополнительная обратная связь по текущей величине высоты полета (H_m);

III. набор высоты полета ЛА.

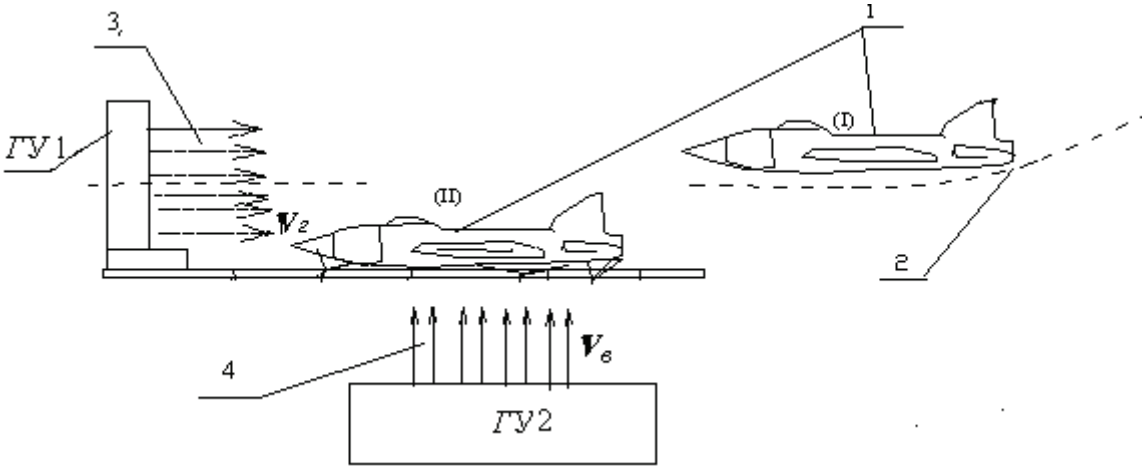


Рис. 4

При посадке СУ ЛА имеет следующие этапы функционирования:

IV. снижение высоты ЛА до величины $H_э$;

V. торможение ЛА до того момента, когда его продольная составляющая скорости относительно земли приравняется нулю; производится выключение двигателя ЛА;

VI. СУ решает задачу стабилизации в искусственном воздушном потоке 4.

Запишем уравнение сил, действующих на ЛА вдоль оси «OY_g» на этапе взлета:

$$ma_y = C_x(\alpha = 90^o)\rho V_B'^2 S/2 - mg, \qquad (1)$$

где a_y – ускорение ЛА вдоль оси «OY_g»; m – масса ЛА; $C_x(\alpha = 90^o)$ – коэффициент аэродинамического сопротивления ЛА при угле $\alpha = 90^o$; ρ – плотность воздуха; S – характерная площадь ЛА; V_B' – скорость ИВП, создаваемая ГУ 1 около ЛА.

При условии, что на этапе подъема ЛА величины a_y =const и m=const задача расчета движения ЛА вдоль оси «OY_g», согласно уравнению (1), существенно упроститься. В этом случае, время подъема ЛА t_1 на заданную высоту $H_з$, при известном значении V_B', можно рассчитать по формуле для равноускоренного движения ЛА с начальной нулевой скоростью:

$$t_1 \cong \sqrt{\frac{2mH_з}{\left[C_x(\alpha = 90^o)\rho V_B'^2 S/2 - mg\right]}}. \qquad (2)$$

При этом вертикальная скорость подъема ЛА в момент достижения высоты $H_з$ равна $V_{ЛА}^B = a_y t_1$.

Если задается время подъема ЛА t_1 на высоту $H_з$, то, согласно формулы (2), можно вычислить потребную величину скорости ИВП на его поверхности для обеспечения заданного значения a_y:

$$V_B' = \sqrt{\frac{2m(gt_1^2 + 2H_з)}{C_x(\alpha = 90^o)\rho S t_1^2}}. \qquad (3)$$

После достижения ЛА высоты $H_з$ скорость ИВП 15 от ГУ 7 на поверхности ЛА должна снизиться до величины

$$V_B'' = \sqrt{\frac{2mg}{C_x(\alpha = 90^o)\rho S}}. \qquad (4)$$

На II-ом этапе включение ГУ 2 и вывод его, за время t_2, на режим, обеспечивающий скорость ИВП $V_Г = V_Г'$ около ЦМ ЛА производится одновременно с включением двигателя ЛА и выводом его за то же время t_2 на режим с величиной вектором тяги P, направленным вдоль продольной оси летательного аппарата.

За программную траекторию движения ЛА на II - ом этапе примем движение вдоль ИВП в горизонтальной плоскости со скоростью $V_{ЛА}$. При этом уравнения сил по осям «OY_g» и «OX_g», действующих на ЛА, можно представить в виде (рис. 3):

$$\begin{aligned} m\frac{dV_{ЛА}}{dt} &= P\cos\vartheta - X; \\ Y + P\sin\vartheta &= G, \end{aligned} \qquad (5)$$

где ϑ – угол тангажа ЛА, X, Y – аэродинамические силы, действующие на ЛА по осям «OX_g» и «OY_g», соответственно.

Значение модуля вектора скорости ИВП, обтекающего ЛА будет равно $V_s' = \sqrt{\overline{V}_Г^2 + V_B^2}$, где $\overline{V}_Г = V_Г - V_{ЛА}$.

При условии, что угол тангажа ЛА $\vartheta \approx 0$, а величины $dV_{ЛА}/dt = a_x$=const и m=const из системы уравнений (5) получим следующую систему:

$$ma_x = P - X; \quad (6)$$

$$Y = G.$$

Первое уравнение системы (6) можно записать в виде

$$a_x=(P-X)/m \quad (7)$$

или, поделив уравнение (7) на величину g, получим

$$a_x/g = \overline{a}_x =(P-X)/mg=(P/G)-(X/G). \quad (8)$$

Выводы.

В работе приведены этапы функционирования СУ ЛА при взлете и посадке на наземное газодинамическое взлетно-посадочное устройство. Представлены уравнения движения ЛА, учитывающие искусственный воздушный поток.

Список литературы:

1. *F. Brunner.* Landing method for aircraft. Patent USA №1709058. Patented Apr. 16, 1926.

2. *Gomez Peres, Jose Patricio y otros*. Sistema y metodo para asistir la toma de tiera sin pista de aeronaves convencionales de ala fija. Numero de publica 2332400, B64F 1/02. 03.02.2010.

3. *Гусаковский А.М., Иванюк В.А., Журавлев В.Н. и др.* Способ посадки летательного аппарата и устройство для его осуществления. Патент России № 2005669 B64 F 1/02, 1994.

4. *Bernhardt Stahmer.* Aeroport with manufactured surface winds. Patent USA 3544044, 01.12.1970.

5. Н.*Ф.Туніцин, Туніцина Н.М.*Спосіб посадки літального апарата. Пат. №52597 Україна, МКИ B64C 25/00. – № и201005783; Заявл. 12.05.2010;Опубл. 25.08.2010, Бюл. №16. – 10 с.

УДК 629.735.33 – 519: 614.878(043)

М.П. Матійчик, к.т.н, доц., директор НВЦБА „Віраж" НАУ

ЗБІЛЬШЕННЯ ШИРИНИ ЗАХВАТУ МАЛОРОЗМІРНОГО БЛА НА ВИКОНАННІ АВІАЦІЙНО-ХІМІЧНИХ РОБІТ

Розкрито особливості виконання авіаційно – хімічних робіт малорозмірними безпілотними літальними апаратами (БЛА). Запропоновано пристрій для збільшення ширини захвату під час внесення біологічних речовин.

Актуальність. У переліку авіаційних робіт, що виконуються малорозмірними безпілотними літальними апаратами (БЛА) чільне місце посідає технологія внесення біологічно активних речовин. Проте одним з стримуючих факторів розповсюдження технології є порівняно невелика ширина захвату БЛА, що прямо впливає на його годинну продуктивність. Відповідно, застосування способів та пристроїв які допоможуть збільшити вказану ширину захвату є актуальним.

Постановка проблеми. Суть проблеми полягає у тому, що з точки зору масових характеристик, на один гектар потрібно вносити 10-30 г діючої речовини, наприклад трихограми (trihoqramma) з дискретністю 1 г. При цьому необхідно забезпечувати відхилення від встановленої норми не більше 15%, та уникати прямих ударних навантажень на часточки з одночасним викиданням останніх у потік набігаючого повітря з швидкістю біля 40 м/с.

Вирішення проблеми. Пристрій відноситься до техніки внесення сипучих речовин з повітря за допомогою малорозмірних БЛА при проведенні авіаційних робіт, зокрема внесення трихограми на захисті сільськогосподарських культур від шкідників.

В літературі описані різноманітні робочі органи для внесення трихограми з повітря при проведенні авіаційно – хімічних робіт , наприклад комплект авіаційної апаратури АРТ – 2 [1]. Переважно вони побудовані за принципом трубки Вентурі. У певних випадках використовується декілька робочих органів, розміщених вздовж розмаху крила літального апарату [2].

При застосуванні малорозмірних БЛА з розмахом крила 1,5-3м, забезпечення конкурентної ширини захвату з існуючими робочими органами є проблемним, що служить одним з стримуючих факторів впровадження вказаних засобів у практику.

Відомо, що штучно ширину захвату на літальному апараті підвищують способом примусового викидання в сторони сипучої речовини, в тому числі і трихограми, розганяючи її за допомогою стисненого повітря.

Такий робочий орган було застосовано у літаку М-15 [3]. Він містить повітряний канал круглого перерізу, що має вхідну і вихідну частини і підвішений під крилом літака.

Однак він потребує наявності газотурбінного двигуна та складної системи відбору стисненого повітря, що в умовах малорозмірного БЛА не може бути реалізовано.

В основу розробки поставлено завдання удосконалення робочого органу мало розмірного БЛА, для забезпечення примусового викидання трихограми потоком стисненого повітря від гвинта штатної силової установки в сторону від поздовжньої осі його фюзеляжу. Це дозволить збільшити ширину захвату БЛА, знизити його аеродинамічний опір і таким чином підвищити продуктивність його роботи та збільшити ефективність захисту рослин від шкідників в цілому.

Вказана задача вирішується тим, що у робочому органі БЛА для внесення трихограми, який складається з повітряного каналу круглого перерізу, що містить вхідну і вихідну частини і підвішений під крилом, трубопроводу, яким вхідна частина з'єднана з зовнішнім контуром авіаційного газотурбінного двигуна, та дозатора з'єднаного з вхідною частиною каналу, згідно з прототипом [3], для отримання додаткової ширини захвату за рахунок потоку стисненого повітря від повітряного гвинта штатної силової установки, вхідна частина повітряного каналу відкрита та розвернута в сторону напрямку польоту і виконана у вигляді

отвору у передній верхній частині профілю крила біля фюзеляжу і знаходиться у межах проекції поверхні, що охоплюється повітряним гвинтом та на віддалі біля одного його діаметра. Потік повітря, генерований повітряним гвинтом штатної силової установки, проходить через канал і виходить з отвору у закінцівці крила БЛА, захоплюючи при цьому трихограму, котра подається у вхідну частину каналу.

Для забезпечення пневмотранспортування трихограми від дозатора до вхідної частини повітряного каналу, в робочому органі виконана інжекційна трубка, яка закріплена ззовні і зверху вхідної частини повітряного каналу, причому її кінець з сторони входу повітряного каналу вигинається під прямим кутом до хорди профілю, розміщається посередині вказаного входу, а її торець зрізається паралельно вектору швидкості повітряного потоку від повітряного гвинта [4].

Для зменшення аеродинамічного опору повітряний канал виконаний еліптичного перерізу і поміщений у товщу крила. З метою забезпечення переведення БЛА з робочого положення у транспортне та навпаки, шляхом демонтажу та монтажу крила на фюзеляж, дозатор виконаний окремо і приєднаний до інжекційної трубки робочого органу через муфту, що легко знімається. Для зменшення тертя трихограми під час її руху у повітряному каналі поздовжня вісь вказаного каналу розміщена прямо стрілоподібно відносно напрямку руху безпілотного літального апарату.

Робочий орган безпілотного літального апарату для внесення трихограми розміщений у крилі 1 БЛА (рис.1) і складається з повітряного каналу 2, який містить вхідний 3 та вихідний 4 отвори.

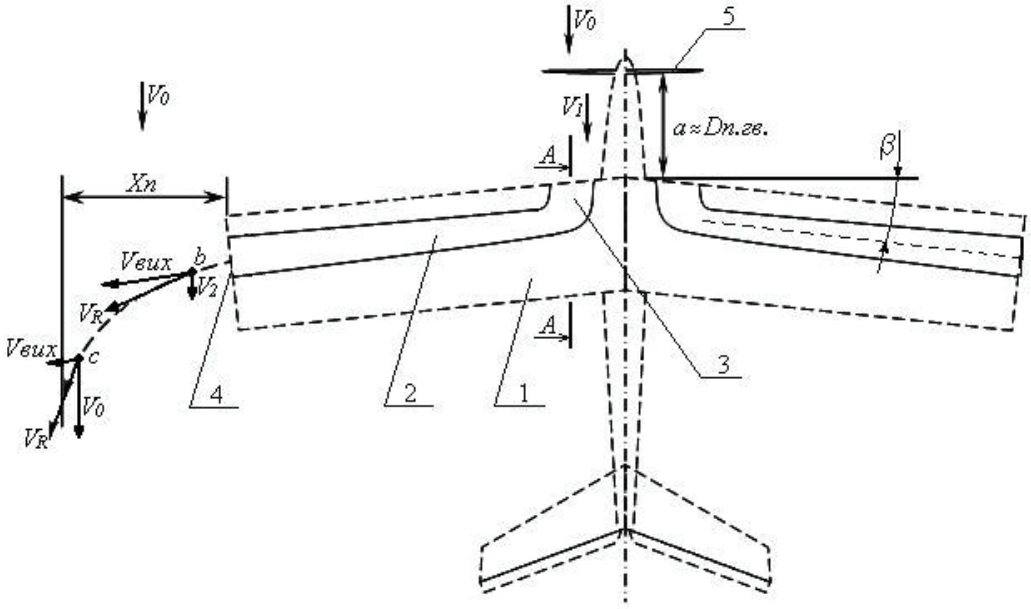


Рис. 1. Схема роботи робочого органу малорозмірного БЛА

Його робота ґрунтується на використанні стисненого повітря від повітряного гвинта 5 штатної силової установки БЛА. Відомо, що швидкість потоку V_1 за повітряним гвинтом на віддалі a біля одного його діаметра $D_{п.гв.}$ від площини обертання дорівнює $2V_O$, де V_O - повітряна швидкість БЛА [5]. За умови, що для БЛА V_O = 40м/с, швидкість потоку на вході 3 у повітряний канал дорівнюватиме біля 80м/с. Це означає, що секундна витрата повітря через вхідний отвір може бути обрахована за формулою: $Q_{C1} = 2V_O S_{вх.отв.}$, (м^3/с), де $S_{вх.отв}$ – площа вхідного отвору,м^2.

Витрата Q_{C2} через вихідний отвір відрізнятиметься від Q_{C1} на величину K_B, тобто втрат на тертя та форму каналу, так що $Q_{C2} = Q_{C1} K_B$. Відповідно, розрахувати швидкість, з якою повітряний потік виходить з каналу можна з формули: $V_{вих.} = Q_{C1} K_B / S_{вих.отв}$,

де $S_{вих.отв}$ – площа вихідного отвору 4. Для вказаного випадку при умові $K_B = 0,7$ та

$\mathbf{S}_{вих.отв} = \mathbf{S}_{вх.отв} = 0{,}004м^2$ швидкість $V_{вих.}$ дорівнюватиме 56м/с. При умові, що частинки трихограми рухаючись у повітряному каналі досягнули швидкості $V_{вих}$, їх виліт з вихідного отвору відбувається на певну віддаль X_n.

Траекторія руху окремих частинок трихограми, без врахування таких складних явищ як коріолісові сили, вихорові структури біля закінцівок крила та іншого, представлятиме собою пологу криву ***вс***, нахилену в сторону хвостового оперення БЛА. Її нахил визначатиметься кутом стрілоподібності β осі каналу, швидкостей $V_{вих}$, V_O та V_2, коефіцієнту парусності частинок трихограми k_n.

Експериментально встановлено, що при k_n =0,4, $\beta = 22^0$, V_O = 40м/с, $V_{вих.}$ = 56м/с віддаль X_n. складала біля 0,9 м. Оскільки робочих органів на БЛА розміщено два, то загальний приріст ширини захвату становить 1,8м, при розмахові крила БЛА 1,7 м. Відповідно розрахункова ширина захвату з розробленим робочим органом становить 3,5м.

Інжекційна трубка 1 (рис.2, переріз А-А за рис.1) призначена для змішування дозованої трихограми з повітрям, котре рухається по робочому органу.

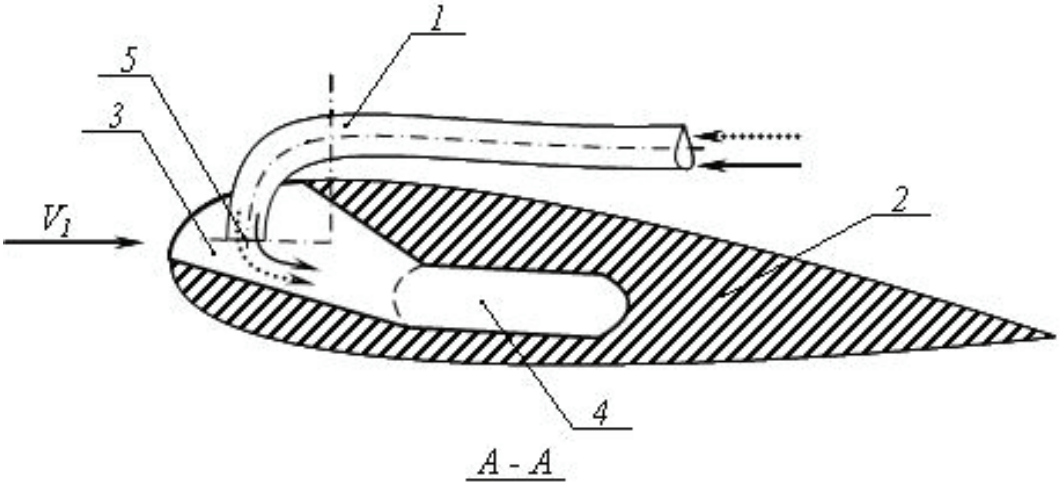


Рис.2. Схема роботи інжекційної трубки

У товщі профілю крила 2 виконаний вхідний отвір 3, який плавно переходить у повітряний канал 4. Вихідний торець 5 інжекційної трубки зрізаний паралельно вектору швидкості V_1 для забезпечення максимального розрідження, яке передається до дозатора. Стрілками позначено рух трихограми та повітря по інжекційній трубці. Практична реалізація робочого органу на БЛА показана на рис.3.

Рис. 3. Загальний вигляд робочого органу на малорозмірному БЛА

Висновки:

- при застосуванні малорозмірних БЛА з розмахом крила 1,5-3м, забезпечення конкурентної ширини захвату є проблемним, що служить одним з стримуючих факторів впровадження вказаних засобів у практику;

- штучно ширину захвату на БЛА можна підвищити способом примусового викидання в сторони діючої речовини, розганяючи її за допомогою стисненого повітря;

- робочий орган БЛА для внесення трихограми, що розміщений у крилі БЛА, складається з повітряного каналу, який містить вхідний та вихідний отвори;

- експериментально встановлено, що при k_n =0,4, β= 22^0, V_O = 40м/с, $V_{вих.}$ = 56м/с віддаль X_n. складала біля 0,9 м і відповідно загальний приріст ширини захвату становить 1,8м; при розмахові крила БЛА 1,7м, ширина захвату з розробленим робочим органом становить 3,5м.

Список літератури

1. *Пасько А.К* «Авиарасселение трихограммы.» // Защита растений, 1982, №7. с.37 – 38.

2. *Матійчик М.П., Олійник В.Є., Борсук В.О.* Пристрій для дозованого розселення трихограми.- А. С. 1675165.// Б.В., 1991, №33. С.16-19.

3. *В.К. Францев, Н.А. Шерлыгин.* Силовая установка самолетов ЯК-40 и М-15. М.: Транспорт, 1981.с 217-224.

4. *Матійчик М.П., Михайлов Г.М., Юн Г.М.* Робочий орган безпілотного літального апарату для внесення трихограми Пат. України на корисну модель №43459. Бюл. держпатенту України №16. – Київ; від 25.08. 2009 р.

5. *Матійчик М.П.* Конструкція і розрахунок повітряних і гребних гвинтів технічних моделей. Методичні рекомендації для виконання лабораторно-практичних робіт студентами індустріально-педагогічних факультетів.- Тернопіль, Тайп, 2000рік. 46с.

УДК 519.248

М.В. Колесник, Ю.І. Чорний, викладач,
(Промислово-економічний коледж НАУ)

АНАЛІЗ ДАНИХ З ПРОПУСКАМИ В СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ HAROLD HOTELLING

Розглянуто модуль аналізу даних з пропусками, який входить до складу програмного засобу системи моніторингу НН, призначеного для обробки даних на засадах статистичного управління процесами.

Із проблемою обробки пропусків серед даних доводиться мати справу в найрізноманітніших застосуваннях аналізу багатовимірних даних. Багато дослідників прагнуть якнайшвидше позбутися пропусків для того, щоб згодом провести обробку "повних" даних стандартними засобами, мало замислюючись над тим, що такий підхід може приводити до сильного розходження статистичних висновків, зроблених при наявності в даних пропусків і при їхній відсутності. Найпоширенішими прийомами аналізу даних із пропусками є виключення некомплектних спостережень (тобто тих, що мають в собі пропуски хоча б однієї із змінних) і традиційні методи заповнення пропусків – середнєвибірковими за присутнім значенням, за допомогою регресії або головних компонентів. Ці методи в загальному випадку мають малу ефективність, ведуть, як правило, до зсуву й неспроможності, до порушення рівнів значимості критеріїв і інших викривлень статистичних виводів, не володіють стійкістю до розподілу пропусків.

Досить низький рівень культури обробки пропусків знаходить своє віддзеркалення в сучасному стані статистичного програмного забезпечення. Переважна більшість вітчизняних і закордонних статистичних програмних засобів, у яких передбачена можливість наявності пропусків серед даних, містить лише перераховані вище прості методи або їхні модифікації.

Основним завданням модуля аналізу даних з пропусками є забезпечення проведення операцій над даними, поданими у вигляді матриць та векторів. Реалізуються як загальні, так і спеціальні процедури обробки даних у матричній формі на основі EM-алгоритму (expectation-maximization algoritm). В EM-алгоритмі формалізована відносно стара ідея обробки неповних даних:

1) заповнення пропусків оцінками пропущених значень;

2) оцінювання параметрів;

3) повторне оцінювання пропущених значень, при цьому оцінки параметрів вважаються точними;

4) повторне оцінювання параметрів і так далі до збіжності процесу.

Кожна ітерація EM-алгоритму складається із кроку *E* (обчислення математичного очікування) і кроку *M* (максимізація) – ці кроки можна легко представити змістовно, запрограмувати й розмістити в пам'яті комп'ютера. Послідовність обчислень є такою [3].

Коли спостереження X_1, X_2,..., X_n є довільною вибіркою з p-вимірної нормальної популяції, EM – алгоритм базується на вичерпній статистиці заповнених даних

$$T_1 = \sum_{j=1}^{n} X_j = n\overline{X} \quad T_2 = \sum_{j=1}^{n} X_j X_j' = (n-1)S + n\overline{X}\,\overline{X}', \tag{1}$$

У цьому випадку послідовність міркувань, що забезпечує збіжність процесу є такою. Ми вважаємо, що середнє вибірки та її дисперсія, що становлять, відповідно, ^{M} та Σ є невідомими і, отже, повинні бути оцінені. Ітерації між кроками очікування та оцінювання продовжуватимуться доти, доки елементи $\tilde{\mu}$ та Σ перестануть суттєво (з точністю обчислень) відрізнятись.

Недолік EM-алгоритму полягає в тім, що швидкість збіжності може бути дуже низкою, якщо пропущено багато даних.

Практичне застосування статистичного управління процесами пов’язане з рядом проблем, головними з яких є складність розрахунків, візуалізації та інтерпретації отриманих результатів. Вирішення цих проблем є можливим із застосуванням відповідного інформаційно-аналітичного програмного забезпечення. Наявне на сьогоднішній день програмне забезпечення статистичного аналізу даних, таке як загальновідомі пакети *Statistica*, *SPSS*, *Minitab* тощо мають високу ціну, англомовний інтерфейс та необхідність достатньо високого рівня спеціальної підготовки користувачів [1].

Окрім того, застосування цих пакетів у повсякденній практиці передбачає ретельне засвоєння практичних навичок користування ними, що в умовах України можливо тільки на спеціалізованих навчальних курсах або факультетах післядипломної перепідготовки, що, знову ж таки, призводить до зайвих фінансових та часових витрат. Тому нами засобами мови програмування C++ було розроблено програмне забезпечення статистичного моніторингу процесів *HH* 1.0, в якому реалізовані основні інструментальні засоби статистичного управління процесами (*SPC*), до яких традиційно відносять: для одномірних процесів – контрольні карти Шугарта для кількісних і атрибутивних даних, контрольні карті з пам’яттю (карти *EWMA*; *CUSUM*) та індекси відтворюваності процесів; для багатовимірних процесів – багатовимірні T^2 контрольні карти (Хотеллінга). Назва програмного засобу – дві англійські літери “HH” – данина поваги американському математику Гарольду Хотеллінгу, який був засновником математико-статистичного апарату багатовимірних контрольних карт (Harold Hotelling). Ця робота є логічним продовженням аналогічного засобу, розробленого на мові програмування VBA для Excel [2]. Зовнішній вигляд пакету після запуску представлений на рис. 1.

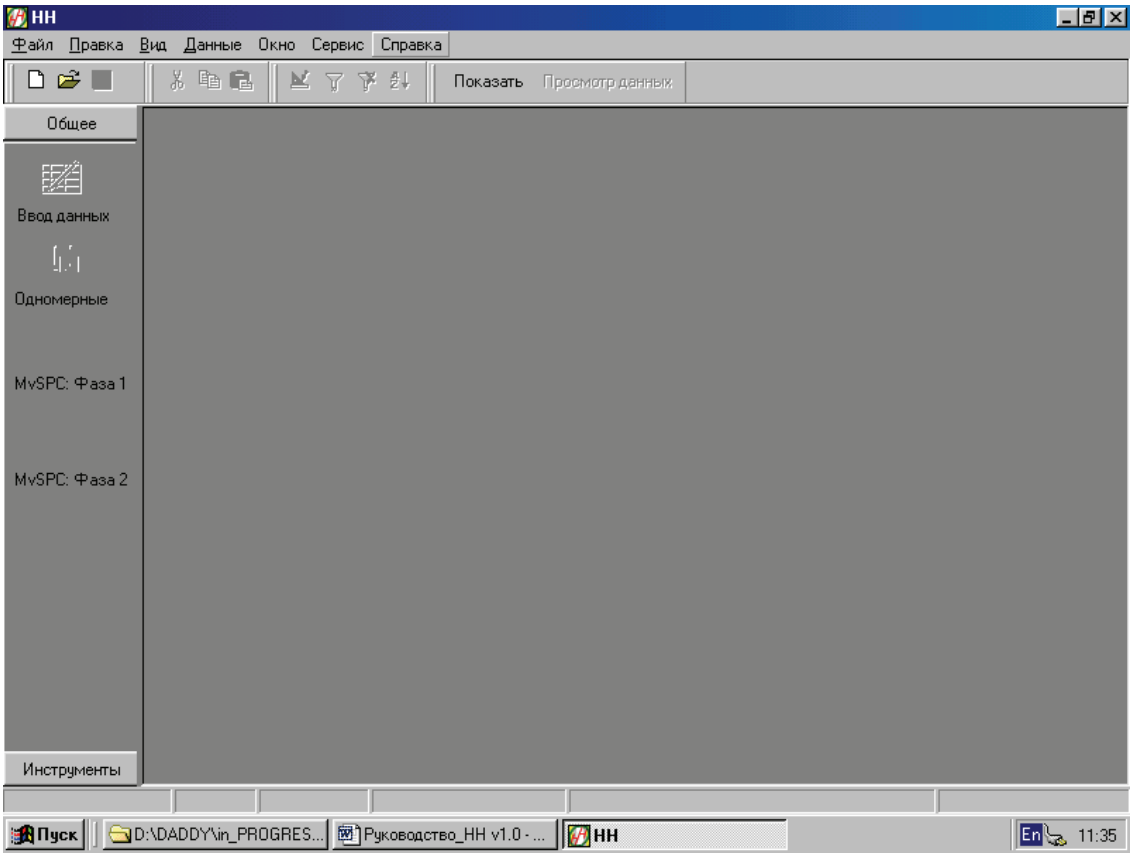


Рис. 1. Інтерфейс пакету *HH* 1.0

Пакет розроблений так, щоб максимально спростити виконання складних статистичних розрахунків і побудову графіків за допомогою повнофункціонального

дружелюбного користувачу інтерфейсу. Користувачу не потрібно здійснювати програмування або вводити дані з командного рядку для отримання потрібних результатів.

Передбачена можливість експорту отриманих результатів в MS Office.

Пакет НН розроблений для незалежного застосування з мінімальними вимогами до апаратного забезпечення і роботи під операційними системами Windows 98 и Windows XP. Його перевірено на стабільність роботи, а також сумісність з головними офісними програмами.

Застосування методів моніторингу багатовимірних процесів здійснюється наступним чином:

−фаза I: оцінка параметрів контрольної карти;

−фаза II: постійний моніторинг процесу.

Фаза I має два етапи:

−ретроспективна оцінка стану статистичної стабільності для підгруп даних чи індивідуальних спостережень;

−перспективна оцінка відповідності визначеним параметрам наступних підгруп чи індивідуальних спостережень.

Мета фази I полягає у набутті інформації про варіацію процесу, досягнення стану статистичної стабільності та отримання оцінок параметрів процесу в цьому стані. Це здійснюється збором і організацією вихідних даних з подальшим утворенням так званої історичної сукупності даних. Першим кроком у створенні сукупності історичних даних є збір попередньої сукупності даних. Ці дані є результатом вибіркових спостережень ознак процесу, який, як вважається, знаходиться в стані статистичного контролю. Після отримання попередньої сукупності даних, вона має бути ретельно досліджена. Таке дослідження здійснюється за допомогою відповідних статистичних та графічних методів. Метою контролю є очистити початкові дані від будь-якого нетипового спостереження (тобто будь-якого спостереження, яке не відповідає структурі сукупності історичних даних). Такі спостереження вважаються викидами (аутлайєрами), невідповідними або атиповими. Після вилучень аутлайєрів із сукупності первісних даних отримують нові оцінки процес очищення повторюється. Це здійснюється стільки разів, скільки необхідно, щоб отримати однорідну (гомогенну) сукупність даних, варіація якої визначається тільки загальними, випадковими причинами. Взагалі процес очищення вилучає спостереження, що припадають за межі у три сигми. Зрозуміло, що пропущені значення даних на фазі I потрібно тлумачити як невідповідні або атипові, тобто весь процес обробки даних з пропусками здійснюється під час утворення історичної сукупності даних.

Заміна пропущеного значення змінної його середньою величиною припустима лише для одновимірних даних за умови поодиноких пропусків. Такий підхід призводить, щонайменше, до звуження діапазону контрольних меж, оскільки зменшується величина дисперсії.

Через це у випадках, коли контрольною статистикою багатовимірного процесу є T^2-статистика, найкращою оцінкою пропущених значень буде умовне середнє змінної. Змінна обумовлюється по наявним значенням інших величин вектору спостережень. Інакше кажучи, пропущена змінна замінюється значенням величини-предиктора, яка прогнозується на основі регресії, побудованої на основі наявних достовірних значень вектору спостережень. Вибір способу обробки даних з пропусками здійснюється з пункту меню “Сервис” – “Настройки приложения” – закладка “Данные”. З рис. 2 зрозуміло, як активується метод EM з подальшим заповненням пропущених даних.

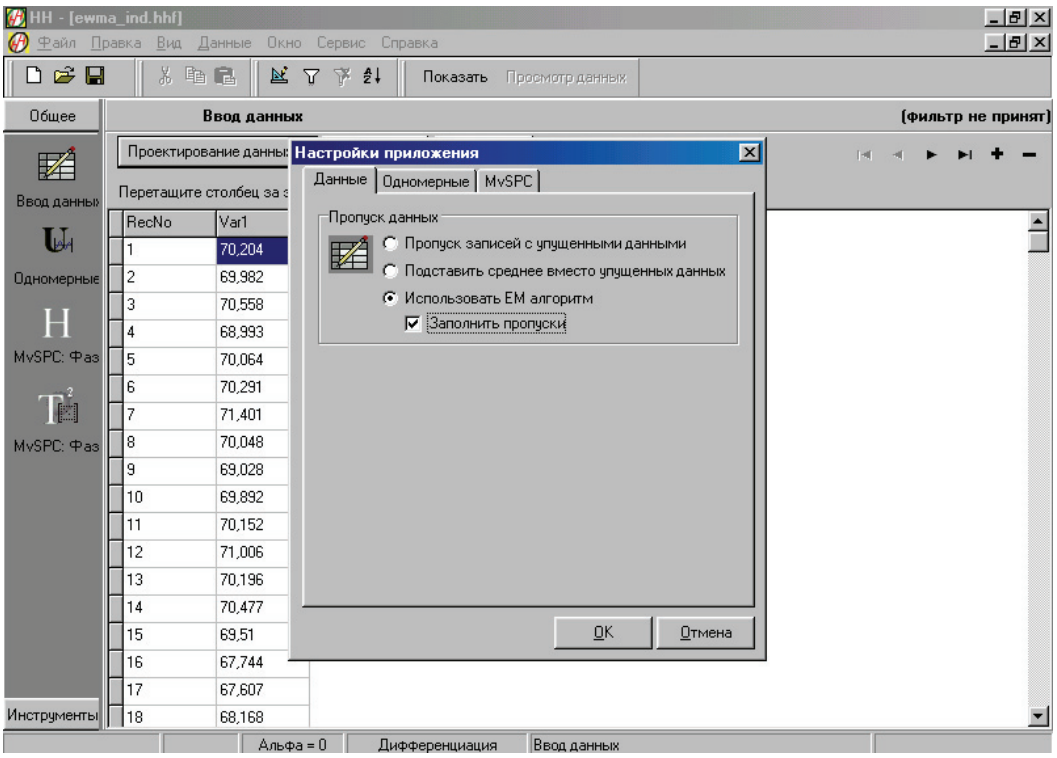


Рис. 2. Вікно обробки даних з пропусками у складі пакету HH

Висновки

Отже, застосування модуля аналізу даних з пропусками в системі моніторингу HH надає можливість користувачу використовувати замість відсутніх даних такі значення величин, які мають знехтувально малий вплив у сенсі спотворень інших складових вектору спостережень і не впливають суттєво на параметри, що підлягають оцінюванню. Таким чином, достоїнством програмного засобу HH є істотна економія часу і можливість зосередитись безпосередньо на інтерпретації результатів графоаналітичного представлення оброблених даних.

Подальшим розвитком модуля аналізу даних з пропусками буде розширення можливостей, які дозволять користувачу:

–обирати точність розрахунків;

–обирати номер ітерації, після якої (за бажанням користувача) буде виведений переобчислений вектор середніх значень і коваріаційна матриця.

Список літератури

1. *Захожай В. Б., Чорний А. Ю.* Статистика якості: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. – К.: МАУП, 2006. – 576 с.

2. *Фількевич М. М., Чорний А. Ю.* Особливості реалізації процедур MYT-декомпозиції засобами VBA для Excel // Конференція аспірантів і студентів “Інженерія програмного забезпечення 2005” (с. Жукін, Київська обл., 1 – 3 липня 2005 р.). – К.: НАУ, 2005.

3. *R. A. Johnson, D. W. Wichern.* Applied Multivariate Statistical Analysis. – 3 rd ed. 1992 by Prentice-Hall, Inc. – p. 642.

СЕКЦІЯ 23.

ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

УДК 621.396.93(043.2)

Л.Я. Ильницкий, д.т.н., проф.
И.И. Михальчук, аспирант
(Национальный авиационный университет, Украина)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕННАМИ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Рассмотрены основы представления поля излучения антенны в круговом поляризационном базисе. Разработана структурная схема измерительного комплекса для исследования амплитудных и поляризационных диаграмм направленности.

Вступление. Поляризационные свойства электромагнитных волн широко используются для уплотнения частотных каналов, исследования условий распространения радиоволн, для анализа состава вещества и т.п. В данной работе сделана попытка выяснить возможности исследования основных характеристик антенн при применении кругового поляризационного базиса и показать, что измерительные устройства с круговым поляризационным базисом будут проще, и их можно реализовать с меньшими аппаратурными затратами. Теоретические вопросы формирования кругового ортогонального поляризационного базиса рассмотрены в работах [1, 2].

Несмотря на то, что в современных радиоэлектронных системах часто используются электромагнитные волны круговой поляризации, в радиоизмерениях, для радиомониторинга и в приборах контроля отдают предпочтение антеннам линейной поляризации. Однако, из техники антенн известно, что значительное количество типов излучающих приборов создают поля, в которых вектор напряжённости имеет круговую поляризацию. Даже такие классические представители антенн линейной поляризации, как нессиметричные вибраторы, в случае установления их на мобильных объектах излучают волны, вектор напряжённости электрического поля которых может вращаться вокруг направления распространения.

Постановка задачи. Чтобы выявить преимущества и недостатки линейного поляризационного базиса в сравнении с круговым поляризационным базисом необходимо определить преимущества и недостатки аналитического представления гармонических процессов с линейной и круговой поляризациями. То есть рассмотреть такие аналитические преобразования, которые воспроизводятся при распространении электромагнитных волн в различных средах, с помощью антенных систем и приборов сверхвысоких частот.

В работе [1] была поставлена и решена задача выявления особенностей поляризационных базисов (линейного и кругового), которые способствуют упрощению антенных систем, структурных схем обработки сигналов и повышению точности оценки показателей электромагнитного поля. Правильный выбор поляризационного базиса по вопросу технического аспекта имеет больше возможностей для внедрения в практику организациям, которые занимаются вопросами радиоконтроля, радиосвязи, сертификацией систем, а также другими подобными применениями радиоприборов. В связи с этим, считая, что для гармонических колебаний, которые представлены в линейном поляризационном базисе, все особенности изложены в известных монографиях и учебниках, в статье [1] было детально рассмотрено круговой поляризационный базис и определены его особенности. Для этого были сформулированы и доказаны три теоремы, основанные на ставнении линейного и кругового поляризационный базисов.

Для эффективного исследования характеристик излучения антенн в круговом ортогональном поляризационном базисе необходимо найти зависимости напряжений на выходах антенн измерительного комплекса от параметров поляризации электромагнитной волны и напряженности электрического поля. Очевидно, что такая задача решается при рациональном выборе системы координат, а также простыми аналитическими соотношениями между выходными напряжениями измерительных антенн и параметрами поля.

Изложение основного материала. Прежде чем преступить к решению поставленной в данной работе задачи необходимо вспомнить про доказанные в [1] теоремы.

Теорема 1: если электромагнитная гармоническая волна раскладывается в круговом ортогональном поляризационном базисе, угол наклона поляризационного эллипса относительно полярной оси определяют полусуммой начальных фазовых сдвигов.

Теорема 2: сдвиг фаз гармонических напряжений, которые наводятся на зажимах антенн круговой поляризации, равен сумме угла между полярной и большой осями поляризационного эллипса γ и угла между полярной и малой осями поляризационного эллипса.

Теорема 3: скорость вращения вектора электрической напряжённости поля $\vec{E}$ в случае эллиптической поляризации изменяется на протяжении периода и зависит от отношения амплитуд ортогональных составляющих электромагнитной волны.

В результате проведённого в [1] анализа доказательства данных теорем были сделаны такие выводы:

- использование кругового ортогонального поляризационного базиса повышает наглядность аналитических преобразований и более чётко моделирует физические явления, которые связаны с волнами эллиптической поляризации;

- в круговом поляризационном базисе есть потенциальные возможности для повышения точности измерений в сравнении с измерениями в линейном базисе;

- контроль параметров эллиптической поляризации можно использовать для томографии сред со свободными зарядами. Это становится возможным потому, что смена параметров эллиптической поляризации может вызвать появление дополнительных спектральных составляющих вторичного излучения вследствие взаимодействия первичного электромагнитного поля со свободными зарядами;

- практическое значение выведенных в [1] соотношений заключается в том, что они дают возможности определить все показатели электромагнитного поля с использованием кругового базиса;

- выведенные в [1] формулы для параметров поляризационного эллипса значительно проще, чем расчётные формулы для аналогичных параметров для измерения поля в линейном базисе.

Гармоническая электромагнитная волна в полярной системе координат с произвольной поляризацией записывается в виде двух ортогональных компонент:

$$\vec{e}(t) = \begin{cases} \vec{\rho}_0 E_1 + \vec{\varphi}_0(\omega t + \phi_1); \\ \vec{\rho}_0 E_2 + \vec{\varphi}_0(-\omega t + \phi_2), \end{cases} \qquad (1)$$

где $\vec{\rho}_0$ и $\vec{\varphi}_0$ – орты полярной системы координат;

E_1 и E_2 – амплитуды напряженности электрического поля;

ω – круговая частота гармонического колебания;

t – текущее время;

ϕ_1 и ϕ_2 – значение начальных фаз ортогональных составляющих в момент времени при $t = 0$.

Знак плюс при произведении ωt берут для правого вращения вектора напряженности поля, а знак минус – для левого.

Если выбрано положение полярной оси системы координат, то векторы $\dot{\vec{E}}_1$ и $\dot{\vec{E}}_2$ будут находиться на одной прямой в момент времени, когда:

$$\left.\begin{aligned} \omega t + \phi_1 &= \gamma; \\ -\omega t + \phi_2 &= \gamma, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где γ – угол наклона поляризационного эллипса.

При этом значение большой полуоси эллипса пропорционально величине:

$$a_e = E_1 + E_2. \tag{3}$$

Значение малой полуоси пропорционально величине:

$$b_e = |E_1 - E_2|. \tag{4}$$

Угол наклона поляризационного эллипса в этот момент принимает значение:

$$\gamma_b = \gamma \pm \frac{\pi}{2} \tag{5}$$

Из выражений (2) находим, что

$$\gamma = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \tag{6}$$

Используя выражения (3) и (4), находим модуль и знак коэффициента эллиптичности:

$$K_e = \pm \frac{b_e}{a_e} = \frac{E_1 - E_2}{E_1 + E_2}. \tag{7}$$

Выражения (1) можно представить в линейном ортогональном поляризационном базисе:

$$\left.\begin{aligned} \vec{e}_n &= E_1[\vec{x}_0 \cos(\omega t + \phi_1) + \vec{y}_0(\omega t + \phi_1)]; \\ \vec{e}_л &= E_2[\vec{x}_0 \cos(\omega t - \phi_2) - \vec{y}_0(\omega t - \phi_2)], \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

где $\vec{x}_0, \vec{y}_0$ – орты прямоугольной системы координат, ось 0y которой совпадает с полярной системой координат.

Используя разложение электромагнитных волн в линейном ортогональном поляризационном базисе (8), можно показать, что напряжения на зажимах антенн круговой поляризации определятся как:

$$\left.\begin{aligned} U_n &= AE_1 \cos(\omega t + \phi_1 - \frac{\pi}{4}); \\ U_л &= AE_2 \cos(\omega t - \phi_2 + \frac{\pi}{4}), \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

где A – постоянный коэффициент, зависящий от действующей длины антенны.

Сдвиг фаз напряжения правого и левого направления вращения вектора напряженности электрического поля из выражений (9) равен:

$$\varphi = \arg\{U_n(t)\} - \arg\{U_л(t)\} = \phi_1 + \phi_2 - \frac{\pi}{2}. \tag{10}$$

Значение фазового сдвига φ дает возможность рассчитать угол наклона поляризационного эллипса γ. Сопоставляя формулы (6) и (10), находим, что:

$$\gamma = \frac{\varphi + 0{,}5\pi}{2} \tag{11}$$

Из выражений для значений большой (3) и малой (4) полуосей эллипса, коэффициента эллиптичности (7), напряжения на зажимах антенн круговой поляризации (9) и угла наклона поляризационного эллипса (11), следует, что при исследовании характеристик электромагнитного поля в круговом ортогональном поляризационном базисе существенно упрощается обработка измеренного сигнала для определения необходимых параметров.

Упрощенная структурная схема автоматизированного измерительного комплекса для исследования характеристик поля излучения в круговом поляризационном базисе изображена на рис.1.

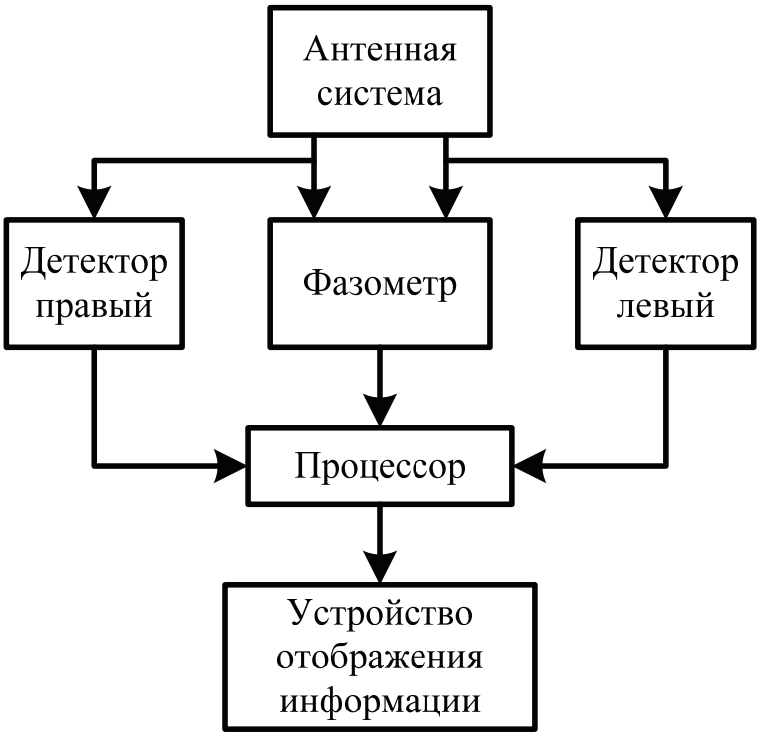


Рис. 1. Упрощенная структурная схема автоматизированного измерительного комплекса.

Антенная система представляет собой две антенны круговой поляризации (правой и левой) с совмещенными фазовыми центрами.

Напряжения с выходов антенн поступают на фазометр и на амплитудные детекторы напряжений правого и левого каналов.

В процессоре, по известным значениям напряжений $U_п$ и $U_л$, и параметрам антенны вычисляются амплитуды напряженностей поля E_1, E_2 и коэффициенты эллиптичности.

Измеренное значение фазового сдвига дает возможность определить угол наклона поляризационного эллипса γ. Положение полярной оси устанавливается соответствующей ориентацией антенной системы.

Комплекс позволяет измерить амплитудную и поляризационную диаграммы направленности.

Выводы

Ортогональный круговой поляризационный базис упрощает исследование электромагнитных полей с произвольной поляризацией, что способствует повышению точности измерений.

Измерительный комплекс для исследования полей излучения обеспечивает более полную информацию о структуре электромагнитного поля.

Список литературы

1. *Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Габрусенко Є.І.* Особливості колового ортогонального поляризаційного базису. // Електроніка та системи управління. 2007. №1. С. 54 – 61.

2. *Козлов А.И., Логвин А.И., Сарычев В.А.* Поляризация радиоволн. – М.: Радиотехника, 2005. – 704 с.

3. *Ільницький Л. Я., Савченко О. Я., Сібрук Л. В.* Антени та пристрої надвисоких частот: Підручник для ВНЗ/ За ред. Л. Я. Ільницького. – К.: Укртелеком, 2003. – 496с.

УДК: 621.391:519.72(043.2)

Л.В. Сібрук, д.т.н., проф.
Д.П. Бондаренко, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВИБІР РАДІОТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ НАДАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ НАСЕЛЕННЮ В ДЕПРЕСИВНИХ РЕГІОНАХ

В статті розглядається проблема вибору телекомунікаційних засобів для надання розширеної номенклатури телекомунікаційних послуг населенню в умовах низького рівня існуючої телекомунікаційної інфраструктури.

Вступ. Наразі у значної частини населення і організацій країни існує проблема отримання якісних телекомунікаційних послуг. Якщо в крупних містах функціонують ряд телекомунікаційних мереж, то в малих і сере дніх населених пунктах з числом мешканців від 5 до 100 тис. чоловік вказана проблема залишається актуальною. Населення, школи, лікарні і підприємства таких населених пунктів є потенційними споживачами широкого спектру послуг і забезпечення цього попиту має соціальне значення. Тому актуальним можна вважати створення умов для швидкого і економічно обґрунтованого впровадження телекомунікаційних засобів, які дозволили б надавати кінцевим абонентам широку номенклатуру послуг на відповідному якісному рівні.

Постановка завдання. Одним з засобів, що сприяють досягненню цієї мети є побудова математичної моделі, що дозволяє на основі врахування існуючої телекомунікаційної інфраструктури та місцевих умов запропонувати декілька варіантів розгортання телекомунікаційної мережі, які є кращими за встановленими критеріями оцінки.

Теоретичні засади. Для оцінки необхідної структури та параметрів телекомунікаційної мережі для надання певних послуг, необхідно задану номенклатуру послуг, що надається у населеному пункті, поділити на групи, які потребують подібні характеристики каналу зв'язку. Телекомунікаційні послуги N можна згрупувати у 5 груп за специфічними вимогами до ключових параметрів телекомунікаційної мережі [1 – 3]: $\{p_1, p_2, ..., p_5\}$, де p – номер групи, у яку входить певний набір послуг.

Населені пункти доцільно поділити на категорії K за критерієм відповідності кількості абонентів необхідним показникам мережі:

$$K = \Xi\ (K_{аб.тел.}, K_{аб.інт.}, Ш_{дост.інт.}, Тр_{на1аб.}), \qquad (1)$$

де: Ξ – фіксований оператор; $K_{аб.тел.}$ – середня кількість абонентів телефонного зв'язку; $K_{аб.инт.}$ – середня кількість абонентів мережі Інтернет; $Ш_{дост.інт}$ – середня швидкість доступу до мережі Інтернет на одного абонента; $Тр_{на1аб.}$ – середній трафік мережі Інтернет.

До регіонів з низьким рівнем розвитку телекомунікаційної інфраструктури віднесемо першу та другу категорії населених пунктів (відповідно k_1 та k_2). Кількість потенційних абонентів визначається за статистичними даними у конкретному регіоні.

На першому етапі будемо вважати достатнім надання першої групи послуг p_1 населенню пунктів категорії k_1. Населені пункти другої категорії можуть включати школи, лікарні та органи державного управління. Тому даним населеним пунктам більше відповідає номенклатура послуг другої групи .

Для побудови математичної моделі вибору телекомунікаційних засобів необхідно створити базу даних з інформацією про існуючу телекомунікаційну інфраструктуру в населеному пункті. Оскільки неможливо охопити базою даних всі населені пункти, для кожної категорії доцільно обмежитися множиною типових випадків інфраструктури $T^k = \{T_1^k, T_2^k, ..., T_q^k\}$, де k – номер категорії; q – кількість типових випадків.

Кожен з елементів множини T_i^k у свою чергу є множиною телекомунікаційних засобів $T_i^k = \{t_{i1}^k, t_{i2}^k, ..., t_{is}^k\}$, де s – кількість телекомунікаційних засобів у i-ому випадку інфраструктури для населеного пункту категорії k. Кожен елемент t_{is}^k є множиною характеристик та параметрів певного типу телекомунікаційного обладнання $t_{is}^k = \{s_{is1}^k, s_{is2}^k, ..., s_{isn}^k\}$, де n – кількість характеристик та параметрів, що враховуються при розрахунках.

Будь-який тип обладнання базової станції GSM підтримує доступ до мережі Інтернет за технологією CSD. З великою ймовірністю це обладнання підтримує протокол пакетної передачі GPRS для надання абонентам доступу до мережі Інтернет на швидкостях більших за CSD на один порядок. Для використання радіотехнології EDGE базові станції потребують апаратної модифікації, а термінальне обладнання повинно підтримувати цю технологію. Заносимо існуючі телекомунікаційні засоби та магістральні лінії зв'язку у множину телекомунікаційних засобів, що складають існуючу інфраструктуру у даному районі

$$T^1 = \{T_1^1, T_2^1, ..., T_q^1\}.$$

У населених пунктах другої категорії можуть бути прокладені магістральні лінії зв'язку до опорно-транзитної автоматичної телефонної станції (ОТАТС) дротового телефонного зв'язку, а інфраструктура мобільного зв'язку 2-го, 2,5-го є більш розвиненою. Існує ймовірність наявності зв'язку 3-го покоління. Множина засобів

$$T^2 = \{T_1^2, T_2^2, ..., T_{qi}^2\}.$$

База даних повинна містити інформацію щодо телекомунікаційних засобів, а саме: середню швидкість на одного абонента, затримку пакетів даних, ширину частотної смуги каналу зв'язку з магістральною лінією зв'язку, можливість вдосконалення, час та витрати на модернізацію, територіальне положення, інтерфейси та протоколи підключення до магістральної лінії зв'язку, тощо.

Місцеві умови значно впливають на можливість використання певної технології. Перша та друга категорії населених пунктів належать переважно до сільської місцевості. Тому перевагу доцільно надати радіотехнологіям. Умови поширення радіохвиль будемо характеризувати за допомогою множини $Y = \{y_1, y_2, ..., y_{ln}\}$, а характер забудови - $Z = \{z_1, z_2, ..., z_{un}\}$. Типовими є випадки, коли радіотраса проходить над ділянками з різним характером забудови.

Для виявлення можливості під'єднання до магістральних телекомунікаційних ліній зв'язку необхідно проаналізувати існуючу телекомунікаційну інфраструктуру заданого регіону. За результатами аналізу заповнюється база даних інформацією про магістральні лінії зв'язку (t_{is}^k) . З'єднання телекомунікаційних мереж регулюються правилами, що встановлюються Національною комісією з питань регулювання зв'язку України [4]. Необхідно також враховувати потребу в нових магістральних лініях зв'язку.

База даних повинна включати також інформацію економічного характеру, а саме: вартість обладнання, вартість будівельно-монтажних та налагоджувальних робіт, терміни розгортання засобів.

Вибір телекомунікаційних засобів, що задовольняють вимогам до мережі для певної групи послуг, відбувається наступним чином.

Параметри мережі варіанту телекомунікаційної мережі для певного виду послуг представляються вектором:

$$X_i = \{x_1; x_2; ...x_n\}, \quad (2)$$

де i – номер певного набору послуг.

Для кожного виду послуг задаються ключові параметри, які однозначно характеризують вимоги до мережі. Наприклад: час затримки пакетів, ймовірність втрати пакету, тремтіння фази, мінімальна/середня/пікова швидкість на одного абонента при номінальному навантаженні обладнання, максимальна кількість абонентів, що може обслуговуватися, тощо. Для кожного параметру з (2) потрібно визначити вектор вагових коефіцієнтів:

$$Xв_i = \{x_{в1}; x_{в2}; ... x_{вп}\}. \quad (3)$$

Вагові коефіцієнти відображають рівень значимості параметра і можуть визначатися на основі експертних оцінок. Мають значення у діапазоні [0…1]. Коефіцієнти відображають «чутливість» конкретної послуги до певного параметру телекомунікаційної мережі. Наприклад, послуга «Електронна пошта» не є додатком реального часу. Для неї параметр «затримка» не є критичним, параметр «втрата пакетів», до певної міри, також. Швидкість передачі даних обмежується тільки рівнем комфортності користувача. Протилежна ситуація складається з послугою «IP - радіо». Середня швидкість передачі даних повинна бути більшою від швидкості передачі потоку, який задається у (2).

Для оцінки відповідності того чи іншого набору обладнання визначимо ключові параметри мережі, що будується. Вектор параметрів певного типу обладнання для кожного виду послуг задається у базі даних у вигляді:

$$W_j = \{w_1; w_2; ... w_m\},$$

де j – ідентифікаційний номер певного типу обладнання, m – порядковий номер параметру.

У подальшому з вектору параметрів утворюються підмножини параметрів для кожного виду послуг:

$$W_j^i = \{w_x; w_y; ... w_z\} \quad (4)$$

Проводиться пошук серед множини M телекомунікаційних засобів елементів, які б разом з існуючою інфраструктурою утворили множини засобів $\Lambda = \{K_П{}^1, K_П{}^2, ..., K_П{}^k\}$, що забезпечують надання послуг із заданою якістю. Відповідність параметрів певного типу обладнання заданому набору послуг визначається таким чином (на основі (2) – (4)):

$$K_{Пi}{}^k = \prod_{ii=1}^{n} \left. \begin{array}{l} \frac{W_k^i\{w_{ii}\}}{X_i\{x_{ii}\}} \Big| якщо > 1, то = 1 \\ якщо < 1, то = X_j\{x_{вii}\} \end{array} \right.,$$

де k – порядковий номер обладнання, що перевіряється, i – порядковий номер конкретної послуги, ii – порядковий номер певного параметру.

В результаті, $K_{Пi}{}^k$ приймає значення у межах $0...1$, де значення «1» означає, що обладнання повністю відповідає критеріям якості на певний вид послуг, а «0» – не відповідає.

Відповідність параметрів певного типу обладнання усім заданим наборам послуг з урахуванням існуючої інфраструктури визначається таким чином:

$$K_П{}^k = \left(\prod_{i=1}^{n} K_{Пi}{}^k \right) \cdot I_k, \quad (5)$$

де n – кількість видів послуг.

Отримуємо множину телекомунікаційних засобів

$$\Lambda = \{K_П{}^1, K_П{}^2, ..., K_П{}^k\}, \quad (6)$$

які разом з існуючою інфраструктурою забезпечують надання послуг із заданою якістю.

Оцінка ЕМС РЕЗ є необхідною. Процедури оцінки наведені у [5]. Дані для розрахунків знаходяться у підмножині параметрів множини M.

У більшості випадків на практиці для оцінки ефективності інвестиційних проектів використовують наступні показники: чиста поточна вартість, або чистий дисконтований дохід (NPV); дисконтований термін окупності (DPB); внутрішня норма рентабельності (доходності, прибутковості) (IRR або $r_{вн}$).

Чистий дисконтований дохід (Net Present Value) визначається за формулою:

$$NPV = \sum_{i=0}^{t} \frac{CF_i}{(1+r)^i} + \frac{RV}{(1+r)^{t+1}}, \quad (7)$$

де CF_i – чистий грошовий потік (різниця між доходами і витратами) на i-му етапі реалізації проекту; RV – залишкова вартість проекту; r – вартість капіталу, залученого до проекту ; t – кількість часових інтервалів i реалізації проекту (горизонт розрахунку).

Дисконтований термін окупності інвестицій (Discounted Pay-back) – це період часу від початку реалізації проекту, необхідний для того, щоб значення NPV за проектом досягли позитивного значення. Значення T_0 знайти шляхом пошуку інтервалу проекту t', в якому

$$\sum_{i=0}^{t'-1}\frac{CF_i}{(1+r)^i}<0\,; \qquad \sum_{i=0}^{t'}\frac{CF_i}{(1+r)^i}\geq 0 \tag{8}$$

а також підсумовування часової тривалості етапів $T_0=\sum_{i=1}^{t'}T_i$.

Внутрішня норма доходності чи рентабельності (Internal Rate of Return) є тією граничною нормою дисконтування за якою в межах терміну реалізації проекту значення *NPV* дорівнює нулю, тобто на кінцевому етапі реалізації проекту доходи компенсують капіталовкладення та інші витрати. Внутрішня норма рентабельності знаходиться з рівняння:

$$\sum_{i=0}^{t}\frac{CF_i}{(1+IRR)^i}=0 \tag{9}$$

Ставка IRR дає можливість порівняти прибутковість інвестиційного проекту з можливістю інвестування капіталу в альтернативні фінансові інструменти.

Якщо $IRR\geq r$ – проект прибутковий, якщо $IRR<r$ – збитковий.

При порівнянні варіантів інвестиційного проекту, які відрізняються обсягом інвестицій і поточними витратами, найбільш ефективний варіант можна визначити за мінімумом приведених витрат

$$E_{np}=\sum_{i=0}^{t}\frac{K_i}{(1+r)^i}+(1+\gamma)\sum_{i=0}^{t}\frac{C_i}{(1+r)^i}, \tag{10}$$

де γ – доля податкових відрахувань з прибутку; C_i – поточні (експлуатаційні) витрати на *i*-му етапі проекту.

Висновки

Запропонований алгоритм вибору телекомунікаційних засобів для надання розширеної номенклатури телекомунікаційних послуг населенню в умовах низького рівня існуючої телекомунікаційної інфраструктури в результаті реалізації може служити ефективним засобом отримання інформації технічного та економічного характеру щодо можливих варіантів побудови телекомунікаційних мереж.

Список літератури

1. *Шринивас Вегешна* Качество обслуживания в сетях IP. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом "Вильяме", 2003. — 368 с.
2. *Jerry Ash, Jim Hand* (August 28, 2006) Requirements for SIP-based VoIP Interconnection URL http://tools.ietf.org/id/voip
3. *А.В. Засецкий, А.В. Иванов, С.Д. Постников, И.В. Соколов,* Контроль качества в телекоммуникациях и святи. Часть 2, под ред.. А.Б. Иванова – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. – 335 с
4. *Рішення Національної комісії з питань регулювання зв'язку України.* Правила взаємоз'єднання телекомунікаційних мереж загального користування. Затверджено 08.12.2005р. № 155.
5. *Іванов В.О., Решетнік М.В., Бондаренко Д.П.* Алгоритм розрахунку норм частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів. – К.: Вісник ДУІКТ. – 2007. – Том5(3). – С.262 – 270.с.

УДК 006.91(043.2)

Р.О. Задорожній, канд. техн. наук
К.В. Циганенко, студент
(Національний авіаційний університет, Україна)

МЕТОД КОРЕКЦІЇ КУТА НЕОРТОГОНАЛЬНОСТІ СКАНЕРА ЗОНДОВОГО МІКРОСКОПА

Розроблено метод корегування кута неортогональності сканера, що ґрунтується на розподілі рівня напруги, прикладеної до поверхні сканера. Експериментально підтверджено доцільність використання даного метода.

Вступ. Основним елементом скануючого зондового мікроскопа, який і забезпечує можливість роботи приладу з похибою менше 1нм, є сканер. Сканери виготовляють з полікристалічних п'єзоелектричних матеріалів, які з одного боку забезпечують високу жорсткість конструкції, а з іншого - можливість переміщення до одиниць пікометрів.

Сканер забезпечує два незалежні рухи зонда: сканування уздовж поверхні зразка (в площині *XY*) і переміщення в напрямі перпендикулярному до поверхні (по вісі *Z*). Тому характеристики сканера повинні задовольняти певним вимогам. Однією з найважливіших вимог, що пред'являються до сканера, є вимога ортогональності сканера [1].

Будь-який реальний сканер володіє неортогональністю. Для отримання кількісних характеристик параметрів неортогональності сканерів розроблена методика та стенд діагностики сканерів [2], що дозволяють виміряти основні характеристики сканерів, на основі яких, за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення і подальших розрахунків на комп'ютері виходять чисельні значення параметра неортогональності по *Z*, а також параметри, характеризуючі ортогональність в площині *XY*. Дана методика складається з двох основних частин:

1) Вимірюються основні характеристики руху сканера в площині *XY* в радіальному і нормальному (по вісі *Z*) напрямі при подачі на *Z* - привід управляючої напруги фіксованої амплітуди.

2) На основі отриманої залежності визначаються основні параметри сканера, зокрема параметри, характеризуючі його неортогональність.

Тому виникає потреба поліпшення параметрів вже виготовленого сканера за допомогою деякої процедури коректування.

Існуючий метод коректування неортогональності сканера має такі недоліки:

– Незворотність процедури коректування;
– Відбувається механічний вплив на п’єзотрубку;
– Необхідно розібрати конструкцію мікроскопу, щоб дістати сканер;
– Відсутність можливості корекції *XY* – п’єзосканера

Для усунення вказаних недоліків запропонований метод коректування параметрів неортогональності сканера, що дозволяє проводити процедуру коректування п’єзосканера по координатах *X, Y* та *Z* без втручання в його конструкцію [3]. Та дає можливість повторної корекції сканера в самому мікроскопі без механічного впливу на п’єзотрубку. Метод оснований на розподілі рівня напруги прикладеної до поверхні сканера.

Розроблена процедура коректування сканера проводиться таким чином. Зовнішній електрод *Z* – п’єзосканера ділиться на 8 секцій, та до кожного припаюють провідні електроди 1,2,3…8 (рис 1.).

Використовуючи параметри, отримані після діагностики сканера, визначаємо кутове розташування мінімальних коливань в площині *XY*. Знаходимо це кутове положення на самому сканері, та визначаємо між якими електродами вони знаходяться. Всі інші електроди з’єднуємо разом. Два електрода, що залишилася, підключаємо до інших електродів через коректуючі дільники напруги з коефіцієнтами К' та К" відповідно. Коефіцієнти К' та К" виби-

раються в залежності від величини кута неортогональності, а співвідношення між ними вибирається з врахуванням кутового положення мінімальних коливань відносно центрів цих електродів Після проведення такої корекції проводяться повторні радіальні і торцеві вимірювання. Отримані дані після цих вимірювань аналізуються і проводиться розрахунок. Дані, отримані після розрахунку аналізуємо, тобто дивимося чи зменшився кут α. Якщо кут неортогональності зменшився трохи, то проводиться друга корекція, при які зменшуємо К' та К" тобто зменшуємо напругу прикладену до електродів сканера. Але це в тому випадку, якщо кутове розташування мінімальних коливань залишилося колишнім. Якщо ж кутове розташування мінімальних коливань змінилося, то проводиться зміна співвідношення К' та К" . Далі, після повторної корекції, знову проводяться радіальні і торцеві вимірювання. Потім, як і раніше дані отримані після цих вимірювань аналізуються і проводиться розрахунок кута α. Якщо кут неортогональності зменшився недостатньо, то проводиться третя корекція і т.д. до отримання кута неортогональності менше 0.5°. В середньому треба провести п'ять корекцій.

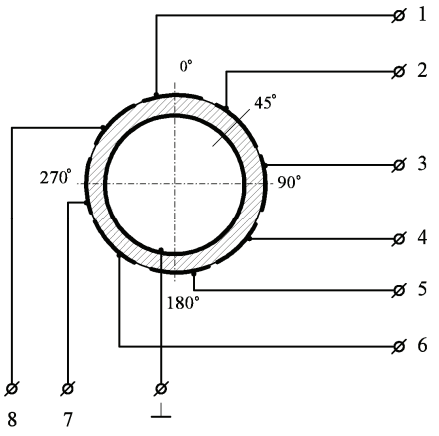


Рис. 1. Переріз *Z* – п’єзосканера

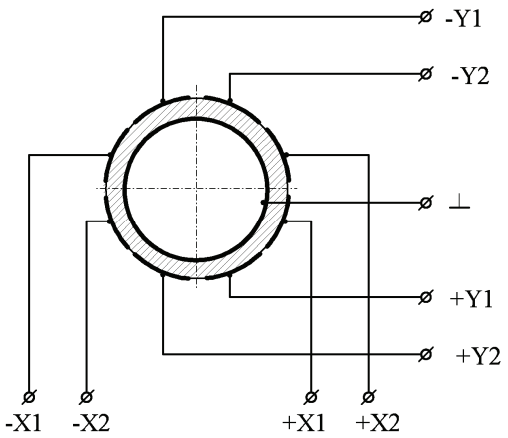


Рис. 2. Переріз *XY* – п’єзосканера

Виготовлення сканера з розділенням відповідних *X* та *Y* електродів, як представлено на рис. 2, дає можливість проводити корекцію *XY* – п’єзосканера по зазначені вище процедурі. Різниця лише в тому, що до дільника підключається лише один з двох електродів.

При експериментальному досліджені запропонованого методу коректування сканерів виявилося, що до процедури кут неортогональності сканерів лежить в інтервалі від 3° до 50°. Середній кут складав 10°. Небажані відхилення *Z* приводу в площині *XY* викликані наступними основними причинами: 1) геометричними дефектами трубки, 2) неоднорідністю товщини стін трубки, 3) локальними неоднорінностями п'єзоелектричних властивостей кераміки, 4) дефектами електродів трубки, 5) можливими порушеннями неоднорідності локальної поляризації, викликаними технологічними процесами виготовлення (наприклад: паяння провідних електродів і т. д.) [3].

Для досліджених сканерів був виміряний кут неортогональності, до і після процедури коректування. Вимірювання кута неортогональності проводилось шляхом сканування тестової решітки типу TGF11 фірми MIKROMASCH з використанням сканера, що досліджується. Параметри тестової решітки типу TGF11 представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Параметри тестової решітки типу TGF11

Період, мкм	Висота сходинки, мкм	Кут нахилу Бічних стінок	Розмір робочої області, мм	Розмір кристала, мм
10,0 ±0.25%	1,75 ±1 нм	54° 44'	3 x 3	5 x 5 x 0.45

Отримана форма сигналу при скануванні решітки зображена на рис. 3, з якої визначаємо похибку визначення координат зонда, що залежить від кута неортогональності сканера, по координаті *X*:

$$\delta x = \frac{m_x}{m_z} \cdot \frac{S_L - S_R}{2H} \tag{1}$$

Визначення величини похибки визначення координат зонда по координаті *X* проведено для всіх сканерів та представлено в таблиці 2 та на рисунку 4.

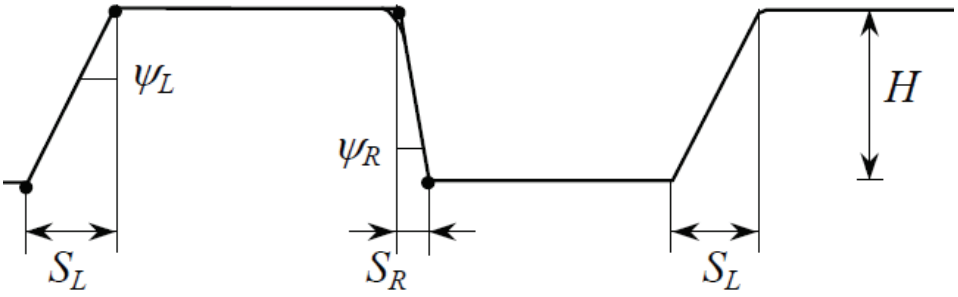


Рис. 3. Форма сигналу при скануванні решітки TGF11

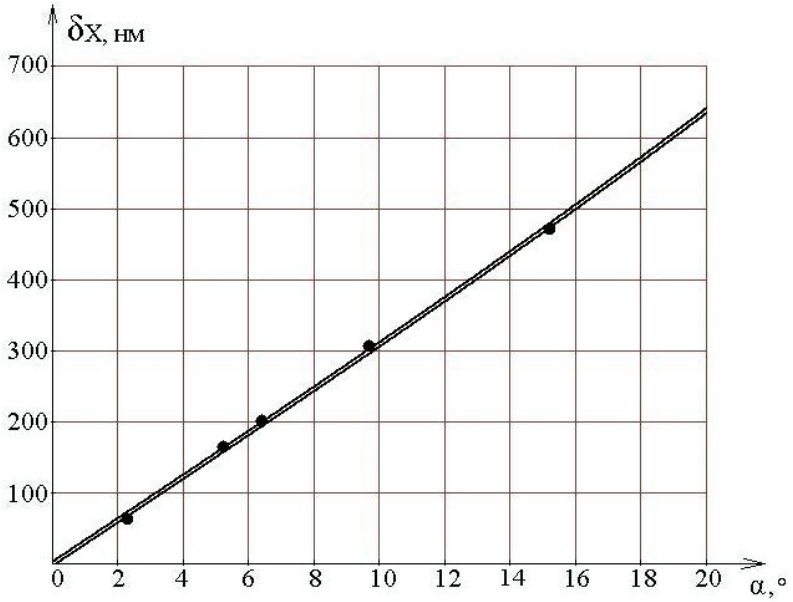


Рис. 4. Залежність похибки визначення координат зонда від кута неортогональності сканера

Для досліджених сканерів були отримані основні параметри сканерів, до і після процедури коректування. На рис. 5 приведені гістограми розподілу основного параметра - кута неортогональності для сканерів до і після процедури коректування. На рис. 5 (а). приведений розподіл параметрів сканерів до процедури коректування і після процедури коректування .

Таблиця 2

Визначення величини змішення зонда

Кут неортогональності,°	Зміщення зонда, нм	Кількість вимірів
2,3±0,1	63±1,2	10
5,2±0,1	164±1,3	10
6,4±0,1	202±1,2	10
9,7±0,1	306±1,4	10
15,2±0,1	471±1,3	10

На рис. 5 (б, в). більш детально, показані гістограми розподілу кута неортогональності некоректованих і коректованих сканерів. Для некоректованих сканерів величина кута не ортогональності α по *Z* - координаті лежить в інтервалі від 3° до 50°, середня величина кута α

складає 12°. Після коректування середня величина кута неортогональності сканерів складає 0.5°. Інтервал в якому лежать значення α лежить в межах від 0°до1°.

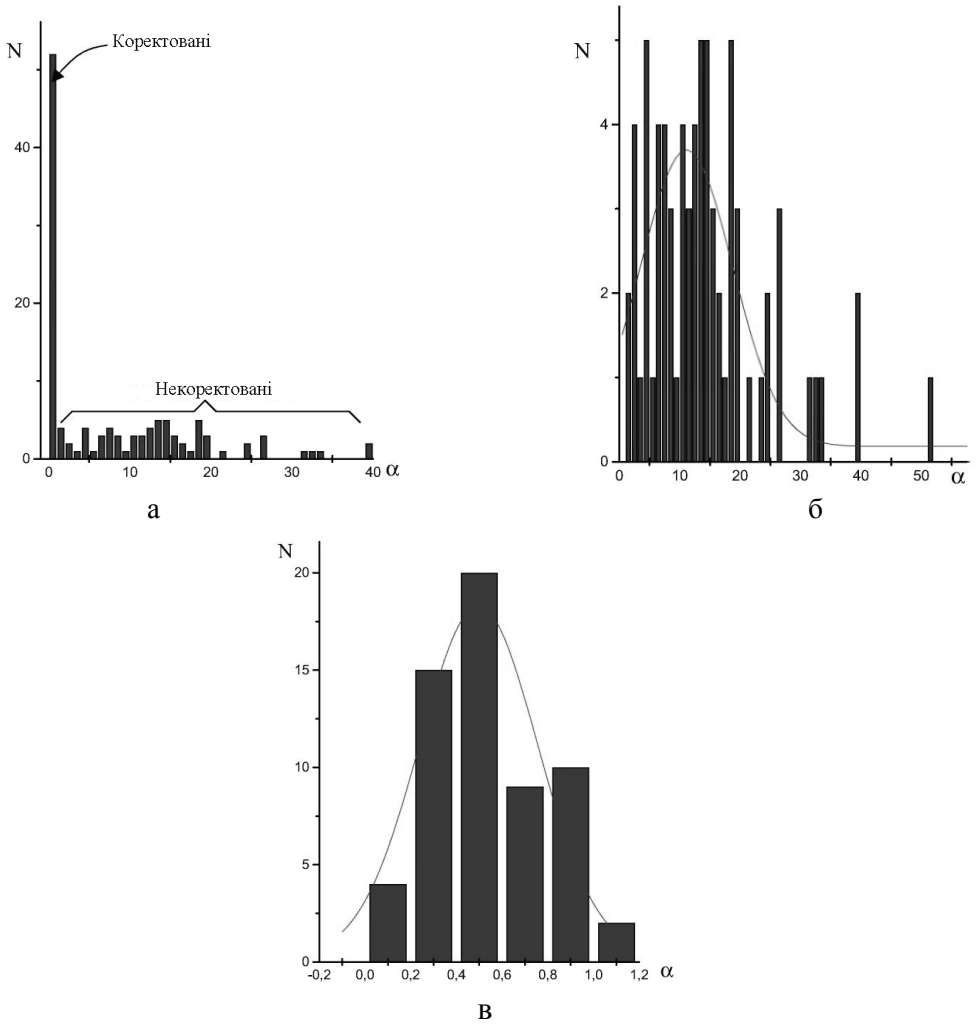


Рис. 5. Розподіл кута неортогональності коректованих і некоректованих сканерів (а), до коректування сканерів (б) і після коректування (в) (α - кут неортогональності сканера, N - кількість сканерів)

Висновки

Таким чином в результаті виконаних досліджень запропонований метод корегування кута неортогональності сканера СЗМ, який, на відміну від раніше відомих, дозволяє проводити корегування кута неортогональності п'єзосканера по координатах *X, Y* та *Z* без втручання в його конструкцію, що дає можливість повторної корекції сканера в самому мікроскопі. Експериментально підтверджено, що використання даного методу дає можливість зменшити величину кута неортогональності сканера по *Z* – координаті в середньому в 30 раз.

Список літератури

1. *Задорожній Р.О.* Проблеми розробки еталонної інформаційно–вимірювальної системи геометричних розмирів об'єктів в нанометровому діапазоні / Р.О. Задорожній // Авіа–2007: міжнар. наук.-техн. конф., 25-27 квіт. 2007 р.: матеріали – К., 2007. – Т. 1. – С.11.45–11.48.

2. *Быков В.А.* Приборы и методы сканирующей зондовой микроскопии для исследования и модификации поверхностей: дис. доктора техн. наук : 05.27.01 / Быков В.А. – М., 2000. – 393 с.

3. *Овчаров Ю.В.* Спосіб коректування неортогональності сканера сканую чого зондового мікроскопа / Ю.В. Овчаров, Р.О. Задорожній // Вісник Інженерної академії. – 2008.– № 1. – С. 88–91.

УДК 621.396.67(043.2)

Л.Я. Ільницький, д-р техн. наук
О.А. Щербина, канд. техн. наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ЦИЛІНДРО-ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ

Розглядається принцип побудови діаграми спрямованості циліндро-параболічної антени з використанням апроксимації розподілів амплітуд напруженостей електричного поля з обмеженою кількістю членів апроксимаційного ряду.

Вступ. У радіоелектронних системах циліндро-параболічні антени використовують у тих випадках, коли необхідно створити поле випромінювання з різними розподілами у взаємно перпендикулярних площинах. Наприклад, у глісадних маяках системи посадки [1], циліндро-параболічні антени мають широку діаграму спрямованості у вертикальній площині і вузьку у горизонтальній площині. При розробці ЦПА виходять, як правило, з необхідних розподілів поля у взаємно ортогональних площинах. Якщо задають лише ширину діаграми спрямованості (ДС), то задача визначення конструктивних параметрів антени приводиться до обчислення розмірів апертури циліндро-параболічного дзеркала. Якщо необхідно створити такі розподіли поля випромінювання, які характеризуються і шириною ДС і рівнем бічних пелюсток ДС, то задача суттєво ускладнюється.

Існують методи аналізу поля випромінювання ЦПА [2,3], що ґрунтуються на використанні ДС лінійного опромінювача у вигляді $F(\psi)=1$ та $F(\psi)=\cos\psi$. Але опромінювачі з такими ДС використовуються досить рідко. Більше того, отримані вирази для поля випромінювання представляють собою нескінченні ряди, незадовільна збіжність яких вимагає використовувати при обчисленні досить багато членів ряду. Очевидно, що вирази для поля випромінювання повинні бути відносно простими, з обмеженою кількістю складових і пов'язані з реальними ДС опромінювачів.

Для досягнення такої мети необхідно представити ДС будь-якого опромінювача многочленом із деяких стандартних функцій. Якщо обмежити кількість таких функцій двома, трьома, то і поле випромінювання описуватиметься обмеженою кількістю парціальних ДС.

Теоретичні засади. Діаграми спрямованості опромінювачів дзеркальних антен є функціями кута ψ, який обчислюється від оптичної осі антени, або від фокальної площини ЦПА і напрямом у довільно взяту точку на поверхні дзеркала (рис. 1).

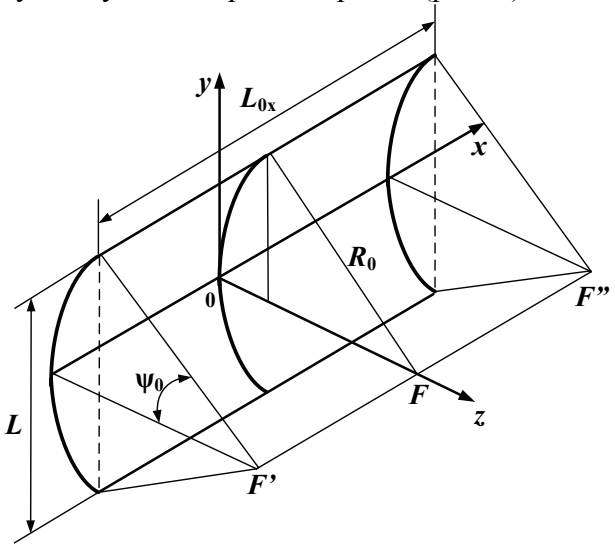


Рис. 1. Геометричні параметри параболічного циліндра

Амплітудний розподіл поля в площині апертури в напрямі перпендикулярному фокальній лінії

$$E(R) = F_{\text{опр}}(\psi)\cos\frac{\psi}{2}, \tag{1}$$

де ψ – кут між напрямом в точку спостереження і фокальною площиною; R – відстань від лінії перетину фокальної площини і площини апертури до точки спостереження в розкриві антени; $F_{\text{опр}}(\psi)$ - ДС опромінювача.

Необхідно знайти аналітичне наближення формули (1) в межах розхилу кута дзеркала від $+\psi_0$ до $-\psi_0$. Ця умова при задовільній збіжності результатів обчислення амплітуд за формулою (1) тригонометричним рядом забезпечує використання незначної кількості членів наближення.

Коли фокальна площина ЦПА збігається з площиною E поля випромінювання, то доцільно застосовувати опромінювач у вигляді лінійної антенної решітки із співвісних симетричних вібраторів. Ідеалізована діаграма спрямованості без врахування скінченних розмірів ширини контррефлектора має вигляд

$$F_{\text{опр}}(\psi^H) = \sin(kh\cos\psi^H), \tag{2}$$

де $k = 2\pi/\lambda$ - хвильове число; λ – довжина хвилі; h – відстань від вібратора до контррефлектора.

Якщо фокальна площина антени збігається з площиною H поля випромінювання, то опромінювач виготовляють у вигляді хвилеводно-щілинної антенної решітки з повздовжніми щілинами, наближене значення характеристики спрямованості якої можемо записати так

$$F_{\text{опр}}(\psi^E) = \cos(0{,}62\psi^E). \tag{3}$$

Для ЦПА оптимальне значення ψ_0 забезпечує рівень амплітуди напруженості поля на краю апертури, обмеженою кромками циліндра, в інтервалі від 0,316 до 0,447 максимального значення (при ψ=0). Кут ψ_0 дає можливість обчислити відношення геометричних параметрів

$$\frac{L}{4f} = \text{tg}\frac{\psi_0}{2}, \tag{4}$$

де L – відстань від кромки до кромки параболічного циліндра; f – фокусна відстань.

Ширину апертури знаходять за відомим значенням ширини діаграми спрямованості $2\theta_{0,5}$ в площині, перпендикулярній фокальній осі,

$$L \approx \frac{A^\circ}{2\theta_{0,5}}\lambda, \tag{5}$$

де коефіцієнт A° для опромінювача ненапрямленого в розглядуваній площині беруть в межах від 53° (при $L/4f = 1$) до $58{,}5^\circ$ (при $L/4f = 5$) і для напрямлених опромінювачів наближене значення коефіцієнта A° беруть з табл. 1.

Таблиця 1

Залежність коефіцієнта A° від відношення $L/4f$

$L/4f$	0,4	0,6	0,8	1,0
A°	56°	$61{,}9^\circ$	$67{,}6^\circ$	$72{,}8^\circ$

Обчислене значення ширини апертури дає змогу обчислити фокусну відстань (4).

Розподіл відносних амплітуд напруженості поля в апертурі в напрямі перпендикулярному фокальній осі (сумістимо цей напрям з віссю 0y) апроксимується рядом

$$E(\chi) = t + (1-t)\sum_{q=1}^{m} a_q \cos^q\frac{\pi}{2}\chi, \tag{6}$$

де $\chi = \dfrac{2y}{L}$ - відносна лінійна координата розкриву; $y = R$ - відстань від середньої лінії розкриву до точки спостереження (1); t - відносне значення напруженості поля на краю дзеркала (при $\psi = \psi_0$); m - кількість косинусоїдальних членів апроксимаційного ряду; a_q - ваговий коефіцієнт парціальної діаграми спрямованості.

Величину t вибираємо з умов оптимальності конструкції антени

$$t = E(\psi = \psi_0) = 0{,}316...0{,}447\,. \tag{7}$$

Кількість членів ряду (6) залежить від характеру реального амплітудного розподілу, але, як показують розрахунки, вже при $m = 3$ похибками апроксимації навіть для опромінювачів із складними діаграмами спрямованості можні знехтувати.

Для спрощення подальших розрахунків приймаємо, що інтервали між вузлами інтерполяції однакові і дорівнюють

$$\Delta\chi = \frac{1}{m}\,. \tag{8}$$

Координати вузлів інтерполяції матимуть такі значення

$$\begin{gathered}\chi_1 = 0, \chi_2 = \Delta\chi, \chi_3 = 2\Delta\chi,..., \chi_s = (s-1)\Delta\chi,..., \\ \chi_m = (m-1)\Delta\chi = 1 - \Delta\chi.\end{gathered} \tag{9}$$

Цим значенням лінійних координат відповідають кутові координати, які обчислюються за формулою

$$\psi = 2\text{arctg}\frac{y}{2f} = 2\text{arctg}(p\chi), \tag{10}$$

де $p = \dfrac{L}{4f}$ - параметр ЦПА.

Отже, маємо $\psi_1 = 0, \psi_2 = 2\text{arctg}p\chi_2, ..., \psi_m = 2\text{arctg}p\chi_m$.

Використовуючи формулу (1), знаходимо значення відносної амплітуди напруженості поля у вузлах інтерполяції:

$$E(\chi_1), E(\chi_{21})..., E(\chi_m). \tag{11}$$

Введемо приведене значення функції розподілу амплітуд напруженості електричного поля у вузлах інтерполяції за формулою

$$e(\chi_q) = \frac{E(\chi_q) - t}{1 - t}\,. \tag{12}$$

Очевидно, що $e(\chi_1) = 1$. Решта величин (11) отримають дещо інші значення.

Згідно з рівнянням (6) з урахуванням відношення (12) складаємо систему рівнянь

$$\left.\begin{aligned} e(\chi_1) &= \sum_{q=1}^{m} a_q; \\ e(\chi_2) &= \sum_{q=1}^{m} a_q \cos^q \frac{\pi}{2}\chi_2; \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots \\ e(\chi_m) &= \sum_{q=1}^{m} a_q \cos^q \frac{\pi}{2}\chi_m. \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Розв'язуючи систему (13), отримуємо значення коефіцієнтів a_q і записуємо амплітудний розподіл у вигляді ряду (6).

Використовуючи узагальнену кутову координату $u = \dfrac{kL}{2}\sin\theta$, де θ - меридіональний кут сферичної системи координат, який відраховується від осі 0*z* в площині *y*0*z*, знаходимо поле випромінювання за формулою

$$f(u)=\frac{L}{2}\int_{-1}^{1}E(\chi)e^{iu\chi}d\chi\,. \tag{14}$$

В загальному випадку характеристика спрямованості (14) при амплітудному розподілі (6) має такий вигляд

$$f(u)=tf_0(\chi)+(1-t)\sum_{q=1}^{m}a_q f_q(u). \tag{15}$$

Враховуючи характеристику спрямованості елемента апертури (елемента Гюйгенса) і значення узагальненої кутової координати, з виразу (15) отримуємо формулу для ДС ЦПА як функцію меридіонального кута θ

$$f(\theta)=\cos^2\frac{\theta}{2}\left\{2t\frac{\sin\left(\frac{kL}{2}\sin\theta\right)}{\frac{kL}{2}\sin\theta}+(1-t)\sum_{q=1}^{m}a_q f_q\left(\frac{kL}{2}\sin\theta\right)\right\}. \tag{16}$$

Оскільки апертура ЦПА збуджується синфазно, то максимум випромінювання буде спрямований вздовж осі 0*z*. Тому нормована діаграма спрямованості обчислюється таким чином

$$F(\theta)=\frac{f(\theta)}{f(\theta=0)}, \tag{17}$$

де $f(\theta)$ і $f(\theta=0)$визначається за формулою (16).

Для отримання необхідних параметрів ДС можна використати рівень *t*, який змінюється в інтервалі значень (7). Чим більше значення *t*, тим вужча буде ДС при незмінному значенні *L*, але рівень бічних пелюсток буде зростати. Отже, всі ці можливі зміни конструктивних параметрів легко відтворити на серії ДС, побудованих за формулою (17) і вибрати такі параметри, які найкращим чином будуть задовольняти задані умови.

Висновки

Результати виконаного дослідження особливостей випромінювання ЦПА в площині, перпендикулярній фокальній осі дають підстави стверджувати, що:

1) Будь-який амплітудний розподіл в апертурі антени в напрямі, перпендикулярному твірній циліндра, можна з великою точністю представити у вигляді степеневого косинусоїдального ряду;

2) Степеневий косинусоїдальний ряд дає можливість визначити поле випромінювання сумою парціальних діаграм спрямованості, кожна з яких описується відносно простими формулами;

3) Числове моделювання розподілу поля в апертурі, який створюється відомими опромінювачами, доводить, що задовільну для практики точність можна досягти при $m=2$, тобто за допомогою лише трьох членів ряду;

4) Проста форма характеристики спрямованості ЦПА спрощує процес обчислення ДС і дає можливість моделювати вплив тих чи інших конструктивних параметрів на поле випромінювання антени.

Список літератури

1. *Ильницкий Л.Я., Болбот А.А.* Антенные устройства аэропортов гражданской авиации. – М.: Транспорт, 1983. – 190 с.

2. *Фрадин А.З.* Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1977. – 440 с.

3. *Драбкин А.А. Зузенко В.Л. Кислов А.Г.* Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. радио, 1974. – 536 с.

УДК 621.396.93(043.2)

Є.І. Габрусенко, канд. техн. наук,
Г.Ю. Лаванов, канд. техн. наук, М.О. Лаванова
(Національний авіаційний університет, Україна)

РОЗБІЖНІСТЬ ЗОН ДОСЯЖНОСТІ СИСТЕМ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ У НАПРЯМАХ БАЗА-ТЕРМІНАЛ ТА ТЕРМІНАЛ-БАЗА

Розглядається аналіз розбіжності зон досяжності у напрямках база-термінал, термінал-база від параметрів навколишнього середовища. Пропонується оптимізувати вибір значень потужності відповідних передавальних пристроїв та чутливості приймальних пристроїв з урахуванням несиметричності радіотрас.

Вступ. Потреба в аналізі залежності розбіжності зон досяжності у напрямках база-термінал та термінал-база від параметрів навколишнього середовища актуальна, оскільки існуючі методики прогнозування зон покриття не враховують цієї розбіжності, що призводить до створення суттєвого інформаційного надлишку у каналах зв'язку та передачі даних. Вказаний фактор обумовлює поширення радіохвиль поза призначенням та виникнення взаємних радіозавад неприпустимих рівнів, що може призвести до зниження рівня інформаційної безпеки каналів у цілому.

Теоретичні засади. Зона досяжності являє собою частину ділянки місцевості усередині замкненої лінії рівної напруженості на рівні чутливості приймального пристрою. Приймально-передавальний пристрій базової станції (надалі бази) зазвичай має значну більшу потужність та чутливість, ніж мобільного терміналу. До цього ж, антена бази розташовується в умовах вільного напівпростору, а в ближній зоні антени терміналу зазвичай знаходяться різноманітні предмети, деталі місцевості, рослини тощо. Оптимальный режим стійкого двостороннього зв'язку може бути забезпечений за умови узгодження радіусів зон покриття напрямків база-термінал r_b та термінал-база r_t, тобто при забезпеченні рівності такого вигляду:

$$\left| r_{\text{b}} - r_t \right| = 0.$$

В кожному конкретному випадку розташування обладнання стільникового зв'язку, необхідно забезпечити виконання вказаних умов шляхом відповідного вибору значення енергоємностей каналів. Для цього, в попередніх статтях [1 - 2] авторами обґрунтовано спосіб балансу енергоємностей каналу у напрямах термінал-база та база-термінал у вигляді такого співвідношення:

$$E_b \sqrt{P_b} H_b V_b = E_t \sqrt{P_t} H_t V_t \,, \qquad (1)$$

де E_b та E_t – значення чутливості бази та терміналу, P_b та P_t – їхніх потужностей, H_b та H_t – висоти відповідних антен, V_b та V_t – множники ослаблення поширення радіохвиль у напрямах база-термінал та термінал-база відповідно. Саме відмінності значень множників ослаблення у вказаних напрямах обумовлюють розбіжність зон досяжності, що у значній мірі викликано наступним фактором. Антена базової станції розташовуються зазвичай в умовах відсутності перешкод у межах ближньої зони (зони індукції), яка у радіусі складає 5…10 робочих довжин хвиль. При цьому антена терміналу зазвичай розташовується в умовах наявності перешкод у межах ближньої зони, оскільки умови розташування антени терміналу визначаються пересуванням та розташуванням користувача на реальній місцевості.

Співвідношення (1) слід розглядати як сімейство функцій та відповідних графіків, кожен з яких відображує, наприклад, залежність $E_t = f(P_t)$ при фіксованому значенні $E_b \sqrt{P_b}$, тобто співвідношення (1) можна перетворити до вигляду

$$E_t = \frac{E_b H_b V_b \sqrt{P_b}}{H_t V_t \sqrt{P_t}}. \qquad (2)$$

При цьому, експлуатант системи стільникового зв'язку, виходячи з конкретних умов та характеристик обладнання, має можливість будувати за формулою (2) власні номограми залежностей конкретної пари параметрів при фіксованих значеннях інших параметрів для рішення задачі мінімізації типу $\left|r_{\text{b}} - r_t\right| = 0$.

Розглянемо приклад вибору раціональних значень параметрів базової станції та терміналу при фіксованому значенні E_b = (1,0; 1,5…2)x10^{-3} мВ/м , P_b = 5; 10; 15; 20 Вт; P_t = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9…1,5 Вт, H_t = 1 м, H_b = 10 м, для якого номограма оптимальних значень параметрів бази та терміналу буде мати вигляд, який наведено на рис. 1.

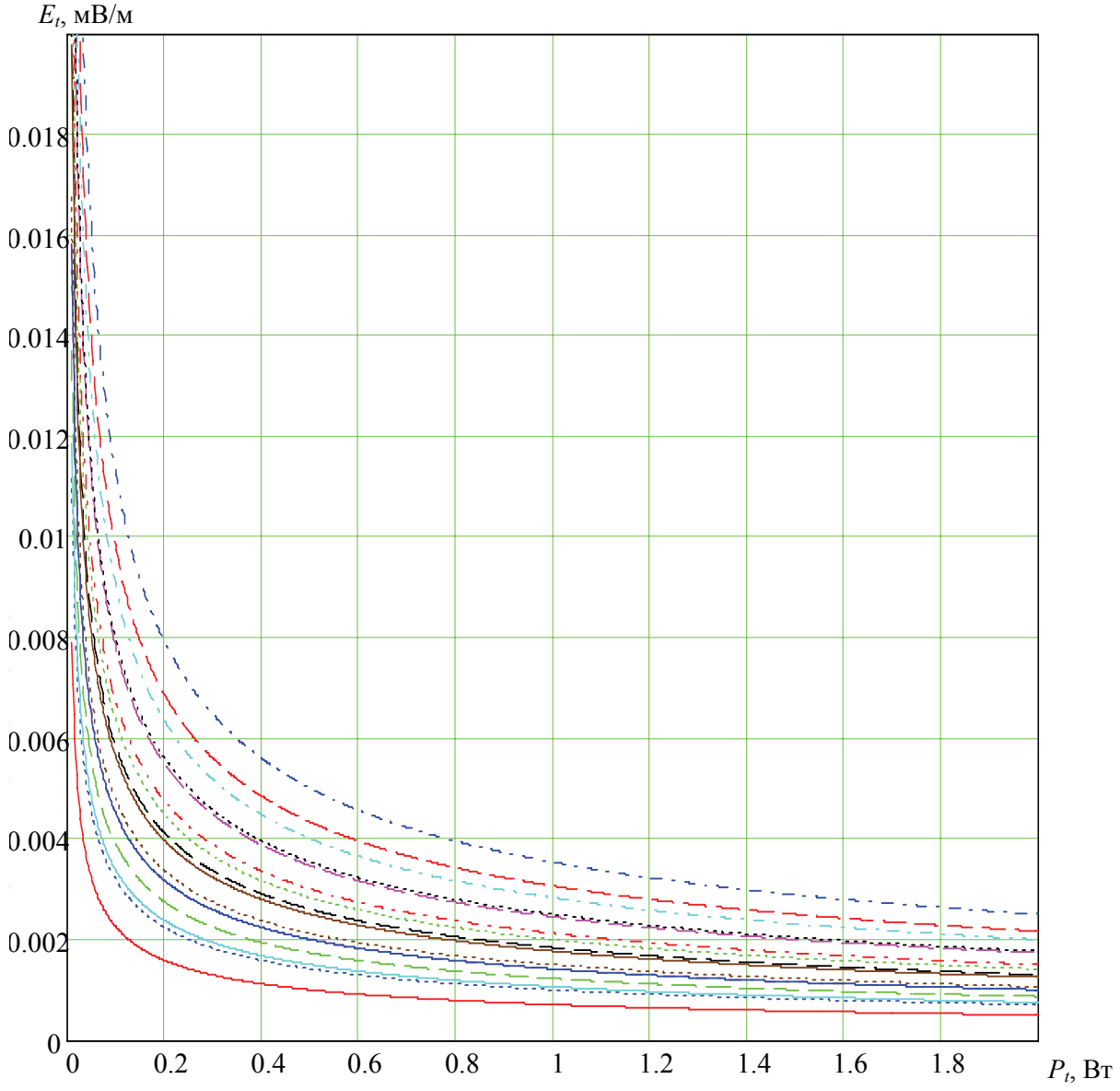


Рис. 1. Номограма оптимальних значень параметрів терміналу та бази

Будь-яка точка сімейства графіків залежності $E_t = f(P_t)$ (рис. 1) для фіксованих значень добутку $E_b\sqrt{P_b}$, при зазначених вихідних даних, дозволяє вибрати такі параметри базової станції та терміналу, при яких буде усунута розбіжність між зонами покриття напрямків база-термінал та термінал-база. Даний приклад дає можливість застосувати розроблений метод вибору раціональних параметрів базової станції та терміналу при варіації одних груп па-

раметрів та фіксації інших, і визначення потрібних параметрів для кожного експлуатанта або користувача, виходячи з конкретних умов розташування та експлуатації систем стільникового зв'язку та їх технічних характеристик. Усунення розбіжності зон досяжності дозволить уникнути небажаних інформаційних надлишків у каналах і мережах зв'язку та обміну даними.

Приклади таких номограм для інших параметрів терміналу і базової станції за умов неоднакових значень множника ослаблення поширення радіохвиль у напрямках база-термінал та термінал-база авторами представлені у статті [1], де значення множників ослаблення були прийняті орієнтовно. Уточнення цих значень може бути здійснено шляхом аналізу розсіювання потужності терміналу на перешкодах, що знаходяться в ближній зоні його антени.

Аналіз втрат потужності у ближній зоні може бути реалізований у наступному порядку.

1. Для перешкод з властивостями, близькими до ідеального провідника:

- за величиною напруженості поля випромінювання терміналу, в залежності від відстані до перешкоди, визначається поверхнева густина індукційного струму провідності $\bar{j}$ у цій перешкоді;
- за значеннями $\bar{j}$ та питомої провідності перешкоди *g* визначається густина потужності теплових втрат, яка є мірою ослаблення корисної потужності сигналу.

2. Для перешкод з властивостями напівпровідників:

- за значенням напруженості поля антени терміналу визначити густину струму провідності $\bar{j}$ у перешкоді та відповідну густину потужності теплових втрат;
- за значенням питомої провідності, діелектричної та магнітної проникностей речовини перешкоди визначити коефіцієнт поглинання потужності радіохвилі.

Для аналізу струмів провідності, що створюються хвилею передавача терміналу, розглянемо найпростіший випадок взаємодії між антеною та елементарним провідниковим стрижнем [2, 3], прийнявши такі позначення: l, l' - послідовні координати, що відлічується уздовж певної осі L; $r(l)$ - радіус-вектор точки на осі L; $a(l)$ - радіус провідникового стрижня.

За допомогою класичних рівнянь Максвела густина струму провідності для даної ситуації визначається співвідношенням

$$\bar{J}_z = g\bar{E}(\delta R(l,l')),$$

де g – питома провідність, $\bar{E}$ – вектор напруженості хвилі.

Таким чином, задача зводиться до визначення функції розподілу струму по провідниковому стрижню при відомому значенню напруженості поля антени терміналу. Для цього необхідно розв'язати таке рівняння Поклінгтона:

$$E(l) = \int i\left[\text{щм}_0 G(l,l') - \frac{1}{\text{ще}_0}\frac{d^2G(l,l')}{dl\,dl'}dl'\right]I(l'),$$

де $G(l,l')$ - функція Гріна першого роду, I - шукана функція розподілу струму, $\beta = 2\pi/\lambda$ – хвилеве число, ω – циклічна частота, λ – довжина хвилі, μ_0 та ε_0 – магнітна і діелектрична сталі. При цьому один з провідникових стрижнів є активним випромінювачем, а інтегрування здійснюється уздовж контуру l, що утворюється сукупністю осей провідникових стрижнів. Функція Гріна відповідно до [3 - 4] в даних умовах визначається виразом

$$G(l,l') = \frac{e^{-i\text{в}R(l,l')}}{R(l,l')},$$

в якому відповідно до запроваджених вище позначень параметр визначається формулою $R(l,l') = \sqrt{|r(l) - r(l')|^2 + a^2(l')}$.

Наведені рівняння Поклінгтона можуть бути розв'язані чисельними методами в програмних середовищах. За визначеною величиною густини струму провідності $\bar{j}$, що створюється у перешкоді хвилею випромінювання терміналу, та питомої провідності перешкоди g, можна визначити потужність теплових втрат за такою відомою формулою $P_{\text{Т}} = j^2 / g$, на величину якої зменшується потужність випромінювання терміналу:

$$P = P_0 - P_{\text{Т}},$$

де P_0 – потужність випромінювання антени передавача терміналу.

Таким чином, у першому наближенні величину коеффіцієнта втрат $V_{\text{Т}}$ потужності випромінювання при взаємодії випромінювача з провідниковими перешкодами у межах ближньої зони, що обумовлюється індукційною взаємодією, можна визначити за такою формулою:

$$V_{\text{Т}} = \frac{P_0 - P_{\text{Т}}}{P_0}.$$

Величина даного множника повинна враховуватись при розрахунках відстані поширення радіохвилі в напрямку термінал-база, проте не враховуватись при розрахунках в напрямі база-термінал. Тому умови поширення для хвиль в напрямку від базової станції до терміналу, відрізняються від умов для хвиль, що поширюються в зворотному напрямку. Власне в цьому полягає зміст запровадженого поняття розбіжності зон досяжності.

Висновки

1. Розбіжність зон досяжності у напрямках база-термінал та термінал-база обумовлює небажаний інформаційний надлишок у каналах зв'язку та передачі даних, а також високі рівні взаємних радіозавад. Це призводить до погіршення умов інформаційної безпеки каналів стільникового зв'язку та передачі даних.

2. При аналізі та прогнозуванні поширення радіохвиль для систем стільникового зв'язку або передачі даних необхідно враховувати індукційні (теплові) втрати потужності випромінювання терміналу в ближній зоні його антени, які відсутні в ближній зоні антени базової станції. Така обставина обумовлює несиметричність радіотрас в напрямках термінал-база та база-термінал.

3. Для запобігання розбіжності між зонами досяжності у напрямках база-термінал та термінал-база пропонується оптимізувати вибір значень потужності відповідних передавальних пристроїв та чутливості приймальних пристроїв з урахуванням несиметричності радіотрас база-термінал та термінал-база.

Список літератури

1. *Габрусенко Є.І., Павлов В.Г., Захаров Д.М., Меньша А.О.* Мінімізація розбіжності зон досяжності у напрямках база-термінал та термінал-база систем стільникового зв'язку. Сб. наук. праць НАУ «Сучасні проблеми захисту інформації з обмеженим доступом»; вип.16, 2009 р., с. 32-37.

2. *Габрусенко Є.І., Лаванов Г.Ю., Лаванова М.О.* Аналіз впливу теплових втрат в ближній зоні терміналу на розбіжність зон досяжності стільникового зв'язку. Сб. наукових праць НАУ «Защита информации»; вип.. 17, 2010 р., с. 165-171.

3. *Стрижов В.А.* Математическое моделирование электродинамических процессов в проволочных антеннах. Математическое моделирование. Т.1 №8 1989. - с.128-138

4. *Левитов Л. С., Шитов А. В.* Функции Грина. Задачи с применениями. Москва: Физматлит, 2002. - с.352.

УДК 004.65:61(043.2)

І.А. Владикіна, О.Б. Іванець, канд. техн. наук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РЕТРОСПЕКТИВНИХ ДАНИХ ПАЦІЄНТА

Розроблена електронна інформаційна система ретроспективних даних пацієнта, яка може бути використана для доступу пацієнтів та медичних працівників до електронних персональних медичних записів, що вдосконалить діагностичний та лікувальний процес.

Вступ. «Інформаційна система ретроспективних даних пацієнта» повинна забезпечити:

- доступ пацієнтів та медичних працівників до електронних персональних медичних записів та електронних карток пацієнтів у лікувально-профілактичних закладах з метою удосконалення діагностичного та лікувального процесу, підвищення якості ведення медичної документації, автоматизації рутинної роботи та відкриття принципово нових можливостей оперативного аналізу усієї інформації;
- доступ лікарів до довідкової медичної інформації, стандартів медичної допомоги з метою покращення якості надання медичної допомоги.

Система повинна працювати в одній з типових конфігурацій:

- для поліклініки – медичних установ, що надають амбулаторно-поліклінічну медичну допомогу;
- для стаціонару – медичних установ, що надають стаціонарну медичну допомогу;
- для медичних установ, що надають як амбулаторно-поліклінічну, так і стаціонарну медичну допомогу.

Додатково до типових конфігурацій мають бути впроваджені інтеграційні засоби автоматизації взаємодії Системи з іншими системами, впровадженими в медичній організації на основі сервісно-орієнтованої архітектури, відповідно до специфікації HL7 v.3. і з регламентом обміну медичною інформацією.

Теоретичні засади. Проектування інформаційної системи ретроспективних даних пацієнта здійснюється відповідно до розробленого технічного завдання. На стадії проектування використані наступні методи та засоби: об'єктно-орієнтований аналіз і об'єктно-орієнтоване проектування; уніфікована мова програмування UML; ER-моделі.

При створенні програмного продукту для роботи із складними об’єктами і системами аналіз цих об’єктів є необхідним. Для цього спочатку розглядається система в цілому, потім виділяються об’єкти цієї системи, встановлюються їхні зв’язки та ієрархічна підпорядкованість. Наступним кроком є розгляд складних об’єктів як підсистеми дещо нижчого рівня і виділення в їхньому складі окремих елементів або підсистем ще нижчого рівня ієрархії. Ці кроки проводяться до тих пір поки в нас не залишаться атомарні елементи.

UML (англ. «Unified Modeling Language») — уніфікована мова об'єктно-орієнтованого моделювання, використовується у парадигмі об'єктно-орієнтованого програмування. Є невід'ємною частиною уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення.

UML може бути застосована на всіх етапах життєвого циклу аналізу інформаційних систем і розробки прецедентів. Різні види діаграм які підтримуються UML, і найбагатший набір можливостей представлення певних аспектів системи робить UML універсальним засобом опису програмних систем.

Діаграми дають можливість представити систему у такому вигляді, щоб її можна було легко перевести в програмний код.

Крім того, UML спеціально створювалася для оптимізації процесу розробки програмних систем, що дозволяє збільшити ефективність їх реалізації у кілька разів і помітно поліпшити якість кінцевого продукту.

UML прекрасно зарекомендувала себе в багатьох успішних програмних проектах. Засоби автоматичної генерації кодів дозволяють перетворювати моделі мовою UML у вихідний код об’єктно-орієнтованих мов програмування, що ще більш прискорює процес розробки.

Практично усі CASE-засоби (програми автоматизації процесу аналізу і проектування, англ. «Computer-Aided Software Engineering») мають підтримку UML. Моделі розроблені в UML, дозволяють значно спростити процес кодування і направити зусилля програмістів безпосередньо на реалізацію системи.

Діаграми підвищують супроводжуваність проекту і полегшують розробку документації.

UML необхідний:

- керівникам проектів, які керують розподілом завдань і контролем за проектом;
- проектувальникам інформаційних систем, які розробляють технічні завдання для програмістів;
- програмістам, які реалізовують модулі інформаційної системи.

При модифікації системи об'єктний підхід дозволяє легко включати в систему нові об'єкти і виключати застарілі об'єкти без істотної зміни її життєздатності. Використання побудованої моделі при модифікаціях системи дає можливість усунути небажані наслідки змін, оскільки вони не ламають структури системи, а тільки змінюють поведінку об'єктів.

Модель «сутність-зв'язок» (ER-модель) (англ. «Entity-relationship model» або «entity-relationship diagram») – модель даних, яка дозволяє описувати концептуальні схеми за допомогою узагальнених конструкцій блоків. ER-модель – це мета-модель даних, тобто засіб опису моделей даних.

ER-модель зручна при проектуванні інформаційних систем, баз даних, архітектури комп'ютерних прецедентів та інших систем (моделей). За допомогою такої моделі виділяють найсуттєвіші елементи (вузли, блоки) моделі і встановлюють зв'язки між ними.

Існує ряд моделей для представлення знань. Одним з найзручніших інструментів уніфікованого представлення даних, незалежного від програмного забезпечення, що його реалізує, є модель «сутність-зв'язок».

Модель «сутність-зв'язок» ґрунтується на певній важливій семантичній інформації про реальний світ і призначена для логічного представлення даних. Вона визначає значення даних в контексті їх взаємозв'язку з іншими даними. Важливим для нас є той факт, що з моделі «сутність-зв'язок» можуть бути породжені всі існуючі моделі даних (ієрархічна, мережева, реляційна, об'єктна), тому вона є найбільш загальною. Будь-який фрагмент наочної області може бути представлений як безліч сутностей, між якими існує деяка безліч зв'язків.

ER-модель – це одна з найбільш простих візуальних моделей. Вона дозволяє осягнути структуру об'єкта «крупними мазками», в загальних рисах. Такий загальний опис структури називається ER-діаграмою або онтологією вибраної предметної області.

Перший етап – проектування, полягає у аналізі вимог, які ставляться до інформаційної системи ретроспективних даних пацієнта.

Система повинна забезпечувати ведення, зберігання, пошук та видачу за інформаційними запитами електронних персональних медичних записів та електронних карток пацієнтів у лікувально-профілактичних закладах, що надають амбулаторну, стаціонарну і інші види медичної допомоги.

Побудуємо аналітичну модель, що найдетальнішим чином описує те, для чого призначена система. Головна мета побудови такої моделі – надати повний, послідовний і зрозумілий опис системи з точки зору функцій, але не деталей реалізації. Модель використовується для кращого розуміння системи, виправлення помилок, додавання необхідних елементів і є основою моделі дизайну.

Аналітична модель – модель, яка будується на етапі аналізу. Мета етапу – розпізнавання всіх чинників або умов в даній області, в проектному оточенні, в існуючих і запланованих комп’ютерних системах, які можуть вплинути на ухвалення рішень, якість системи і реаліза-

цію вимог. Результат – логічна модель системи, яка описує метод реалізації вимог, але не зачіпає нічого, що стосується реалізації.

Основні дані інформаційної системі ретроспективних даних пацієнта «Електронна картка пацієнта» складаються з наступних підсистем:

- демографічна інформація («базовий» реєстр пацієнтів);
- визначення ризиків, таких як алергії, захворювання, штучні органи;
- вакцинації;
- проблеми та діагнози;
- обстеження;
- медичні та хірургічні операції;
- ліки;
- загальний стан здоров'я.

Кожна підсистема зберігає дані у відповідній таблиці.

ER-модель бази даних інформаційної системи ретроспективних даних пацієнта зображена на рис. 1.

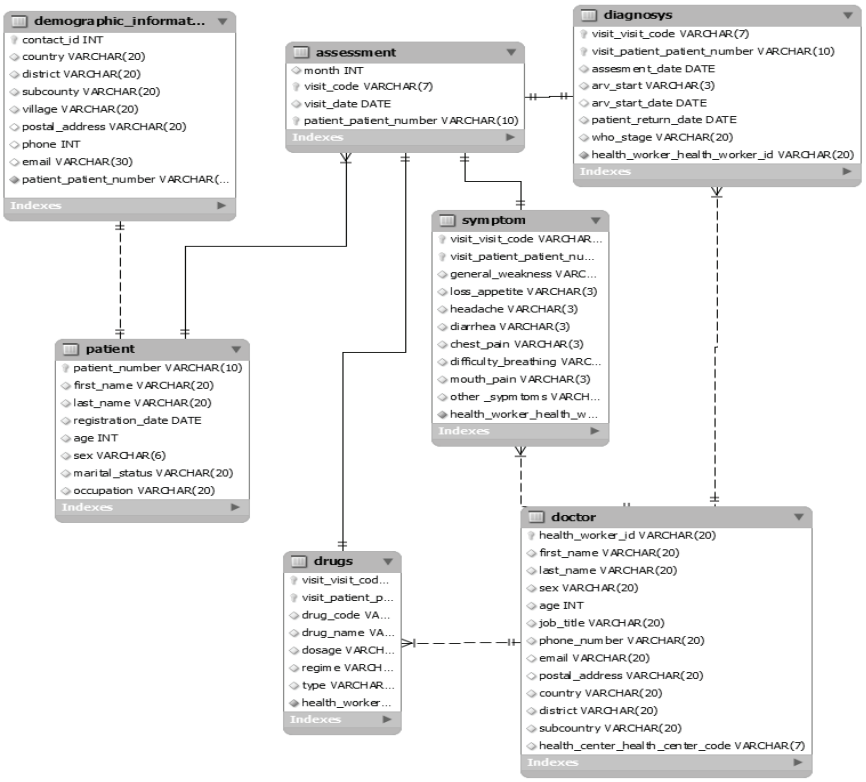


Рис. 1. ER-модель бази даних інформаційної системи ретроспективних даних пацієнта

Інформаційна система ретроспективних даних пацієнтів «Електронна картка пацієнта» була розроблена з використанням наступних засобів:

- мова програмування PHP;
- фреймворк (набір інструментів для PHP-програміста) CodeIgniter;
- система управління базами даних Mysql.

PHP (англ. «PHP: Hypertext Preprocessor» – PHP: гіпертекстовий препроцесор), попередня назва: «Personal Home Page Tools» – скриптова мова програмування, була створена для генерації HTML-сторінок на стороні веб-сервера. PHP є однією з найпоширеніших мов, що використовуються у сфері веб-розробок. PHP підтримується переважною більшістю хостинг-провайдерів. PHP – проект відкритого програмного забезпечення.

PHP інтерпретується веб-сервером в HTML-код, який передається на сторону клієнта.

На відміну від скриптової мови JavaScript, користувач не бачить PHP-коду, бо браузер отримує готовий html-код. Це є перевага з точки зору безпеки, але погіршує інтерактивність

сторінок. Але ніхто не забороняє використовувати і PHP, і JavaScript-коди, які виконаються вже на стороні клієнта.

CodeIgniter – програмний каркас, створений на PHP, для розробки веб-систем та прикладних програм. Розроблений EllisLab, а також Ріком Еллісом (Rick Ellis) та Полом Бурдіком (Paul Burdick).

CodeIgniter володіє наступними характеристиками:

- в ньому використовується модель MVC (англ. Model-view-controller, Модель-відображення-контролер);
- CodeIgniter безкоштовний, а точніше ліцензований під Apache / BSD-style Open Source License;
- CodeIgniter підтримує наступні системи управління базами даних: MySQL, PostgreSQL, MSSQL, SQLite, Oracle;
- якісна документація з прикладами;
- CodeIgniter дуже легкий та має низькі вимоги до апаратних ресурсів. Основне ядро вимагає невеликої кількості бібліотек. Додаткові бібліотеки завантажуються динамічно за запитом, в залежності від потреб, так що ядро залишається дуже гнучким і швидким;
- CodeIgniter поставляється з великим набором бібліотек, що дозволяють запрограмувати часто повторювані завдання;
- CodeIgniter дуже швидкий в роботі (якщо порівнювати з існуючими PHP-фреймворками);
- вихідний програмний код CodeIgniter є відкритим, що забезпечує найкращі умови для вивчення такого програмного забезпечення та можливого подальшого внесення змін (удосконалень тощо) до нього.

MySQL – вільна система керування реляційними базами даних.

Ця система управління базами даних з відкритим кодом була створена як альтернатива комерційним системам. MySQL з самого початку була дуже схожою на mSQL, проте з часом вона все розширювалася і зараз MySQL – одна з найпоширеніших систем управління базами даних. Вона використовується, в першу чергу, для створення динамічних веб-сторінок, оскільки має чудову підтримку з боку різноманітних мов програмування.

MySQL – компактний багатонитковий сервер баз даних. Характеризується великою швидкістю, стійкістю і простотою використання.

MySQL був розроблений компанією «TcX» для підвищення швидкодії обробки великих баз даних.

MySQL вважається гарним рішенням для малих і середніх прикладних програм. Вихідні коди сервера компілюються на багатьох платформах. Найповніше можливості сервера виявляються в UNIX-системах, де є підтримка багатонитковості, що підвищує продуктивність системи в цілому.

Для некомерційного використання MySQL є безкоштовним. Можливості сервера MySQL:

- простота у встановленні та використанні;
- підтримується необмежена кількість користувачів, що одночасно працюють із БД;
- кількість рядків у таблицях може досягати 50 млн.;
- висока швидкість виконання команд;
- наявність простої і ефективної системи безпеки.

Висновки

Запропонована інформаційна система може бути використана при реалізації наказу Міністерства охорони здоров'я України від 25.11.2008 №675 «Про затвердження галузевої програми «Електронна система реєстрації та обміну медичної інформацією між закладами, установами і організаціями системи охорони здоров'я»».

УДК 621.396(043.2)

Л.В. Сібрук, д.т.н., проф., О.В. Хомяк, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРОБЛЕМИ ПЛАНУВАННЯ РАДІОПОКРИТТЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

В статті розглядаються параметри, які враховуються при моделюванні поширення радіохвиль в урбаністичному середовищі.

Вступ. Як відомо радіоканал складається з передавача, радіолінії і приймача. Якість зв'язку багато у чому визначається параметрами та характеристиками радіотехнічних засобів. Серед них: клас випромінювання, потужність живлення передавальної антени, коефіцієнти підсилення антен, чутливість приймача, селективність приймача за побічними каналами. Якість зв'язку у телекомунікаційній мережі залежить також від рельєфу місцевості та навколишнього середовища (урбанічна, сільська місцевість, тощо).

Проаналізуємо які саме параметри слід враховувати під час моделювання поширення радіохвиль для кожної конкретної ситуації. Адже саме від них залежить коректний вибір моделі поширення радіохвиль.

Теоретичні засади. Основні фактори які слід враховувати для розробки моделей поширення радіохвиль (рис. 1):

- частота радіохвилі;
- відстань між радіоелектронними засобами;
- рельєф та тип місцевості, а також пов'язані з ними ефекти:
  - ✓ відбиття;
  - ✓ розсіювання;
  - ✓ рефракція (заломлення);
  - ✓ дифракція (огинання перешкод);
  - ✓ поглинання (абсорбція);

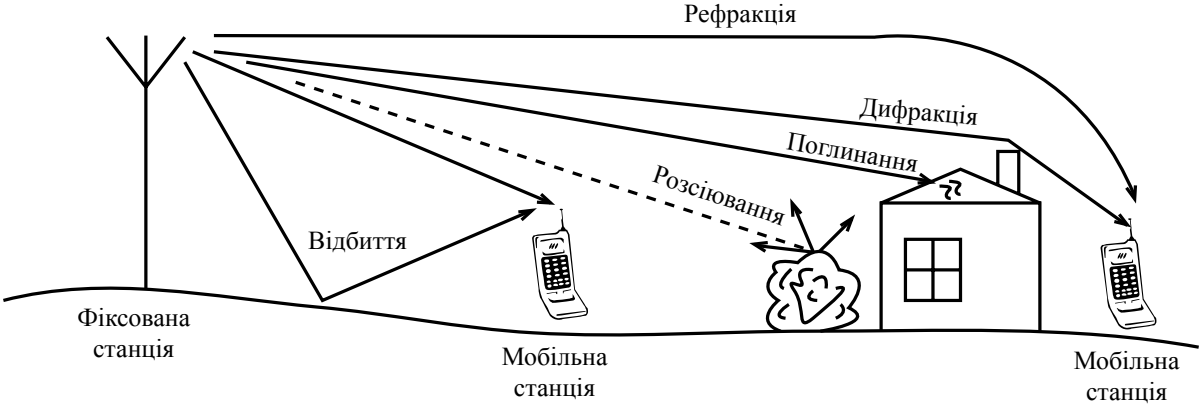


Рис. 1. Шляхи поширення радіохвиль

Частота: Перше з чого слід починати проектування радіомоделі – визначення частоти на якій поширюється радіохвиля. Від частотного діапазону залежить механізм поширення радіохвиль.

Відстань: Для антени з фазовим центром та сферичним фазовим фронтом, потужність випромінювання у певному тілесному куті залишається сталою, а щільність потужності на поверхні сфери зменшується із збільшенням від антени. Якщо припустити, що на поширення хвиль не впливають більше ніякі фактори, то втрата потужності сигналу під час поширення визначається формулою втрат у вільному просторі. Для ізотропної антени:

- лінійна форма (рис.2,а):

$$L = (\frac{4\pi df}{c})^2,$$

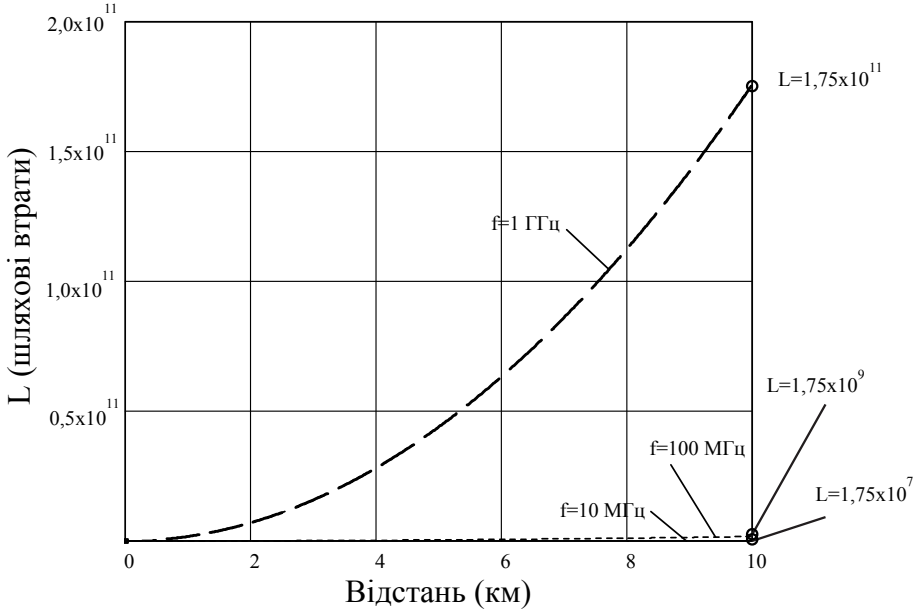
де L – шляхові втрати; f – частота у Гц; d – відстань у м; c – швидкість світла у просторі.

- логарифмічна форма (рис.2,б):

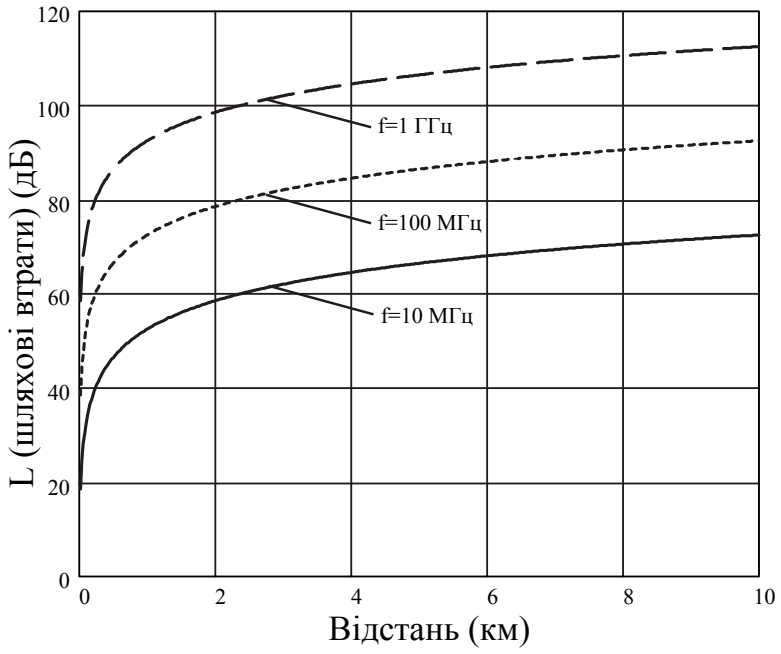
$$L = 32.44 + 20\log f + 20\log d,$$

де L – шляхові втрати у дБ; f – частота у МГц; d – відстань у км.

З формули видно, що рівень втрат залежить не тільки від відстані приймача від передавача але і від частоти на якій ведеться трансляція. Втрати збільшуються квадратично до частоти. Це особливо помітно на графіку у лінійній формі.



а)



б)

Рис. 2. Втрати сили сигналу від відстані поширення і частоти для ізотропної антени (ідеальні умови): а – лінійна форма; б – логарифмічна форма

Відбиття: Відбиття радіохвилі відбувається у випадку коли довжина хвилі співрозмірна з елементом поверхні, або менше за нього. Знову відзначаємо вплив частоти сигналу на про-

цеси поширення. В результаті відбиття радіохвиль сигнал може потрапити у область простору, яка затінна для прямої хвилі. Однак у результаті багатопроменевого поширення за рахунок різних амплітуд і фаз сигналів у точці прийому відбувається інтерференція.

Найбільш типовим є багатопроменеве поширення для міського середовища.

Розсіювання: Розсіювання також як і відбиття відбувається на поверхнях більших у порівнянні з довжиною хвилі. Проте поверхня перешкоди характеризується нерівностями, які менші від довжини хвилі. Діаграма спрямованості вторинних джерел під час розсіювання характеризується значною шириною і може мати або не мати головну пелюстку.

У результаті розсіювання з'являються нові промені, які доповнюють промені, що з'являються при відбитті Картина променів у точку приймання може стати складною.

Рефракція: Рефракція викликається зміною показника радіозаломлення у атмосфері. Головним чином це відбувається через зміну атмосферного тиску з висотою. За нормальної тропосферної рефракції дальність прямої видимості є більшою на 15% від значення без урахування явища рефракції.

Показник радіозаломлення може бути розрахований з вимірів атмосферного тиску, тиску водяної пари і абсолютної температури:

$$N = N_{dry} + N_{wet} = 77.6\frac{P}{T} + 3.732 \times 10^5 \frac{e}{T^2} \ ,$$

де P – атмосферний тиск (гПа); e – тиск водяної пари (гПа); T – абсолютна температура (K).

Висотна залежність показника заломлення має вигляд:

$$N_s = N_0 \exp(\frac{-h_s}{h_0}) \ ,$$

де N_0=315; h_0=7.35 км; h_s – висота у км.

Градієнт показника заломлення ΔN важливий і використаний у розрахунку k-фактора для визначення ефективного радіуса Землі, що використовується у специфічних обставинах моделювання поширення радіохвиль. Значення -40 є типовим, і наближене значення k=4/3.

Значення k може бути встановлене так:

$$k = \frac{157}{157 + \Delta N} \ .$$

Траєкторія радіохвилі може змінюватися у залежності від атмосферних умов. Існує чотири типи тропосферної рефракції: 1. типові умови, коли k у його середньому значенні; 2. надрефракція, коли k-фактор від'ємний і сигнал не поширюється далеко до перетину з землею і відбивається в гору або поглинається; 3. субрефракція, де k менший за 1 і сигнал випромінюється у космічний простір; 4. умова де $k = \infty$, і сигнал поширюється на постійній висоті над Земною поверхнею. Це виникає коли $\Delta N = -157$.

У випадку коли шлях сигналу точно збігається з кривизною Землі і хвилі як не загинаються до землі так і не в іншу сторону у космос – зникає ефективний горизонт. Це буде типово траплятися тільки в межах даної вертикальної області атмосфери і такі області називаються «прохід». Ці проходи можуть бути на поверхні Землі (земні проходи) або на вищих висотах (підняті проходи). Не тільки буде проводитися енергія у напрямі паралельному землі, але різниця показника заломлення сусідніх областей атмосфери може призвести до пропусканню енергії у цьому каналі і не дозволяти їй вирватися назовні. У цьому випадку, енергія стає зосереджена у «проході» і може переміщатися на великі відстані, більш далі ніж це може бути при передачі енергії випромінюваної у всіх напрямках. Це може призвести до вийнятково довгих каналів поширення. Такі канали як правило небажані оскільки вони можуть призвести до інтерференції але виникають дуже рідко щоб бути використаними. Однак, вони можуть бути цінними для виявлення і перехоплення сигналів.

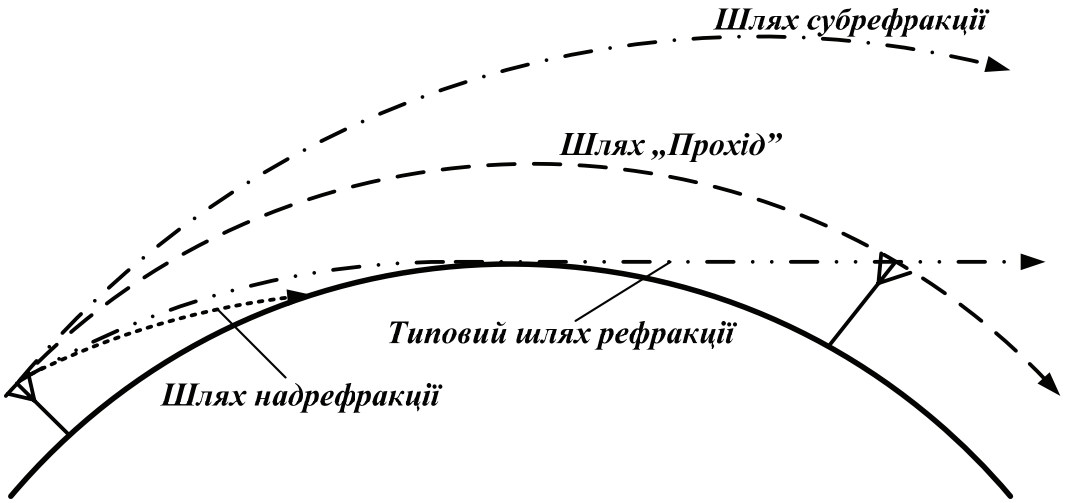


Рис. 3. Типи тропосферної рефракції

Дифракція: У багатьох випадках, виникають радіоканали між фіксованою базовою станцією і мобільним елементом з перешкодами через місцевість і земні завади. У цьому випадку нема прямої лінії виявлення радіоканалу, і головним механізмом може бути дифракція сигналу через або навколо загорожи. Втрати рівня сигналу порівняно з умовами у вільному просторі можуть бути дуже значними для дифракційних хвиль, і максимальна відстань, на яку може бути встановлено радіозв’язок при цьому значно зменшується.

У деяких випадках, втрати через дифракцію будуть такі, що енергія що прийшла з напрямків інших від передавального елементу буде переважати або змагатися з прямим радіоканалом. У таких випадках можуть бути канали через відбиття і розсіювання, впроваджене багатопроменеве поширення, тропосферне або може не бути радіо покриття взагалі. Умови мають бути також узгоджені для моделей поширення. Це часто згадується як дифракційні втрати.

Поглинання (Абсорбція): Енергія електромагнітних хвиль поглинається елементами навколишнього середовища, такими як будівлі, рослинність, транспортні системи тощо. Розрахування поглинання радіохвиль у різних матеріалах особливо актуально під час розробки моделей поширення радіохвиль всередині споруд.

Висновки

Таким чином, видно що необхідно враховувати всі вищезазначені фактори для побудови моделей радіохвиль. Моделі можна розділити на дві групи. Перша характеризує прямий вузько направлений зв’язок з нерухомими радіостанціями, а друга –моделює радіозв’язок зі стаціонарним нерухомим передавачем і мобільним приймачем у межах деякої зони. Наразі відбувається процес широкого використання сантиметрового діапазону хвиль для систем зв’язку. Тому використання відомих моделей поширення радіохвиль не завжди є ефективним. Потрібна розробка та впровадження моделей, що можуть застосовуватися на частотах 30 ГГц і більше, які враховують особливості сигналу конкретної РЕЗ та різноманітні місцеві умови.

Список літератури

1. *Adrian W. Graham, Nicholas C. Kirkman, Peter M. Paul*. Mobile Radio Network Design in the VHF and UHF Bands. A practical Approach. – Antony Rowe Ltd, Chippenham, England, Great Britain, 2007. – 400 p.

УДК 681.586(043.2)

С.В. Окоча, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЮ ОПТИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Спроектовано швидкодіючий датчик за схемою модуляції зі змінним стрибком показника заломлення на границі світловода та проведено аналіз похибки.

Вступ. Вдосконалення автоматичного контролю різними об'єктами, процесами виробництва, визначається досягненнями в галузі вимірювальних перетворювачів (датчиків). Проте більшість датчиків не завжди задовольняють висунутим до них вимогам по таким показникам, як розміри, точність, допустимі умови експлуатації. Успіхи в технології волоконних світловодів [1,2], які привели до широкого їх використання дозволяють замінити традиційні датчики, коли їхні параметри не задовольняють вимог, або для отримання нових функцій у вимірюваннях.

Постановка задачі. Однією з областей застосування датчиків із змінним стрибком показника заломлення (ЗСПЗ) на основі волоконних керованих світловодів (ВКС) є ідентифікація типу рідини її густини та для контролю оптичних параметрів деталей за значенням показника заломлення, що необхідне у великому числі практичних задач.

Необхідно спроектувати швидкодіючий датчик за схемою модуляції з ЗСПЗ на границі світловода та провести аналіз похибки.

Розвязання задачі. Робота датчика контролю параметрів оптичних деталей типу рідини заснована на відмінності показників заломлення n_2 контрольованих оптичних деталей (наприклад, для води $n_2 = 1{,}33$, для газу $n_2 = 1{,}41$), що приводять до зміни світлопропускання оптичного каналу.

Нехтуючи втратами на поглинання світла матеріалом світловода, можна визначити струм в ланцюзі фотоприймача $I_{фп}$, який має інтегральну чутливість $S_{фп}$.

Струм $I_{фп}$, істотно змінюється при незначній зміні показника заломлення n_2.

При накладанні індикатора на контрольовану оптичну поверхню, це викликає стрибок струму $I_{фп}$. Подальше переміщення індикатора по поверхні деталі не приводить до різких стрибків і спадів струму $I_{фп}$. Значення стрибків і спадів в початковий період визначаються зміною площі поверхні контакту датчика з контрольованою оптичною поверхнею, та положенням межі розділу оптична деталь – повітря.

При використанні датчика, побудованого по схемі модуляції ЗСПЗ на границі світловода, умови розповсюдження по керованому світловоду (КС), відповідно світлопропускання залежать від змінного показника заломлення зовнішнього середовища, що межує з керованим світловодом рис.1.

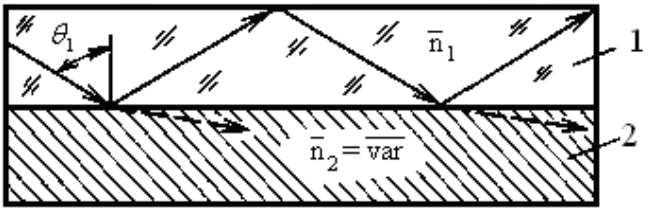


Рис. 1. Датчик на основі керованого світловода із ЗСПЗ: 1 – керований світловід; 2 – зовнішнє середовище.

Математична модель для даного випадку з граничною модуляцією оптичного випромінювання [1] має вигляд:

$$I_{фп}(n_2) = 0{,}5S_{фп}\sum_{k=k_{\min}}^{k=k_{\max}}\int_{arctg\left[(L-l_{фп})/2kd_c\right]}^{arctg(L/2kd)}\left[R_{\perp}^{k}(\theta_1,n_2)(1-R_{\perp B})^2 + R_{//}^{k}(\theta_1,n_2)(1-R_{//B})^2\right]\times$$
$$\times\exp(-\text{ж}L/\cos\theta_1)f_1\left[\arcsin(n_1\sin(\theta_1-\alpha_0))\right]f_{фп}\left[\arcsin(n_1\sin(\theta_1-\alpha_0))+\Delta\beta\right]d\theta_1, \qquad (1)$$

де $k_{\max} = entier\left[L/2d_c tg\theta_{1\min}\right]$, $k_{\min} = entier\left[L/2d_c tg\theta_{1\max}\right]$, $f_{фп}[\cdot]$ – функція, що описує вид апертурної характеристики фотоприймача; $\Delta\beta$ – кут між центральними напрямками апертурної характеристики фотоприймача та випромінювання $P_{ВИХ}$; $l_{фп}$ – протяжність чутливої площі фотоприймача в проекції на площину світловода; $S_{фп}$ – чутливість фотоприймача на довжині хвилі випромінювання.

Шляхом конкретизації механізму зміни відбиваючої здатності [1,2] при зміні показника заломлення зовнішнього середовища формула (1) прийме вигляд:

$$I_{фп}(n_2) = 0{,}5S_{фп}\sum_{k=k_{\min}}^{k=k_{\max}}\int_{arctg\left[(L-l_{фп})/2kd_c\right]}^{arctg(L/2kd)}\left[R_{\perp n}^{k}(\theta_1,n_2)(1-R_{\perp B})^2 + R_{//n}^{k}(\theta_1,n_2)(1-R_{//B})^2\right]\times$$
$$\times\exp(-\text{ж}L/\cos\theta_1)f_1\left[\arcsin(n_1\sin(\theta_1-\alpha_0))\right]f_{фп}\left[\arcsin(n_1\sin(\theta_1-\alpha_0))+\Delta\beta\right]d\theta_1, \qquad (2)$$

де $R_{\perp n}(\theta_1,n_2) = \left[\dfrac{n_1\cos\theta_1 - \sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2\theta_1}}{n_1\cos\theta_1 + \sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2\theta_1}}\right]^2$, $R_{//n}(\theta_1,n_2) = \left[\dfrac{n_2^2\cos\theta_1 - \sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2\theta_1}}{n_2^2\cos\theta_1 - \sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2\theta_1}}\right]^2$.

Коефіцієнт модуляції m оптичного каналу в датчику з ЗСПЗ знаходимо із співвідношення:

$$m = (P_{\max} - P_{\min})/P_{\max} = 1 - \tau_{\min}/\tau_{\max} \qquad (3)$$

де $P_{\max}, P_{\min}, \tau_{\max}, \tau_{\min}$ – відповідно максимальні та мінімальні значення вихідної потужності і світлопропускання при зміні властивостей завнішнього середевища рис. 2.

Потужність $P_{\max}$ визначається при $n_2 = n_{20}$, а потужність $P_{\min}$ – при $n_2 = n_{20} + \Delta n_2$

$$P_{\max} = \int_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1\max}} \frac{dP_{ВИХ}}{d\theta_1} d\theta_1\Big|_{n_2=n_{20}} \qquad (4)$$

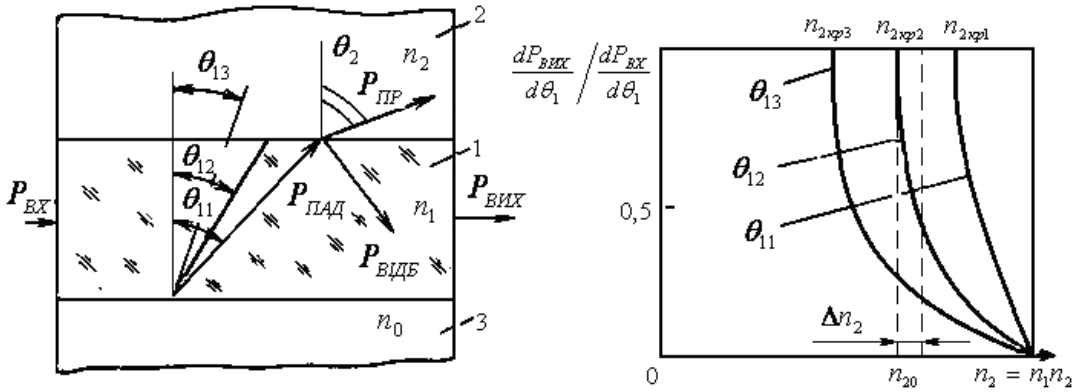


Рис. 2 Для пояснення коефіцієнта модуляції датчика на основі світловода ЗСПЗ:
1 – світловід; 2 – зовнішнє середовище; 3 – підложка

Приведений інтеграл (4) можна розбити на дві частини:

1) в діапазоні кутів від $\theta_{1кр} = \arcsin(n_{20}/n_1)$ до $\theta_{1\max}$, в якому виконується умова повного внутрішнього відбиття, нехтуючи втратами в матеріалі світловоду,

$$dP_{ВИХ}/d\theta_1 = dP_{ВХ}/d\theta_1$$

2) в діапазоні кутів від $\theta_{1\min}$ до $\theta_{1кр}$ умова повного внутрішнього відбиття не виконується, тоді отримуємо:

$$\frac{dP_{ВИХ}}{d\theta_1} = \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20}), \tag{5}$$

де $R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20}) = 0{,}5\left[R^k_{\perp n}(\theta_1, n_2) + R^k_{// n}(\theta_1, n_2)\right]$.

Відповідно максимальна потужність визначається наступним виразом:

$$P_{\max} = \int\limits_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1кр}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20}) d\theta_1 + \int\limits_{\theta_{1кр}}^{\theta_{1\max}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} d\theta_1 . \tag{6}$$

Аналогічно визначається мінімальна потужність:

$$P_{\min} = \int\limits_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1\max}} \frac{dP_{ВИХ}}{d\theta_1} d\theta_1 \Big|_{n_2 = n_{20} + \Delta n_2} , \tag{7}$$

або

$$P_{\min} = \int\limits_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1кр\Delta}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} \left[R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20} + \Delta n_2)\right] d\theta_1 + \int\limits_{\theta_{1кр\Delta}}^{\theta_{1\max}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} d\theta_1 . \tag{8}$$

де $\theta_{1кр\Delta} = \arcsin\left[(n_{20} + \Delta n_2 / n_1)\right]$.

Відповідно коефіцієнт модуляції

$$m = \frac{\int\limits_{\theta_{1кр}}^{\theta_{1кр\Delta}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} d\theta_1 + \int\limits_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1кр}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20}) d\theta_1 - \int\limits_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1кр\Delta}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} \left[R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20} + \Delta n_2)\right] d\theta_1}{\int\limits_{\theta_{1\min}}^{\theta_{1кр}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} R_{\sum}\ (\theta_1, n_{20}) d\theta_1 + \int\limits_{\theta_{1кр}}^{\theta_{1\max}} \frac{dP_{ВХ}}{d\theta_1} d\theta_1} \tag{9}$$

Робота датчика на основі плоского КС в загальному вигляді описується складною функцією багатьох параметрів, до числа яких відносяться як параметри пристрою, так і параметри, що характеризують умови експлуатації, які змінюються під впливом оточуючого середовища. З урахуванням параметрів створюючих найбільший вплив на роботу датчика записується функція наступним чином:

$$I_{фп} = f_{фп}(\alpha_0, n_1, \varphi_{ДН}, U_Ж, T, ...)$$

де $U_Ж$ – напруга живлення випромінювача; T – температура навколишнього середовища. Віповідно теорії імовірностей при незалежних різних впливах проводять сумування середньоквадратичних відхилень окремих параметрів.

Залежність між середньою квадратичною σ та граничною $\Delta_{гр}$ похибками (відхиленнями) визначається законом розподілу похибок. При дійсності нормального закону $\Delta_{пр} = 3\sigma$.

Кут розповсюдження випромінювання встановлюється при зборі пристрою. Склеювання вузлів датчика в спеціальному пристрої дозволяє забезпечити точність установки кута α_0 до $0{,}05^\circ$ [3], що визначає розкид параметра кута розповсюдження θ_1.

Показник заломлення заготовок скла може також коливатися. Ступінь різниці залежить від типу скла, використовуваного спектру випромінювання і т. д.. На основі проведених дослідів для скла типу ТФ-10 при інфрачервоному випромінюванні різниця в показнику заломлення матеріалу однієї партії може відрізнятися на $\Delta n_1 = 0{,}00097$ [4].

Ширина ДН випромінювання світлодіодів, виготовлених в одній партії, також відрізняється (для світлодіода АЛ107А розкид ширини ДН складає $10 - 15^\circ$)

Середня квадратична похибка датчика із ЗСПЗ на основі плоского КС визначатиметься наступним виразом:

$$\sigma_{I_{фп}} = \sqrt{(\partial I_{фп}/\partial\theta_1)^2_{\theta_1=45}\sigma^2_{\theta_1} + (\partial I_{фп}/\partial n_1)^2_{n_1=1{,}8}\sigma^2_{n_1} + ... + (\partial I_{фп}/\partial T)^2_{T=20}\sigma^2_T} \tag{11}$$

Коефіцієнт впливу розкиду ширини ДН випромінювання визначаємо за формулою

$$n_1 = k_n(\varphi_{ДН})n_{2\max} \tag{12}$$

де $k_n(\varphi_{ДН})$ – коефіцієнт, що залежить від ширини ДН випромінювача, при нормальному значенні ширини ДН.

Для визначення впливу точності установки випромінювача на вихідний сигнал продиференціюємо вираз

$$\tau(n_2,\varphi) = \frac{1}{2}\left\{1 - \sin\left[\frac{\pi}{2}\arcsin\left(\frac{n_1}{n_0}\sin\left(\arcsin\frac{n_2}{n_1} - \alpha_0\right)\right)\right/\varphi_{ДН}\right]\right\} \tag{13}$$

по параметру α_0 з урахуванням залежності звязку між коефіцієнтами впливу ширини ДН випромінювання на світлопропускання плоского КС і вихідним сигналом датчика без урахування апертурної характеристики фотоприймача:

$$\partial I_{фп} / \partial\varphi_{ДН} = \tau_{В.В} b_0 (I_{ДЖ.В} - I_0) S_{фп} \partial\tau / \partial\varphi_{ДН} \tag{14}$$

отримуємо:

$$\frac{\partial I_{фп}}{\partial n_1} = \frac{\tau_{В.В} b_0 (I_{ДЖ.В} - I_0) S_{фп} \pi n_1 \cos\left\{(\pi/2)\arcsin\left[(n_1/n_0)\sin(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)\right]/\varphi_{ДН}\right\}}{4\varphi_{ДН} n_0 \sqrt{1 - \left[(n_1/n_0)\sin(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)\right]^2}} \times$$
$$\times \frac{\cos(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)}{} \tag{15}$$

Коефіцієнт впливу розкиду показника заломлення матеріалу світловоду на вихідний сигнал датчика із ЗСПЗ отримаємо після диференціювання виразу (13) з урахуванням залежності (14)

$$\frac{\partial I_{фп}}{\partial n_1} = \frac{\tau_{В.В} b_0 (I_{ДЖ.В} - I_0) S_{фп} \pi \cos\left\{(\pi/2)\arcsin\left[(n_1/n_0)\sin(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)\right]\right\}/\varphi_{ДН}}{4\varphi_{ДН} n_0 \sqrt{1 - \left[(n_1/n_0)\sin(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)\right]^2}} \times$$
$$\times \left[\frac{\cos(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)}{\sqrt{(n_1/n_2)^2 - 1}} - \sin(\arcsin n_2/n_1 - \alpha_0)\right] \tag{16}$$

Коефіцієнт впливу нестабільності джерела живлення визначається:

$$\partial I_{фп} / \partial U_{Ж} = \tau_{В.В} b_0 S_{фп} \tau(n_2, \varphi_{ДН}) S_{фп} I_{ДЖ.В} / \varphi_T \tag{17}$$

де φ_T – тепловий поенціал.

Висновки

Отриманий коефіцієнт впливу температури на вихідний сигнал датчика із ЗСПЗ враховує температурні нестабільності джерела випромінювання, фотоприймача, світловодної структури та контрольованого середовища. Визначено основні аспекти впливу на похибку вимірювань датчиків із ЗСПЗ, усунення або компенсація, яких підвищує метрологічні характеристики вимірювальної системи в цілому.

Список літератури

1. *Бусурин В.И., Носов Ю.Р.* Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

2. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х. Нисихара, К. Кюма, К. Хататэ; Под ред. Т. Окоси: Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.

3. Справочник конструктора оптико-механических приборов / Под общ. Ред. В. А. Панова. Л.: Машиностроение, 1980. – 376 с.

4. Стекло: Справочник / Под ред. Р. М. Павлушкина. М.: Стройиздат, 1973.

УДК 681.52(043.2)

Ю.Ю. Оникиенко, Д.И. Подольцев
(Национальный авиационный университет, Украина)

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ СТАТОКИНЕТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Рассмотрен принцип построения и алгоритм работы кефалографического комплекса для оценивания статокинетической устойчивости оператора. Проведен анализ основных подходов в проектировании программного обеспечения для оценивания статокинетической устойчивости оператора.

Вступление. В последнее время в практике медицинской диагностики интенсивно развиваются не инвазивные методы и средства оценивания статодинамической устойчивости оператора. Для выявления качественной характеристики статокинетической устойчивости обычно применяют пробу Ромберга, стабилографию, кефалографию и исследование походки (ходьба по прямой, проба «поворот»). Выделить из вышеперечисленных методов наиболее универсальный достаточно сложно. Наиболее информативным и простым в реализации на наш взгляд является кефалография – метод графической регистрации функции равновесия [1].

Основная часть. Анализ принципов построения существующих кефалографов показал, что наличие механической связи между оператором и установкойвносят значительные искажения в результаты исследования. В предложенном варианте кефалографического комплекса эта связь полность исключается благодаря использованию оптической фиксации данных с помощью видеокамеры.

Важным дополнением в предложенной схемепостроения кефалографического комплекса (рис. 1) является программируемый блок обработки сигнала (БОС), в котором реализована возможность улучшения качества сигнала, снимаемого с регистрирующего устройства, а также блок построения графика, который можно реализовать аппаратно – в виде отдельной программируемой платы, или программно – в виде набора инструкций реализованных на языке С++.

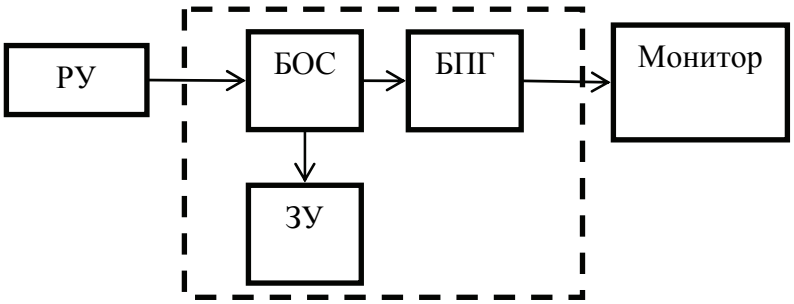


Рис.1. Блок схема кефалографического комплекса: РУ – регистрирующее устройство, БОС – Блок обработки сигнала, ЗУ – записывающее устройство, БПГ – блок построения графика.

Алгоритм работы предложенного кефалографического комплекса состоит из следующих этапов:

- отслеживание координат положения вертекса оператора в зависимости от времени и режима исследования;
- построение фазовых портретов движения и внесение их в базу данных;
- анализ полученных результатов специалистами и внесение изменений в базу знаний;
- вывод о статокинетической устойчивости оператора.

Важной составляющейданной реализации является создание программной части для полноценного использования оборудования и составления точного заключения, исходя из полученных данных. Операционная среда, в которой идёт обработка данных, основана на

оболочке Windows, поэтому для обработки сигнала, поступаемого с РУ предлагается использовать программный продукт компании Mathworks–MATLAB.

Этапы получения и обработки сигнала:

1. Предварительная обработка входного сигнала. При поступлении сигнала с РУ, происходит обработка сигнала для улучшения качества изображения и результатов в целом. Благодаря БОСпроисходит процесс обнаружения краёв изображения.Цель обнаружения краевзаключается в значительном сокращении количества данных, сохраняя при этом структурные свойства, которые будут использоваться для дальнейшей обработки изображения.

Метод, используемый в данном исследовании, разработан Джоном Ф. Канни (JFC) в 1986 году [3]. Хотя это довольно старый метод, он стал одним из стандартных методов обнаружения краёв и до сих пор используется в научных исследованиях.Метод реализуется через фильтр Гаусса с определённым размером ядра(N), и гауссовым параметром огибания(Sigma).

2. Распознавание объекта слежения. В данной реализации используется слежение за точкой, расположенной на специальном шлеме для исследуемого. Для этого используется оптимизированная открытая C++ библиотека[4] для слежения за любого рода объектами, в том числе и слежением за точкой с различными условиями освещения, которая обнаруживает объекты с высокой вероятностью 94% в режиме реального времени.

Полученные данные в выделенной области обрабатываются гистограммой нормализации. Уменьшенное изображение сглаживается гаусовским фильтром, для удаления шума, после чего поиск точки ведётся по прямоугольникам 19*19, с равными гистограммами. Для большего уменьшения размерности 361-мерного вектор-столбца, состоящего из конкатенации колонок из матрицы 19*19, происходитлинеаризация проекта в ортогональную или не ортогональную матрицу, чьи столбцы являются проекцией базис-вектора той-же размерности.

Для ускорения процесса обнаружения точки используется детекция движения, которая основана на временной информации между кадрами видеопотока. Для этого используется элементарный датчик движения, который сохраняет разницу между соседними кадрами. Для того чтобы не потерять уже найденную точку, программа отмечает обнаруженный пиксел временным маркером. Основные классы, которые используются в библиотеке слежения за точкой:

- ImageResize
- MotionDetector
- FaceDetector

Часть программы, содержащая данные классы скомпилирована в *vlib.cpp,*что приводит к ускорению процесса обработки данных. КоддляфункцииMotionDetector::detect():

```
const vec2Dc* MotionDetector::detect
   (const vec2D* frame, constFaceDetector* fdetect)
{
if (status() <0)
return0;
//m_last = frame - m_last
m_last_frame->sub(*frame, *m_last_frame);
//set to 1.0 faces rects
      RECT r0;
for (unsignedint i = 0; i <fdetect->get_faces_number(); i++) {
const RECT* r = fdetect->get_face_rect(i);
            r0.left = r->left;
            r0.top = r->top;
            r0.right = r->right;
            r0.bottom = r->bottom;
```

```
m_last_frame->set(255.0f, r0);
	}
for (unsignedint y = fdetect->get_dy();
	y <m_motion_vector->height() - fdetect->get_dy(); y++) {
for (unsignedint x = fdetect->get_dx();
		x <m_motion_vector->width() - fdetect->get_dx(); x++) {
if (fabs((*m_last_frame)(y, x)) >m_TH)
			(*m_motion_vector)(y, x) = 1;
else
			(*m_motion_vector)(y, x) = 0;
		}
	}
	*m_last_frame = *frame;
returnm_motion_vector;
}
```

Определение точки на изображении проходит следующим образом:

```
intcvDetect(constunsignedchar *pBGR)
{
wchar_terr[256] = L"";
if (resize.gety() == 0)
return -1;
__try {
resize.resize(pBGR);
returnfdetect.detect(resize.gety(), resize.getr(),
resize.getg(), resize.getb(),
mdetect.detect(resize.gety(), &fdetect));
}
__except(EXCEPTION_EXECUTE_HANDLER) {
swprintf(err, 256, L"SEH error code: 0x%X",
GetExceptionCode());
MessageBox(0, L"error.", err, MB_OK|MB_ICONERROR);
return0;
	}
}
```

3. Построение графика движения точки.

```
voidCTrackEyeDlg::drawHeadTrajectory(IplImage* CameraFrame, CvBox2D* faceBox)
{
	//	**	There is a global variable named "HeadTrajectory" of type IplImage*
	if (m_headTrajectory.GetCheck() == 1)
	{
		//	**	Update trajectoryBuffer
		for (int k=0; k<=1; k++)
		{
			trajectoryBuffer[k].center.x = trajectoryBuffer[k+1].center.x;
			trajectoryBuffer[k].center.y = trajectoryBuffer[k+1].center.y;
			trajectoryBuffer[k].size.width = trajectoryBuffer[k+1].size.width;
			trajectoryBuffer[k].size.height = trajectoryBuffer[k+1].size.height;
		}
		trajectoryBuffer[2].center.x = faceBox->center.x;
		trajectoryBuffer[2].center.y = faceBox->center.y;
		trajectoryBuffer[2].size.width = faceBox->size.width;
		trajectoryBuffer[2].size.height = faceBox->size.height;
		CvPointtraPts[2];
		if (trajectoryBuffer[1].size.width> 0 &&
			(trajectoryBuffer[1].center.x != trajectoryBuffer[2].center.x ||
```

```
                trajectoryBuffer[1].center.y != trajectoryBuffer[2].center.y))
        {
                for (int n=0; n<=1; n++)
                {
                        traPts[n].x = (int)trajectoryBuffer[n+1].center.x;
                        traPts[n].y = (int)trajectoryBuffer[n+1].center.y;
                }
                cvLine(headTrajectory, traPts[0], traPts[1], CV_RGB(255,255,255), 2, 8);
                //      **      Update Slider positions
                inttickSizeX = CameraFrame->width/20;
                inttickSizeY = CameraFrame->height/20;

                m_sliderXplane.SetPos(trajectoryBuffer[2].center.x / tickSizeX);
                m_sliderYplane.SetPos(20-trajectoryBuffer[2].center.y / tickSizeY);
                //      **      Update depth
                intframeArea = CameraFrame->width*CameraFrame->height/20;
    m_progress.SetPos(trajectoryBuffer[2].size.width*trajectoryBuffer[2].size.height/frameArea);
        }
        cvResize(headTrajectory, resizedheadTrajectory, CV_INTER_LINEAR);
        cvShowImage("HT", resizedheadTrajectory);
    }
}
```

Код построения графика оптимизирован, для ускорения выполнения операции вывода графика на экран и увеличению скорости обработки сигнала.

Особенностью данного программного продукта является добавление структурной обработки исключений (SEH обработка) в случае модификации кода. Очень важную роль в обработке исключений играет функция **GetExceptionCode**. С помощью нее фильтр исключения может узнать причину ошибки. Обработчик исключения должен знать, как реагировать на разные ситуации. Классический подход в обработке ошибок - когда функция возвращает код ошибки. Вызывающая сторона анализирует его и выполняет либо восстановление после ошибки, либо освобождает ресурсы и тоже возвращает ошибку. Альтернативный вариант – использование исключений для сообщения об ошибках. Принцип абсолютно тот же самый, что и при использовании C++ исключений.

Очевидным недостатком использования SEH исключений является невозможность переноса кода на другие платформы. SEH - это часть ОС Windows. При разработке программ предпочтительно использовать механизм C++ исключений. Они обеспечивают переносимость между платформами. Кроме того, они дают гибкий механизм для определения типа исключений.

Выводы

С помощью среды MatLabи внедрением алгоритма на основе реализации программного кода удалось реализовать слежением за точкой и построение графика движения головы оператора в декартовой системе координат.Благодаря внедрению программы по обработке сигнала путём сглаживания гауссовским фильтром и методом обнаружения краёв изображения, удалось ускорить обработку информации и повысить точность измерений.

Список літератури

1. *Базаров, В. Г.* Клиническая вестибулометрия / В. Г. Базаров. К.: Здоров´я, 1988. 200 с.

2. *Р. А. Бабияк, А. Е. Кицера, А. В. Борисов.* // Журн. ушн., нос.и горл. болезней. 1981. № 6. С. 66–67.

3. *Прэтт У.* Цифровая обработка изображений В 2 т. М: Мир, 1982.

4. Face Detection C++ Library with Skin and Motion Analysis. Biometrics AIA 2007 TTS. 22 November 2007, Moscow, Russia. (www.dancom.ru/rus/AIA/2007TTS/ProgramAIA2007TTS.html).

СЕКЦІЯ 24.

МІСЬКЕ, ПРОМИСЛОВЕ, ЦИВІЛЬНЕ ТА ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 551.574.42(043.2)

В.І. Затула, к. геогр. н. (КНУ імені Тараса Шевченка, Україна),
Н.І. Затула, к. ф.-м. н. (Національний авіаційний університет, Україна),
А.В. Продан (КНУ імені Тараса Шевченка, Україна)

КЛІМАТОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЖЕЛЕДНИХ ЯВИЩ В РАЙОНІ АВТОМАГІСТРАЛІ «КИЇВ – ОДЕСА»

Наведено кліматологічну характеристику ожеледі на шести метеорологічних станціях в районі автомагістралі «Київ – Одеса» за період 1961–2005 рр. Проаналізовано синоптичні умови виникнення стихійної ожеледі в районі автомагістралі.

У зв'язку з прискореним розвитком усіх видів транспорту, автомобільного зокрема, великого значення набуває дослідження небезпечних метеорологічних явищ в районі проходження найважливіших шляхів сполучення. Як відомо, найскладніші умови для роботи автомобільного транспорту складаються взимку і в перехідні сезони року.

В даній роботі представлено характеристику одного з найнебезпечніших для стабільної роботи автотранспорту метеорологічних явищ в районі автомагістралі «Київ – Одеса» – ожеледі. Основні результати отримано шляхом аналізу повторюваності ожеледі протягом 1961–2005 рр. на шести метеорологічних станціях України, розташованих у безпосередній близькості від цієї автомагістралі.

Ожеледдю називають відкладення льоду на різних предметах (переважно з навітряного боку) або на поверхні землі, зумовлені осадженням і намерзанням переохолоджених крапель дощу, мряки або туману за від'ємної температури в приземному шарі повітря. Зазвичай спостерігається при температурах від 0 до -3°С, рідше при нижчих, до -16°С. Інтенсивність ожеледі визначається товщиною відкладеного льоду. Ожеледь діаметром відкладення 20 мм і більше на дроті стандартного ожеледного станка вважається стихійним метеорологічним явищем [2, 4–5, 7].

З ожеледдю тісно пов'язана ожеледиця – небезпечне на автотранспорту і пішоходів відкладання льоду на земній поверхні одразу після відлиги або дощу внаслідок настання похолодання, а також в результаті замерзання мокрого снігу, дощу або мряки при зіткненні з переохолодженою поверхнею [7].

За деякими оцінками [6], понад 50 % усіх дорожньо-транспортних пригод на автотранспорті пов'язано з ожеледицею. Зростання аварійності на дорогах в цей час пояснюється погіршенням прохідності транспорту, зумовленим різким зменшенням коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім полотном. Оскільки водії вимушені зменшувати швидкість руху і збільшувати дистанцію між автомобілями, при ожеледиці знижується й продуктивність роботи автотранспорту.

Ожеледь несприятливо впливає і на роботу багатьох інших галузей народного господарства. Багаторічний досвід експлуатації підвісних ліній показує, що внаслідок недооцінки цього метеорологічного явища в окремих районах, сприятливих для утворення і розвитку ожеледі, можливі значні аварії з масовими обривами та руйнуванням опор. Внаслідок аварій на них дезорганізується електропостачання, робота електротранспорту, комунальних служб і промислових підприємств.

Залежно від особливостей географічного положення, в районі автомагістралі «Київ – Одеса» протягом розглядуваного періоду в середньому спостерігалося від 8–9 до 15–16 днів з ожеледдю (табл. 1). Найменшим є число днів з ожеледдю в Одесі і Жашкові, а найбільшим – в Білій Церкві і Любашівці.

В окремі роки число днів з ожеледдю може в два і навіть п'ять разів перевищувати їхнє середнє багаторічне значення. Максимальне число днів з ожеледдю при цьому може сягати 25–30 і навіть 50 днів.

Таблиця 1.

Число днів з ожеледдю. Рік.

Метеорологічна станція	Середнє число днів	Середнє квадратичне відхилення	Найбільше число днів	Рік
Київ	10,9	7,2	42	1966
Біла Церква (Київська обл.)	15,0	11,0	50	1966
Жашків (Черкаська обл.)	8,7	5,1	25	2005
Умань (Черкаська обл.)	13,5	6,3	29	1966
Любашівка (Одеська обл.)	15,5	9,0	42	1969
Одеса	8,6	8,9	47	1969

Важливою рисою розглядуваної величини є її велика міжрічна мінливість. Для більшості метеостанцій середнє квадратичне відхилення числа днів з ожеледдю майже не поступається середньому багаторічному його значенню, а в Одесі (8,9) навіть перевищує його (8,6).

Розподіл числа днів з ожеледдю протягом року в розрізі окремих метеорологічних станцій показано в табл. 2.

Таблиця 2.

Повторюваність (%) числа днів з ожеледдю. Рік

Число днів з ожеледдю	Київ	Біла Церква	Жашків	Умань	Люба-шівка	Одеса
до 5,0	20,0	17,8	28,9	8,9	8,9	44,4
від 5,1 до 10,0	37,8	31,1	35,6	22,2	20,0	28,9
від 10,1 до 15,0	28,9	11,1	28,9	31,1	28,9	15,6
від 15,1 до 20,0	6,7	15,6	4,4	24,4	22,2	4,4
від 20,1 до 25,0	4,4	6,7	2,2	8,9	6,7	2,2
від 25,1 до 30,0	0,0	6,7	0,0	4,4	6,7	0,0
від 30,1 до 35,0	0,0	6,7	0,0	0,0	2,2	2,2
понад 35	2,2	4,4	0,0	0,0	4,4	2,2
РАЗОМ	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Загалом, з 8-ми градацій числа днів з ожеледдю (див. табл. 2) на перші дві-три, тобто до 15 днів включно, припадає більша частина усіх випадків. Для половини метеорологічних станцій (Київ, Жашків, Одеса) звичайне число днів з цим небезпечним метеорологічним явищем ще менше і не перевищує 10-ти на рік. Порівняно часто і до того ж повсюдно вздовж автомагістралі були календарні відрізки, коли ожеледь відмічалася не частіше п’яти разів на рік. Така повторюваність ожеледі (44,4 %) дуже характерна для єдиного з шести пунктів приморського міста – Одеси. Крім того, у цьому місті, а також у Києві ожеледь спостерігається не щорічно.

Доволі частими є роки, коли число днів з ожеледдю перевищує 15. Їх повторюваність коливається від 6,7 % у Жашкові до 42,2 % у Любашівці. Дуже велике число днів з ожеледдю – понад 35 на рік – на жодній з метеостанцій не відмічалося частіше 1–2 разів.

В річному ході (рис. 1) найбільше число днів з ожеледдю припадає на холодний період з добре вираженим максимумом у грудні (Біла Церква і Жашків) або січні (інші метеостанції). В теплу пору року явище спостерігається тільки у квітні і жовтні, причому повторюваність ожеледі в цей період коливається від 0,8 % (у Києві) до 4,1 % (у Білій Церкві).

Річний хід числа днів з ожеледдю в Одесі виділяється ще однією особливістю. Порівняно з іншими пунктами, число днів з ожеледдю тут повільніше зростає восени.

Загалом, розподіл ожеледі характеризується значною просторовою мінливістю і залежить від характеру підстильної поверхні та орографічних умов. Найбільша частота відкладення ожеледі відмічається на відкритих вершинах та навітряних схилах, вододілах. Вплив висоти і розчленованості рельєфу на повторюваність ожеледі найбільшою мірою виявляється на височинах. Саме цим можна пояснити те, що максимальні значення числа днів з ожеледдю припадають на центральну частину автомагістралі, яка лежить переважно в межах Придніпровської височини (ділянка Біла Церква – Умань), а також на південних відрогах Подільської височини (Любашівка). Невелике число днів з ожеледдю у Жашкові найімовірніше пов'язане з певними особливостями розташування метеостанції.

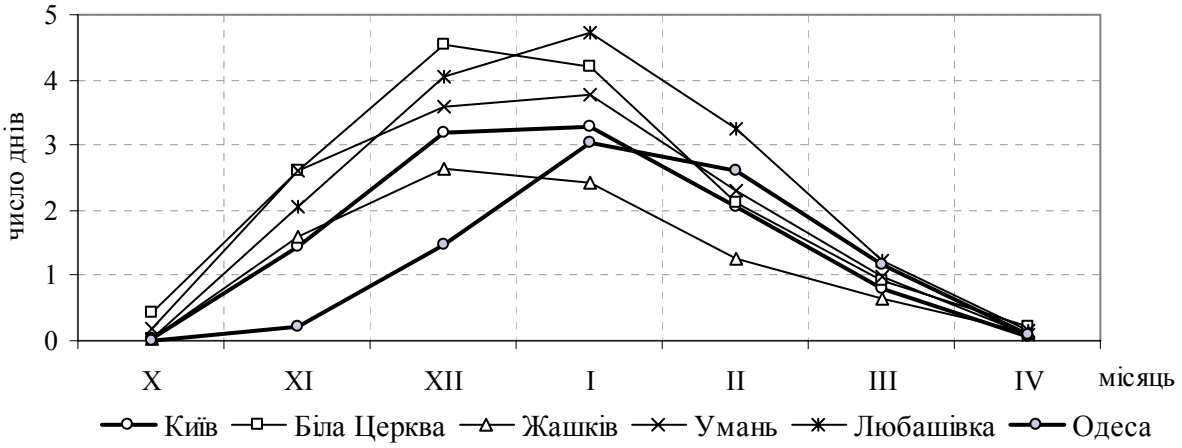


Рис. 1. Річний хід числа днів з ожеледдю. 1961-2005 рр.

Основною рисою багаторічної динаміки числа днів з ожеледдю є їх поступове зменшення на усіх ділянках автомагістралі «Київ – Одеса», що відображає загальну тенденцію до потепління клімату в Україні (рис. 2).

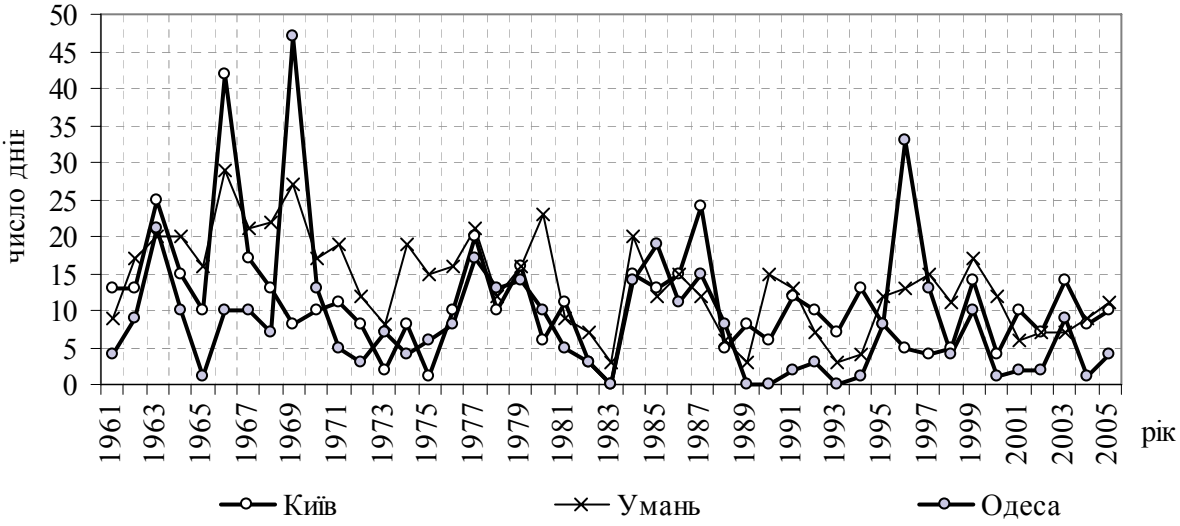


Рис. 2. Динаміка річного числа днів з ожеледдю. 1961-2005 рр.

Сильна ожеледь спостерігалась в листопаді 1966 р., листопаді – грудні 2000 р., у січні 1977 р. та в лютому 1977 р. При цьому найбільший діаметр відкладень льоду досягав 115 мм з 1 до 3 листопада 1966 р. в Умані [1, 3, 5].

Дослідження синоптичних умов виникнення стихійної ожеледі в районі автомагістралі «Київ – Одеса» ґрунтується на аналізі річних технічних оглядів стихійних гідрометеорологічних явищ, які спостерігались на території України, а також карт баричної топографії за відповідні періоди. Було встановлено, що випадки утворення сильної ожеледі

були спричинені такими процесами:

- переміщенням Балканського циклону;
- переміщенням південного циклону;
- розміщенням меридіонально витягнутої фронтальної зони;
- проходженням холодного фронту з хвилями;
- переміщенням північного антициклону.

Сильна ожеледь (1966, 1977 рр.) виникала переважно на тлі переміщення циклонів, зокрема південних, та пов'язаних з ними атмосферних фронтів. Особливим за циркуляційними умовами був листопад 1966 р., коли на початку місяця в північній та центральній частинах автомагістралі спостерігалась сильна ожеледь (у Києві діаметр відкладень становив 115 мм).

Ожеледі інколи набувають характеру стихійного лиха, завдаючи величезної шкоди живій природі та економіці країни. Так було у 2000 р., коли з 24 листопада по 7 грудня внаслідок проходження середземноморського циклону винятково сильна ожеледь охопила водночас вісім областей України: Житомирську, Хмельницьку, Черкаську, Вінницьку, Кіровоградську, Одеську та Миколаївську. Максимальний діаметр відкладень ожеледі подекуди досягав 60 мм [1, 5]. Тоді 4 тис. населених пунктів залишилося без енергопостачання, було відключено декілька блоків атомних станцій, припинився рух автомобільного і залізничного транспорту, знищено багато дерев, загинуло дві людини. В зоні стихійного лиха опинилася й центральна та південна ділянки автомагістралі «Київ – Одеса». Повноцінний рух автотранспорту тут відновився тільки після закінчення цього явища.

Висновки

Таким чином, в районі автомагістралі «Київ – Одеса» розподіл числа днів з ожеледдю характеризується значною мінливістю у просторі і часі. Випадки сильної ожеледі значною мірою зумовлені особливостями циркуляції атмосфери в холодний період року. Деякі відмінності просторово-часового розподілу ожеледі можна пояснити різними циркуляційними, фізико-географічними та мікрокліматичними особливостями окремих ділянок автомагістралі «Київ – Одеса», яку за сукупністю умов ожеледеутворення умовно можна поділити на три частини – північну (ділянка Київ – Біла Церква), центральну (від Білої Церкви до Любашівки) та південну (Любашівка – Одеса). Оскільки в її початковому та кінцевому пунктах є важливі аеропорти, то представлений вище аналіз режиму ожеледеутворення може бути корисним і при кліматологічному обслуговуванні підприємств авіаційного транспорту.

Список літератури

1. Клімат України / [Ліпінський В.М., Дячук В.А., Бабіченко В.М. та ін.]; за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 344 с.
2. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні та стихійні явища погоди. – К.: Держ. гідрометеорологічна служба України, 2003. – 30 с.
3. Огляд погоди та стихійних гідрометеорологічних явищ на території України, 1961–2005 рр. – К.: Укр. гідрометеорологічний центр, 1962–2006.
4. Стихийные метеорологические явления на Украине и в Молдавии: [климатическое пособие]/ [Бабиченко В.Н., Коршенко Ф.Д., Гущина Л.М. и др.]; под ред. В.Н. Бабиченко. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 224 с.
5. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986–2005 рр.) / [Ліпінський В.М., Бабіченко В.М., Будак І.В. та ін.]; за ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка – Центр, 2006. – 312 с.
6. Хандожко Л.А. Экономическая метеорология / Хандожко Л.А. – СПб.: Гидрометеоиздат. 2005. – 490 с.
7. Хромов С.П. Метеорологический словарь / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 568 с.

УДК 656.7.073:656.71 (045)

В.Ю. Гирич, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВИХОДООРІЄНТОВАНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАСОБІВ МЕХАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНОГО КОМПЛЕКСУ АЕРОПОРТУ

В статті наведена математична модель оцінки ефективності функціонування завантажувально-розвантажувальних процесів у вантажному комплексі аеропорту на перспективу, розроблена на основі виходоорієнтованої оптимізаційної методології Аналізу Середовища Функціонування.

Вступ. Протягом останніх років повітряний транспорт та пов'язана з ним наземна інфраструктура стали ключовими факторами регіонального розвитку в усьому світі, і в Україні зокрема. Статистика вантажоперевезень через головний аеропорту України ДП МА «Бориспіль» у період з 2005 по 2009р.р. свідчить про те, що об'єми різних типів вантажів, задіяних у завантажувально-розвантажувальних процесах аеропорту є досить великими та мають стійку тенденцію до росту.

Все це вимагає розробки ефективних методів оцінки ефективності завантажувально-розвантажувальних процесів у системі управління вантажопотоками в аеропорті на плановий період, коли об'єми вантажів заздалегідь невідомі, з метою їх раціонального використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день, використовується широкий спектр простих методів для аналізу діяльності складних об'єктів. Вагомий внесок у розроблення теоретичних і методологічних основ створення механізмів оцінки ефективності діяльності складних систем зробили такі вітчизняних та іноземні науковці, як Єршов Е. Б, Кисельов І. А., Кривоножко В.Б. , Уткін О.Б., Сафін М. М., Личев А.В., Чарнес А., Купер В., Родс Е., Банкер Р., Сейфорд Л., Тон К. та інші [1–7].

В роботі [1] для формалізації техніко-економічної діяльності управління вантажними потоками і раціональної організації процесів завантаження та/чи розвантаження, побудована матрична модель, суть якої полягає у створенні такого інструменту для розрахунків, в якому визначені співвідношення показників, пов'язані один з одним. Властивості блочних матриць забезпечують наглядність представлення складних взаємозв'язків та роблять матрицю зручним інструментом логічного аналізу складних структур, де одночасно відображуються технологічний, організаційно-виробничий та економічний аспекти діяльності досліджуваних об'єктів.

Ця загальна ідея отримала свій розвиток у наукових дослідженнях [2, 3], де представлені різні моделі, за допомогою яких визначається міра виробничої ефективності досліджуваного об'єкту. В одній із таких моделей, для аналізу діяльності складних систем, використовується метод простих коефіцієнтів, в якому спочатку знаходиться деякий набір коефіцієнтів, а потім визначаються функції від них. Як правило, припускається неперервність та монотонність цієї функції, і називається вона функцією оцінки діяльності об'єктів дослідження. Тут, за значенням функції оцінки діяльності, як міра ефективності, оцінюється ефективність використання ресурсів даним об'єктом.

В роботах [2, 4, 5, 6] для побудови функції оцінки діяльності складних систем застосовується, так звана, методологія Аналізу Середовища Функціонування (англ. Data Envelopment Analysis), основоположниками якої є відомі американські фахівці А. Чарнес та В. Купер. Слід відзначити, що останнім часом на заході почався дійсний бум по застосуванню цієї методології для аналізу діяльності великих організацій, як виробничих, так і невиробничих (нафтових компаній, банків, комп'ютерних фірм і т.п.) [7].

Однак, у дослідженнях вітчизняних науковців даний метод практично не використовується. На наш погляд, потенційна потреба й ефект від використання цього методу для аналізу ефективності функціонування елементів систем однорідних економічних об'єктів можуть бути значними.

Незважаючи на вагомі напрацювання, проаналізовані вище дослідження містять загальні методологічні підходи оцінки діяльності різних підприємств та потребують модифікації для вирішення науково нової проблеми, пов'язаної із оцінкою ефективності завантажувально-розвантажувальних процесів у системі управління вантажопотоками аеропорту на плановий період, коли об'єми вантажів заздалегідь невідомі.

Постановка завдання. Скориставшись детальним аналізом існуючих методів оцінки діяльності складних об'єктів, методологічною базою для нашого дослідження, вибрана методологія Аналізу Середовища Функціонування (АСФ). На основі АСФ, для побудови функції оцінки діяльності завантажувально-розвантажувальних процесів у системі управління вантажопотоками, діяльність об'єкту описується за допомогою наборів вхідних та вихідних параметрів. Вхідні параметри, зазвичай, позначаються як $x_1, x_2, ..., x_m$, а вихідні як $y_1, y_2, ..., y_n$ (рис. 1).

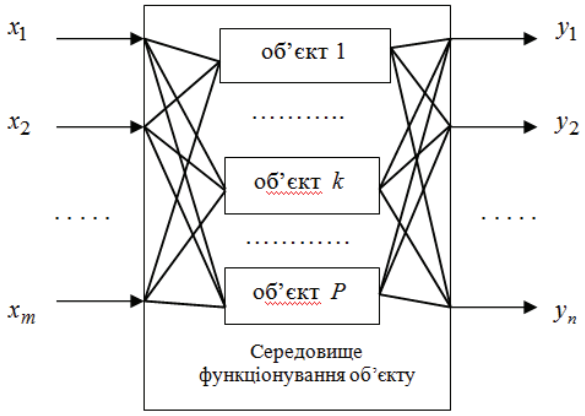


Рис. 1. Опис діяльності об'єкту на основі АСФ

Міра ефективності у методології АСФ має наглядну економічну суть. Вона показує, на скільки процентів об'єкту потрібно скоротити свої ресурси та/чи збільшити свою продуктивність, щоб він став більш ефективним у середовищі свого функціонування. Іншими словами, даний метод дає змогу визначити такий рівень ресурсів, при якому об'єкт функціонує оптимально.

Для побудови моделі нашої задачі, з використанням методології АСФ, розглянемо її більш детально. Нехай кожен виробничий об'єкт, діяльність якого потрібно оцінити, споживає m вхідних параметрів, а виробляє n вихідних параметрів. Використовуючи значення спостережень $X_k = (x_{1k}, x_{2k}, ..., x_{mk}) \geq 0$ та $Y_k = (y_{1k}, x_{2k}, ..., x_{nk}) \geq 0$ при $k = 1, ..., P$, векторів $X = (x_1, x_2, ..., x_m)$ та $Y = (y_1, y_2, ..., y_n)$ задається множина T виробничих можливостей у наступному виді:

$$T = \left\{(X,Y) / \ X \geq \sum_{k=1}^{P} X_k \lambda_k, \ Y \leq \sum_{k=1}^{P} Y_k \lambda_k, \ \sum_{k=1}^{P} \lambda_k = 1, \ \lambda_k > 0, \ k = 1, ..., P\right\} \qquad (1)$$

Таким чином, на основі дискретних значень параметрів, що спостерігаються, розглядаються всі можливі, економічно допустимі, значення цих параметрів, які задаються як точки множини T. Множина T також монотонна, тобто, якщо $(X,Y) \in T$ і $U \geq X$, $V \leq Y$, тоді $(U,V) \in T$. Поряд із цими властивостями, множина Т міститься у всіх множинах, які мають указані вище властивості випуклості та монотонності, тобто вона – мінімальна за включенням [4].

Для встановлення міри ефективності функціонування засобів механізації вантажного складу аеропорту від невідомих об'ємів вантажопотоків, розглянемо орієнтовану на вихід математичну модель [3].

Відповідно до цієї моделі, міра ефективності досліджуваного об'єкту чи просто ефективність буде найкращою, якщо в результаті рішення задачі, знайти

$$\max \delta \tag{2}$$

при обмеженнях

$$\sum_{k=1}^{P} x_{ik}\lambda_k + u_i = x_{io}\ ,\ \ i = 1,...,m, \tag{3}$$

$$\sum_{k=1}^{P} y_{jk}\lambda_k - v_j = \delta y_{jo}\ ,\ \ j = 1,...,n, \tag{4}$$

$$\sum_{k=1}^{P} \lambda_k = 1, \tag{5}$$

$$\lambda_k \geq 0,\quad u_j \geq 0,\quad v_j \geq 0, \tag{6}$$

отримано, що $\delta = 1,\quad X_0 = X\lambda^*$ і $\delta Y_0 = Y\lambda^*$ для всіх її оптимальних рішень $\lambda^* = (\lambda_1^*,...,\lambda_P^*)$. Тут X_k та Y_k вектори значень вхідних та вихідних параметрів даного об'єкту, відповідно.

Математична модель. Тепер, побудуємо аналогічну модель відносно завантажувального та розвантажувального процесу, який відбувається у вантажному комплексі аеропорту, ототожнюючи його об'єктом із двома вхідними x_1, x_2 та вихідними y_1, y_2 параметрами, тобто $n = m = 2$. Тут:

x_1 – об'єми імпортних вантажів;

x_2 – об'єми експортних вантажів і $y_1 = x_2 - x_1,\quad y_2 = x_2 + x_1$.

Позначимо $X = (x_1, x_2) \geq 0$ та $Y = (y_1, y_2) \geq 0$, і нехай $X_k = (x_{1k}, x_{2k})$ та $Y_k = (y_1 k, y_{2k})$ значення векторів X та Y, які спостерігаються для $k = 1,...,P$. Так як, у завантажувально-розвантажувальних процесах тип вантажу (експортний чи імпортний) не має значення, не порушуючи спільності, можна припустити, що отримані значення об'ємів експортних та імпортних вантажів дорівнюють один одному, тобто $x_2 = x_1$. У цьому випадку із умови (4) отримуємо, що $-v_1 = \delta y_{10}$ при $j = 1$. Так як, функціонування досліджувальної системи вважається ефективним при $\delta = 1$, то із нерівності $-v_1 = \delta y_{10}$, та із умови $v_1 \geq 0,\ \ y_{10} \geq 0$, випливає $v_1 = y_{10} = 0$. Тому, відносно об'єкту, який розглядається в даному дослідженні, умова (4) має наступний вид:

$$\sum_{k=1}^{P} (x_{1k} + x_{2k})\lambda_k = y_{20} + v_2 \tag{7}$$

при $j = 2$. Враховуючи те, що відносно орієнтованої по виходу моделі, при $\delta = 1$ повинен бути $\delta Y_0 = Y\lambda^*$, то для $y_2 = x_2 + x_1$ виконується наступна рівність:

$$\sum_{k=1}^{P} (x_{1k} + x_{2k})\lambda_k = y_{20} \tag{8}$$

Так як $\sum_{k=1}^{P} \lambda_k = 1$, і $\lambda_k \geq 0$ для всіх $k = 1,...,P$ (див. обмеження (5) і (6)), то значення змінних λ_k можна трактувати, як ймовірності розподілу значень фактичних об'ємів вантажу певного типу за період спостереження.

Тоді y_{20} – середнє значення фактичних об'ємів даного вантажу за період спостереження.

Отже, відповідно до умови (8), кількісна міра ефективності функціонування засобів механізації в завантажувально-розвантажувальних процесах, відносно планових об'ємів вантажопотоків, досягає свого максимального значення, якщо для кожного типу вантажу його плановий (той, який прогнозується) об'єм дорівнює середньому значенню фактичних об'ємів цього ж типу вантажу. Тому, в подальшому нас буде цікавити знаходження значення параметра y_{20} як функції від суми об'ємів експортних та імпортних вантажів.

Висновки

У результаті проведених досліджень, побудована математична модель оцінки ефективності функціонування завантажувально-розвантажувальних процесів вантажного комплексу аеропорту, на основі орієнтованої на вихід оптимізаційної методології Аналізу Середовища Функціонування.

Розроблена модель дозволяє перейти до дослідження тенденції зміни фактичних об'ємів експортних та імпортних вантажів, а також сумарного об'єму вантажопотоків через аеропорт, що дасть змогу розробити методику розрахунку значення функції оцінки ефективності завантажувальних та розвантажувальних процесів за значеннями параметрів x_2 і x_1.

Список літератури

1. *Ершов Э. Б.* О выявлении и использовании структурных особенностей матриц в задачах планирования // Экономика и математические методы. 1966, т. 2, вып. 2, с. 249 – 261.

2. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring the efficiency of decision–making.European Journal of Operation Research, 1978, T. 2 , No 6. P. 429 – 444.

3. *Banker R.D. Charnes A., Cooper W.W.* Some models for estimating technical and scale efficiency in data envelopment analysis, Management science. 1984, V. 30, No. 9, P. 1078 – 1092.

4. *Cooper W.W., Seiford L.M., Tone K.* Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.

5. *Киселева И. А.* Коммерческие банки: Модели и информационные технологии в процедурах принятия решений. – М.: УРСС, 2002. – 400 с.

6. *Кривоножко В.Б., Уткин О.Б. Сафин М. М., Лычев А.В. В сб.:* Не линейная динамика и управления. – М.: Физматлит, 2007, с. 285 – 303.

7. *Emrouznejad A.* Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis of the first 30years of scholarly literature in DEA / Emrouznejad A., Parker B., Tavares G. // Journal of Socio-Economics Planning Science. 2008, vol. 42(3), P. 151 – 157.

УДК 625.717:681.17

Ю.М. Кривенко, к.т.н,; А.О Белятинський., д.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

СПОСІБ БЕЗПЕРЕРВНОГО ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ПОВЕРХНІ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВИХ СМУГ АЕРОДРОМІВ ТА АВТОДОРІГ

Основним способом контролю коефіцієнта зчеплення ($К_{зч}$) коліс з покриттям аеродромів або автомобільних доріг є періодичне, достатньо трудомістке його вимірювання з допомогою спеціальних засобів, що імітують рух колеса безпосередньо на покритті. Для підвищення точності визначення $К_{зч}$ в періоди між використанням спеціальних вимірювальних засобів, пропонується безперервний дистанційний контроль стану поверхні з допомогою розроблених в НАУ датчиків температури поверхні і глибини шару води, що встановлюються безпосередньо на аеродромі чи на автодорозі.

Безпека руху на аеродромах і автомобільних дорогах визначається коефіцієнтом зчеплення коліс з покриттям - $К_{зч}$ [1,2], На зчеплення коліс з покриттям впливають багато факторів: матеріали покриття і шин та їх температури, наявність на поверхні покриття і стан атмосферних опадів, рівність поверхні покриття, рисунок і стан протектору на поверхні шини, тиск у колесі і конструкція шини, швидкість руху літака чи автомобіля, швидкість просковзування поверхні шини відносно поверхні покриття і інше.

Неоднозначність отриманих під час вимірювання величин призвело до існування багатьох типів вимірювальних засобів. Кількість їх зростає і вони весь час поновлюються. Так у аеродромній практиці [1,3] зараз існують такі, найбільш розповсюджені, типи вимірювальних засобів: DBV, JBD, TAP, BV-11, Мю-метр, SFT, ATT-2. Для вимірювання використовують пневматики різних типів (A, B, C), вимірювання виконується при швидкостях 65, 95 або 130 км/год на природній поверхні, або, як рекомендовано, при наявності шару води висотою 1мм. Оскільки типи засобів різні, тому отримані значення $К_{зч}$ теж дещо відрізняються, причому ця різниця залежить від самої величини $К_{зч}$. Отримані значення $К_{зч}$ перед повідомленням пілота приводяться до стандартних, а пілот, врешті-решт, орієнтується сам, враховуючи відміну стандартних умов від конкретного типу літака і стану його пневматиків та тормозної системи.

Недоліком такого способу є вимірювання не під час безпосереднього контакту літака з покриттям, а перед, чи після контакту. Працівник аеродромної служби чи керівник польотів повинен сам екстраполювати чи інтерполювати значення $К_{зч}$ на момент дійсного контакту. На аеродромах вимірювання $К_{зч}$ виконується, як правило, на початку нової робочої зміни працівників під час огляду аеродрому на наявність сторонніх предметів. Для вимірювання аеродром закривається для польотів. Повторне вимірювання виконується при зміні умов, що суттєво можуть вплинути на $К_{зч}$. Такими умовами найчастіше є поява атмосферних опадів і зміна температури поверхні покриття. Найбільш небезпечним є замерзання води на поверхні покриття, що призводить до недопустимого падіння зчеплення.

Перед повторним вимірюванням працівник аеродромної служби чи керівник польотів у теперішній час орієнтується на власні спостереження за зміною погоди та на дані аеродромної метеостанції. Але ці станції, як правило, не вимірюють ні температуру поверхні аеродромних покрить, ні наявність на злітно-посадковій смузі опадів, ні їх фізичний стан (вода, лід чи сльота), ні висоту шару опадів.

Спеціально проведені дослідження [4] показали, що температура поверхні покрить може суттєво відрізнятись від температури повітря, а значна зміна висоти шару води під час опадів інколи відбувається за час, значно коротший ніж час, необхідний для вимірювань працівником аеродромною служби на злітно-посадковій смузі. Після припинення опадів час стікання води теж суттєво залежить від конкретних умов – і від ухилів на покритті, і від температури, і від швидкості вітру та від вологості повітря.

На Україні лише на деяких аеродромах, чи на відповідальних ділянках доріг, встановлені достатньо дорогі закордонні спеціальні датчики виникнення льоду на поверхні. Автоматичні датчики висоти шару води та її стану на аеродромах і автошляхах, практично, не встановлюються.

Для безперервного дистанційного контролю стану поверхні злітно-посадкових смуг аеродромів пропонується, у проміжку між вимірювання $К_{зч}$ спеціальним вимірювальним засобом, орієнтуватись не лише на дані метеостанцій, але і на показання датчиків, розташованих безпосередньо на покритті. Запропоновані і пройшли випробування у реальних умовах датчик глибини і стану води та датчик температури поверхні [5,6], а також методи визначення кількості і місць встановлення цих датчиків на аеродромах. Отримані результати, після деяких додаткових досліджень, можуть бути перенесені і на автодороги.

Наявність таких датчиків дозволяє прогнозувати стан поверхні і попереджати критичні ситуації. Це можна зробити, наприклад, заздалегідь своєчасною обробкою поверхні хімреагентами, які попереджають замерзання води. Практика показує, що при попередній, до виникнення ожеледі обробці поверхні, можна майже вдвічі зменшити кількість хімреагента і, тим самим, не лише зменшити витрати, але зменшити і екологічне навантаження на територію. Якщо за браком часу, спеціальної техніки або хімреагентів це зробити неможливо, тоді зменшити аварійність можна оперативною інформацією водіїв про виникнення небезпечних ділянок на дорозі.

Автоматичне спостереження і обробка небезпечних ділянок покрить розповсюджена у деяких зарубіжних аеропортах і на дорогах. В нашій країні ці методи майже не використовуються із-за їх дорожнечі, недостатній дослідженості питання та недостатній інформованості і консервативності спеціалістів-експлуаційників. У літературі [4] наведено приклад, коли у аеропорту Жуляни із-за ігнорування показань датчиків, встановлених на той час на злітно-посадковій смузі, відбулось грубе порушення техніки безпеки, - зліт літака по ожеледиці, хоча у журналі стан поверхні був позначений, як нормальний. Про ожеледицю сповістив льотчик після зльоту. Зразу ж після цього аеродром був закритий і було відмінено 17 посадок літаків. Частина з них повернулась назад, на аеродроми вильоту, а частина була направлена на запасні аеродроми. Крім того, внаслідок ігнорування показань датчиків на злітно-посадковій смузі, було перевитрачено десять тон хімреагентів, що крім економічних втрат, привело до надмірного забруднення водойм нітратами.

Висновки. Висока трудомісткість і громіздкість існуючих способів вимірювання $К_{зч}$ призводить до дискретності вимірювань. Під час достатньо довгих проміжок часу значення $К_{зч}$ оцінюється по даним метеостанцій, серед яких відсутні найбільш важливі дані про температуру поверхні покриття, висоту і стан атмосферних опадів. Для безперервного контролю і прогнозування стану поверхні, пропонується встановлення розроблених в НАУ датчиків температури поверхні і глибини шару води безпосередньо на злітно-посадкових смугах і на автодорогах.

Список літератури

1. Руководство по аэропортовым службам: Часть 2. Состояние поверхности покритий. IKAO, Монреаль, 2002.-90 с**.**
2. Вестник Харьковского автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. Выпуск 47. Харьков., 2009, -163 с.
3. Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (НАС-ГА-86). Изд-во «Воздушный транспорт,». –М., 1987.- 287 с.
4. Кривенко Ю.М. «Дистанційний контроль стану поверхні злітно-посадкових смуг». В журналі «Вісник Національного авіаційного університету» 1 (12), ст. 188-192 - Київ, 2002.
5. Кривенко Ю.Н., Андрущак Л.Н. КИИГА. Авт. свид. №1125473 «Датчик глубины слоя жидкости на поверхности покрытия» МКИ 01 23/14. Опубл. 23.11.84, бюл. № 43.
6. Кривенко Ю.Н., Валько В. А. « Давач температури поверхні покриттів». Патент на винахід. Україна, UA, 14837 A, G01K 1/16. Опубл. 18.02.97.

УДК 656.13

О. В. Степанчук, к.т.н., А.О. Бєлятинський, д.т.н.
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЗАХОДИ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТ

У статті розглянуто основні транспортні проблеми міст, що пов'язані з інтенсивними темпами автомобілізації, а також проаналізовано можливі заходи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст України.

Життя сучасного міста – це рух. Рух відіграє значну роль не тільки в суспільних і виробничих відносинах, а і в особистому житті кожної людини. Транспорт забезпечує зв'язком планувальні елементи міста, дає можливість йому територіально розвиватися, розвивати виробничі відносини в самому місті та здійснює зовнішні зв'язки з іншими населеними пунктами.

На сьогоднішній день місто являє собою динамічну систему, яка постійно рухається і розвивається. Без транспорту життя в місті не може існувати. Доставка продуктів, промислових товарів, перевезення пасажирів, вивезення відходів та багато інших видів діяльності залежить від функціонування транспортних засобів. Тому, транспортне забезпечення повинне відповідати наступним вимогам:

- швидкому та ефективному переміщенню пасажирів та вантажів;
- відносно низькій вартості перевезень транспортними засобами;
- комфортності та безпеці перевезення пасажирів;

Дослідження динаміки росту автомобільного парку Землі свідчать, що найбільші темпи зростання кількості автотранспорту відбулися в 1980-1990 роках. При цьому чітко прослідковується нерівномірність розподілу кількості автомобілів на 1000 мешканців: США-750, Франція-550, Англія-500, Німеччина-490, Японія-380, Росія-90, Китай -8, Індія-5, країни Північної Африки-1[1].

В Україні інтенсивний ріст парку транспортних засобів розпочався в середині 90-х років минулого століття і стабільно продовжує збільшуватися. Такий швидкий ріст відбувається, в основному, за рахунок збільшення кількості легкових автомобілів. Щорічно кількість автомобілів збільшується на 8 %. Рівень автомобілізації складає 157 автомобілів на 1000 мешканців[2]. У світовій практиці було прийнято класифікацію наступних рівнів автомобілізації [1]:

1. Низький рівень – менше 50 автомобілів на 1000 мешканців.
2. Середній рівень – 50-300 автомобілів на 1000 мешканців.
3. Високий рівень – понад 300 автомобілів на 1000 мешканців.

Згідно ДБН 360-92**[3]:, пропускну здатність мережі вулиць, доріг і транспортних перетинів та число місць зберігання автомобілів треба визначати, виходячи з рівня автомобілізації. Так, на 1000 чоловік повинно припадати 200-250 автомобілів. Як бачимо, Україна має середній рівень автомобілізації, що на сьогоднішній день не вважається небезпечним. Але така ситуація неоднакова по всій території України. Так, у крупних і найкрупніших містах ця межа є близькою до критичної. Значна концентрація населення в містах і приміській зоні призвела до перевантаження вулично-дорожньої мережі транспортними засобами крупних і найкрупніших міст України. Наприклад, у місті Києві рівень автомобілізації складає 305 автомобілів на 1000 чоловік. Цей показник, у порівнянні з даними інших міст, незначний, бо у Варшаві цей показник становить – 515 авт/1000 меш., у Празі – 488, у Таллінні – 325, у Вільнюсі – 324, у багатьох містах Західної Європи цей показник складає 426 - 565 авт./1000 мешканців. За рівнем автомобілізації, як видно, Україна відстає від інших держав, але, в порівнянні з 90-ми роками XX століття, кількість

транспортних засобів в Україні збільшилася майже в 4 рази, а транспортна інфраструктура міст практично не змінилася. На сьогоднішній день темпи розвитку вулично-дорожньої мережі міста значно відстають від темпів росту автомобілізації. ВДМ крупних і найкрупніших міст України переповнена транспортними засобами. На окремих ділянках мережі і дорожньо-транспортних вузлах інтенсивність транспорту перевищує його пропускну здатність. Це призводить до втрати часу при переміщенні та до збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод. Ріст кількості транспортних засобів у містах України призвів до багатьох проблем, вирішення яких на сьогодні є однією з головних задач адміністрації міста.

Транспортні проблеми стали одними з основних в крупних і найкрупніших містах України. Вулично-дорожня мережа міст України виявилася неспроможною витримати навантаження транспортних засобів, кількість яких щоденно зростає. Збільшення кількості транспортних засобів, особливо індивідуальних, призвело до надмірного перевантаження вулично-дорожньої мережі міст, до зменшення швидкості руху і до виникнення заторів. Крім того, це викликало погіршення умов безпеки дорожнього руху, збільшення дорожньо-транспортних пригод, а також призвело до значного негативного впливу шкідливих факторів транспортних засобів на навколишнє середовище.

Недосконале функціонування вулично-дорожньої мережі спричинило ряд таких негативних факторів, як:

- втрата часу при переміщенні;
- перевитрати пального;
- збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод;
- зношеність дорожнього одягу;
- зниження ефективності роботи масового пасажирського транспорту;
- негативний вплив транспортних засобів на навколишнє середовище;
- складність організації вуличних стоянок транспорту;
- складність виконання робіт по утриманню вулично-дорожньої мережі міста.

Тому, на даний час в містах України виникло нагальне завдання по організації підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі. Звідси, головною задачею вулично-дорожньої мережі є забезпечення нормального і безпечного процесу переміщення транспортних засобів і пішоходів. Однак, якою б не була мета переміщення, людина завжди керується мотивами економії часу, відстані та безпекою власного життя. Ці фактори обумовлюють дії водія і пішохода.

Підвищення функціонування вулично-дорожньої мережі повинно включати в себе забезпечення найменших витрат часу і коштів при переміщенні та безпеку дорожнього руху, а також покращення умов переміщення пішоходів і транспорту.

Ефективність досконалого функціонування вулично-дорожньої мережі, на наш погляд, полягає в подоланні шляху транспортними засобами за мінімально короткий період часу. Тому, підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі на сьогоднішній день передбачає розробку певних заходів і засобів, що спрямовані на запобігання утворенню заторів, бо основною причиною затримки транспорту є неорганізованість транспортних потоків і незадовільна пропускна здатність смуг руху проїзної частини, та забезпечення пропускної здатності транспортних вузлів і перегонів.

Проаналізувавши транспортні проблеми в містах та заходи, які направлені на їхнє вирішення, необхідно досконало розглянути систему «дорожні умови –транспортний потік».

Вирішення проблеми забезпечення безпеки дорожнього руху транспортних засобів, пасажирів і пішоходів, на нашу думку, полягає у підвищенні організації руху транспортних засобів і пішоходів, у забезпеченні дотримання правил дорожнього руху всіма учасниками та зменшенні негативного впливу шкідливих факторів транспортних засобів на учасників руху і навколишнє середовище.

Покращення умов при переміщенні по вулично-дорожній мережі можна досягнути за допомогою забезпечення якісного стану дорожнього покриття, а також при наявності якісного стану елементів транспортної інфраструктури, серед яких одним із головних факторів є комфортність транспортних засобів.

Забезпечення найменших витрат часу на переміщення по вулично-дорожній мережі досягається при вирішенні наступних завдань:

- створення найкоротших зв'язків між елементами планувальної структури міста;
- встановлення і забезпечення необхідної швидкості руху та пропускної здатності вулично-дорожньої мережі;
- забезпечення надійності роботи транспортних систем.

Досягнення цих факторів базується на впровадженні законодавчо-нормативних, містобудівних, технічних, адміністративних заходів та заходів із організації дорожнього руху на території міста (рис 1). Містобудівні заходи включають в себе створення мережі магістральних доріг по найкоротшим напрямкам між основними пунктами міста. А функціональне зонування території, з урахуванням перспективного розвитку транспортної інфраструктури міста, еколого - економічне планування і раціональна забудова території міста, що являють собою невід'ємну частину містобудівних заходів, сприятимуть вирішенню нагальних завдань по усуненню транспортно-екологічних проблем.

Серед заходів, які слід використовувати для формування вулично-дорожньої мережі, одними з основних є технічні заходи, що передбачають будівництво нових автомобільних доріг, реконструкцію вулично-дорожньої мережі, будівництво транспортних розв'язок, мостових переходів, пішохідних переходів, облаштування місць для паркування та зберігання транспортних засобів, а також максимально раціонального використання підземного простору.

Для вирішення задач з підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі необхідно також повно мірою застосовувати заходи з організації дорожнього руху, що передбачають впровадження АСКДР і АСДУ, установку або демонтаж світлофорних об'єктів, дорожніх знаків, дорожньої розмітки, використання реверсивного і однобічного руху, серед усього іншого також може бути запроваджено заборону руху транспортних засобів та пішоходів.

Впровадження адміністративних заходів передбачає введення плати за проїзд по вулично-дорожній мережі покращення умов роботи громадського транспорту, першочерговий розвиток позавуличного транспорту, часове регулювання робочими змінами (трудове переміщення).

На сьогоднішній день є необхідність у розробленні єдиного підходу щодо покращення роботи і технічного стану вулично-дорожньої мережі міст України. А підвищення її пропускної здатності, з урахуванням і впровадженням необхідних заходів (містобудівних, технічних, адміністративних та організаційних), дозволить:

- заздалегідь оцінити наслідки кожного рішення;
- відкинути недопустимі варіанти вирішення задач щодо підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі;
- рекомендувати варіанти, що є найбільш вдалими для вирішення поставлених задач.

Інтенсивне збільшення кількості транспортних засобів і відставання розвитку транспортної інфраструктури в містах України призвело до значних проблем, вирішення яких є головною задачею всього суспільства. Але суспільство сьогодні не може самостійно вирішити цілий ряд наведених вище транспортних проблем, що виникли як наслідок інтенсивного збільшення транспортних засобів, тому що вирішення цих проблем потребує комплексного підходу, який базується на впровадженні законодавчих, містобудівних, технічних, організаційних та адміністративних заходів, а отже і потребує значних

фінансових вкладень, які в умовах сьогоднішньої економічної кризи відсутні в необхідній кількості. Тому вирішення цих проблем потребує системного і досконалого вивчення їх походження, а звідси-виникає необхідність у розробці експертної системи ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі.

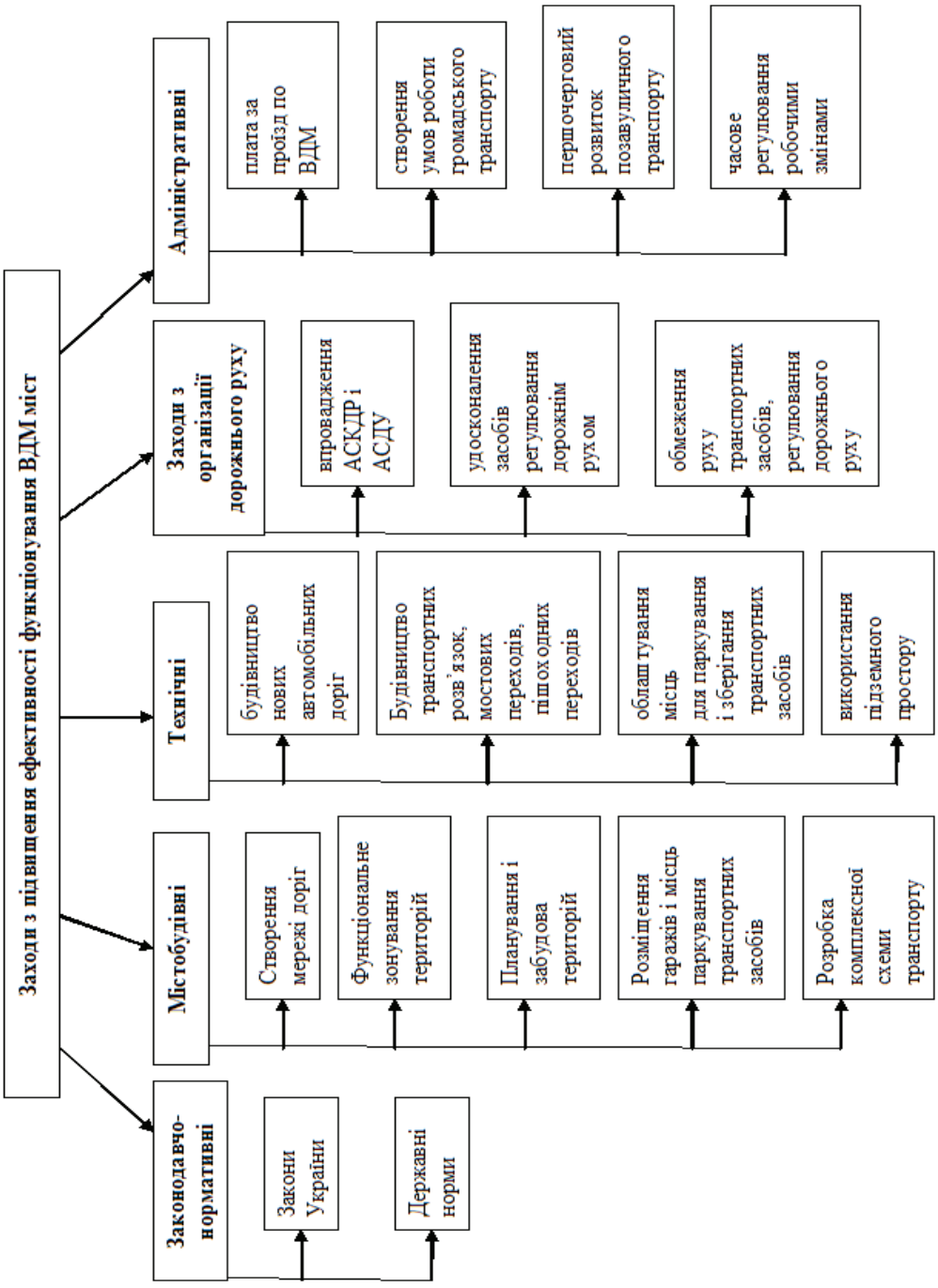


Рис.1. Заходи з підвищення ефективності функціонування ВДМ міст.

Список літератури

1.Стародуб І.В. тенденції зміни та прогноз умов функціонування вулично-дорожньої мережі// Містобудування та територіальне планування. К.: КНУБА, 2003.-№15.-С. 211-224.

2.Дубова С.В., Васильєва А.Ю., Сильчук В.А. Методы ограничения легкового транспорта в городах// Містобудування та територіальне планування. К.: КНУБА, 2009.-№32.-С. 121-127.

3. ДБН 360-92**. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень.

УДК 624.21.625.046.5

М.М. Велічко, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗЕРВІВ МІЦНОСТІ ФУНДАМЕНТІВ МОСТІВ, ПОБУДОВАНИХ ЗА ТИПОВИМИ ПРОЕКТАМИ ЗА ОСТАННІ П'ЯТДЕСЯТ РОКІВ

Фундаменти існуючих мостів малих прольотів, запроектованих в минулому столітті за типовими проектами під застаріле навантаження, мають запаси міцності, закладені методом граничних станів. Запропоновано використовувати ці запаси, а для їх оцінки використати методи теорії надійності.

Предметом дослідження є надійність фундаментів існуючих залізобетонних мостів невеликих прольотів, що побудовані за типовими проектами за останні 50 років. Ці мости були запроектовані під навантаження від автомобільного транспорту в відповідності з застарілими нормативними документами СН 200 – 62 [1] та СНиП 2.05.03-84 [2].

Для виявлення запасів міцності фундаментів і оцінки їх можливості пропускати нове збільшене навантаження було виконано розрахунки цих мостів з прогоновими будовами, які побудовані за найбільш поширеним, типовими проектами: Випуск 122-62, ВТП-16, ВТП-21, Випуск 384/43. (Див. табл. 1.).

Табл. 1.

Зростання навантаження на опори і фундаменти мостів з прольотами, запроектованими за типовими проектами.

Типовий проект	Довжина прогонової будови, м	Тимчасове навантаження від автотранспорту, N_p, т		∑ Тимчасове навантаження від транспорту та натовпу на тротуарах, т		Ріст тимчасового навантаження на опору, α_1, %	Ріст сумарного навантаження на фундамент з врахуванням ваги прогону, α, %
		Н-30 СН 200-62	А-15 ДБН В.1.2.-15:2009	Н-30 СН 200-62	А-15 ДБН В.1.2.-15:2009		
Випуск 122-62	11,36	107,35	148,54	126,43	164,90	37	16,81
	14,06	90,70	159,77	114,32	180,02	65	20,23
	16,76	99,11	171,01	127,27	195,14	61	18,58
	22,16	131,00	193,49	168,23	225,40	41	14,03
ВТП-16	11,36	107,35	148,54	126,43	164,90	37	17,00
	16,76	99,11	171,01	127,27	195,14	61	19,25
ВТП-21	6	87,44	113,57	97,52	122,21	32	17,90
	12	107,35	151,2	127,51	168,48	39	16,59
	18	106,45	176,18	136,69	202,10	55	17,47
Випуск 384/43	6	87,44	113,57	97,52	122,21	32	15,89
	9	97,90	130,11	113,02	143,07	33	15,29
	12	107,35	151,2	127,51	168,48	39	15,06
	15	92,74	163,69	117,94	185,29	65	19,27
	18	106,45	176,18	136,69	202,10	55	16,03

З розрахунків видно, що навантаження від рухомого складу (відповідно до ДБН В.1.2.-15: 2009) на прогонову будову збільшилось на 32-65% для мостів, побудованих згідно з СН 200 – 62 та 45-61 % для мостів, побудованих згідно зі СНиП 2.05.03-84. Однак, збільшення загальних навантажень на фундаменти мостів значно нижче, оскільки на фундаменти діє постійне навантаження від ваги прогонових будов і ваги опор. Присутній ефект «згладжування» дії тимчасового навантаження на фундамент. Тому навантаження на фундаменти відповідно до ДБН В.1.2.-15: 2009 [3] збільшилось на 14-20% (для мостів, запроектованих згідно з СН 200 - 62) і 17-24% (для мостів, запроектованих згідно зі СНиП 2.05. 03-84).

В задачі, що розглядається «визначальним розрахунком» є розрахунок несучої здатності фундаменту по ґрунту, оскільки в більшості випадків запаси міцності за матеріалом фундаменту значні. Горизонтальне навантаження від гальмування за новими нормами менше застарілого відповідно до СН 200 - 62.

Зрозуміло, що можуть виникати ситуації, коли для палі великої довжини в слабких ґрунтах визначальним буде розрахунок міцності за матеріалом. Проте, для більшості фундаментів мостів, які розглядаються, визначальним буде розрахунок міцності по ґрунту.

Зауважимо, що в нових нормах збільшене і одиночне навантаження: від НК-80 перейшли до НК-100. Проте це навантаження для фундаментів не є визначальним.

Для оцінки резервів міцності існуючих фундаментів використано методи теорії надійності конструкцій, зокрема, моделі О. Р. Ржаніцина [4].

О. Р. Ржаніцин запропонував оцінити надійність конструкцій за допомогою «характеристики безпеки», згідно з чинними нормами ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009 [5], вона позначається – β.

$$\beta = \frac{\xi - 1}{\sqrt{A_Q^2 + \xi^2 \cdot A_R^2}} \quad (1)$$

Визначивши характеристику безпеки β, за таблицями функції Лапласа можна перейти до ймовірності безвідмовної роботи конструкції P.

Вираз (1) дозволяє оцінити надійність, використовуючи узагальнені характеристики ξ, A_R, A_Q, не вдаючись у подробиці, властиві кожній конструкції. Адже поставлена задача з виявлення запасів міцності фундаментів має значні елементи невизначеності. Як правило, відсутня інформація про ґрунти основ, типи і розміри фундаментів. Різна технічна культура проектних, будівельних, експлуатаційних організацій. Розглядаються мости різних прольотів, побудовані в різних регіонах за різними типовими проектами у різних інженерно-геологічних умовах.

Фундаменти з висячими палями найменш визначені, і тому їх оцінка є для даної задачі визначальною.

Оскільки для великого масиву фундаментів мостів, що розглядалися, інженерно-геологічні умови різні, ми змінювали значеннями ξ, A_R, A_Q в деяких розумних, типових для умов України межах.

Крім того, застосовано ще один прийом для пом'якшення невизначеності, що властива даній ймовірнісній задачі. За основу рішення про величину резервів міцності фундаментів прийнято не значення показника надійності P, а зіставлення різниці значень P для фундаменту при дії старого і нового навантажень.

Еталонна надійність несучої здатності палі по ґрунту при $\xi = 1{,}64$; $A_Q - 0{,}05$; $A_R = 0{,}08$ дорівнює:

$$\beta = \frac{1{,}64 - 1}{\sqrt{0{,}05^2 + 1{,}64^2 \cdot 0{,}08^2}} = 4{,}558257\,, \qquad P = 0{,}99997$$

Тобто, це оцінка надійності фундаменту, запроектованого згідно з СН 200 - 62, на який діє навантаження, що визначене за цими ж нормами. Оцінимо надійність цього ж

фундаменту за умови, що діє сучасне збільшене навантаження (ріст навантаження на фундамент до 20%).

Тоді $\xi^H = \frac{\xi}{\alpha}$; $\xi^H = \frac{1,64}{1,20} = 1,37$.

Табл.2

Зведена таблиця розрахунку характеристики безпеки та оцінки надійності фундаментів при max% зростанні навантаження на фундамент в залежності від типового проекту і довжини прогонової будови. (Канонічний випадок).

Норми і навантаження	Типовий проект	Довжина прол., м	A_Q	A_R	α	ξ^H	β	P
Н-30 (СН 200-62) і А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max %	Випуск 122-62	14,06	0,05	0,08	1,20	1,37	3,071395	0,998806
	ВТП-16	16,76	0,05	0,08	1,19	1,38	2,061496	0,9802572
	Вип. 384/43	15	0,05	0,08	1,19	1,38	2,061496	0,9802572
	ВТП-21	6	0,05	0,08	1,18	1,39	2,108618	0,982481
Еталонна надійність			***0,05***	***0,08***		***1,64***	***4,558257***	***0,999997***

Значення A_Q, A_R в залежності від конкретних умов мостового переходу (різні ґрунти) можуть коливатися в той чи інший бік.

При більшій різноманітності випадкових чинників: $A_Q = 0,06$; $A_R = 0,10$; $\xi = 1,64$, еталонний рівень надійності буде дорівнювати:

$\beta = \frac{1,64-1}{\sqrt{0,06^2+1,64^2 \cdot 0,10^2}} = 3,66487$ P =0,999856.

Табл.3

Зведена таблиця розрахунку характеристики безпеки та оцінки надійності фундаментів при max% зростанні навантаження на фундамент в залежності від типового проекту і довгі прогонової будови. (При іншій мінливості випадкових факторів).

Норми і навантаження	Типовий проект	Довжина прол., м	A_Q	A_R	α	ξ^H	β	P
Н-30 (СН 200-62) и А-15 (ДБН В.1.2.-15:2009) max %	Випуск 122-62	14,06	0,06	0,1	1,20	1,37	2,456606	0,9929265
	ВТП-16	16,76	0,05	0,08	1,19	1,38	2,515814	0,994035
	Вип. 384/43	15	0,05	0,08	1,19	1,38	2,515814	0,994035
	ВТП-21	6	0,05	0,08	1,18	1,39	2,575157	0,994955
Еталонна надійність			***0,06***	***0,1***		***1,64***	***3,66487***	***0,9998336***

Інтерпретація отриманих оцінок надійності фундаментів.

Випадкові фактори в задачі, що розглядається - це фізико-механічні характеристики ґрунтів основи та діючі навантаження. Вони характерні для конкретного моста. Припустимо, що надійність фундаментів моста, запроектованого згідно з СН 200-62, становить 0,99984 - 0,9999. При дії нового навантаження (згідно з ДБН В.1.2.-15: 2009) оцінка надійності стала 0,9768. Це означає, що з тисячі аналогічних мостів тільки приблизно для двох навантаження Н-30 за СН 200-62 було б надмірним, а при дії сучасного навантаження А-15 за ДБН В.1.2.-15: 2009 таких мостів з тисячі вже стало б 23 - 36 шт.

Ми навмисно показуємо різні оцінки надійності фундаментів. Такі оцінки можуть мати місце серед мостів, що розглядаються. Важливо, що діапазон змін надійності при переході від застарілого навантаження до навантаження сучасного не такий великий.

Прийнято до уваги процеси, що відбуваються з фундаментами існуючих мостів за час їх експлуатації.

Позитивним є процес ущільнення ґрунтів основи фундаментів від навантаженням і підвищення, у зв'язку з цим несучої здатності фундаментів по ґрунту.

До негативних належать такі явища, які можуть виникати протягом життя моста: частковий розмив ґрунтів основ, підмив паль, руйнування опор та фундаментів з різних причин (наїзд транспорту, помилки проектувальників, будівельні дефекти).

Зазначені вище дефекти повинні бути виявлені в процесі планової експлуатації мосту.

Може мати місце зворотне тертя, коли верхня частина ґрунтів основ дає значну осадку і при цьому додатково завантажує палі.

Вважаємо, що позитивні процеси в більшості випадків превалюють.

Висновки.

1. Тимчасове рухоме навантаження на прогонову будову збільшилось на 32-65%, загальне навантаження на фундаменти збільшилось на 14-24%, тому що значна частина навантаження – постійне, залишилось таким же.

2. Наведені оцінки показують, що більшість фундаментів мостів, розглядаються не вимагають підсилення лише на тій підставі, що збільшилася тимчасове рухоме навантаження. Однак, ті ж оцінки показали, що існує невелика кількість мостів, близько 3-5%, надійність і запаси міцності фундаментів яких не достатні для пропуску по них нових збільшених навантажень. Підкреслимо, що отримані висновки не мають відношення до мостів з явними дефектами, які виникли як наслідок впливу таких факторів, як помилки при проектуванні, дефекти при будівництві, розмив ґрунтів основ, наїзд транспорту, незадовільна експлуатація. Ці мости потребують ремонту, відновлення або посилення відповідно до вимог нормативних документів.

Список літератури

1. СН 200-63. Технические условия проектирования мостов и труб. М., 1962.

2. СНиП 2.05.03-84. Строительные нормы и правила. Мосты и трубы. М., 1985

3. ДБН В.1.2-5.2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. Київ, 2009.

4. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. М., 1978.

5. ДСТУ-Н Б В.2.3-23:2009. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2009.

УДК 514.18

М.С. Барабаш, канд. техн. наук, доц.,
(Національний авіаційний університет, Україна)

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОБУДОВИ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ БУДИНКУ НА ОСНОВІ BIM-ТЕХНОЛОГІЇ У САПР САПФІР

Розглядаються вимоги до розрахункової моделі, описуються особливості BIM-технології та її переваги, наводяться дані про САПР САПФІР, приклад побудови розрахункової моделі будинку каркасного типу, обговорюється інтеграція з розрахунковим комплексом ЛІРА.

Постановка проблеми. Для здійснення проектування, будівництва та експлуатації споруди необхідна її комплексна модель (віртуальна модель об'єкта), яка має бути сумісною із декількома програмними комплексами, що використовуються у процесі проектування, припускати легке оновлення, структурну модифікацію, деталізацію. Традиційні програмні пакети не можуть бути використані для побудови такої моделі, оскільки не є сумісними. На практиці це приводить до невиправданих втрат часу, коштів та інформації при імпорті та експорті файлів, зміні авторського задуму, реалізації побажань замовника, і т.п. Тому проблема створення комплексної моделі споруди та інтегрованого середовища проектування (зокрема, і розрахунків) є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Популярні програми фірми Autodesk – AutoCAD, Revit, 3D Studio Max – дозволяють автоматизувати побудову креслень та детально розробити інтер'єр чи екстер'єр будинку, але не призначені для розрахунків або збору даних проекту [1]. ArchiCAD фірми Graphisoft [2] дозволяє зібрати дані, проте не інтегрований із програмами розрахунку. Крім того, ця програма не забезпечує достатнього рівня деталізації та якості візуалізації. В тій чи іншій мірі сказане відноситься і до багатьох менш популярних програм – Arcon, Chief Architect і таке інше. З іншого боку, програми розрахунку, такі як ЛИРА [3] або МОНОМАХ [4] недостатньо інтегровані з програмами, що використовуються на інших стадіях проектування. Змінити це становище на краще дозволяє технологія інформаційного моделювання будинків (BIM) що базується на використанні точних і скоординованих даних на всіх етапах від розробки концепції будинку до його зведення і здачі в експлуатацію [5].

Мета і задачі статті. BIM – відносно нова технологія, яка потребує популяризації, удосконалення програмної реалізації, підготовки фахівців. Відтак, метою статті є викладення її основних засад, характеристика САПР САПФІР, де вона реалізується, опис побудови розрахункової моделі та обговорення її інтеграції з розрахунковим комплексом ЛІРА.

Основна частина.

Принципи і переваги BIM-технології. Концептуальні моделі будівель в основному використовуються в ранній стадії розробки архітектурного проекту. Так відносно прості просторові моделі створюються для надання допомозі дизайнерам і архітекторам, у виборі фундаментального дизайнерського (проектного) рішення. Отже точність і міра деталізації концептуальної моделі нижчі, ніж в разі BIM побудови моделей. Концептуальні моделі можуть бути побудовані в додатках BIM-технологій з використанням стандартних засобів моделювання (плити, стіни, дахи і так далі). Переважна більшість моделей зроблені з використанням програмного забезпечення 3D CAD і створюються для чистих цілей візуалізації. Типовим сценарієм є те, що коли 3D -модель є повною, те моделювання направлене на внутрішній або зовнішній движок для розрахунку фото реалістичних зображень або анімації. Сама модель не використовується для створення конструкторської документації. Таким чином, зазвичай моделюються лише ті частини будівлі, які видно в підсумкових матеріалах візуалізації. BIM моделювання вимагає

координації 3D моделі, 2D документації і параметричних даних . Цей процес може зайняти більше часу на етапі розробки проекту, в порівнянні з традиційними методами CAD. Проте, як тільки BIM-модель готова, зміни в дизайні (або архітектурі) автоматично вносяться до всієї документації. Отже BIM –моделі можуть бути використані протягом всього життєвого циклу проекту, що означає значне зростання продуктивності для архітекторів. Створюються інформаційна база даних та тривимірна параметрична модель споруди, тісно інтегровані між собою. Кожному елементу моделі присвоюються додаткові атрибути, які використовуються на різних стадіях проектування (наприклад, крім параметрів форми і положення, що визначають геометрію конструкції, міцнісні характеристики її матеріалу, його текстура тощо). До бази даних у процесі проектування вноситься інформація, необхідна для виконання розрахунків, дотримання нормативних вимог і підготовки до сертифікації. Відтак всі учасники процесу проектування – архітектори, інженери, розробники систем опалення, водопостачання, каналізації, електричних і санітарно-технічних систем – одержують доступ до надійної, погодженої інформації про будинок. Протягом життєвого циклу будинку інформація може змінюватися, доповнюватися й поєднуватися. BIM технологія має дві головних переваги перед CAD-технологіями:

1. Створені моделі не просто графічні, а інформаційні, що дозволяє автоматично формувати креслення та звіти, виконувати аналіз проекту, моделювати графік виконання робіт, експлуатувати об’єкти. Наявність такої інформації надає колективу будівельників необмежені можливості для ухвалення найкращого рішення з урахуванням усіх наявних даних;

2. Різні системи проектування можуть ефективно й спільно використати інформацію протягом усього життєвого циклу будинку, що виключає повторне уведення даних, помилки при їхній передачі й перетворенні.

Реалізація BIM-технології у САПР САПФІР. У САПФІР використовується параметрична модель будинку, яка містить усі дані, необхідні для подальших деталізацій: використовуються матеріали з реальними фізико-механічними властивостями (для розрахунку), з реальними текстурами (для візуалізації), із даними для обчислення фізичних об’ємів робіт при переході до складання кошторисів.

Проектувальник може в будь-який момент перетворити окремі грані формотворчих елементів у компоненти стіни, даху, перекриття, стінових огороджень і т.д. Хоча ці компоненти моделі в загальному випадку не повторюють розташування граней, САПФІР встановлює зв’язок між геометрією концептуальної моделі та будівельних компонентів, які з неї формуються. Таким чином, зміни у концептуальній моделі можуть переходити в детальну проектну модель і навіть у робочу документацію.

Реалізовано тісний взаємозв’язок між архітектурною й аналітичною моделями. Архітектурна модель містить всі основні елементи, що визначають експлуатаційні якості й технологію функціонування об’єкта: призначення і взаємне розташування приміщень, стін, колон, балок, вікон, дверей, сходів тощо (рис. 1). Аналітична модель включає тільки конструктивні елементи: несучі стіни, колони, пілони, балки, плити перекриттів, фундаментні плити, тобто елементи, які відповідають за міцність і стійкість спорудження (рис. 2). Такий інформаційний взаємозв’язок не тільки визначає адекватну побудову аналітичної моделі, але й у процесі проектування допомагає досягти компромісу між архітектором і конструктором. Аналітична модель вирішує два важливих питання:

- передається в розрахунковий комплекс і доповнюється засобами розрахункового програмного комплексу;
- забезпечує адекватний візуальний зв’язок архітектурної й розрахункової моделі рис. 2.

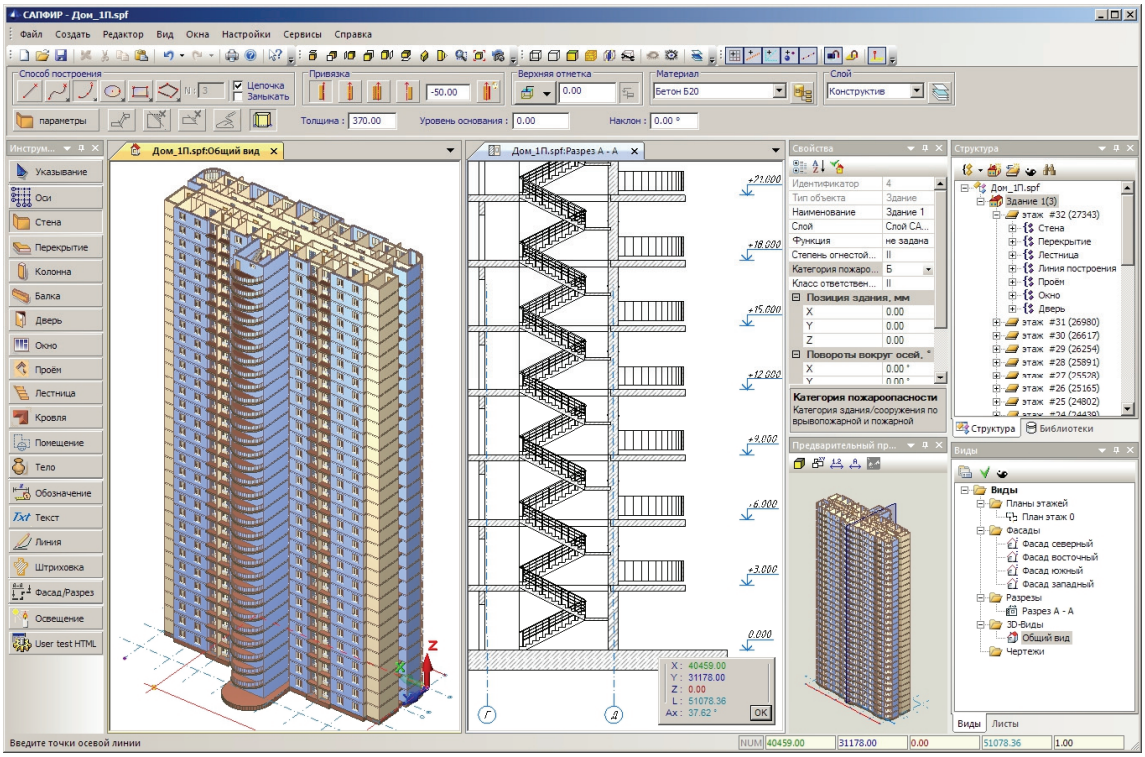


Рис.1 Архітектурна модель

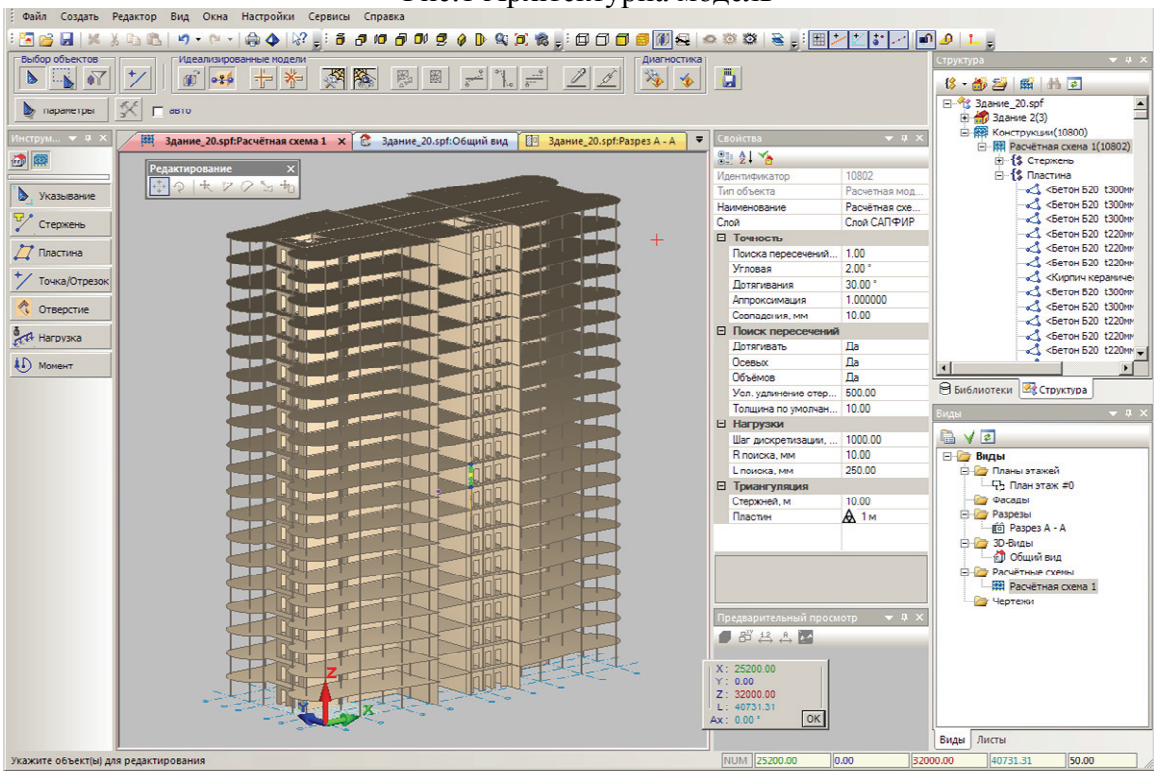


Рис.2 Аналітична модель

Побудова моделі каркаса будинку відбувається у кілька етапів:

1. Побудова сітки вісей (рис.3);
2. Завдання висоти поверху та побудова колон (рис.3);

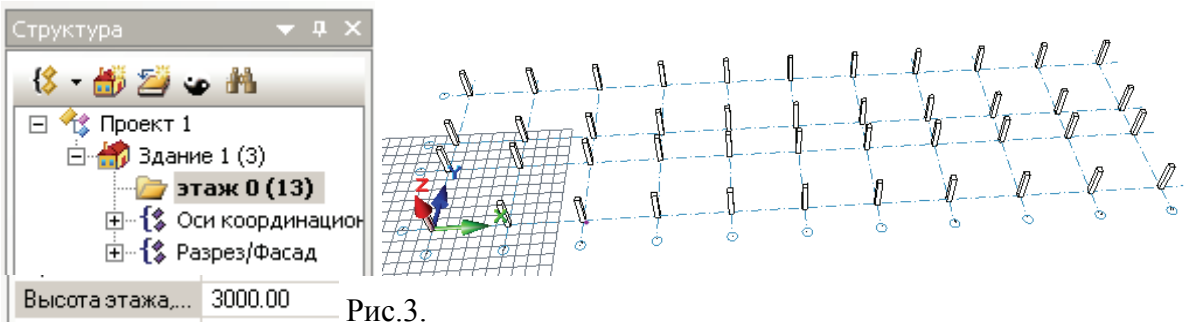
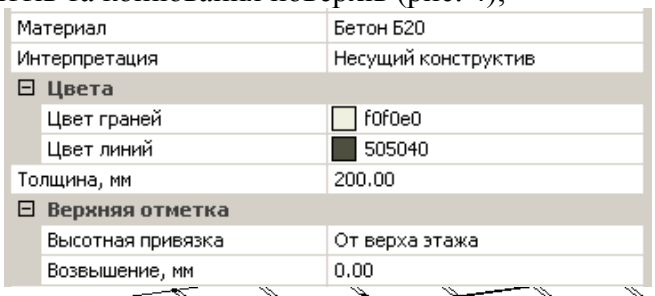


Рис.3.

3. Побудова ригелів та діафрагм);

4. Побудова перекриттів та копіювання поверхів (рис. 4);



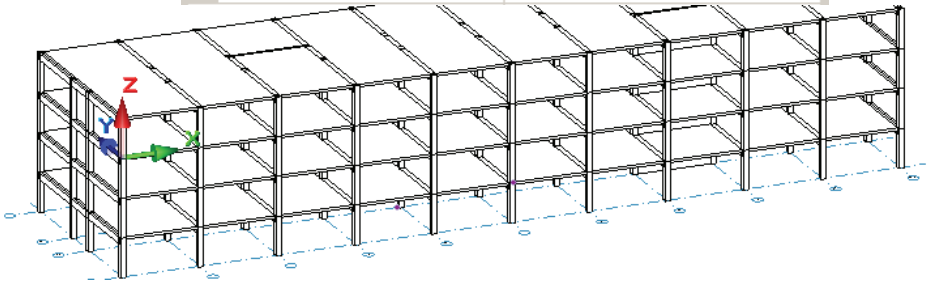


Рис. 4.

Далі можливе автоматизоване створення креслення.

Експорт моделі в розрахунковий програмний комплекс ЛІРА здійснюється за допомогою формату обміну даними .IFC.

Модель, що імпортувалась в розрахунковий програмний комплекс, дорабляється інструментами ПК ЛІРА – задаються в'язі та навантаження. Після чого модель розраховується та визначається її напружено-деформований стан.

Висновок. BIM-технологія дозволяє об'єднувати різнорідні дані, потрібні на різних стадіях проектування, будівництва тв експлуатації споруди. Реалізація цієї технології у САПР САПФІР забезпечила інтегра-цію програм візуального проектування, креслення та розрахунку що привело до зменшення часу проектування та підвищення його якості.

У подальших дослідженнях планується розглянути технологію впровадження САПР САПФІР у навчальний процес.

Список літератури

1. *Климачева Т.Н.* AutoCAD 2010. Полный курс для профессионалов.– Диалектика, 2009.– 1088 с.

2. *Справочное* руководство по ArchiCAD 13 (электронный документ pdf).– Graphisoft, 2009.– 2054 с.

3. *Барабаш М.С.,* Гензерский Ю.В., Марченко Д.В., Титок В.П. Лира 9.2. Примеры расчета и проектирования. – Учебное пособие. – К.: "Факт", 2005. – 138с.

4. *Компьютерные* технологии проектирования железобетонных конструкций: Учебное пособие / Ю.В. Верюжский, В.И. Колчунов, М.С. Барабаш, Ю.В. Гензерский. – К.: Книжное изд-во НАУ, 2006. – 808 с.

УДК 656.053.3:711.7

Д.Б. Васюкович, аспірант, А.О. Прозоровська, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ РУХУ НА КІЛЬЦЕВИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ В ОДНОМУ РІВНІ ТА БЕЗПЕКА РУХУ НА НИХ

У статті розглянуто особливості руху на кільцевих перехрестях в одному рівні, заходи підвищення безпеки руху на них.

Кільцеві перехрестя на сьогодні стають осереддям автомобільних зіткнень. Про це говорять дані Державтоінспекції Києва, що проводила аналіз аварійності на ділянках вулично-дорожньої мережі міста. Серед найбільш аварійних виявилися перш за все перехрестя, на яких організований круговий рух. ДТП на таких пересіченнях як і раніше вкрай рідко приводять до тяжких наслідків, травм і загибелі людей. Але в той же час, число таких випадків настільки велике, що очевидно, кільця вже не відповідають своєму призначенню — підвищувати пропускну спроможність міських вулиць

Найбільш зручними для організації руху є пересічення двох вулиць під кутом, близьким до прямого. При цьому потоки, що звертають можуть рухатися по оптимальних траєкторіях, а пішохідні переходи можна розташовувати по найкоротших напрямкам.

Пересічення під кутом менше 60° ускладнюють рух потоків, що звертають, а особливо довкола гострокутних кварталів. Виникають труднощі з пішохідними переходами: при розміщенні їх на продовженні тротуарів довжина їх збільшується; при розміщенні по найкоротшому напряму доводиться відносити їх від пересічення углиб вулиці, що приводить до порушення режиму пішохідного руху.

Транспортні потоки перетинаються на нерегульованому перехресті в одному рівні, тому для забезпечення безпеки встановлюється певний порядок проїзду таких перехресть. Всі пересічні напрями діляться на головні (завжди один напрямок) і другорядні, а потоки, що рухаються по ним, відповідно, на основні та другорядні. Перевага проїзду представлена основному потоку. Таке розділення повинне підкреслюватися і планувальним рішенням: головний напрям має ширшу проїжджу частину, планувальні елементи, регулюючі рух (направляючі острівці, смуги), винесені на другорядні вулиці.

Всі маневри на перехресті (злиття, пересічення основного потоку, лівий поворот) можливі лише за наявності чималого інтервалу в основному потоці. Необхідний інтервал залежить від вигляду маневру, типу транспортних засобів і планувального рішення перехрестя. Теоретичний розрахунок необхідного інтервалу між автомобілями основного потоку проводиться з умовами рівності швидкостей руху при злитті, а при пересіченні основного потоку — із запасом часу до підходу найближчого автомобіля основного потоку до конфліктної точки. Ці інтервали, отримані розрахунком для середніх значень швидкостей і прискорень розгону і гальмування, дають уявлення про порядок необхідних інтервалів. Дійсні їх значення визначають шляхом масових натурних спостережень.

У зв'язку з нерівномірністю розподілу інтервалів в основному потоці автомобіль, що підійшов до перехрестя по другорядній вулиці, в залежності від інтервалу в основному потоці в даний момент, повинен або чекати появи довгого інтервалу, або, якщо наявний інтервал досить тривалий, може пересікти або влитися в основний потік. Один і той же інтервал, прийнятий одним водієм, може бути знехтуваний іншим, який визнає його недостатньо безпечним. Порівняння прийнятих і знехтуваних інтервалів дозволяє визначити граничний проміжок часу $\Delta t_{гр}$, під яким розуміється такий інтервал між автомобілями основного потоку, який із заданою вірогідністю може бути прийнятий водієм для виконання маневру на пересіченні. Найменше значення граничного проміжку визначається з умови, що він з однаковою вірогідністю буде прийнятий або знехтуваний водіями. Це означає, що

інтервал такої тривалості задовольняє лише 50% водіїв. Для практичних розрахунків використовують граничний проміжок 85%-ої забезпеченості.

Термін «пропускна спроможність перехрестя» розуміють в декілька іншому сенсі, чим по відношенню до смуги руху. Транспортні потоки повинні проходити через одну і ту ж конфліктну крапку по черзі. Перевага має потік, рухомий по головній дорозі. Пересічення або вливання в нього з боку другорядної дороги (напрями) можливо лише при чималих інтервалах між автомобілями основного потоку.

Поняття пропускна спроможність пересічення означає можливі співвідношення інтенсивностей руху на вулицях, що перетинаються або дорогах. Це співвідношення визначається інтенсивністю руху по головному напряму.

Кільцеві пересічення по забезпеченості безпеки руху займають проміжне положення між нерегульованими пересіченнями в одному рівні і пересіченнями в різних рівнях:

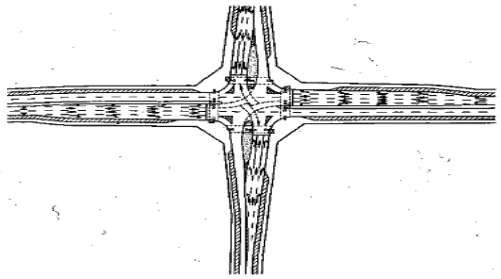


Рис. 1. Планування повністю каналізованого пересічення

Рис. 1. Планування повністю каналізованого пересічення на них як і на пересіченнях в різних рівнях відсутні пересічення потоків (конфліктні точки). Досвід експлуатації показує, що заміна нерегульованого хрестоподібного пересічення саморегулюючим кільцем дозволяє понизити аварійність в 1,5—3,0 рази. Кільцеві перехрестя, зрівнюючи швидкості руху всіх пересічних потоків незалежно від їх пріоритетності, особливо ефективні на приміських ділянках автомобільних доріг і в місті, де швидкість руху обмежена 40—60 км/ч. Особливо ефективний кільцевий рух на пересіченнях трьох і більше вулиць або доріг. При проектуванні кільцевих перехресть доводиться вирішувати декілька завдань, основними з яких є: вибір розрахункової швидкості руху на кільці; вибір радіусу кільцевої проїзної частини; оцінка пропускної спроможності кільця; оцінка безпеки руху.

Найбільша пропускна спроможність досягається при використанні для вливання в кільцевий потік гранично малих інтервалів між автомобілями. Найменший граничний інтервал на кільцевих пересіченнях спостерігається при швидкостях руху 25 — 30 км/ч. Транспортні втрати на кільцевому перехресті будуть тим менші, чим менше різниця швидкостей руху на кільці і на підходах до нього. У міських умовах вирівняти ці швидкості за рахунок планування пересічення практично неможливо: потрібно кільця діаметром 200 — 300 м. Це завдання вирішується зіставленням будівельних і транспортних витрат. Це завдання вирішується зіставленням будівельних і транспортних витрат. Мінімум приведених витрат відповідатиме оптимальному з точки зору економіки плануванню пересічення. Проте через те, що не всі показники мають вартісне вираження, проектне рішення повинно бути оцінено ще і з позицій забезпечення безпеки автомобільного руху і зручності пішоходів.

Досвід показує, що з умови забезпечення безпеки швидкість руху на вході і на самому кільці має бути не менше 0,6 — 0,7 від фактичної на підходах.

Таким чином, для виконання умов потрібна своя розрахункова швидкість руху на кільці. Вибір розрахункової швидкості залежить від того, яка з трьох умов в конкретній обстановці є визначальний. На автомобільних дорогах, що працюють при рівні завантаження не вище 0,3, такою умовою є забезпечення безпеки руху, на міських магістралях —

забезпечення пропускної спроможності. Для автомобільних доріг рекомендуються наступні розрахункові швидкості руху на кільцях, км/год:

Таблиця 1

Технічна категорія дороги	I	II	III	IV
Рекомендована розрахункова швидкість на кільці	50	45	40	30

Для міських умов розрахункова швидкість руху на всьому кільцевому перехресті рекомендується 25—30 км/ч. Швидкість руху на кільцевому пересіченні визначатиметься не лише діаметром кільця, але і всім плануванням пересічення: радіусами примикань до кільця, шириною проїжджої частини, числом смуг руху. Зв'язок між цими показниками встановлений дослідним шляхом. Для кілець з рівнем завантаження менше 0,3 спостерігаються наступні співвідношення:

Таблиця 2

Діаметр центрального острівця	15	30	60
Швидкість руху на перехрестях	20	25	30
Радіуси примикань:			
Рекомендовані	15	20	25
мінімальні	10	10	15

Безпека руху на перехрестях залежить від способу організації руху. На пересіченнях зі світлофорним регулюванням переважають два види дорожньо-транспортних випадків (ДТП): наїзд на автомобіль, що різко загальмував, і зіткнення з автомобілем, рухомим на заборонний сигнал світлофора. Рівень аварійності на таких пересіченнях визначається в основному дисципліною водіїв.

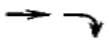
На нерегульованих перехрестях з діленням пересічних доріг на головну і другорядну безпека руху залежить від дотримання правила черговості проїзду і тривалості знаходження автомобілів другорядного напряму в конфліктній зоні. На міських нерегульованих пересіченнях безпека руху визначається планувальним вирішенням пересічення й інтенсивністю руху автомобілів і пішоходів. Чітка організація руху, розділення потоків автомобілів різних напрямів, каналізовані рухи дозволяють понизити аварійність на таких пересіченнях в порівнянні з необладнаними як мінімум удвічі.Одним з чинників, що визначають безпеку руху на нерегульованих пересіченнях, є інтенсивність руху на другорядній дорозі. Чим вища ця інтенсивність і чим ближче вона до інтенсивності руху по головній дорозі, тим частіше на пересіченні порушується правило переваги проїзду і створюється конфліктна ситуація. Зважаючи на те, що із збільшенням числа смуг руху на головній дорозі небезпека нерегульованих пересічень зростає, сфера їх застосування має бути обмежена вулицями і дорогами місцевої мережі.

На безпеці руху впливає кут пересічення. Одна з причин цього — зміна огляду місця водія залежно від положення автомобіля на пересіченні. Частину поверхні пересічення закривають від водія стійки скла кабіни. Найбільш ускладнена оцінка дорожньої ситуації на частині поверхні перехрестя, розташованого праворуч від водія. Ця оцінка тим складніша, чим більший кут пересічення. При кутах пересічення доріг 50—75° забезпечується найкраща оглядність і найбільше значення коефіцієнта безпеки (відношення швидкості руху

автомобілів на підході до швидкості на пересіченні). Ці пересічення мають і найменшу небезпеку для руху.

На безпеці руху позначається також і планування пересічення. При радіусах заокруглень менше 10 м автомобілі виходять за кордони відведеної ним смуги на проїжджій частині і створюють перешкоди на інших смугах руху. Статистика показує, що аварійність на нерегульованих пересіченнях з радіусами заокруглень менше 15 м в 5—б разів вища, ніж на пересіченнях з радіусами заокруглень більше 15 м. На регульованих пересіченнях це співвідношення складає 2:1. На пересіченнях, де конфліктні крапки розташовуються на відстані 10—15 м один від одного, число ДТП в 2,0—2,5 разу менше, ніж на пересіченнях з тісним розташуванням. Найбільшу небезпеку для руху представляють ліві повороти, особливо з другорядної дороги. На їх долю доводиться більше 40% від всіх ДТП на пересіченнях (таблиця. 3).

Таблиця 3

Напрямок руху	Схема ДТП	Число ДТП, %	Схема ДТП	Число ДТП, %	Всього ДТП на даному напрямку, % від заг. числа ДТП на перехресті
Лівий поворот:					
з головної дороги		8,1		11,2	19,3
з другорядної дороги		18,3		26,7	44,0
Правий поворот:					
з головної дороги		8,1		1,55	9,65
з другорядної дороги		4,2		2,8	7,05
Прямо		5,2		12,6	17,8
Лівий та правий повороти		0,4		1,8	2,2

Висновки

Безпека руху і пропускна спроможність пересічень залежать від чіткості організації на них руху. Оптимальним є планувальне рішення, що забезпечує для кожного напряму руху окрему проїжджу частину, ширина якої визначається інтенсивністю руху. Транспортні потоки повинні рухатися по виділених для них смугах руху як по каналах: траєкторія руху повинна розташовуватися лише в межах цього каналу, а вхід і вихід можливі лише в строго визначених

Список літератури

1. *Лобанов Е.М.* Транспортная планировка городов : М.: “Транспорт”, 1990 – 240 с.

2. *Гук В.* Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбаністиці. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.

УДК: 711.73:656.053 (045)

А.О. Прозоровська, аспірант,
Д.Б. Васюкович, аспірант,
О.В. Степанчук, доцент
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОСНОВНІ ВИДИ БАГАТОРІВНЕВИХ РОЗВЯЗОК ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ ТА ОСОБЛИВОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТУ

Наведено класифікацію транспортних багаторівневих розвязок вулично-дорожньої мережі, проаналізовано особливості та безпека руху на даних пересічень,

Зростаюча актуальність критеріїв безпеки та зручності руху вимагають підвищення резервів функціональних можливостей багаторівневих пересічень дороги ще на стадії розробки в проекті її планових і висотних рішень. Тому питання вдосконалення концептуальних і методологічних основ геометричного конструювання пересічень як і раніше є важливі й актуальні.

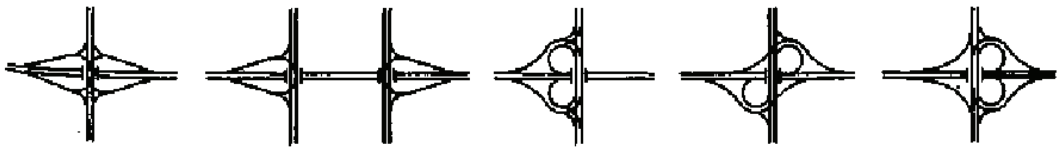
Сучасна концепція забезпечення безпечного та зручного руху полягає в такому проектуванні багаторівневих розв’язок вулично-дорожньої мережі , яке не обмежують і не змінюють швидкість руху.

Пересічення автомобільних доріг та міських вулиць у різних рівнях дозволяють, якщо не вирішити повністю, то принаймні зменшити гостроту таких проблем, як недостатня пропускна здатність перетину, транспортні втрати і безпека руху на ньому. Необхідна пропускна здатність на такому перетині забезпечується за рахунок пропуску потоків у прямих напрямках у різних рівнях та будівництва спеціальних з'їздів для потоків,що повертають. Все це дозволяє усунути черги автомобілів, зменшити транспортні витрати при автомобільних перевезеннях. Більш висока в порівнянні з перетинами в одному рівні безпека руху на пересіченнях в різних рівнях забезпечується за рахунок виключення з найбільш завантажених напрямків небезпечних конфліктних точок перетину.

Вартість перетинів в різних рівнях дуже висока. Основні витрати пов'язані з будівництвом головної транспортної споруди (тунелю або естакади), великих витрат потребує розміщення цієї споруди і всієї розв'язки на території міста та будівництво з'їздів. Вартості різних варіантів транспортної розв'язки на одному і тому ж перетині можуть відрізнятися в декілька разів залежно від повноти розв'язки та рівня забезпечення зручності руху. Чим вище транспортне завантаження перетину, тим більш досконалою повинна бути транспортна розв'язка. Економічна доцільність її визначається порівнянням витрат на будівництво і економією за рахунок скорочення транспортних втрат і кількості ДТП на перетині.

Перетини класифікують за повнотою розв'язки поверваючих потоків, за кількістю рівнів перетину потоків і за схемою організації лівоповоротного руху. По повноті розв'язки повертають потоків перетину бувають повні і неповні.

Перетинами в різних рівнях називаються повними, якщо на них відсутні конфліктні точки перетину потоків і кожен з повертаючих потоків рухаються окремими з'їздами. При відсутності хоча б одного з ліво-поворотних з'їздів перетин відноситься до неповних, оскільки на ньому або не забезпечується рух в усіх напрямках, або є конфліктні точки перетину (рис. 1).

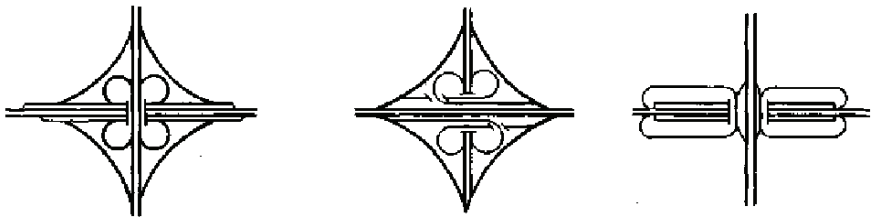


а) б) в) г)

Рис.1. а, б – ромб; в – неповний «лист конюшини»; г – покращений «лист конюшини».

За кількістю рівнів перетину потоків поділяють на розв'язки у двох, трьох і чотирьох рівнях. Найбільш розповсюджені розв'язки в двох рівнях. Транспортна розв'язка в трьох рівнях у 2,5-3,0 рази дорожче розв'язки в двох рівнях.

За схемою організації лівоповоротного руху перетини в різних рівнях ділять на розв'язки з петлеподібними лівоповоротними з'їздами типу «лист конюшини», напівпрямі і прямими поворотами ліворуч і з'їздами вільних обрисів на складних розв'язках з трьома пересічними напрямами і більше (рис.2)



а) б) в)

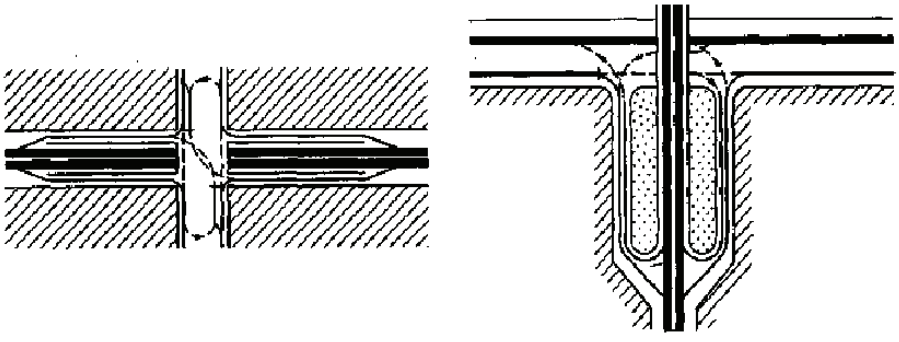
Рис.2. а - «лист конюшини»; б - «лист конюшини»з перехідношвидкостями смугами; в – стиснений «лист конюшини».

Найбільше поширення на автомобільних дорогах і в містах отримали неповні перетини. З повних перетинів найбільш поширені розв'язки типу «лист конюшини».

Повні транспортні розв'язки вимагають для свого розміщення великих площ, знайти які в місті, особливо в умовах сформованої забудови, часто неможливо. Крім того, не завжди інтенсивність лівоповоротних потоків виправдовує витрати на будівництво для них спеціальних з'їздів. Часто для досягнення необхідної пропускної здатності перетину досить забезпечити безперервний рух по головному (як правило, прямому) напрямку, а повертаючі потоки розв'язати за допомогою світлофорного регулювання.

При виборі схеми і планувального рішення неповної транспортним розв'язки транспортний тунель або шляхопровід розташовують на головному напрямку (якщо дозволяє рельєф місцевості), так як ці споруди забезпечують більш зручний рух транспортних потоків. Крім цього, таке планування дозволяє на головному напрямку виключити конфліктні точки перетину і розташувати їх на другорядному напрямку

На магістральних вулицях шириною в червоних лініях більше 50 м можливе розміщення транспортної розв'язки з лівоповоротними з'їздами за найбільш завантаженим напрямками. Прямий рух і лівий поворот з другорядного напрямку разв'язують за допомогою світлофорного регулювання (рис. 3, а). Розв'язки такого типу володіють високою пропускною здатністю на головному напрямку: неменше 1000 авт/год на одну смугу. Пропускна здатність однієї смуги другорядного напрямку при двофазному світлофорному регулюванні досягає 500 - 600 авт / год. Ці розв'язки доцільно на перетинах магістралей безперервного руху з вулицями категорії районної магістралі і нижче.



а) б)

Рис.3 Схема транспортних розвязок: а – з двома лівоповоротними з'їздами, б – на передмостовій ділянці.

Транспортні розв'язки типу «покращений неповний лист конюшини» часто застосовуються на перед-мостових площах (рис. 3, б). Лівоповоротні з'їзди таких розв'язок виконують за схемою петлі, тому для розміщення разв'язки потрібна значна площа: 100-150 м в довжину і 20 - 25 м в ширину по обидві сторони моста. Рух по набережній регулюється світлофором. Розрахунок неповної транспортної розв'язки включає розрахунок пропускної здібності у напрямку безперервного і регульованого руху, розрахунок плану і поздовжнього профілю транспортного тунелю або естакади, розрахунок геометричних елементів з'їздів і планово-висотне узгодження елементів планувального рішення розв'язки.

Міські транспортні розв'язки суттєво відрізняються від розв'язок на автомобільних дорогах розмірами геометричних елементів і площею займаної території. Незважаючи на це для всіх повних транспортних розв'язок характерні однакові принципи організації руху. На повних транспортних розв'язках точки перетину потоків усунені, але є конфліктні точки, що виникають при маневруванні повертаючих потоків. Ці точки розгалуження, що виникають перед початком з'їзду, злиття потоків після виходу зі з'їзду і переплетення потоків на ділянці, що розташована між двома з'їздами (рис. 4)

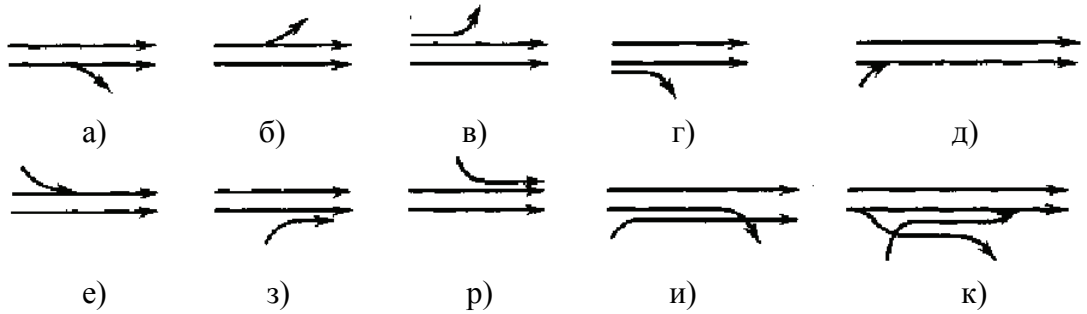


Рис. 4 Конфліктні точки на транспортних розвязках:
а-г – розділення, д-з – злиття, и,к – переплетення.

Розгалуження транспортних потоків пов'язано з необхідністю виходу автомобілів з основного потоку на з'їзд. Швидкість руху по з'їзду нижче, ніж швидкість основного потоку. У цій різниці швидкостей полягає небезпека такого маневру. Небезпечність конфліктних точок розгалуження може бути знижена за рахунок зменшення різниці швидкостей.

Повертаючі автомобілі можуть виходити з основного потоку вліво і вправо по ходу руху. Більш небезпечним є вихід вліво, так як він здійснюється з крайньої лівої смуги проїзної частини, автомобілі по якій рухаються з найбільшою швидкістю. Найбільш часто такі конфліктні точки зустрічаються на розв'язках з прямими поворотами ліворуч. При різниці швидкостей основного і виходить на поворот потоків до 20% конфліктні точки поділу не впливають на пропускну здатність транспортних розв'язок і оцінюються тільки за ступенем забезпеченості безпеки руху.

Конфліктні точки злиття виникають в зоні примикання з'їзду до основного напряму (або до іншого з'їзду). Небезпеність цих точок пов'язана з різницею швидкостей руху основного потоку автомобілів, що виходять зі з'їзду. Найбільш небезпечне злиття зліва по ходу основного потоку. Пропускна здатність точок злиття залежить від інтенсивності потоку, що має перевагу руху, як правило, основного напрямку, та планувального рішення зони злиття. Пропускна здатність конфліктних точок злиття змінюється в межах від одиниць автомобілів на годину до 1000-1200 авт./год чи в значній мірі визначає пропускну здатність всієї транспортної розв'язки. Зони переплетення виникають на ділянках, де виконуються зустрічні маневри зміни смуги руху з основного напрямку на з'їзд і зі з'їзду на основний напрямок. Такі зони типові для транспортних розв'язок типу «лист конюшини». Основний недолік цих зон - обмежена пропускна здатність. Наявність таких зон у схемі розв'язки є однією з причин відмови від такої схеми і переходу до розв'язкам з прямими поворотами

ліворуч. Пропускна спроможність зони переплетення залежить від її довжини і для транспортних розв'язок типу «лист конюшини» змінюється в межах 600-1000 авт. / год Підвищити пропускну спроможність зони переплетення можна за рахунок збільшення в ній кількості смуг руху до двох і відокремлення її від основної проїзної частини.

Висновки

Оскільки перехрещення у різних рівнях забезпечують безперервність і зростання швидкостей руху транспорту, вимоги до зручності і безпеки руху набувають особливого значення:

- правильне поєднання вертикального і горизонтального планування всіх елементів перехрещення з вхідними у вузол вулицями;
- вибір радіусів кривих для стійкості транспортних засобів;
- вибір найбільш простого планування, що забезпечує гарне орієнтування водіїв;
- створення смуг гальмування і розгону для перестроювання автомобілів, що повертають;
- влаштування невуличних пішохідних переходів.

Вибір типу перехрещення залежить від класифікації вулиць, що входять у транспортний вузол; інтенсивності й характеру руху; гідрогеологічних умов; плану прилягаючої території (наявності капітальної опорної забудови); наявності підземних комунікацій; рельєфу місцевості; пішохідного руху; інших факторів (розмірів капітальних вкладень, зручності реконструкції і стадійності будівництва в міру зростання інтенсивності руху).

Типи розв'язок на перехрещеннях вулиць і доріг установлюють відповідно до категорій, архітектурно-планувальних умов, рельєфу, розмірів руху, очікуваних швидкостей руху і техніко-економічних обґрунтувань.

При перехрещенні вулиць і доріг найбільш простими та економічними є рішення, коли одна з них проходить у тальвегу. У більшості випадків влаштування перехресть у різних рівнях пов'язано з перепланування рельєфу чи спорудженням тунелів і естакад.

Перехрещення автомагістралей у різних рівнях виправдовується тоді, коли воно забезпечує безпеку швидкого пересування великої кількості автомобілів, допомагає усунути вузькі за пропускною здатністю ділянки.

Список літератури

1. *Черепанов В.А.* Транспорт в планировке городов.-М.:1992 –294с.
2. *Лобанов Е.М.* Транспортная планировка городов : М.: “Транспорт”, 1990 – 240 с.
3. *Кливковштейн Г.И.* Организация дорожного движения.- М.: “Транспорт”, 1992 – 232 с.

УДК 625.717(045)

О.В. Родченко, к.т.н.,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ЖОРСТКИХ АЕРОДРОМНИХ ПОКРИТТІВ З УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ВПРОДОВЖ РОКУ

Статтю присвячено розробці теоретичних основ проектування жорстких покриттів аеродромів на дію температури в різні пори року. Отримано формули для визначення кількості проходів за смугою охоплення до відмови покриття для різних пор року. Використання результатів дослідження дозволяє підвищити науковий рівень проектування жорстких аеродромних покриттів та збільшити термін їх служби.

Основною задачею розрахунку цементобетонних аеродромних покриттів на дію температури є забезпечення умов протікання теплового режиму, безпечного для експлуатації покриття.

У чинних нормах проектування аеродромних покриттів [1] вплив температури враховується за допомогою коефіцієнту умов роботи. Недостатнє врахування зміни температури на етапі визначення прогнозованого терміну служби може призвести до зниження надійності отриманих висновків. Термін служби аеродромного покриття є важливою характеристикою споруди.

Функція розподілу температури за товщиною покриття виражається різними законами і залежить від часу доби та пори року.

Дія температури навколишнього середовища на цементобетонні покриття в залежності від характеру розподілу температури за перерізом плити та умов на контурі (опір на стиках) викликає появу напружень, що складаються з напружень від короблення плит та нерівномірності розподілу температури за перерізом, напружень від тертя – зчіплення плит із штучною чи природною основою, напруження від опору на контурі плит [2].

Короблення плит відбувається періодично цілий рік та змінює свій напрямок впродовж доби двічі і є одним із самих несприятливих видів температурних напружень [2, 4]. Найбільше короблення викликають добові коливання температури влітку. Взимку добові коливання температури зовнішнього повітря та температурний перепад в покритті значно менші, ніж влітку [2].

Варто зазначити, що в існуючих дослідженнях [3, 4, 5] розтягуючі температурні напруження на нижній поверхні цементобетонної плити визначаються тільки для періоду позитивних температур, а напруження на верхній поверхні плити не враховуються. У праці Горецького Л.І. [2] пропонується визначення температурних напружень на обох поверхнях плити для різних пор року та часів доби, але наведена методика не встановлює допустиму кількість злітно-посадкових операцій для різних пор року з урахуванням накопичення руйнувань від утоми впродовж проектного терміну служби аеродромного покриття.

При розрахунку товщини цементобетонного покриття пропонується використовувати концепцію руйнування від утоми, що виражається терміном „коефіцієнт накопичення руйнувань” (CDF) [6]. Цей коефіцієнт визначається як відношення кількості прикладених повторень навантажень до допустимого числа їх повторень до моменту відмови покриття.

Для одного повітряного судна з урахуванням зміни температури впродовж року CDF пропонується визначати за формулою:

$$CDF_p = \sum_{i=1}^{4} \sum_{j=1}^{2} CDF_{ij} , \qquad (1)$$

де i – пора року (1 – весна, 2 – літо, 3 – осінь, 4 – зима); j – час доби (1 – день; 2 – ніч).

При врахуванні двох розрахункових критеріїв (розтягуюче напруження на верхній та на нижній поверхні плити) [7] формула (1) отримає наступний вигляд:

$$CDF_{p,H} = \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2} CDF_{H,ij}; \quad CDF_{p,B} = \sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{2} CDF_{B,ij}. \qquad (2)$$

В свою чергу доданки у формулах (2) дорівнюють

$$CDF_{H,ij} = \sum_{k=1}^{m} \frac{N_k \cdot T}{C_{ijk}^{H} \cdot PCR_k}, \quad CDF_{B,ij} = \sum_{k=1}^{m} \frac{N_k \cdot T}{C_{ijk}^{B} \cdot 4{,}15}, \qquad (3)$$

де k – кількість повітряних суден, що враховуються при розрахунку; N_k - щорічна кількість операцій k-того повітряного судна; T - розрахунковий термін служби покриття, що приймається рівним 20 років; C_{ijk}^{H} - допустима кількість проходів k-того повітряного судна за смугою охоплення при використанні у якості розрахункового критерію розтягуючого напруження на нижній поверхні цементобетонної плити

$$C_{ijk}^{H} = 10^{12[1-f_{1,k}]}, \quad f_{1,k} = \frac{(\sigma_{\max,k}^{H} + \sigma_{T,ij}^{H})k_p}{k_t \overline{R}_{28}},$$

$\sigma_{\max,k}^{H}$ - максимальне розрахункове розтягуюче напруження на нижній поверхні плити при дії навантажень від опори k-того повітряного судна, МПа; $\sigma_{T,ij}^{H}$ - температурне напруження на нижній поверхні плити, МПа; k_p - коефіцієнт, що враховує ймовірність суми середніх значень випадкових величин $\sigma_{\max,k}^{H}$ та $\sigma_{T,ij}^{H}$, приймається рівним 0,75 відповідно до праці [3]; k_t - коефіцієнт, що враховує зростання міцності цементобетону у часі, приймається рівним 1,3 відповідно до праці [3]; $\overline{R}_{28}$ - середнє значення міцності бетону на розтяг при згині у віці 28 діб, МПа; PCR_i (pass-to-coverage ratio) - коефіцієнт, що виражає відношення кількості вильотів до кількості проходів k-того повітряного судна за смугою охоплення [6]; C_{ijk}^{B} - допустима кількість проходів k-того повітряного судна за смугою охоплення при використанні у якості розрахункового критерію розтягуючого напруження на верхній поверхні цементобетонної плити

$$C_{ijk}^{B} = 10^{12[1-f_{2,k}]}, \quad f_{2,k} = \frac{(\sigma_{\max,k}^{B} + \sigma_{T,ij}^{B})k_p}{0{,}65 \cdot k_t \overline{R}_{28}},$$

$\sigma_{\max,k}^{B}$ - максимальне розрахункове розтягуюче напруження на верхній поверхні плити в зоні між опорами k-того літака, що проходять в межах однієї плити, МПа; $\sigma_{T,ij}^{H}$ - температурне напруження на верхній поверхні плити, МПа; 0,65 – понижуючий коефіцієнт [7].

Руйнування від утоми цементобетонного покриття (утворення розвитку тріщини у розрахунковому перерізі плити) відбувається, коли коефіцієнт накопичення руйнувань (CDF) або сума пошкоджень дорівнює одиниці [6].

Товщина цементобетонної плити аеродромного покриття при дії навантаження від опор літаків визначається в ході ітераційного процесу. У випадку, коли не передбачається зміна товщини плити, визначається прогнозований термін служби $T_{\text{П}}$ жорсткого аеродромного покриття з цементобетону як відношення допустимої кількісті злітно-посадкових операцій до щорічної кількісті операцій.

У якості розрахункових формул для визначення температурних напружень в окремі періоди року пропонується використовувати вирази наведені у праці [2] із введенням вище запропонованих індексів:

1. Для літнього періоду

1.1. днем (підвищення температури) поблизу крайових та кутових ділянок плити:

а) на верхній поверхні плити

$$\sigma_{T,21}^{B} = \alpha E t_2^{B} + a_2 \frac{\alpha E}{1-\mu} t_{n,21}^{m}, \qquad (4)$$

де α - коефіцієнт лінійного розширення; E - модуль пружності цементобетону, МПа; t_2^B - температура на верхній поверхні плити, $°C$, що визначається за формулою

$$t_2^{B} = t_{cp,2} + t_{n,21}^{m},$$

t_{cp} - середньомісячна температура, приймається відповідно до СНиП 2.01.01-82, для весни приймається середньомісячна температура квітня, для літа – липня, для осені – листопада, для зими - лютого, $°C$; a_2 - параметр, що залежить від товщини покриття, відповідно до [2] при товщині цементобетонної плити 30 см параметр становить 0,65; при товщині 35 см – 0,70; при товщині 40 см – 0,75; при товщині 45 см – 0,78; μ - коефіцієнт Пуассона; $t_{n,21}^{m}$ - максимальне відхилення від середнього значення температури на поверхні покриття вдень, відповідно весною, влітку, восени та взимку, $°C$; в загальному вигляді визначається за формулою [2]:

$$t_{n,21}^{m} = \frac{t_{c,\max} - t_{c,\min}}{2} + \frac{k_{\Pi} \cdot I \cdot k_{12} \cdot k_{op} \cdot k_3}{a_H},$$

$t_{c,\max}$ - середньомаксимальна температура липня (СНиП 2.01.01-82), $°C$; $t_{c,\min}$ - середньомінімальна температура в липні (СНиП 2.01.01-82), $°C$; k_{Π} - коефіцієнт поглинання, для нового, сухого покриття приймається рівним 0,76 [4]; I - інтенсивність сонячної радіації (СНиП 2.01.01-82); k_{12} - коефіцієнт, що використовується для переведення добової радіації до годинної [4]; k_{op} - коефіцієнт послаблення інтенсивності сонячної радіації; k_3 - коефіцієнт ослаблення радіації за рахунок забруднення повітря над аеродромом; a_H - коефіцієнт теплопереходу [4];

б) на нижній поверхні плити

$$\sigma_{T,21}^{H} = \alpha E t_2^{H} - a_3 \frac{\alpha E}{1-\mu} t_{n,21}^{m}, \qquad (5)$$

де t_2^H - температура на нижній поверхні плити, $°C$; визначається за формулою [4]

$$t_2^{H} = t_{cp,2} + t_{n,21}^{m} \cdot e^{-h\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} \cos\left(-h\sqrt{\frac{\omega}{2a}}\right),$$

ω - кутова частота коливання температури впродовж доби $\omega = 2\pi/T$; T - тривалість повного періоду коливань температури; a - коефіцієнт температуропровідності; a_3 - параметр, що приймається відповідно до праці [2] рівним 0,38 при товщині плити 30 см, 0,35 – при 35 см, 0,32 – при 40 см, 0,27 – при 45 см;

1.2. для літнього періоду ніччю (зниження температури) поблизу крайових та кутових ділянок плити:

а) на верхній поверхні плити

$$\sigma_{T,22}^{B} = \alpha E\left(t_{c,2} + \frac{t_{c,\max} - t_{c,\min}}{2} - t_y\right) - a_5 \frac{\alpha E\left(t_{c,\max} - t_{c,\min}\right)}{2(1-\mu)}; \qquad (6)$$

б) на нижній поверхні плити

$$\sigma_{T,22}^{H} = \alpha E\left(t_{c,2} + 0{,}5\left(t_{c,\max} - t_{c,\min}\right)e^{-z\sqrt{\frac{\omega}{2a}}} - t_y\right) + a_6 \frac{\alpha E\left(t_{c,\max} - t_{c,\min}\right)}{2(1-\mu)}, \qquad (7)$$

де $t_{c,2}$ - середньомісячна температура, приймається відповідно до СНиП 2.01.01-82; t_y - температура укладки цементобетону; a_5 - параметр, при товщині плити 30 см складає 0,13; при 35 см – 0,19; при 40 см – 0,24; при 45 см – 0,28 [2]; a_6 - параметр, при товщині плити 30 см складає 0,13; при 35 см – 0,17; при 40 см – 0,21; при 45 см – 0,23 [2].

2. Для весінньо-осіннього періоду днем залишаються в силі формули (4) та (5), а ніччю – (6) та (7).

При цьому значення середньомаксимальної температури найбільш теплого місяця пори року та середньомінімальної температури потрібно приймати для весни квітень, а для осені найбільш холодний місяць, тобто листопад [2]. Максимальні відхилення від середнього значення температури на поверхні покриття вдень $t^m_{n,11}$, $t^m_{n,31}$ та вночі $t^m_{n,12}$, $t^m_{n,32}$ необхідно визначати відповідно для періоду весни та осені.

3. Для зимового періоду вночі та вдень напруження будуть виникати практично тільки із-за сил тертя – зчіплення та змерзання плити із основою. Інші напруження, що виникають влітку та в осінньо-весінні періоди, будуть відсутні, оскільки шви розкриті і, відповідно, немає опору на контурі, а температура по перерізу майже однакова [2]:

3.1. в денний час: на верхній поверхні плити $\sigma^B_{T,41} = -L\gamma f_{cp}$; на нижній – $\sigma^H_{T,41} = 2L\gamma f_{cp}$;

3.2. вночі: на верхній поверхні плити $\sigma^B_{T,42} = L\gamma f_{cp}$; на нижній поверхні плити $\sigma^H_{T,42} = -2L\gamma f_{cp}$, де L - довжина цементобетонної плити, м; γ - об'ємна вага, кН/м^3; f_{cp} - середній коефіцієнт тертя (зчіплення) [2].

Висновки

Запропонована методика розрахунку жорсткого аеродромного покриття дозволяє більш точно визначати прогнозований термін служби покриття, зменшити товщину цементобетонної плити та більш гнучко враховувати кількість вильотів літаків за порами року та часом доби, а не усереднено як це наведено у чинних вітчизняних та зарубіжних нормах проектування аеродромних покриттів.

Список літератури

1. СНиП 2.05.08-85. Аэродромы. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. — 59 с.

2. *Горецкий Л. И.* Теория и расчёт цементобетонных покрытий на температурные воздействия / Л. И. Горецкий — М. : Транспорт, 1965. — 284 с.

3. *Степушин А. П.* К обоснованию сроков службы жёстких аэродромных покрытий из цементобетона / А. П. Степушин // Проектирование, строительство и эксплуатация сооружений аэропортов: сб. науч. трудов МАДИ (ТУ). — М., 2001. — С. 12—28.

4. *Глушков Г. И.* Жёсткие покрытия аэродромов и автомобильных дорог / Глушков Г. И., Бабков В. Ф., Медников И. А. — М. : Транспорт, 1987. — 255 с.

5. *Houben L. J. M.* Design of Concrete Pavements / Houben L. J. M. // CT4860. Structural Design of Pavements. — 2006. — 110 p.

6. Advisory Circular 150/5320-6E. Airport Pavement Design and Evaluation, US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2008. — 122 p.

7. *Родченко О. В.* Вдосконалення проектування жорстких аеродромих покриттів на дію навантажень від опор літаків типу А380 / О. В. Родченко // Будівництво України. — 2010. — №5. — С. 40—43.

УДК 625.089.2(043.2)

В.С.Степура, к.е.н., доцент, В.В. Осадчук
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО РЕСАЙКЛІНГУ

В статті надається короткий аналіз недоліків існуючих технологій відновлення дорожніх одягів і перспективи використання нової технології – холодного ресайклінгу у дорожньому будівництві.

Нагромаджений за багато років так званий «недоремонт» існуючої мережі українських автомобільних доріг згубно позначився на сьогоднішньому стані їх покриттів і умов руху транспорту. Щоправда, після оголошених нещодавно пріоритетів у виділенні коштів на ремонтні роботи ця ситуація стала дещо поліпшуватися на дорогах магістрального напрямку і на столичних вулицях і проспектах.Набагато гірше, йдуть справи на дорогах територіального підпорядкування, особливо на надмірно віддалених від адміністративних центрів.

Напередодні вже розпочатого тисячоліття багато країн, у тому числі і розвинені, теж стояли перед подібною кризової проблемою недостатнього фінансування планів і робіт з відновлення та модернізації застарілих дорожніх мереж. Потрібні були нові рентабельні методи їх реанімації, які стали б альтернативою колишнім матеріаломістким і досить дорогим технологіям.

Однією з таких альтернатив став метод терморегенерації або термофрезерного відновлення втрачених у процесі експлуатації властивостей і якостей асфальтобетонного покриття. Економічна привабливість і доцільність цієї технології полягає в тому, що наявний в дорозі матеріал використовується повторно. Тому відпадає потреба вивозити з дороги видалений старий і завозити новий асфальтобетон. Однак цей гарячий метод себе не виправдав через швидке старіння бітуму і низькою довговічністю відновлених покриттів (руйнування починалися через 2-3 роки).

Справно відслуживши свій час в різних технологічних варіаціях термофрезерний спосіб почав поступово витіснятися методом холодного фрезерного видалення дефектних і зношених покриттів із заміною знятого асфальтобетону на привозний новий («свіжий») .

Цей метод з часом став технологічним пріоритетом для шляховиків більшості країн світу, незважаючи на очевидність його витратного характеру і відступ від головного принципу гарячої регенерації - безвідходності і економічності. Потрібно було знову шукати і розробляти інші альтернативні рішення. Так близько 12-13 років тому з'явилася приваблива і перспективна технологія холодного ресайклінгу. Вона отримала світове визнання за своє повернення до головних ідей терморегенерації, але на більш високому якісному рівні кінцевого результату, і в першу чергу щодо довговічності або термінів служби відновлюваних за цією технологією дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям. Незважаючи на свою відносну молодість, географія і обсяги практичного використання холодного ресайклінгу стали поступово розширюватися. Є підстави вважати, що пік популярності і виробничих успіхів, у тому числі і в Україні у холодного ресайклінгу ще попереду.

Довгий час в СРСР найбільш поширеним способом відновлення і підвищення міцності та експлуатаційних показників дефектних і зношених дорожніх одягів було влаштуання додаткового шару підсилення (4-5 см) поверх підготовленого ямковим ремонтом старого покриття. Недосконалість його полягала в тому, що через порівняно невеликий час на шарі підсилення копіювалися дефекти старого покриття, особливо так звані відображені тріщини. Попереднє армування старих тріщин спеціальними геосинтетичними сітками дещо зміщують термін їх появи, але не виключають зовсім.

Якщо врахувати обсяги накопиченого недоремонту, то слід визнати, що цей метод впроваджується у нас занадто повільно. Суть цієї нової для української дорожньої галузі

технології, полягає в тому, що для повторного або подальшого використання зруйнованого матеріалу зношеного і дефектного дорожнього одягу необхідне його зміцнення (стабілізація) комплексними добавками органічних (гарячий бітум, спінений бітум, бітумна емульсія) і мінеральних (в основному цемент, рідше вапно) в'яжучих. Для цього і створений холодний ресайклер, який здатний своїм потужним фрезерним барабаном подрібнити матеріал дорожнього одягу (покриття і основи) на глибину до 30 см, а в деяких випадках і більше, з одночасною його обробкою зазначеними в'яжучими (стабілізаторами) і з розподіленням рівним шаром. Подальше заключне ущільнення виконується дорожніми катками.

Як правило, такий оновлений зміцненням шар основи приймається або за верхній шар основи, або за нижній шар покриття. Тому на нього зверху додатково можуть бути улаштовані нижній і верхній шари покриття з гарячого асфальтобетону, тільки верхній гарячий шар покриття або зроблена проста поверхнева обробка. Це вирішують замовник з проектувальником в залежності від категорії дороги, інтенсивності руху транспорту і терміну служби дорожнього одягу.

Необхідно відзначити, що слід чітко поділяти холодний ресайклінг на малу глибину (дрібний чи неглибокий ресайклінг, до 10 см) і на велику глибину (глибокий ресайклінг, до 30 см і більше). Такий поділ обумовлює використання певного набору кількох різних машин, різних типів і кількості в'яжучих, різних витрат на виконання роботи (у дрібному ресайклінгу вони менші).

Взагалі холодний ресайклінг спочатку розроблявся як варіант глибокої спільної стабілізації (зміцнення) шарів покриття та основи бітумною емульсією з добавками цементу або вапна. Для цього створювалися і перші відповідні машини. Але, в процесі накопичення міжнародного досвіду, стала очевидною доцільність і навіть необхідність використовувати варіант дрібного ресайклінгу, потреба в якому може виявитися навіть вищою, ніж у глибокому. Для українських ремонтних об'єктів і можливостей у їх фінансуванні найбільш придатною може стати саме технологія неглибокого або дрібного ресайклінгу шарів покриття (до 10 см).

Висока і стійка якість зміцнених таким способом дефектних шарів покриття забезпечується свіжим спіненим бітумом, який утворюється під час його уприскування в гарячому вигляді (175-180 ° С) з цистерни бітумовозу і холодної води в робочу камеру ресайклера. У момент контакту з водою гарячий бітум збільшує свій об’єм до 20 разів, утворюючи піну, достатньої для необхідної обробки подрібненого матеріалу. У вспіненому вигляді бітум рівномірно і ретельно покриває кожну частку матеріалу, поліпшуючи його якість і скорочуючи до мінімуму (до 2,5-3%) свою витрату.

При підготовці об'єкту до ремонтних робіт за технологією холодного ресайклінгу виключно важлива і відповідальна роль інженерно-технологічної та лабораторної служб підрядника і проектувальника. Вони разом повинні дати точну оцінку реального стану дорожнього одягу або окремого покриття за результатами лабораторних випробувань, а також польових обстежень і вимірювань дефектів, руйнувань і прогинів дорожнього одягу. У кінцевому підсумку від цих результатів і оцінок залежить вибір варіанта технології холодного ресайклінгу - дрібний (неглибокий) або глибокий.

Не менш важливий другий етап підготовки, пов'язаний з підбором в’яжучих, зміцнення тривалого матеріалу дороги. На підставі відпрацьованої рецептури проводиться міцнісний розрахунок і конструювання нового дорожнього одягу (або покриття), складаються робочий проект і проект виконання робіт (ППР). Третій етап передбачає обов'язковий лабораторний і польовий контроль якості матеріалів і робіт. Без такого професійного контролю складу суміші, її міцності, щільності, товщини шарів і інших показників неможливий очікуваний кінцевий результат технології холодного ресайклінгу.

Два варіанти передбачуваного ремонту показані на схемі, в тому числі за допомогою дрібного холодного ресайклінгу (товщина шару або глибина 10 см, для зміцнення використовується бітумна емульсія з цементом або спінений бітум з цементом, їх витрата наведена на схемі, яка порівнюється з методом заміщення 10 см зношених верхніх шарів новим таким же шаром зі свіжої суміші.

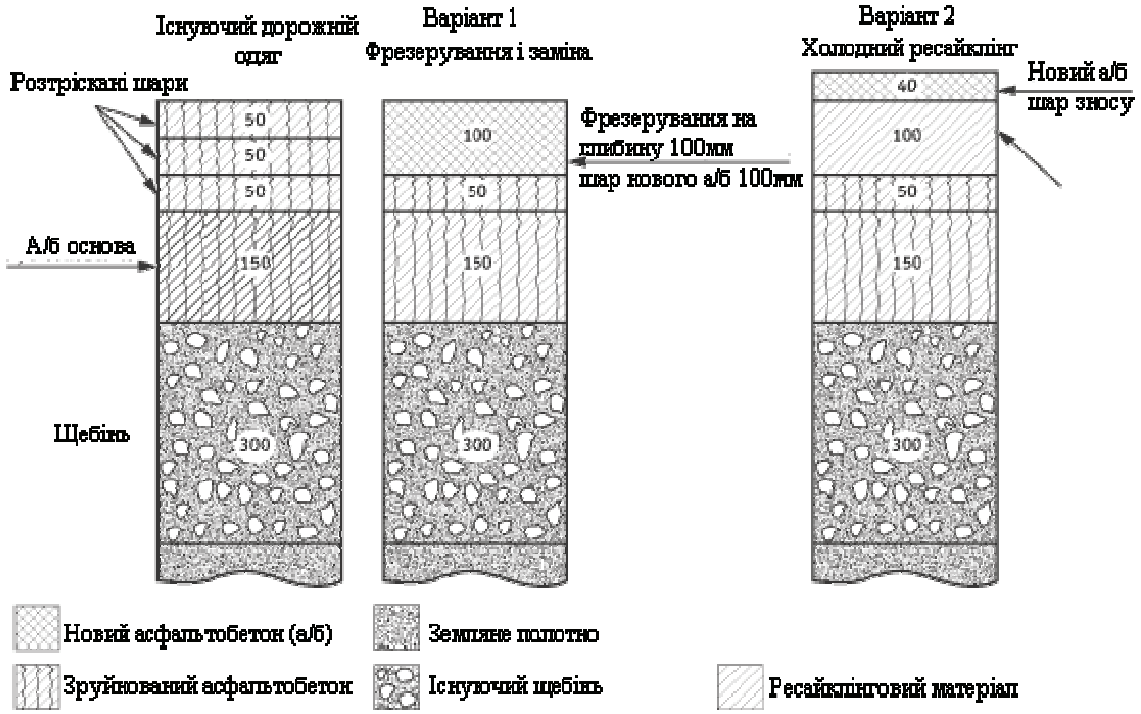


Рис. 1. Варіанти ремонту дефектного асфальтобетонного покриття

Несуча здатність і термін служби дорожнього одягу у цих варіантах прийняті однаковими і повинні відповідати завданням замовника. Підсумкові результати розрахунку витрат та вартості ремонту в розглянутих варіантах представлені в таблиці

Таблиця 1

Технологічна операція	Вартість, грн./м^2	
	Варіант 1	Варіант 2
Видалення холодною фрезою старого асфальтобетонного покриття з вивезенням крихти на склад, шар 10 см (фрезерування і перевезення)	29,09	-
Холодний ресайклінг старих шарів асфальтобетонного покриття на глибину 10 см з використанням 4% бітумної емульсії плюс 1,5% цементу або 2,5% спіненого бітуму з 1,5% цементу (сам матеріал, його доставка, зміцнення, вирівнювання, укочування)	-	38,86
Влаштування з нової (свіжої) суміші верхнього шару асфальтобетонного покриття (матеріал, його доставка, укладка, укочування) товщиною 4 см	-	38.78
Влаштуваня з нової (свіжої) суміші верхнього шару асфальтобетонного покриття (матеріал, його доставка, укладка, укочування) товщиною 10 см	96,96	-
Разом:	126,05	77,64

Примітка. Ставки і ціни на матеріали, їх перевезення та роботу машин прийняті середньоєвропейськими та орієнтовними, переведеними у гривню за орієнтовним курсом 8,00 грн. за 1 USD, ПДВ у розрахунках не враховано.

З аналізу вартості робіт випливає, що в даному конкретному прикладі метод холодного ресайклінгу (варіант 2) значно дешевше варіанта 1, більш ніж в 1,5 рази. Економія коштів на 1 м^2 може скласти майже 54 грн. або приблизно 352 тис. грн. на 1 км покриття шириною 7 м. Отже за одні й ті ж бюджетні кошти за допомогою технології дрібного холодного

ресайклінгу можна відремонтувати українських доріг з подібними дефектами у 1,5 рази більше.

Не менш важливим показником нової технології є продуктивність або швидкість ремонту покриттів. Зазвичай робоча швидкість ресайклера задається ППР і може значно змінюватись у відповідності з конкретними умовами виконання ремонту. Однак, у найзагальніших рисах, реальна швидкість холодного ресайклера змінюється від 5м/хв (фрезерне подрібнення жорстких і міцних матеріалів на максимальну глибину 40 см) до 24м/хв (подрібнення і перемішування менш міцних матеріалів шаром не більше 10 см). При середніх умовах експлуатації робоча швидкість відповідає 9-12 м/хв або, в середньому, 10м/хв. За 8 годин на такій швидкості холодний ресайклер з шириною фрези 2,33 м здатний виконати свою роботу на 1,2 км покриття шириною 7 м. При вахтовій зміні (12 год) протяжність підготовленого шару дорожнього одягу під укладання подальшого верхнього шару може зрости майже до 2 км. А це не тільки здешевить, але й скоротить загальний термін ремонту дорожнього одягу з асфальтобетону.

Без перебільшення можна сказати, що по ресурсозбереженню метод холодного ресайклінгу не має собі рівних, оскільки не передбачає використання великої кількості нових матеріалів, а, відповідно, мінімізує транспортні витрати. Цей метод дозволяє ефективно використовувати матеріали старого дорожнього одягу. Усунення тріщин у старих шарах при холодному ресайклінгу виключає їх відображення у покритті. Проведення дорожньо-будівельних робіт без розігріву старого матеріалу завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу.

Адаптована до місцевих умов і матеріалів технологія холодного ресайклінгу, яка здійснюються безпосередньо на дорозі і дозволяє виконати холодне фрезерування асфальтобетонних та інших шарів дорожнього одягу, одночасне введення у фрезеровану суміш в'яжучого і нового кам'яного матеріалу й інших добавок; виконує змішування всіх компонентів; розподілення отриманої суміші у вигляді шару та його ущільнення.

Висновки

Метод холодного ресайклінгу може бути успішно застосований для переведення перехідних дорожніх одягів у полегшені, а останні — у капітальні. Даний метод також дозволяє здійснити підсилення завантаженої смуги руху, не зачіпаючи інших смуг, коли останні ще не виробили свій ресурс.

Сукупність позитивних характеристик технології холодного ресайклінгу робить цю технологію як в технічному, економічному та екологічному відношеннях надзвичайно перспективну, і розвиток і широке її використання в майбутньому.

Список літератури

1.*Костельов, М.П.* Технология холодного ресайклинга. Дорожная техника, 2004, No. 3, с. 98-102.

2.С.Ф. Филатов. Восстановление асфальтобетонных покрытий методом холодного ресайклинга / Учебное пособие. - Омск: СибАДИ, 2009. - 72 с.

3.*Баринов Е.Н.* Основы теории и технологии применения асфальтобетонов на вспененных битумах. Л.: ЛГУ, 1990. 175с.

3.*Канарчук В. Є.Лудченко О. А., Чигринець А. Д.* Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів - К.: Вища школа, 1994. - 599 с.

4. Ремонт и содержание автомобильных дорог: Справочник инженера-дорожника. Под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.

5. ДБН В.2.3-4-2000. Автомобільні дороги. – Київ: Держбуд України, 2000. – 115 с.

6. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. – Київ, 1997. – 183 с.

УДК: 625.717.02:624.042(045)

С.Ю. Тімкіна, старший викладач
(Національний авіаційний університет, Україна)

НАВАНТАЖЕННЯ ТА ВПЛИВИ НА АЕРОДРОМНІ ПОКРИТТЯ

В статті розглядаються питання пов'язанні з навантаженнями та впливами на аеродромні покриття, а саме: силовий вплив (експлуатаційні навантаження), природно-кліматичні впливи, вплив високотемпературних газових струменів авіаційних двигунів

В процесі експлуатації аеродромних покриттів на них діє навантаження від колісних опор повітряних суден. Особливості цих навантажень враховуються при розрахунку та конструюванні покриттів різних типів. При зльоті, посадці, рулінні та стоянці повітряних суден величина та час прикладання навантаження на покриття змінюються в залежності від режиму руху літака. На рис. 1 наведені графіки зміни швидкості та навантаження від літаків на тверду злітно-посадкову смугу (ТЗПС) під час розбігу та пробігу.

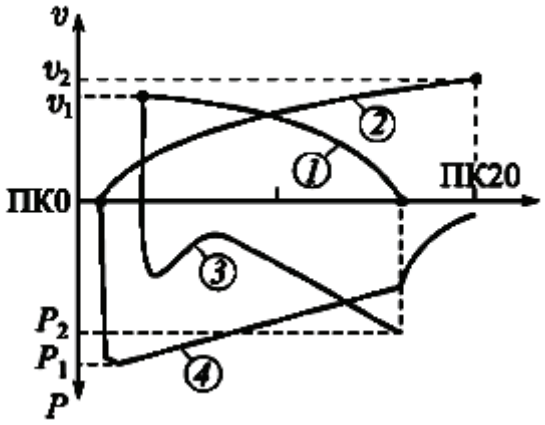


Рис. 1. Зміни швидкості літака V та навантаження P на покриття ТЗПС:
1 – пробіг (V_1 – посадочна швидкість); 2 – розбіг (V_2 – швидкість відриву);
3 – пробіг (P_1 – статичне навантаження під час стояння від опори після посадки);
4 – розбіг (P_2 – статичне навантаження під час стояння перед зльотом)

Зліт, посадка та руління повітряних суден передбачається, як правило, вздовж осьової лінії елементів аеродрому (ТЗПС, рубіжна доріжка (РД)), однак на практиці цього досягнути важко, особливо при виконанні посадки. Статичні спостереження показують, що розподілення повторення навантаження близькі до нормального закону розподілення. Відхилення повітряного судна від осьової лінії при рулюванні на РД та при зльоті на ТЗПС значно менше, ніж при посадці.

Рух повітряного судна зі швидкістю 30-40 км/год по РД та вирулювання на ТЗПС перед зльотом чинить на покриття найбільший вплив по ряду причин. По-перше, відсутній розвантажувальний ефект підйомної сили; по-друге, літак перед зльотом має максимальну вагу; по-третє, руління здійснюється з малими відхиленнями від осьової лінії покриття елементу аеродрому; по-четверте, при наявності нерівностей (уступи у швах між плитами, злами профілю, вибоїни, сколи кромок тощо) в покритті виникають додаткові зусилля при русі колісної опори.

Зростання злітної ваги повітряних суден супроводжується ускладненням їх опор, тому сучасні літаки мають опори різних конфігурацій (рис.2). Збільшення числа коліс на основних опорах та кількості самих основних опор являється об'єктивним процесом "утримання" навантаження на покритті в розумних межах, в протилежному випадку виникає необхідність

його повної реконструкції з метою підсилення. Таке різноманіття параметрів основних опор потребує їх врахування при розрахунку та проектуванні сучасних аеродромів.

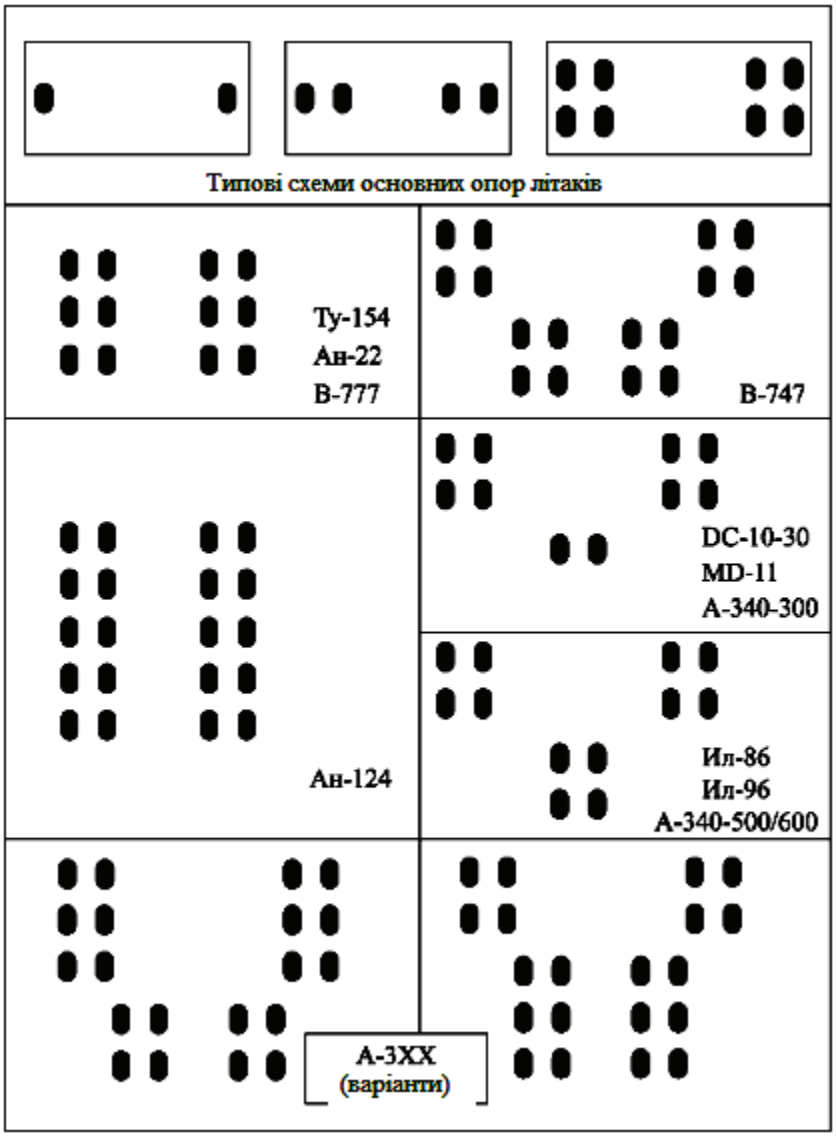


Рис. 2. Схеми основних опор літаків

При русі любого літака по покриттю незалежно від конфігурації основних опор (число коліс та відстань між ними) у розрахунковому відношенні розглядається одна злітно-посадкова операція та один цикл змінення параметрів напружено-деформованого стану. Однак на практиці спостерігається інше.

Особливості впливу колісних навантажень від опор літака на покриття характеризують їх як комплексні, параметри яких залежать від багатьох факторів, включаючи зміну величини навантаження та швидкості її дії, розподілення повторення прикладання навантаження, багатоколісність основних опор важких літаків.

При розрахунку покриттів рекомендується враховувати вплив повітряних суден різних типів, які передбачається експлуатуватися на аеродромі.

У завдані на проектування вказується типова опора (одно-, двох- або чотирьохколісна) та прогнозується число злітно-посадкових операцій або повторення (інтенсивність) прикладання навантаження.

Крім конфігурації опри, норми регламентують величину навантаження на опору та тиск у пневматиках коліс: 850, 700, 550, 400, 300 кН на чотирьохколісну опору з тиском у

пневматиках 1 МПа – відповідно для п/к, I, II, III, IV категорії нормативних навантажень; 80 та 50 кН на одноколісну опору з тиском у пневматиках 0,6 і 0,4 МПа – для V та VI категорії нормативних навантажень.

Існує другий підхід до врахування складу руху літаків по покриттю. Він базується на виборі розрахункового літака, що здійснює, як правило, найбільший вплив на покриття, та визначені еквівалентного числа прикладань розрахункового навантаження, що враховує "вклад" інших повітряних суден, які передбачається експлуатувати на покритті, що проектується.

В нормах розрахункове число прикладань навантаження визначається множенням числа зльотів кожного типу повітряного судна на коефіцієнт приведення і на число осей основної опори з наступним сумуванням отриманих значень. Коефіцієнти приведення визначаються за спеціальним графіком в залежності від співвідношення внутрішніх зусиль, що виникають в конструкції покриття при дії навантаження, що розглядаємо, та розрахункового навантаження – жорстких покриттів, або від співвідношення характеристик коліс розрахункової і опори, що розглядаємо – для нежорстких покриттів.

Надійність та довговічність аеродромних покриттів у багатьох випадках визначається конструктивним рішенням, що закладається у проект, якістю матеріалів, що використовується, технології будівництва, адекватністю розрахункових моделей системи "покриття – основа" реальній картинці, умовам експлуатації, а також об’ємам зовнішньої дії , що враховуються при проектуванні (температура зовнішнього середовища, вологість, гідрологія, сейсміка, рельєф тощо).

З усього різноманіття факторів, що впливають на покриття, найкращим чином до теперішнього часу вивченими являються силові дії. Вони входять складовою частиною в математичні моделі та в методи розрахунку несучої здатності та міцності покриттів і основи. Крім того. Достатньо добре вивчені фізико-механічні властивості матеріалів, що використовуються при будівництві покриттів. Але в цій частині, за рідким виключенням, наші знання обмежені, в основному рамками нормальної температури та вологості.

В результаті температурно-вологістних впливів і особливо при перезволожені основи (що відбувається всюди при поганому стані швів, через які проникає дощова вода, та при природній міграції вологи знизу у бік покриття через пошкоджену систему дренажу, або неправильно запроектованій основі) змінюється структура матеріалів у покритті та основі, погіршуються їх властивості.

Передбачити ці процеси та прийняти відповідні технічні рішення без попередніх розрахунків дуже важко, так як для цього необхідна повна інформація про зміни, що відбуваються у природі (зміни температури та вологості зовнішньої середи, сонячної радіації, швидкості вітру тощо). Крім цього, необхідно знати такі характеристики матеріалів покриття (бетон, асфальт) та основи, як теплопровідність, вологопровідність, температуропровідність, коефіцієнти переносу тепла та переносу речовини, питома теплоємність та вагоємність матеріалів, питома теплова фазових перетворень, інтенсивність внутрішніх джерел тепла та вологи та інше, а також закони зміни цих властивостей в залежності від зміни температури і вологості в широких межах – від підвищення температури аж до низьких від’ємних.

Природно-кліматичні умови (впливи) є невід’ємними та основною частиною зовнішніх навантажень, які, в кінцевому результаті, і визначають значення температурних та вологістних деформацій та напружень у аеродромних покриттях.

При вирішені задач про температурний режим в системі "покриття – основа" необхідно правильно сформулювати граничні умови особливо на межі "повітря – покриття".В загальному вигляді зазвичай приймають граничні умови III роду, куди входить коефіцієнт тепловіддачі.

При появі перших реактивних повітряних суден експлуатаційні підрозділи аеродромів зіткнулися з фактами порушення структури верхніх шарів аеродромних покриттів

(струменевою ерозією) під впливом високотемпературних потоків, що виходять з сопла двигунів. Високотемпературні потоки викликають в покритті виникнення гостро виявлених нестаціонарних температурних полів, які, в свою чергу, являються причиною температурних напружень та деформацій в цементобетонних покриттях. В ряді випадків високотемпературні потоки можуть призводити до оплавлення матеріалу в покриттях нежорсткого типу.

Дія високотемпературних газових струменів в найбільшому ступені спостерігається на покриттях місць стоянки та площадок для випробування роботи двигунів, а також на кінцевих ділянках ЗПС. В край неприємних умовах опиняється покриття, на яких базується військова авіація з низько розташованими двигунами, а також літаки вертолітного зльоту та посадки.

Розглядати вплив високотемпературних газових струменів авіаційних двигунів рекомендується:

– для цементобетонних аеродромних покриттів з метою розрахунку та прогнозування процесів розповсюдження температурних полів та визначення термонапруженого стану, що дозволить проаналізувати поведінку бетонної поверхні та при необхідності прийняти рішення про зміну складу бетону на ділянках або в конструкції, що підлягають інтенсивному нагріванню (наприклад, використовувати жаростійкій бетон);
– для асфальтобетонних аеродромних покриттів з метою прогнозування глибини розплавлення асфальту та видування високошвидкісними газовими потоками розплаву разом з твердими частками, що складають асфальтобетон; для розробки методів захисту шару асфальтобетону, що підлягає високотемпературному нагріванню, підвищення його термостійкості, наприклад, способом цементації поверхні спеціально підібраним матеріалом або запилення поверхні термостійким розчином, що утворює захисну плівку.

Висновки

При проектуванні аеродромних покриттів слід враховувати багато факторів: навантаження від повітряних кораблів, схему основної опори літака, природно-кліматичні впливи та дію високотемпературних газових струменів авіаційних двигунів. Чітке врахування вище перерахованих факторів дозволяє запроектувати більш надійне та довговічне аеродромне покриття.

Список літератури

1. *Блохин В.И., Белинский И.А., Циприанович И.В., Билеуш А.И.* Аэродромы гражданской авиации: учебник для вузов ГА. - М.: «Воздушный транспорт», 1996. - 400 с.

2. *Кульчицкий В.А., Макагонов В.А., Васильев Н.Б., Чеков А.Н., Романков Н.И.* Аэродромные покрытия: современный взгляд. - М: Физико-математическая литература, 2002. – 528 с.

3. *Белинский И. А., Билеуш А.И. и др.* Особенности строительства и эксплуатации аэропортов в условиях зарубежных стран: Учебное пособие. - Киев: КИИГА, 1993. - 176 с.

УДК 625.72:656.11

Н.В. Кужель, аспірант
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ – СЛІДУВАННЯ ЗА ЛІДЕРОМ НА ОСНОВІ GPS-НАВІГАЦІЇ

Стаття присвячена побудові завадостійких методів аналізу моделі транспортного потоку – слідування за лідером та розрахунку часу реакції водія в різних режимах руху автомобілів апробовані на реальних даних з GPS-приймачів.

При розв'язанні питань, пов'язаних зі зменшенням числа дорожньо-транспортних пригод (особливо викликаних зіткненням автомобілів між собою), необхідно детально вивчити взаємодію автомобілів, що рухаються один за одним.

Для того, щоб в сучасних умовах дослідити модель руху за лідером для реальних об'єктів потрібно обробляти дані про рух зв'язаних об'єктів, наприклад, за допомогою GPS-приймача, які отримані з похибками (похибки викликані неточністю вимірювальної апаратури – 0,5 м середня похибка).

Аналіз руху двох автомобілів в моделі транспортного потоку – слідування за лідером і обробку траєкторії руху автомобілів отриманих з GPS-приймачів, було проведено із застосуванням розроблених нами нових чисельних методів знаходження похідної від функції, яка спостерігається на фоні шумів [6].

Для цього було проведено експериментальне дослідження мікро-моделі транспортного потоку – слідування за лідером в колоні транспортного потоку міста Києва в сучасних умовах та режимах руху автомобілів із використанням GPS-приймачів (радіоприймальних пристроїв для визначення географічних координат поточного розташування антени приймача, на основі даних про тимчасові затримки приходу радіосигналів, випромінюваних супутниками), які були встановлені на автомобілях на автомобілях Volkswagen Transporter та Volkswagen Passat (рис.1).

а) б) в)

Рис. 1. Підготовка проведення експерименту:
а) – встановлення антени GPS-приймача OEMV-1 на автомобіль Volkswagen Transporter;
б) – встановлення антени GPS-приймача OEMV-3 на автомобіль Volkswagen Passat.
в) – встановлення комп'ютерного забезпечення для отримання даних місцезнаходження автомобілів через інтерфейс GPS-приймача.

Експериментальне дослідження моделі транспортного потоку було проведено за наступним маршрутом:

- Національний авіаційний університет;
- Індустріальний шляхопровід;
- Шулявський шляхопровід;
- Індустріальний шляхопровід;
- Проспект космонавта Комарова;
- Площа Гната Юри;
- Національний авіаційний університет.

Було отримано мапу з позначеним маршрутом експерименту, отриманих реальних даних із GPS-приймачів.

GPS-приймач обчислює власне положення, вимірюючи час, коли було послано сигнал із GPS супутників. Приймач використовує час отримання повідомлення для обчислення відстані до супутника, виходячи з якої, шляхом застосування геометричних та тригонометричних рівнянь обчислюється положення GPS-приймача. Отримані координати перетворюються в більш наочну форму, таку як широта та довгота, або положення на карті, та відображається користувачеві. Для обчислення положення необхідно отримувати інформацію із 4-х супутників і більше (3 просторові координати і час передачі координат).

Іншими словами, GPS приймач використовує чотири параметри для обчислення чотирьох невідомих: x, y, z та t.

Записи даних з GPS-приймачів наведені на рис. 2. Перший стовпчик – час (секунди поточного місяця), одержаний за допомогою атомних годинників.

Рис. 2. Записи даних з GPS-приймачів

Під час експерименту були одержані записи вільного руху транспортних засобів та руху в щільному потоці («тянучка», «пробка») в сучасних умовах та режимах руху автомобілів.

Далі наведемо приклади записів фрагментів руху двох «зв'язаних» транспортних засобів, приклади розрахунку їх швидкостей та часу реакції водія класичним і запропонованими методами, розробленими нами [6].

Розглянемо результати записів даних фрагменту руху двох автомобілів у щільному транспортному потоці («тянучка»).

Згідно з формулою моделі руху за лідером $\frac{dv_n}{dt} = \frac{1}{t_p}\left(v_{n+1} - v_n\right)$,

час реакції водія: $t_p = \frac{\left(v_{n+1} - v_n\right)}{\frac{dv_n}{dt}}$, де $\frac{dv_n}{dt}$ – прискорення заднього автомобіля;

V_n, V_{n+1} – швидкості заднього і переднього автомобілів; t_p – час реакції водія.

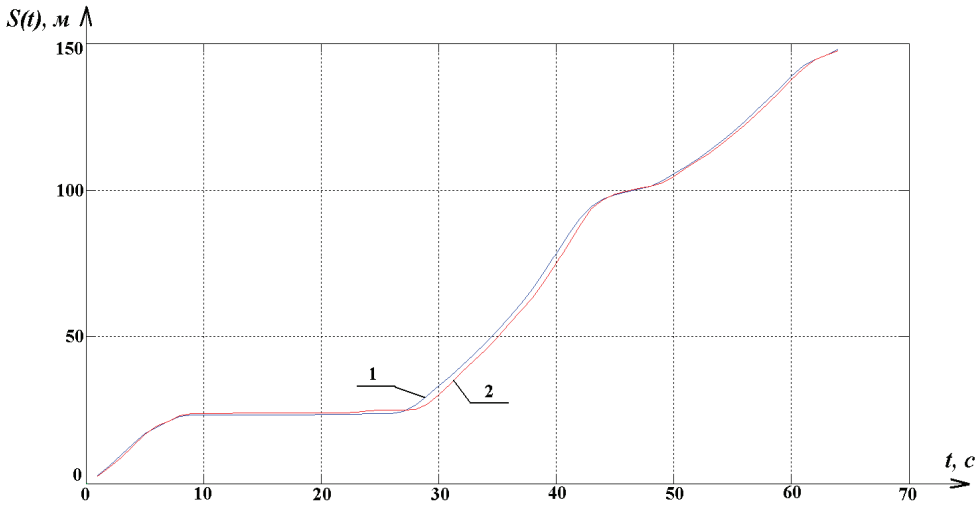


Рис. 3.8.6. Фрагмент руху двох автомобілів у щільному транспортному потоці («тянучка»), де 1 – рух лідируючого автомобіля; 2 – рух автомобіля, який слідує за лідером в транспортному потоці.

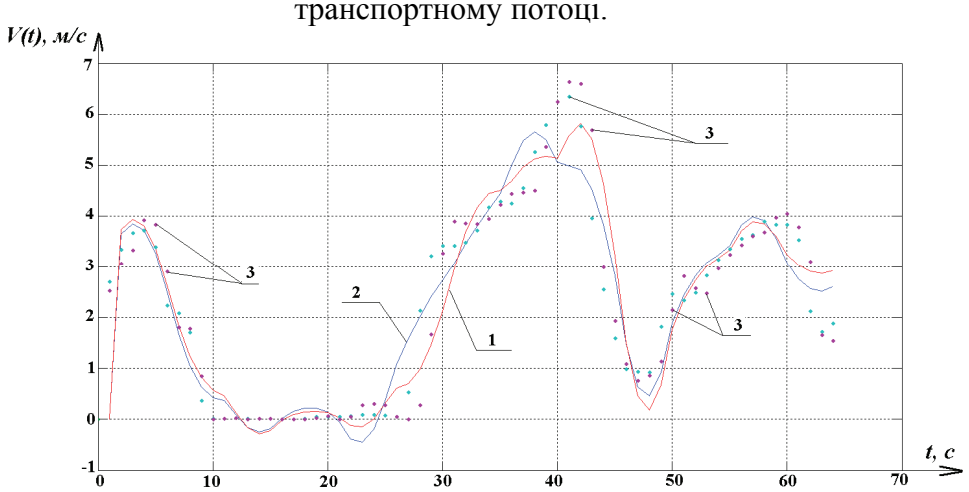


Рис. 3.8.7. Розрахунок швидкостей класичним методом,
де 1 – швидкість лідируючого автомобіля; 2 – швидкість автомобіля, який слідує за лідером в транспортному потоці; 3 – швидкості, розраховані як розділена різниця.

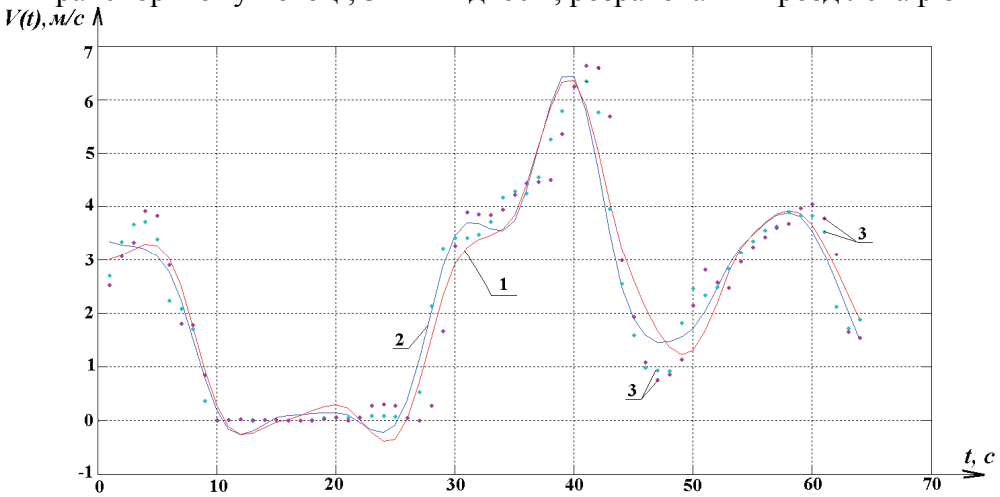


Рис. 3.8.8. Розрахунок швидкостей запропонованим методом,
де 1 – швидкість лідируючого автомобіля; 2 – швидкість автомобіля, який слідує за лідером в транспортному потоці; 3 – швидкості, розраховані як розділена різниця.

Навіть візуально видима «плавна» структура обчислених швидкостей, що відповідає реальному стану.

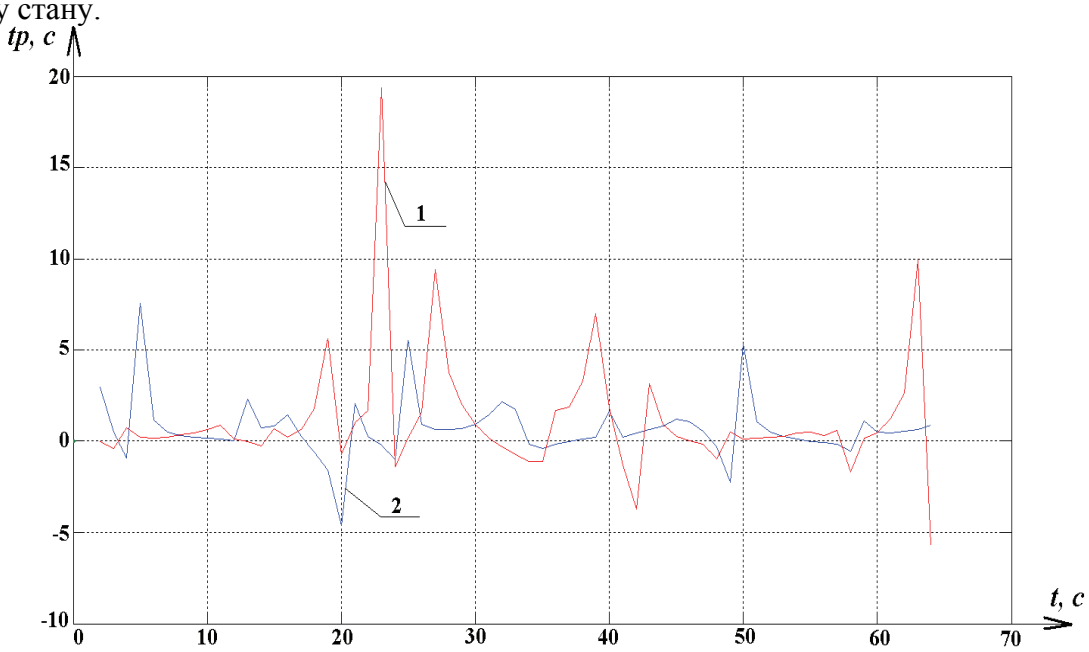


Рис. 3.8.9. Розрахунок часу реакції водія,
де 1 – час реакції водія, розрахований класичним методом;
2 – час реакції водія, розрахований запропонованим методом.

Висновки

1. Побудовано завадостійкі методи аналізу моделі слідування за лідером та розрахунку часу реакції водія в різних режимах руху апробовані на реальних даних з GPS-приймачів OEMV-1 та OEMV-3 та отримано наступні результати:
   - При обрахунку параметрів мікро-моделі транспортного потоку – слідування за лідером в щільному потоці встановлено, що середній час реакції водія, обчислений класичним методом – 1,1 сек. Середньоквадратичне відхилення часу реакції водія – 3,35 сек.
   - Середній час реакції водія, обчислений запропонованим методом – 0,64 сек. Середньоквадратичне відхилення часу реакції водія – 1,65 сек.

2. Не дивлячись на малі (на рисунках візуально непомітні) відносно пройденого шляху похибки вимірювання координат руху автомобіля, при знаходженні похідних вони значною мірою спотворюють графіки швидкості. Це особливість чисельного диференціювання.

3. Швидкість та час реакції водія запропонованим методом розраховуються точніше ніж класичним. На це вказує менше середньоквадратичне відхилення параметрів, які обчислюються.

Список літератури

1. *Хейт Ф.* Математическая теория транспортных потоков – М: Изд-во «Мир», 1966.- 286 с.
2. *Сильянов* В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения – М.: «Транспорт», 1977. – 300 с.
3. *Лобанов Е.М., Сильянов В.В.* Продолжительность реакции водителей в реальных дорожных условиях. –М.: Изд-во МАДИ, 1974, с.155-160. (Труды Моск. автом-дор. ин-та, вып. 72)
4. *Лобанов Е.М.* Время реакции водителя – М.: «Труды МАДИ», 1975, вып. 95, с.84-109.
5. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике – М.: «Наука», 1984. – 831 с.
6. *Бєлятинський А.О., Кужель Н.В.* Метод чисельного розрахунку похідної з використанням швидкого сплайн-перетворення // Вісник інженерної Академії України – 2010. – № 2. – С.50 – 53.

УДК 625.72

Є.Б. Угненко, доктор технічних наук,
О.М. Тимченко, аспірант
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна)

ВПЛИВ ПОВТОРНОГО КОРОТКОЧАСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТУ

В статті наведено залежності, за допомогою яких можна оцінювати зміни міцності ґрунту, який тривалий час працював під дією повторюваного короткочасного навантаження, тобто в умовах цикличної повзучості. Розглянуто вплив повторного короткочасного навантаження на міцнісні властивості ґрунту.

Під дією короткочасних навантажень від рухомих транспортних засобів ґрунт активної зони земляного полотна з часом може змінювати свої початкові властивості, зокрема, параметри, які характеризують його міцність на зсув. Цю обставину треба враховувати при проектуванні реконструкції дорожніх одягів і вирішенні питань, пов'язаних з разовим пропуском транспортних засобів особливо великої вантажопідйомності. У статті наведено залежності, за допомогою яких можна оцінювати зміни міцності ґрунту, який тривалий час працював під дією повторюваного короткочасного навантаження, тобто в умовах цикличної повзучості. Міцність приймається рівною напруженням (або їх комбінації), які руйнують ґрунт протягом декотрого цілком визначеного часу.

Задача формулюється таким чином. Припустимо, наявним є два аналагічних зразки ґрунту. Перший залишаємо у спокої, а до другого прикладаємо N циклів короткочасних напружень. Після цього обидва зразки випробуємо на міцність за однаковою методикою, руйнуючи їх за один і той же час t_p. Треба дати відповідь на питання: наскільки будуть відрізнятися ці два зразки за міцністю.

Будемо вважати, що напруження τ прикладаються протягом часу t у вигляді послідовних імпульсів прямокутної форми, тобто згідно з законом

$$\tau(t) = \tau_{\text{д}} \sum_{k=0}^{N-1} \left[H_(t - kT_{\text{ц}}) - H_(t - kT_{\text{ц}} - \theta \right], \tag{1}$$

де $T_{\text{ц}}$, θ і $\tau_{\text{д}}$ – відповідно період, тривалість одного циклу і амплітуда напружень;

$H_(x)$ – одинична асиметрична функція Хевісайду [4], така, що $H_(x)=0$ при $x < 0$ і $H_(x)=1$ при $x \geq 0$.

Припустимо,що крива тривалої міцності недеформованого ґрунту описується деякою функцією $\tau_{\text{c}} = f_1(t_p)$, така ж крива, але після циклічної повзучості - $\tau_{\text{c}} = f_2(t_p)$. У роботі [5] доводиться, що в разі, коли

$$f_1(t_p) = \beta_0 / \ln \frac{t_p}{T_0},$$

де β_0, T_0 – константи ґрунту, значення коефіцієнта зміна міцності k може бути знайдено за допомогою виразу

$$k = f_2(t_p) / f_1(t_p) = \ln \frac{t_p}{T_0} / (\ln \frac{t_p}{T_0} - \Delta\overline{U}) \tag{2}$$

де $\Delta\overline{U}$ - повний приріст «енергії активації» ґрунту в процесі його деформування, який визначається згідно з теорією кінетичної міцності та повзучості ґрунтів С.С. Вялова [1] за формулою:

$$\Delta\overline{U} = \overline{U}_{\text{зм}} - \overline{U}_{\text{рсл}}, \tag{3}$$

де $\overline{U}_{\text{зм}}$ і $\overline{U}_{\text{рсл}}$ - відповідно приріст «енергії активації», що витрачається на зміцнення структури та її розслаблення.

Згідно з [1] під час дії постійних напружень τ значення $\overline{U}_{\text{рсл}}$ і $\overline{U}_{\text{зм}}$ змінюється з часом *t* таким чином:

$$\overline{U}_{\text{рсл}} = \lambda_1 \bar{\tau} \ln\left(\frac{t}{t^*}+1\right), \tag{4}$$

$$\overline{U}_{\text{зм}} = \lambda_2 \bar{\tau} \ln\left(\frac{t}{t^*}+1\right), \tag{5}$$

де $\bar{\tau} = \tau/(\tau_0 - \tau)$, τ_0 – умовно-миттєва міцність;

t^* - одиниця виміру часу, наприклад, t^*=1 с;

λ_1, λ_2 – константи ґрунту.

Визначимо, як буде змінюватись $\overline{U}_{\text{рсл}}$ і $\overline{U}_{\text{зм}}$ внаслідок дії навантаження за законом (1) в залежності від кількості прикладених циклів *N*. Просте рішення типу

$$\overline{U}_{\text{рсл}} = N\lambda_1 \tau_{\text{д}} \ln(t+1),$$

що виходить безпосередньо з (4) тут неприпустиме, принаймні, через дві обставини: по-перше, при цьому не враховується вплив коефіцієнта заповнення циклу $\theta/T_{\text{ц}}$, а, отже, і $1-\theta/T_{\text{ц}}$, тобто час «відпочинку» ґрунту між двома імпульсами напружень, а, по-друге, звідси виходить, що перший і останній цикли однаково впливають на кінцеве значення $\overline{U}_{\text{рсл}}(N)$. Разом з тим, з (1) виходить, що дія повторного короткочасного навантаження може розглядатись як результат впливу послідовно прикладених у певні моменти часу рівних за величиною, але протилежних за знаком статичних напружень. Ґрунтуючись на цьому, з (4) можна одержувати такий вираз:

$$\overline{U}_{\text{рсл}}(N) = \lambda_1 \bar{\tau}_{\text{д}} \left[\sum_{k=0}^{N-1} \ln(kT_{\text{ц}} + \theta + 1) - \sum_{k=0}^{N-1} \ln(kT_{\text{ц}} + 1)\right] = \lambda_1 \bar{\tau}_{\text{д}} \sum_{k=0}^{N-1} \ln\left(1 + \frac{\theta}{kT_{\text{ц}}+1}\right). \tag{6}$$

Аналогічним чином на підставі (5) записується співвідношення для тієї частини «енергії активації», яка йде на зміцнення структури ґрунту:

$$\overline{U}_{\text{зм}}(N) = \lambda_i \bar{\tau}_{\text{д}} \left[\sum_{k=0}^{N-1} \ln(kT_{\text{ц}} + \theta + 1) - \sum_{k=0}^{N-1} \ln(kT_{\text{ц}} + 1)\right] = \lambda_2 \bar{\tau}_{\text{д}} \sum_{k=0}^{N-1} \ln\left(1 + \frac{\theta}{kT_{\text{ц}}+1}\right). \tag{7}$$

Підставляючи (6) і (7) у (3), одержимо

$$\Delta\overline{U} = n\sum_{k=0}^{N-1}\ln\left(1+\frac{\theta}{kT_{\text{ц}}+1}\right), \tag{8}$$

де $n=\lambda_2-\lambda_1\overline{\tau}$. Згідно з [1] значення n визначають шляхом апроксимації кривої деформування ґрунту під дією постійних напружень τ рівнянням:

$$\gamma(t)=\gamma_0+\frac{\tau t^*}{\eta_0(1-n)}\left[\left(\frac{t}{t^*}+1\right)^{1-n}-1\right],\quad n\neq 1,$$

де $\gamma(t)$ і $\gamma_0=\gamma(0)$ - відповідно повна та миттєва деформація ґрунту;

η_0 – початкова в'язкість.

Для обчислення суми, що входить у (8), скористаємося наближеною формулою [2]:

$$\ln(1+x)\approx 2/(x+2). \tag{9}$$

У даному випадку $x=\theta/(kT_{\text{ц}}+1)$. Стосовно до розрахунків дорожніх одягів на міцність $\theta\approx 0{,}1$ с, $T_{\text{ц}}\geq 1$ с. Похибка формули (9) тим нижча, чим менше значення x і для x=0,5 похибка не перевищує $\delta=-1{,}23\%$, а при $x\leq 0{,}05$ похибка $\delta\leq 0{,}02\%$.

Зважаючи на (9), виконаємо перетворення:

$$\sum_{k=o}^{N-1}\ln\left(1+\frac{\theta}{kT_{\text{ц}}+1}\right)\approx\sum_{k=0}^{N-1}\frac{\dfrac{2\theta}{kT_{\text{ц}}+1}}{\dfrac{\theta}{kT_{\text{ц}}+1}+2}=\theta\sum_{k=0}^{N-1}\frac{1}{kT_{\text{ц}}+1+\dfrac{\theta}{2}}.$$

Останню суму обчислимо, використовуючи наближений засіб підсумовування [3]:

$$\theta\sum_{k=0}^{N-1}\frac{1}{kT_{\text{ц}}+1+\dfrac{\theta}{2}}=\frac{\theta}{T_{\text{ц}}}\int_{1+\frac{\theta}{2}}^{NT_{\text{ц}}}\frac{1}{x}dx=\frac{\theta}{T_{\text{ц}}}\ln\frac{NT_{\text{ц}}}{1+\dfrac{\theta}{2}}.$$

Підставляючи одержаний вираз у (8), на підставі (2) запишемо наступну формулу для коефіцієнта зміни міцності:

$$k=\ln\frac{t_p}{T_0}\Big/\left(\ln\frac{t_p}{T_0}-n\frac{\theta}{T_0}\ln\frac{NT_{\text{ц}}}{1+\dfrac{\theta}{2}}\right). \tag{10}$$

Для підвищення міцності грунту в процесі циклічної повзучості необхідне дотримання умови $n>0$; при $n<0$ ґрунт розслаблюється, а при $n=0$ його міцність не змінюється. Такі

висновки повністю узгоджуються з основними положеннями кінетичної теорії міцності і повзучості ґрунтів С.С. Вялова [1].

Вірогідність формули (10) оцінимо, аналізуючи результати експериментів H.B. Seed і його співавторів [6]. Під час іспитів випробували важкий суглинок (W_L=37, W_p=23, I_p=14). Виготовлений за спеціальною методикою циліндричний зразок уміщували у стабілометр з постійним (не пульсуючим) боковим тиском 0,1 Мпа і прикладали девіаторні напруги $(\sigma_1 - \sigma_3) = 0,365$ МПа з частотою 20 циклів на хвилину, при цьому $T_ц = 3$ с, $\theta = 0,2$ с. В результати серії аналогічних зразків встановлено, що початкова міцність недеформованого ґрунту дорівнювала 0,620 МПа, а після прикладення 90000 циклів напружень вона досягала величини 0,775 МПа, тобто збільшувалася у $k = 0,775/0,620 = 1,25$ раза. Принципово важливо, що початкова міцність до прикладення циклічного навантаження і після нього визначалася за одною і тією ж методикою – шляхом деформування вертикальними навантаженнями зі швидкістю приблизно 1 мм/хв. В обох випадках час руйнування становив $t_p \approx 200$ с.

Апроксимуючи відповідним чином криві повзучості та тривалої міцності подібних типів ґрунтів, що наведені в [1], приймаємо такі значення параметрів: $n = 1,3$, $T_ц = 0,121$ с.

Підставивши значення усіх необхідних параметрів у (10), одержимо

$$k = \frac{\ln \dfrac{200}{0,121}}{\ln \dfrac{200}{0,121} - 1,3 \cdot \dfrac{0,2}{3} \cdot \ln \dfrac{90000 \cdot 3}{1 + \dfrac{0,2}{2}}} = 1,17 .$$

Висновки

Незважаючи на умовність експериментального зіставлення аналогічних зразків ґрунту, треба відмітити, що обчислене за формулою (10) значення $k = 1,25$ узгоджується зі знайденим експериментальним $k = 1,17$.

Таким чином, внаслідок виконаних перетворень одержана формула (10), яка дозволяє оцінювати зміни початкової міцності ґрунту, що зазанав дії повторного короткочасного навантаження.

Список літератури

1. *Вялов С.С.* Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.

2. *Двайт Г.Б.* Таблицы интегралов и другие математические формулы. – М.: Наука, 1978. – 224с.

3. *Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д.* Элементы прикладной математики. – М.:Наука, 1972. – 592 с.

4. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников-инженеров). – М.: Наука, 1974. – 831 с.

5. *Супрун А.С.* Вплив статичної повзучості на міцність грунту // ґавтомоб. Дороги і дор. Будівництво. - 1991.- Вип. 48. – С. 62-65.

6. *Seed H.B., Me Neil R.L., Guenin J.* Increased resistance to deformation of clay caused by repeated loading // Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. Proeecdingg of the American Society of Civil Engineering. - 1958. – May. – Vol. 84, NSM2, pt 1. – P. – 1645 – 1- 1645 – 27.

УДК 625.72

В.С. Гавриш, аспирант
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина)

ОЦЕНКА УРОВНЯ ШУМА НА ТЕРРИТОРИИ РЕКОНСТРУКЦИИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

В данной статье проведен анализ акустической ситуации и методы оценки уровня шума на селитебных территориях. Особое внимание уделено методам составления шумовых карт и шумовой обстановке территории реконструкции населенных пунктов.

Современные городские территории подвергаются воздействию внешних шумов от многих мобильных и стационарных источников, которые в большинстве случаев располагаются в непосредственной близости от мест пребывания населения и создают акустический дискомфорт для 30-40 % городских жителей. Этот дискомфорт особенно значителен в старой части города, подлежащей реконструкции.

Санитарно-гигиенические исследования показывают, что действие шума на организм человека ухудшает не только состояние органов слуха. Раздражение шумом приводит к ухудшению функционального и психического состояния человека; так, общая заболеваемость рабочих шумных производств на 10-15 % выше. Следовательно, проблема защиты населения от шума актуальна и имеет социальное значение. Необходимо проведение ряда научных исследований и разработка проектных решений, направленных улучшение акустической обстановки. Первоочередной задачей является оценка уровня шума.

Все источники городского шума могут быть условно разбиты на две большие группы: отдельные источники и комплексные источники, состоящие из отдельных [1]. К отдельным источникам относятся: единичные транспортные средства; электрические трансформаторы; установки промышленных и энергетических предприятий и др. К комплексным источникам относятся: потоки всех видов наземного автомобильного и рельсового транспорта на улицах и дорогах; потоки поездов на железных дорогах; авиационный транспорт в аэропортах и в зонах воздушных подходов к аэродромам; промышленные предприятия; площадки для погрузочно-разгрузочных работ объектов транспорта, предприятий торговли и других коммунально-бытовых учреждений обслуживания; открытые спортивные сооружения и игровые площадки; механизмы и установки, выполняющие работы по строительству, уборке и благоустройству городских территорий.

Отдельные источники шума физически могут быть представлены точечными излучателями звуковой энергии, содержащими шум и характеризующимися уровнями звуковой мощности L в децибелах в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Прерывистый и импульсный шум характеризуется эквивалентным уровнем звукового давления $L_{экв}$ в децибелах в октавных полосах частот.

Комплексные источники шума могут создавать как постоянный, так и непостоянный шум. Такой источник шума иногда можно представить как протяженный в одном направлении излучатель звуковой энергии. Например, однородный и непрерывный поток автомобилей или железнодорожный состав можно считать линейным источником шума. Шумовой характеристикой в данном случае является усреднённый уровень звука на определенном расстоянии от источника.

В настоящее время разработан ряд методов оценки различных видов шумов при воздействии какого-либо одного вида источников. В целях унификации методов измерений и оценки шума в городской среде разработан международный стандарт ISO 1996/1 «Акустика. Описание и измерение шума окружающей среды. Часть 1. Основные величины и

методы» [2]. Этим стандартом установлено, что для описания шумовых режимов в окружающей среде следует использовать эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$ в децибелах шкалы коррекции «А - дБА».

Таким образом, нормируемыми шумовыми характеристиками отдельных и комплексных источников, если они создают непостоянный шум, нужно считать эквивалентные уровни звука на определенном расстоянии от них.

Анализ акустической обстановки на территории реконструируемой застройки и натуральные измерения показывают, что основными источниками внешнего шума являются транспортные потоки на магистральных улицах и дорогах. На долю магистральных улиц приходится 60-70 % общей длины городской уличной сети и 80-90 % пробега автомобилей [3]. Характерная особенность этого шума – резкие колебания его уровня, обусловленные неоднородностью потока и изменением режима их движения (трогание с места, разгон, движение, торможение). Поэтому в качестве шумовой характеристики транспортных потоков в соответствии с ГОСТ 20444-85 [4] установлен эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА на определенном базисном расстоянии - (7,5 ± 0,2) м от оси первой полосы движения транспортных средств на высоте (1,5 ± 0,1) м от уровня покрытия проезжей части.

Главной задачей комплексного исследования шумового режима селитебных территорий является разработка мер по обеспечению нормативных уровней звука в зданиях и на территориях на всех стадиях градостроительного проектирования. В этой связи очень важно иметь прогноз акустической обстановки в зонах реконструкции.

Выполняя технико-экономическое обоснование (ТЭО) проекта, проектировщик должен оценить зашумленность территории, прилегающей к источникам внешнего шума, т. е. определить зону акустического дискомфорта. Эта задача решается с учетом основных закономерностей распространения звука на прилегающей территории.

Таким образом, можно выделить круг задач, решаемых при оценке уровня шума на территории реконструкции:

1. Выявление источников шума, установление их шумовых характеристик и изучение закономерностей распространения звука в открытом пространстве.
2. Определение допустимых уровней звука на территории реконструкции.
3. Изучение закономерностей распространения звука в реальных условиях реконструкции, определение зон акустического комфорта (дискомфорта) путем построения шумовых карт.
4. Исследование влияния естественных условий местности на сокращение зон акустического дискомфорта.
5. Выбор градостроительных решений из равноэффективных по шумозащите.
6. Комплексное исследование градостроительной, акустической и экономической целесообразности и эффективности применения шумозащитных средств.
7. Разработка специальных шумозащитных мер для максимального ограничения зоны акустического дискомфорта.

На всех стадиях проектирования большое значение имеет использование прогрессивных методов анализа, расчета и прогнозирования шумового режима на исследуемой территории до и после применения мер шумозащиты. Средства и методы защиты от шума, обеспечивающие уровни шума не выше нормативных в проектах планировки реконструкции, рекомендуется разрабатывать на основе акустических расчетов уровня шума источников, ожидаемого шумового режима в характерных точках объекта и оценки обеспеченности его акустическим комфортом путем построения шумовых карт [5].

Наиболее наглядное и детальное представление о шумовой обстановке реконструируемой территории дают шумовые карты. В настоящее время разработана и апробирована методика измерения и расчета шумовой характеристики транспортных потоков и составления шумовых карт.

Такие карты для улично-дорожной сети составляются на текущий период, расчетные и перспективные сроки, входят в состав проектной документации при разработке технико-экономического обоснования генерального плана города, проекта детальной планировки (ПДП) района и схем санитарно-гигиенической оценки существующего и прогнозируемого состояния окружающей среды.

Шумовые карты представляют собой схематические планы улиц и дорог реконструируемого района с нанесенными на них демаркационными кривыми акустического комфорта (ДКАК). Последние позволяют определить благоприятные и неблагоприятные в отношении шумового режима участки, называемые зонами шумового комфорта, т. е. территории, на которых уровни звука не превышают предельно допустимых норм или превышают их. Шумовые карты служат основой для оценки существующего и прогнозируемого шумового режима территории и разработки эффективных мер по снижению транспортного шума.

Территории реконструкции находятся под воздействием точечных и линейных источников шума. При распространении звука от точечного источника постоянного действия отраженные лучи иногда попадают в зону звуковой тени и могут ее деформировать, однако расширение зоны шума при этом незначительно.

ДКАК от точечного источника шума составляются в следующем порядке. На плане застройки отмечается местоположение точечного источника шума и вокруг центра вычерчивается окружность радиуса $X_а$, определяемого по заданным параметрам $L_{Аэкв}$, $L_{Аэкв.\ доп.}$ с помощью формулы

Формула:

$$X_a = 10\frac{L_{Аэкв} + 17,5K_П - L_{Аэкв.доп}}{20K_Н} . \quad (1)$$

Здесь $X_а$ – глубина проникания шума; $K_п$ – коэффициент скользящего поглощения звука поверхностью земли. Коэффициент $K_п$ следует учитывать, если расчетная точка расположена на высоте не менее 5 м над поверхностью земли и удалена от источника не менее чем на 100 м.

Далее из центра до границы окружности проводят прямые (звуковые лучи), которые не встречают препятствий в виде зданий; затем из центра проводят прямые до первого препятствия. С помощью радиальных прямых устанавливаются границы проникания шума, которые рекомендуется несколько расширить в местах попадания звуковых сигналов, отраженных от стен зданий.

Шумовая карта примагистральных территорий, где основным является линейный источник шума от транспортного потока, может составляться на разных стадиях проектирования. Если она предназначена для текущего периода, эквивалентный уровень звука на улицах и дорогах определяют путем натуральных измерений.

Шумовую карту на стадии генерального плана составляют на копии основного чертежа генерального плана района. Эквивалентный уровень звука определяют согласно статистической или динамической модели.

Эквивалентный уровень звука $L_{Аэкв}$, дБА на стадии ПДП следует принимать в соответствии с шумовой картой, разработанной на стадии генерального плана, с учетом поправок. Построение таких карт заключается в соединении кривых равных уровней звука, измеренных на высоте 1,5 м над поверхностью территории и скорректированных с учетом влияния застройки, на плане территории реконструкции. Полученные линии отражают существующий или ожидаемый (проектируемый) шумовой режим реконструируемой территории.

Процесс построения шумовых карт трудоемок, требует специальных знаний и большого опыта. Для повышения эффективности работы проектировщика был разработан шумограф-2. Он выполняется на прозрачной пластине и состоит из трех частей.

Первая часть служит для определения снижения уровня звука точеных источников шума и транспортных потоков линейных источников шума на территории, свободной от застройки.

Вторая часть предназначена для нахождения снижения уровня звука транспортных потоков в разрывах между зданиями. Она включает в себя четыре номограммы, каждая из которых соответствует определенному расстоянию между бордюром проезжей части улицы и линией застройки - линией начала снижения звука в разрывах. При разрыве больше 50 м снижение уровня звука определяется как на территории, свободной от застройки.

Третья часть определяет направление линий равных относительных уровней звука за углом здания (в зависимости от расстояния между бордюром проезжей части улицы и зданием) по точкам, расположенным на линиях *А*, *Б* и *В*. Направление распространения звука устанавливают по точкам, расположенным на следующих линиях: *А* - при расстоянии от здания до бордюра более 90 м; *Б* - при расстоянии от 30 до 90 м; *В* - до 30 м. Направления распространения звука за углами зданий при наличии разрывов между ними до 15 м определяется по линии *А*, при разрывах 15-30 м - по линии *Б* и 30-50 м-по линии *В*. При этом расстояние между бордюром проезжей части улицы и зданием не учитывается.

Для получения шумовых карт территории реконструкции в эквивалентных уровнях звука из шумовой характеристики транспортного потока (эквивалентного уровня звука на расстоянии 7,5 м от оси первой полосы движения транспортных средств) вычитают значения, соответствующие кривым равных относительных уровней звука.

Шумовая карта, построенная по изложенной методике, наглядно отображает снижение эквивалентного уровня звука $L_{\text{аэкв}}$, обусловленного транспортным потоком, со значениями на расстоянии 7,5 м от первой полосы движения транспортных средств до допустимого значения $L_{\text{Аэкв. доп.}}$ Обычно карта строится через 2 или 5 дБА.

Таким образом, оценка уровня шума является важной задачей. Решение ее позволяет выявить источники шума и установить их шумовые характеристики, определить допустимые уровни звука на территории реконструкции. При оценке уровня шума определяются зоны акустического комфорта либо дискомфорта путем построения шумовых карт. Как результат оценки: выбор оптимальных проектных решений по шумозащите, целесообразное и эффективное применение шумозащитных средств, разработка специальных шумозащитных мер для максимального ограничения зоны акустического дискомфорта.

Список литературы

1. *Юдин Е.Я.* Борьба с шумом на производстве: Справ. / Сост.:. Юдин Е.Я. и др. М.: Машиностроение, 1985. - 399 с.

2. *Осипов Г.Л., Юдин Е.Я., Хюнберг Г.* Снижение шума в зданиях и жилых районах. М.: Стройиздат, 1987. - 558 с.

3. *Самойлюк У.П., Денисенко В.И., Пилипенко А.П.* Борьба с шумом в населенных местах. К.: Будивэльнык, 1981. - 143 с.

4. *ГОСТ 20444-85.* Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. Введ. 01.01.86.

5. *Руководство* по разработке карт шума улично-дорожной сети городов / НИИ строит. Физики (НИИСФ). М.: Стройиздат, 1984. - 54 с.

УДК 625.72

Н.И. Сорочук, аспирант,
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К УСТОЙЧИВОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И СООРУЖЕНИЙ ДОРОЖНОГО ВОДООТВОДА

В статье проведен анализ методов проектирования и строительства систем поверхностного водоотвода на автомобильных дорогах с различными схемами его организации, конструктивными элементами водосборных и водосбросных сооружений, получивших применение в отечественном и зарубежном дорожном строительстве.

Отвод поверхностного стока с проезжей части автомобильных дорог производится по обочинам и откосам земляного полотна в кюветы, водоотводные канавы и резервы. Во избежание проникания воды в нижележащие конструктивные слои дорожной одежды необходимо обеспечивать своевременный отвод воды с поверхности обочин. Это достигается устройством поперечного уклона обочин, величина которого регламентирована в нормативных документах, и укреплением, что позволяет практически полностью исключить деформации поверхности от заезда транспортных средств и фильтрацию поверхностных вод в дорожное полотно.

Объем фильтрации воды в слои дорожной одежды зависит не только от ширины и уклона обочины, но также от количества ливневых осадков в районе проложения автомобильной дороги и фильтрационной способности материалов укрепления обочин. Широкое практическое применение получили укрепление обочин засевом трав, фракционированным щебнем, черным щебнем.

Разрушающему воздействию стекающих поверхностных вод и дождевых осадков подвержены не только обочины, но и откосы земляного полотна автомобильной дороги. Для защиты откосов от разрушения производится их укрепление засевом трав, тяжелыми грунтами, органическими вяжущими, сборными бетонными конструкциями, габионами, конструкциями с применением георешетки и т.д. [1].

Поверхностные воды, притекающие к подошве откосов дорожного полотна, в случае прохождения автомобильной дороги в насыпях и полунасыпях предусматривается отводить кюветами, лотками, продольными и поперечными водоотводными канавами, осушительными канавами или резервами; в выемках и полувыемках - кюветами или лотками.

Отвод поверхностных вод с прилегающих к насыпям и полунасыпям склонов и откосов выемок и полувыемок осуществляется водоотводными нагорными и забанкетными канавами, испарительными бассейнами, поглощающими колодцами, закрытой ливневой канализацией и водопропускными трубами.

Поверхностные воды, стекающие с покрытия проезжей части автомобильной дороги, обочин и откосов, аккумулируются у подошвы дорожного полотна, затем по укрепленным руслам сбрасываются на очистные сооружения и далее - в пониженные места рельефа, имеющие выход в речную систему или к пересекаемым логам и водотокам, входным и выходным руслам водопропускных сооружений.

Выпуск воды из водоотводных канав, кюветов и лотков в пониженные места рельефа местности допускается при условии, что это не вызовет заболачивания местности и застоя воды у прилегающего земляного полотна. В случае пересечения водоотводными сооружениями территории, где инфильтрация поверхностного стока в грунт угрожает устойчивости откосов выемок, основания земляного полотна и прилегающей к нему территории водоотводные канавы, кюветы, лотки и резервы рекомендуется устраивать с соответствующей гидроизоляцией, а поверхность слоя гидроизоляции укреплять от размыва и разрушения с учетом гидравлических характеристик потока.

Расчетные параметры водоотводных канав и сооружений рекомендуется назначать не менее нормативных значений, однако необходимо учитывать конкретные проектные параметры земляного полотна и рельеф местности.

Практическое применение получили типовые конструкции укреплений водоотводных канав щебнем с засевом трав на откосах, сборными бетонными плитами, кюветными сборными лотками, торкретбетоном, монолитным бетоном, бетонными сегментами, асфальтобетонными плитами и песчаным асфальтобетоном.

Укрепление водоотводных канав щебнем слоем 8 - 10 см с засевом многолетних трав на откосах применяется в районах с умеренным и влажным климатом при скорости течения воды в канаве не более 1 м/с. В случае, когда скорость течения воды в канаве не превышает значение 0,5 м/с, допускается укрепление дна водоотводных канав засевом трав.

Сборные бетонные плиты используются для укрепления водоотводных и нагорных канав, а также кюветов при скоростях течения воды до 3,5 м/с. При скорости течения воды не более 2 м/с поверхности дна и откосов кюветов укрепляются торкретбетоном. Укрепление торкретбетоном не допускается в условиях пылеватых и лессовидных суглинков, засоленных и малоустойчивых грунтов, а также на оползневых участках, в условиях сурового климата и агрессивной среды. Данный тип укрепления обладает малой несущей способностью и требует предварительного тщательного выравнивания укрепляемой поверхности.

В районах строительства с благоприятными климатическими, гидрологическими и геологическим условиями для укрепления откосов и дна водоотводных канав при скорости течения воды в них до 3,5 м/с применяется монолитный бетон, однако, подобный способ укрепления является достаточно трудоемким.

В зарубежных странах широкое использование получило укрепление водоотводных канав бетонными плитами, изготавливаемыми в заводских условиях и имеющими форму трубчатого сегмента толщиной 7 - 8 см, хорда которого равна 100 см.

Кроме вышеуказанных способов укреплений водоотводных, нагорных канав и кюветов применяются лотки-желоба, железобетонные прямоугольные и рамные лотки, длинномерные телескопические лотки, которые являются сборными и изготавливаются в заводских условиях. Эти конструкции рекомендуется применять в том случае, когда в районе строительства автомобильной дороги преобладают слабые, водонасыщенные грунты; необходимость увеличения поперечных размеров кюветов приводит к значительному объему земляных работ; автомобильная дорога I - II категорий проходит в насыпи высотой более 4 м с затяжным продольным уклоном более 30‰, а также в пониженных точках вогнутых кривых продольного профиля; автомобильная дорога проходит через населенные пункты; необходимы перехват и понижение уровня грунтовых вод.

Сбор поверхностных вод осуществляется в открытые прикромочные лотки, которые устраиваются на стыке кромки проезжей части и обочины, при этом обочине придается уклон в сторону проезжей части. Прикромочные лотки выполняются монолитными или из сборных элементов различного поперечного сечения. Наибольшее распространение получили типовые сборные прикромочные лотки треугольного поперечного сечения, разработанные в Союздорпроекте (рис.1 а, б). Для удобства установки в процессе строительства в ряде случаев выпускаются прикромочные лотки треугольного поперечного сечения с выступами (рис.1, в). Кроме типовых прикромочных конструкций, на автомобильных дорогах применяются водосборные лотки эллипсоидного (рис.1, г), круглого (рис.1, д, е), трапецеидального и прямоугольного поперечных сечений.

В ряде случаев для повышения пропускной способности в прикромочных лотках через определенные расстояния устанавливаются дождеприемные колодцы, однако такой способ организации поверхностного водоотвода не получил широкого практического применения на территории Украины из-за трудоемкости содержания в эксплуатационный период.

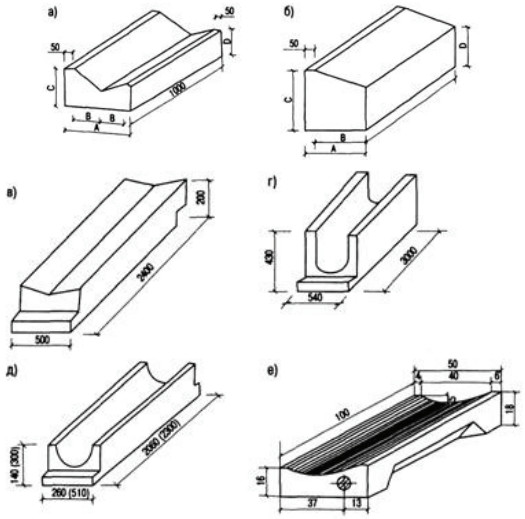


Рис. 1. Прикромочные водосборные лотки:
а, б - типовые блоки, разработанные в Союздорпроекте, и их типоразмеры;
в – с выступами; г - эллипсоидного поперечного сечения; д - круглого поперечного сечения;
е - круглого поперечного сечения, разработанный в Союздорпроекте

Подобным недостатком содержания обладает и прикромочный щелевой закрытый водосборный лоток круглого поперечного сечения, использование которого распространено в ряде зарубежных стран. Широкое применение на зарубежных автомобильных дорогах получил метод устройства асфальтобетонных водоотводных лотков одновременно с укладкой покрытия проезжей части. Лоток шириной 75 см и глубиной 5 см устраивается с помощью асфальтоукладчика, оборудованного дополнительными трамбующим и вибрационным брусьями соответствующего профиля.

Поверхностные воды с покрытия аккумулируются в предбордюрном пространстве, образующемся на стыке кромки проезжей части и бордюрного камня. Форма поперечного сечения предбордюрного пространства определяется поперечным профилем проезжей части и в большинстве случаев имеет треугольное, реже - криволинейное очертание.

Для обеспечения своевременного отвода поверхностных стоков проезжей части необходимо придавать как можно больший поперечный уклон, учитывая условия безопасности движения транспортных средств. В случае невозможности выполнения этого условия поперечный уклон целесообразно увеличивать непосредственно у бордюра на ширине 1-1,5 м, придавая сечению предбордюрного пространства полигональное очертание.

В последние годы в Германии на автомобильных дорогах часто устраиваются водонаправляющие бордюры высотой 12 - 15 см плавного поперечного профиля, выполненные из асфальтобетонной смеси определенного состава [2]. Зачастую при реконструкции автомобильной дороги с цементобетонным покрытием требуется устройство нового асфальтобетонного покрытия и системы поверхностного водоотвода. В этом случае в существующее цементобетонное покрытие устанавливаются стержни арматуры и устраивается монолитный бордюр.

Для увеличения скорости отвода воды с поверхности покрытия в настоящее время на автомагистралях, подходах к мостам и путепроводам, а также городских улицах широко применяются подземные ливневые стоки с отводом воды за пределы земляного полотна. Существуют три типа дождеприемных колодцев: с горизонтальным отверстием, вертикальным отверстием и комбинированный тип. На загородных автомобильных дорогах устанавливаются дождеприемные колодцы с горизонтальным отверстием, а в городских

условиях находят применение все три типа дождеприемников. Типы дождеприемных решеток назначаются в соответствии с требованиями ГОСТ 26008-83 [3].

Решающую роль в своевременности отвода поверхностных стоков при такой схеме организации водоотвода выполняют пропускная способность дождеприемных колодцев и правильность их установки через определенные расстояния друг от друга. В последнее время в зарубежных странах ведутся исследования и разрабатываются новые типы дождеприемных колодцев и решеток, которые обладают не только повышенной пропускной способностью, но и высокой износостойкостью.

Для пропуска под автомобильной дорогой поверхностных стоков, поступающих из кюветов, и отвода воды с бессточных площадей, съездов транспортных развязок, кольцевых автотреков и полигонов часто применяются круглые железобетонные трубы, водопропускные прямоугольные железобетонные лотки, асбестоцементные трубы и дренажные призмы. В этом случае режим протекания воды в трубах принимается безнапорным в связи со стесненностью условий и небольшими сбросными расходами.

На автомобильных дорогах II - V категорий допускается применение труб диаметром 1,0 м при длине свыше 30 м и 0,75 м при длине свыше 15 м. На съездах в пределах транспортных развязок применяются трубы диаметром 0,5 м, а в городских условиях трубы диаметром 0,5 м допускается применять с обязательным устройством ограждающих металлических решеток, прикрывающих входной оголовок и задерживающих мусор перед трубой.

Водопропускные трубы необходимо устраивать в соответствии с типовыми проектами, выполнять укрепление входных и выходных русел и устраивать гасители. Основное назначение водогасящих устройств (перепадов, водобойных колодцев, уступов, стенок, быстротоков и рассеивающих трамплинов) состоит в гашении на коротком участке кинетической энергии водного потока до размеров, не угрожающих опасности размывов искусственного водоотводного русла или мест выброса воды на прилегающую территорию.

В настоящее время применяются три типа гасителей энергии водного потока: ребро в конце укрепления; гаситель ЦНИИСа в виде раструба с одной или двумя водобойными стенками; стенка в раструбном оголовке в сочетании с ребром в конце укрепления. Гасители в виде ребра в конце укрепления в основном уменьшают размыв за сооружением, однако практически не снижают скорости водного потока. Для пропуска воды через дорожное полотно, сброса воды из нагорных канав на косогорах, укреплении оврагов и т.д. применяется сопряжение водоотводных устройств в виде шахтного колодца, который выполняет функцию гасителя энергии водного потока между верховыми и низовыми сооружениями. Шахтные водосбросы являются наиболее приемлемыми конструкциями в стесненных условиях и при разнице высот между верховой и низовой стороной косогора более 5 м.

Выводы

Известные типовые решения по организации водоотвода, которые представляют собой жестко регламентированные однотипные конструкции и размеры как прикромочных, так и откосных лотков для дорог всех категорий и условий применения, не отвечают требованиям нормативного обеспечения транспортно-эксплуатационных показателей современных скоростных многополосных дорог.

Список литературы

1. Методические рекомендации по применению габионных конструкций в дорожно-мостовом строительстве / ООО «Организатор», Союздорпроект. - М., 2000.

2. Renaissance der Asphalthochborde zur Wasserfiihrang. Dubner Rolf// Bitumen. – 2000. -62, Ns 3.

3. ГОСТ 26008-83 ГОСТ 26008-83 .Дождеприемные решетки. - М.: Изд-во стандартов, 1983.

УДК:625.72

Е.Б. Угненко, доктор технических наук,
Е.Н. Ужвиева, ассистент
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

ОБ ОПРЕДЕЛЯЕМОСТИ ГРАДУИРОВАННЫХ СЕТЕЙ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ОБХОДОВ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

В работе введены локальные геометрические характеристики градуированных сетей и предложен новый метод представления градуированных сетей — метод кортежей, суть которого заключается в представлении градуированной сети локальными характеристиками её элементов, организованными в кортежи специального вида.
Предложен метод представления организационных сетей, полностью удовлетворяющий сформулированным требованиям к однозначности, алгоритмической простоте, наглядности и эффективности.

Сети и графы — классические понятия дискретной математики [1, 2]. Графы и сети традиционно используют для моделирования и исследования сетевых объектов — транспортных сетей (железнодорожных, автомобильных и т. п.), организационных структур, сетей экономического и правового взаимодействия хозяйствующих субъектов, информационного обмена между объектами [3, 4]. В работах [5, 6] введено понятие «градуированная сеть» и показано, что большинство сетей, встречающихся в практической деятельности, является градуированными. Градуированная сеть G — это сеть, имеющая гомоморфизм $\varphi : G \to \langle \{1,2,...,N\}; \le \rangle$ на начальный отрезок натурального ряда $\{1,2,...,N\}$, упорядоченный естественным отношением порядка. Содержательно, отображение φ присваивает элементам (предприятиям) сети G некоторое натуральное число — приоритет, или ранг, означающий важность и значимость предприятия в сети с точки зрения его производственных функций.

Пусть имеется градуированная сеть G и ее градуировка $\varphi : G \to \langle \{1,2,...,m\}; \le \rangle$.

Градуировка φ естественным образом разбивает множество узлов сети G на уровни (классы эквивалентности) $G = G_1 \cup G_2 \cup ... \cup G_m$ узлов одинакового ранга. Здесь $G_j = \varphi^{-1}(j)$, то есть на уровне G_j содержатся все узлы сети G, имеющие ранг j.

Уровни $G_1, G_2, ..., G_m$ удобно представлять в виде расположенных друг над другом горизонтальных плоскостей, на каждой из которых находятся все узлы сети, ранг которых равен номеру плоскости [7]. При этом ребра сети G могут соединять узлы данного уровня G_j с узлами уровней G_{j-1}, G_j и G_{j+1}, но не могут «перескакивать» через уровень (скажем, соединять узлы уровней G_{j-1} и G_{j+1}) — это противоречит определению градуированной сети.

Стандартным общеупотребительным способом задания сетей и хранения их в электронном виде является представление сетей матрицами смежности (или матрицами потоков) [1]. Пусть дана сеть $G = \langle \{P_1, P_2, ..., P_N\}; E \rangle$, узлы которой занумерованы последовательными натуральными числами (здесь k — номер узла P_k, N — число узлов сети G, E — множество (ребер) участков). Матрица смежности (g_{ij}) сети G имеет размеры $N \times N$ и определяется следующим образом:

$$g_{ij}\begin{cases}1, \text{если между узлами } P_i \text{ и } P_j \text{ есть ребро;}\\ 0, \text{если между узлами } P_i \text{ и } P_j \text{ нет ребра.}\end{cases}$$

Известно, что всякая сеть определяется своей матрицей смежности однозначно с точностью до изоморфизма [1]. Этим объясняется повсеместное использование матриц смежности для хранения, анализа и компьютерной обработки информации об организационных сетях и иных сетевых структурах. Однако метод представления сетей матрицами смежности имеет недостатки. Матричный метод, прежде всего, это избыточный способ (особенно при наличии априорной дополнительной информации об устройстве сети и виде ее диаграммы). Значительные объемы памяти в матрицах смежности занимают одинаковые числа, матрицы имеют большие размеры, поэтому работа различных стандартных алгоритмов анализа сетей (в особенности, алгоритмов переборного характера, например таких, как алгоритм поиска гамильтонова цикла или кратчайшего пути) затрудняется, а время на нее значительно увеличивается.

Избыточность метода представления сетей матрицами смежности объясняется его универсальностью и возможностью его применения в любых ситуациях. Разумно предположить, что для случая конкретных сетей (например, градуированных) существует более простой, наглядный и эффективный способ их представления, сохраняющий, тем не менее, все преимущественные и полезные свойства матричного представления. Кроме того, относительно предполагаемого способа разумно выдвинуть требования простоты и высокой скорости выполнения стандартных алгоритмов анализа сетей.

В настоящей работе предлагается новый метод представления организационных сетей, полностью удовлетворяющий сформулированным требованиям к однозначности, алгоритмической простоте, наглядности и эффективности.

Пусть дана градуированная сеть $G = \langle G_1 \cup G_2 \cup ... \cup G_m; E \rangle$.

Определим для каждого узла $P \in G_j \subseteq G$, лежащего на уровне G_j, две характеристики: $R(P)$ - количество ребер, идущих из узла P в узлы того же ранга, то есть в узлы уровня G_j; $S(P)$ - количество ребер, идущих из узла P в узлы следующего ранга, то есть в узлы уровня G_{j+1}.

Занумеруем произвольным образом натуральными числами узлы каждого уровня G_j, то есть сопоставим каждому узлу $P \in G_j, \varphi(P) = j$ натуральное число $i = i(P) \in \{1, 2, ... |G_j|\}$ - номер этого узла. Здесь $|G_j|$ - число узлов на уровне G_j. Подразумеваем, естественно, что нумерация $i : G_j \to \{1, 2, ... |G_j|\}$ является биактивным отображением; номера разных узлов $P, Q \in G_j$ не могут совпадать: $i(P) \neq i(Q)$.

После того как нумерация узлов каждого уровня сети G зафиксирована, сопоставим каждому узлу P сети G следующий кортеж $K(P)$ натуральных чисел:

$$P \mapsto K(P) = \begin{pmatrix} j = \phi(P), i = i(P); \\ r_1, r_2, ... r_{R(P)}; n_1, n_2, ... n_{S(P)} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

В кортеже $K(P)$ первые два числа суть ранг $\varphi(P)$ узла P и номер $i(P)$ узла P на его уровне G_j в зафиксированной нумерации. Назовем первые два числа j, i кортежа $K(P)$ его префиксной частью.

Числа $r_1, r_2, ...r_{R(P)}$ суть номера узлов на уровне G_j, смежных с узлом P на уровне G_j (все эти узлы имеют ранг, равный рангу узла P). Договоримся, что если узел P не связан с узлами своего уровня G_j, то в кортеже $K(P)$ на месте группы чисел $r_1, r_2, ...r_{R(P)}$ стоит число ноль. Числа $n_1, n_2, ...n_{S(P)}$ суть номера узлов на уровне G_{j+1}, смежных с узлом P, то есть номера узлов, лежащих на следующем уровне G_{j+1} и связанных с узлом P (все такие узлы имеют ранг $\varphi(P)+1$). Договоримся, что если узел P не связан с узлами следующего уровня G_{j+1}, то в кортеже $K(P)$ на месте группы чисел $n_1, n_2, ...n_{S(P)}$ стоит число ноль. Будем называть числа $\left(r_1, r_2, ...r_{R(P)}; n_1, n_2, ...n_{S(P)}\right)$ суффиксной частью кортежа $K(P)$.

В результате сопоставления каждому узлу сети G соответствующего кортежа получим набор $K(G)$ кортежей вида (1) для всех узлов сети G.

По набору кортежей $K(G)$ построим таблицу кортежей $T(G)$, организованную следующим образом: в j-й строке таблицы кортежей $T(G)$ расположены все кортежи узлов уровня G_j в порядке возрастания номеров узлов, то есть префиксная часть каждого кортежа $K(P)$ содержит номер строки и номер столбца ячейки таблицы, в котором находится данный кортеж $K(P)$. (Отметим, что после организации кортежей в таблицу, в целях экономии памяти, префиксную часть каждого кортежа $K(P)$ можно удалить, поскольку префикс однозначно восстанавливается по расположению кортежа $K(P)$ в таблице $T(G)$) [8]. Пример градуированной сети G и соответствующей таблицы кортежей $T(G)$ приведен на рис. 1.

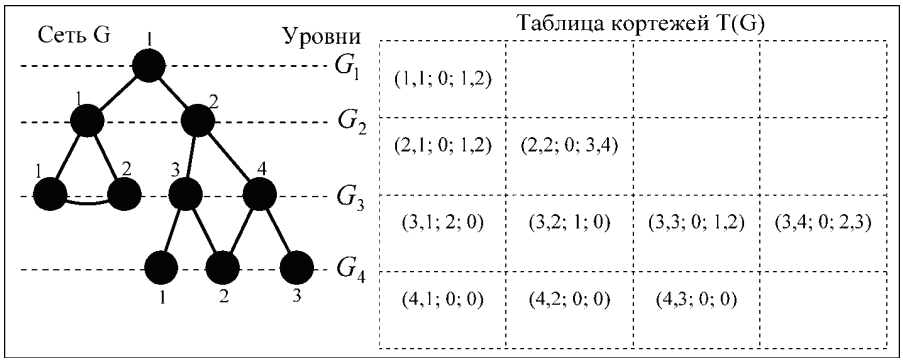


Рис. 1. Пример градуированной сети G и соответствующей таблицы

Пусть дана некоторая таблица T кортежей вида (1). Если на некоторой градуированной сети G можно задать нумерацию узлов каждого уровня так, что заданная таблица кортежей T будет являться таблицей кортежей этой сети G, то есть $T = T(G)$, то условимся говорить в этом случае, что сеть G удовлетворяет таблице кортежей T или, что равносильно, таблица кортежей T выполняется на сети G.

Две градуированные сети G и H называем изоморфными, если существует биекция $\psi: G \to H$ такая, что для любых двух узлов $g_1, g_2 \in G$ сети G и соответствующих им узлов $\psi(g_1)$, $\psi(g_2)$ в сети H выполнено:

а) узлы g_1 и $\psi(g_1)$ имеют одинаковый ранг;

б) узлы g_1, g_2 соединены ребром в сети G тогда и только тогда, когда их образы $\psi(g_1)$, $\psi(g_2)$ соединены ребром в сети H.

Процесс принятия решений таков: вводятся исходные данные и назначается вариант числа и дислокации (по сектору или по ближайшему пункту выхода из региона) градуированных сетей; проводится расчет транспортных затрат для автомобильного транспорта. На основе анализа полученных результатов принимается промежуточное решение о целесообразности исследования транспортных потоков при обосновании обходов населенных пунктов.

Расчет повторяется для каждого назначенного варианта; по итогам всех расчетов принимается решение об эффективности применения того или иного варианта обоснования обходов населенных пунктов.

В качестве критерия выбора наилучшего варианта выступает требование градуированной сети *G*. Расчеты проводятся параллельно по автомобильному виду транспорта.

Выводы

Изменение нумерации узлов на некотором уровне *Gj* градуированной организационной сети повлечет простую перестановку кортежей в *j*-й строке таблицы *T*(*G*) и соответствующую перестановку вторых частей суффиксов кортежей в (*j* – 1)-й строке (если таковая имеется). Видно, что такое преобразование таблицы кортежей *T*(*G*) является легко осуществляемым эффективным процессом, позволяющим построить таблицу кортежей градуированной сети *G* при изменении нумерации узлов (причем построить новую таблицу кортежей из таблицы кортежей старой нумерации, без использования диаграммы самой сети *G*).

Список литературы

1. *Емеличев В. А., Мельников О. И., Сарванов В. И., Тышкевич Р. И.* Лекции по теории графов. М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 384 с.

2. *Филлипс Д., Гарсиа-Диас А.* Методы анализа сетей. М. : Мир, 1984, — 496 с.

3. *Сай В. М.* Планетарные структуры управления на железнодорожном транспорте. — Транспорт: наука, техника, управление. — М. : ВИНИТИ РАН, 2002. - № 4. — С. 8–11.

4. *Сай В. М.* Планетарная структура: корпоративные варианты // Мир транспорта. — М., 2003. — № 1. — С. 96–102.

5. *Сай В. М., Сизый С. В.* Организационные структуры как мультиоператорные сети. Задачи прочности и устойчивости // Транспорт Урала. 2009, № 2 (21). - С. 5–9.

6. *Сизый С. В.* Модель образования и распада организационных сетей в экономико-правовом пространстве // ВИНИТИ РАН: Транспорт: наука, техника, управление, 2010, № 3. — С. 16–26.

7. *Сизый С. В.* Сетевая поддержка предприятий в градуированных организационных сетях. Вестник УрГУПС. Екатеринбург : УрГУПС, 2010. № 1. — С. 33–45.

8. *Кейслер Г., Чэн Ч. Ч.* Теория моделей. М. : Мир, 1977. — 614 с.

УДК 625.72

О.Д. Пупченко, аспирант
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет , Украина)

ОЧИСТКА СТОКОВ С ПОВЕРХНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ В СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Для сохранения экологического баланса на территории и в водоемах, находящихся в непосредственном взаимодействии с автомобильной дорогой, взлетно-посадочной полосой (ВПП)и мостовым переходом, очистка поверхностных стоков с проезжей части является необходимой. При этом вопрос о применении очистных сооружений необходимо решать с учетом целого комплекса показателей условий строительства.

Неотъемлемой частью совершенствования различных способов очистки поверхностных стоков с автомобильных дорог и аэродромных покрытий является их научное обоснование. С учетом этого требования, а также с точки зрения целесообразности их применения в различных геологических гидрологических и климатических условиях строительства представленырезультаты исследований и систематизации мероприятий по очистке поверхностных сточных вод дорожно-мостовых сооружений в Украине и за рубежом.

При выборе очистного сооружения необходимо руководствоваться требованиями экологии по степени очистки поверхностных стоковучитывать надежность сооружения, степень его апробации, а также природно-климатические, гидрологические и грунтовые условия территории строительства. Загрязнения поверхностных стоков с автомобильных дорог и аэродромных покрытий разделяются по физическому состоянию (нерастворимые, коллоидные, растворимые) и по составу (минеральные: песок, глина, минеральные соли, кислоты, щелочи и т.д.; органические: нефтепродукты, ПАВ и т.д.). Нерастворимые вещества загрязнения присутствуют в сточных водах в виде грубой суспензии с размером частиц более 100 мк и в виде тонкой суспензии или эмульсии с размером частиц 100 - 0,1 мк. Коллоидные вещества в сточных водах имеют размеры частиц 0,1 - 0,001 мк [7].

В настоящее время на территории стран СНГ и зарубежных стран существуют следующие мероприятия по очистке стоков с поверхностиавтомобильных дорог, ВПП и мостовых сооружений от загрязнения: механическая очистка, химическая очистка, физико-химические методы очистки, биохимические методы очистки и др.

1. Механическая очистка

Этот тип обработки сточных вод предполагает удаление нерастворимых крупных примесей, а также загрязнений, находящихся в коллоидном состоянии, из поверхностных стоков. К сооружениям механической очистки относятся решетки, сита, песколовки, отстойник, нефтеловушки, фильтры, гидроциклоны, растительные полосы и др.

Решеткиприменяются для удаления крупных взвешенных частиц и устанавливаются на пути движения сточных вод. Для удаления более мелких взвешенных частиц применяют сита, отверстия которых зависят отулавливаемых примесей и составляют 0,5 - 1 мм. Решетки подразделяются по способу их очистки от осевших на них загрязнений на простейшие, которые очищаются ручным способом, и механические, очистка которых производится с помощью механических приспособлений.

Песколовки или песчаные фильтры,принцип действия которых основан на изменении скорости движения твердых тяжелых частиц в потоке жидкости, предназначены для удаления из сточных вод механических примесей размером более 0,25 мм (песка, окалины). Песчаные фильтры устраиваются на поверхности и под землей, при этом обязательным является устройство конструкции для предварительной очистки

поверхностных стоков от взвешенных частиц и нефтяных пленок [3]. Песколовки или песчаные фильтры могут быть горизонтальными, с прямолинейным и круговым движением воды, вертикальными и с винтовым движением воды (тангенциальные и аэрируемые).

Тангенциальные песколовки представляют собой конструкцию, имеющую круглую форму в плане, а подвод сточных вод к ним осуществляется по касательной линии, что вызывает вращательное движение потока. При одновременном поступательном и вращательном движении создается винтовое движение потока, что способствует отмывке от песка органических соединений и исключает их выпадение в осадок.

Аэрируемые песчаные фильтры или песколовки, в которых так же, как и в тангенциальных, возникает винтовое движение жидкости, а в качестве аэраторов применяются перфорированные трубы с отверстиями 3 - 5 мм или фильтрующие пластины, широко применяются в Европе и США.

Отстойники или аккумулирующие резервуары, которые устраиваются как самостоятельные сооружения, заполняются стоками в период выпадения осадков и применяются для сбора поверхностных стоков на определенный промежуток времени (не менее суток), в течение которого отдельные загрязняющие вещества выпадают в осадок. Степень очистки поверхностных стоков в таких отстойниках низкая, из-за этого их чаще всего применяют для сброса непредвиденных объемов воды во избежание избыточного затопления территории.

Нефтеловушкипредназначены для удаления пленок нефтяных продуктов и смазочных материалов из поверхностных стоков. Скорость движения сточных вод в нефтеловушке составляет 0,005 - 0,01 м/с, приэтом всплывает 96 - 98% частиц размером 80 - 100 мкм.

Фильтрованиеприменяется для выделения из сточных вод тонкодисперсных твердых и жидких частиц, которые не обладают способностью выпадать в осадок. В качестве фильтрующих материалов используются металлические сетки, тканевые фильтры (хлопчатобумажные, из стекловолокна), керамические, иногда используются зернистые материалы - песок, гравий, торф, уголь и др.

Гидроциклоныиспользуются для очистки сточных вод от взвешенных частиц под действием центробежной силы. Принцип действия гидроциклона состоит в том, что вода с высокой скоростью по касательной подается гидроциклон, при вращении в котором на частицы действуют центробежные силы, отбрасывающие тяжелые частицы к периферии потока, при этом, чем больше разность плотностей частиц, тем лучше разделение, которые очищают стоки от взвешенных веществ, органических материалов примесей металлов. Построенные надлежащим образом растительные полосы способны удалять более 60% взвешенных частиц

С целью очистки стоков укрепление растительностью чаще всего производится на разделительной полосе и в боковых резервах. Для предотвращения преждевременного разрушения растительной полосы на разделительной полосе необходимо устраивать укрепление вдоль ее кромки.

Химические методы очистки сточных вод применяются для доочистки стоков перед их биологической очисткой или после нее и включают коагулирование(процесс осветления сточных вод с использованием коагулянтов), нейтрализацию (процесс повышения или снижения уровня pH в стоках для приближения ее к нейтральной), окисление (процесс выделения разрушения веществ, не поддающихся другим методам обработки).

Химические методы очистки применяются главным образом для локальной очистки промышленных сточных вод. Ихприменение требует высоких эксплуатационных расходов и высоких трудозатрат, поэтому они крайне ограничено когут использоваться для обработки стоков с автомобильных дорог и аэродромных покрытий. Удаление

основных загрязнений этой категории сточных вод не требует нейтрализации, да и применение коагуляции или окисления не является целесообразным.

Физико-химические методы очистки стоков включают флотацию, адсорбцию, ионный обмен, экстракцию и др. Для обработки стоков с автомобильных дорог и ВПП эти методы применяют довольно ограниченно.

Адсорбция. Одним из видов сооружений физико-химической очистки (используемых для очистки смывов с автодорог и ВПП), действие которых основано на принципе фильтрации стоков через адсорбирующие материалы, являются инфильтрационные бассейны, инфильтрационные траншей и дренажные колодцы [12, 13]. Инфильтрационные сооружения предназначены также для сброса больших объемов воды во время ливневого паводка; недопущения подтопления различных объектов, расположенных в нижнем бьефе; пополнения бассейна подземных вод, подземного питания близлежащих водоемов.

Ионообменная очистка или очистка на ионообменных фильтрахприменяется для извлечения из загрязненных стоков металлов: цинк, медь, хром, ванадий, марганец, свинец, ртуть и другие, а также, радиоактивных веществ. Ионный обмен является наиболее эффективным методом извлечения нитратов в питьевом водопользовании. Этот метод широко используется для умягчения вод питьевого назначения и вод для паросилового хозяйства. Но для обработки смывов с автомобильных дорог применение этих методов как по экономическим, так и по эксплуатационным показателям вряд ли целесообразно.

Биохимические методы очистки сточных вод основаны на способности микроорганизмов использовать загрязняющие вещества в качестве питательного субстрата. При реализации этого метода обработки сточных вод необходимо, чтобы состав стоков соответствовал ряду требований (ПДК для биологических очистных сооружений), в частности по pH, концентрации взвешенных веществ, тяжелых металлов, эфирорастворимых веществ, биогенных элементов и др. В аэробных биологических методах очистки применяют микроорганизмы, для жизни которых необходим кислород и температура плюс 20 - 40°С, анаэробные методы биологической очистки (брожения) основаны на процессах, протекающих без кислорода. Их чаще всего используют для обеззараживания осадков.

Аэробные методы очистки могут проводиться в естественных условиях (поля фильтрации, биологические пруды, испарительные бассейны и т.д.) и искусственным путем (биофильтры, аэротенки и т.д.). В искусственных сооружениях очистка стоков происходит быстрее, чем в естественных условиях. Это также и более управляемые процессы, требующие и более высоких эксплуатационных расходов. Процессы брожения производится в герметично закрытых резервуарах, а конечными продуктами являются кислоты, водород, углекислый газ, спирты и т.д.

Поля фильтрациипредставляют собой специально подготовленные земельные участки, предназначенные только для биологической очистки, без выращивания на них сельскохозяйственных культур. Лучшими для устройства полей фильтрации являются песчаные и супесчаные грунты. Подавать на поля фильтрации необходимо предварительно осветленные и освобожденные от взвешенных частиц стоки, что позволит повысить уровень очистки.

Биологические пруды или искусственные запрудыпредставляют собой обычно 3 - 5-ступенчатый каскад прудов с естественной аэрацией (глубиной 0,5 - 1 м и заселенные водными организмами) и искусственной аэрацией (с механическим перемешиванием или продуванием воздуха), через которые движутся предварительно очищенные стоки. Очистка в биологических прудах основана на процессах, происходящих при самоочищении водоемов. Биологические пруды рассчитываются на нагрузкузависящую от концентрации загрязнения стоков и температурных условий

района расположения. На эффективность работы биологических прудов в качестве очистных сооружений влияет их местоположение.

Испарительные бассейны,наполняемые во время дождей представляют собой еще один способ очистки поверхностных стоков от загрязнения. Наиболее предпочтительными являются длинные узкие испарительные бассейны или бассейны клиновидной формы, которые, кроме снижения влияния ветра и недопущения взбалтывания загрязненного осадка дна, позволяют контролировать преждевременные сбросы неочищенных вод во время интенсивных дождевых осадков.

Искусственные сооружения биологической очистка.Биофильтрами называются сооружения, в которых стоки фильтруются через материал, покрытый биологической пленкой, образованной микроорганизмами, использующими органические вещества в качестве питания. В качестве материала, через который фильтруются стоки. применяются щебень, шлак, гравий, керамзит, пластмассы, асбоцемент, ткани и др. Аэротенки представляют собой резервуары, в которых очищаемые стоки и ил насыщаются непрерывно подаваемым воздухом и перемешиваются. После очистки в аэротенках стоки необходимо подвергать отстаиванию. Если вместо воздуха для окисления используют технический кислород и высокие концентрации активного ила, сооружения носят название окситенки.

Выводы.

Очистные сооружения, на которые поступает аккумулированный на поверхности автомобильной дороги, ВПП и мостового полотна ливневый иснеговой сток, выполняют роль конструкций, позволяющих сохранить экологический баланс и являющихся водобалансными сооружениями. При строительстве очистных сооружений и использовании особенностей прилегающей к автомобильной дороге и ВПП территории особое внимание необходимо уделять сопряжению этих конструкций с системой дорожного поверхностного водоотвода.

Список литературы

1. Яковлев С.В., Ласков Ю.М. Канализация.- М.: Стройиздат, 2004.

2. Ильина А.А. Влияние автомобильного транспорта на загрязнение поверхностных стоков с автомобильных дорог и мостов // Новости в дор. деле: Науч.-техн. информ. сб./ФГУП «ИНФОРМАВТОДОР».-М, 2004.-Вып.2

3. Storm Water Technology Fast Sheet. Infiltration Drainfields / EPA. – Washington, 1999.-September.

4. Storm Water Technology Fast Sheet. Infiltration Trench / EPA. – Washington, 1999.-September.

УДК 504.3

А.Л. Шаповалов, кандидат технических наук,
(Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина)

ОЦЕНКА ЭКОБЕЗОПАСНОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ АВТОТРАНСПОРТОМ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА

Аннотация. Приводится методика прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автомобилей для оценки экобезопасности.

В районе аэропорта основными загрязнителями окружающей природной среды являются шум, загрязнение атмосферного воздуха, электромагнитные излучения. Источниками этих загрязнений является как авиационный, так и автомобильный транспорт. Последней выбрасывает в атмосферный воздух отработавшие газы, которые насчитывают свыше 200 токсичных химических соединений. Среди токсичных выбросов преобладает окись углерода. Также в атмосферный воздух выбрасываются: окиси азота и серы, углеводороды, канцерогенный бенз(а)пирен и тому подобное. Количество тех или других токсичных соединений зависит от интенсивности и состава транспортного потока, дорожных условий, погодно-климатических факторов и т. п. Таким образом, концентрацию окиси углерода можно принять показателем загрязнение атмосферного воздуха на улице или автомобильной дороги в районе расположения аэропорта [1].

Уровень загрязнения атмосферного воздуха от транспортного потока на улице или автомобильной дороге общего пользования оцениваем по концентрации окиси углерода по формуле, мг/м^3 [1-2].

$$K_{CO} = (C_Ф+0,01\cdot N\cdot K_Т)\cdot K_А\bullet K_У\bullet K_С\bullet K_В\cdot K_П\bullet K_З\bullet K_Ш\bullet K_О \qquad (1)$$

где $C_Ф$- фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м^3. Принимается по данным метеорологической службы аэропорта.

N - суммарная интенсивность движения на улице или дороге, транспортных единиц/час

$K_Т$- средний взвешенный коэффициент токсичности транспортного потока по выбросам в атмосферу СО (см. табл. 1). Определяется по формуле:

$$K_Т = \sum P_i \cdot K_i \qquad (2)$$

где P_I- состав движения транспортного потока в долях единицы;

$K_А$- коэффициент, учитывающий аэрацию местности (табл. 2);

$K_У$- коэффициент, учитывающий изменения загрязнения атмосферного воздуха *CO* в зависимости от величины продольного уклона улицы или дороги (см. табл. 3);

$K_с$,$K_у$- коэффициенты изменения концентрации СО в зависимости от скорости ветра и относительной влажности воздуха (табл. 5 и 6);

$K_П$- коэффициент изменения загрязнения атмосферного воздуха *CO* при осуществлении природоохранных мероприятий, усовершенствования двигателей автомобилей и эксплуатации по прогнозам экологов (табл. 7).

$K_З$- коэффициент, учитывающий изменение загрязнения воздуха в зависимости от типа организации дорожного движения на пересечении улицы или дороги (см. табл. 4);

$K_Ш$- коэффициент, учитывающий скорость транспортного потока (V) для улиц и дорог городов и других населенных пунктов. Определяется по формуле [3]:

$$K_Ш = 1,27 - 0,015\cdot V; \qquad (3)$$

где V – скорость потока автомобилей, км/ч. Скорость определяется с помощью программного комплекса CAD_CREDO или экспериментальным путем.

$К_О$- коэффициент плотности застройки или озеленения $П_З$. Определяется по формуле [4]:

$$К_О = 1+0,44 \cdot П_З; \quad (4)$$

где $П_З$– плотность застройки или озеленения принимается для: насыпи - 0,05; выемки и односторонней застройки – 0,10 ; двусторонней застройки от 0,2 до 0,4; транспортной галереи – 0,5; транспортного тоннеля – от 0,7 до 0,9.

Таблица 1 - Значение $К_I$ для разных типов транспортных средств [1-2].

Типы транспортных средств (символ)	Коэффициент $К_I$
Мотоцикл (МЦ)	0,8
Легковой автомобиль(ЛА)	1.0
Легкий грузовой автомобиль (ЛГА)	2.3
Средний грузовой автомобиль (СГА)	2.9
Тяжелый грузовой (дизель) (ТГА)	0.2
Автобус (БУС)	3.7
Микроавтобус (МБУ)	1.5

Таблица 2 - Значение коэффициента $К_А$, учитывающего аэрацию местности [1-2].

Тип местности	Коэффициент $К_А$
Транспортные тоннели	2.7
Транспортные галереи	1.5
Магистральные улицы и дороги городов с многоэтажной застройкой с обеих сторон	1.0
Жилые улицы городов с одноэтажной застройкой, улицы и дороги в выемке	0.6
Улицы и дороги городов с односторонней застройкой, набережные, эстакады, виадуки, высокие насыпи	0.4
Подземные пешеходные переходы	0.2

Таблица 3 - Значение коэффициента $К_У$, учитывающего загрязнение атмосферного воздуха окисью углерода на уклоне улицы или дороги городов [1-2].

Продольный уклон , %	Коэффициент $К_У$
0	1.00
2	1.06
4	1.01
6	1.18
8	1.55
10	1.91

Таблица 4 - Коэффициент загрязнения $К_З$ на пересечении улиц и дорог [1-2].

Тип организации дорожного движения	Коэффициент $К_З$	Символ на плане
Пересечение в разных уровнях	1.05	2 уровня
Пересечение в одном уровне:		
- регулируемое:		
- - с управляемым сигналом светофора	1.20	- АСУ-
- - с твердой координацией	1.40	свето фор
- - изолированное	1.80	ИЗО
- нерегулированное (саморегуливанное):		
- - с отнесенным левым поворотом	1.30	налев о
- - кольцевое	1.50	кольц о
- - с обязательной остановкой	2.00	STOP

Примечание. Влияние этого фактора 50 м до и 50 м после пересечения.

Таблица 5 - Коэффициент изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра $К_С$[1-2].

Скорость ветра, м/с	Коэффициент $К_С$
не более 1	2.70
2	2.00
3	1.50
4	1.20
5	1.05

6 и более	1.00

Таблица 6 - Значение коэффициента $К_В$, определяющго изменение концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха [1-2].

Относительная влажность воздуха, %	Коэффициент $К_В$
100	1.45
90	1.30
80	1.15
70	1.00
60	0.85
50	0.75
40	0.60
30	0.45

Таблица 7 - Коэффициент прогноза $К_П$ изменения загрязнения атмосферного воздуха при осуществлении природоохранных мероприятий [1-2].

Годы	$К_П$
1990	0.50
1995	0.65
2000	1.10
2005	1.65
2010	2.30
2015	2.70

Вывод: В качестве критерия оценки экобезопасности атмосферного воздуха при загрязнении автотранспортом в районе аэропорта рекомендуется принять следующую градацию : при концентрации СО менее 3 мг/м^3 ($ПДК_{СС}$) – 5 баллов или”экологически безопасно”. При концентрации СО от 3 до 5 мг/м^3 ($ПДК_{МР}$) – 4 баллов или”экологически слабо опасно”. При концентрации СО от 5 до 20 мг/м^3 ($ПДК_{РЗ}$) – 3 баллов или”экологически умеренно опасно”, а при концентрации выше 20 мг/м^3 – 2 балла или ”экологически опасно”.

Список литературы

1. М 218-02071168-416-2005**.** Методика виявлення, оцінки і ранжування потенційних екологічно небезпечних місць автомобільної дороги К.: Укравтодор Мінтрансу України, 2005.–52 с.

2. *Шаповалов А.Л.* Прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха в придорожном пространстве.- Харьков: Вестник ХНАДУ, Вып. 19, 2002.- с. 82-84

3. *Беккер А.А., Агаев Т.Б.* Охрана м контроль загрязнения природной среды,- Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989.- 287 с.

4. *Угненко Е.Б.* Усовершенствование методов оценки экологической безопасности окружающей природной среды при строительстве и реконструкции автомобильных дорог.- Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2005.-140 с.

УДК 629.33.072.2:004.94

Э. Соколовский, доцент, О. Прентковский, доцент,
К. Кемзурайте, магистр, В. Бартулис, доцент, Г. Гарбинчюс, доцент
(Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литва)
А. Торок, научный сотрудник
(Будапештский университет технологий и экономики, Венгрия)

PC-CRASH: МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПРОКИДЫВАНИЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Исследуются возможности программного пакета PC-CRASH, предназначенного для компьютерного моделирования движения транспортных средств и расследования дорожно-транспортных происшествий. Моделируется процесс опрокидывания автомобиля. Учитывается поперечный профиль дороги, высота центра тяжести автомобиля и другие геометрические и физические параметры. Результаты моделирования наглядно демонстрируются графически.

Введение

Дорожное движение – совокупность общественных отношений, возникающих в процессе перемещения людей и грузов с помощью транспортных средств или без таковых в пределах дорог. *Безопасность дорожного движения* – комплекс мероприятий, направленных на обеспечение безопасности всех участников дорожного движения. Безопасность дорожного движения и эксплуатации транспортных средств относится к числу общих для всего человечества глобальных проблем. Первое дорожно-транспортное происшествие – наезд автомобиля на пешехода было зафиксировано еще в 1896 г., т. е. всего через 10 лет после изобретения автомобиля. В 1899 г. такое же происшествие закончилось смертью человека. С тех пор число дорожно-транспортных происшествий непрерывно увеличивается, что в свою очередь вызывает вполне обоснованную тревогу [1].

Для моделирования и расследования дорожно-транспортных происшествий в мире создано и используется множество программных пакетов, например, PC-CRASH, MADYMO, LS-DYNA, PAM-CRASH, RADIOSS и др. Авторы статьи для моделирования опрокидывания автомобиля выбрали программный пакет PC-CRASH [2], который уже на протяжении многих лет успешно применяется экспертами дорожно-транспортных происшествий в Литве и других странах.

При моделировании необходимо, как возможно точнее, описать все отдельные составляющие дорожно-транспортного происшествия – транспортное средство (или несколько), поверхность дороги, элементы инфраструктуры и т. д.

Так, например, главными составляющими при моделировании движения автомобиля до опрокидывания, во время опрокидывания и после него являются: сам автомобиль, распределение его масс между подвесками, поперечный и продольный профиль дороги, условия контакта колес автомобиля с поверхностью дороги, начальная скорость движения, направление движения и т. д.

Вкратце о программном пакете PC-CRASH

Программный пакет реконструкции механизма дорожно-транспортного происшествия PC-CRASH создан австрийской корпорацией *Dr. Stefan Datentechnik* [2].

Программный пакет PC-CRASH обеспечивает:

- динамическое моделирование движения транспортных средств в трехмерном пространстве;

- динамическое моделирование столкновений транспортных средств: при этом учитываются особенности технического состояния транспортного средства, его загрузки, особенности рельефа поверхности дорожного покрытия, его состояния;
- динамическое изображение реконструированного механизма дорожно-транспортного происшествия в аксонометрической проекции, создание видеороликов с расположением камеры в произвольной точке пространства: на дороге, на обочине, на возвышении, на двигающемся транспортном средстве, на водительском месте в транспортном средстве.

Программный пакет PC-CRASH позволяет моделировать не только механизм движения одиночного транспортного средства, но и автопоезда из нескольких транспортных средств с учетом их технического состояния, загрузки, особенностей конструкции.

Моделирование возможно в различных дорожных условиях: при наличии участков дороги с различными коэффициентами сцепления шины колеса автомобиля с покрытием дороги, при наличии разных уклонов поверхности, при учете сопротивления воздуха (ветровой нагрузки).

Важным достоинством программного пакета PC-CRASH является возможность определения скоростей движения транспортных средств перед столкновением (на основании моделирования механизма столкновения) по известным исходным данным: месту столкновения, взаимному положению транспортных средств в момент столкновения, конечным положениям после столкновения, режимам движения транспортных средств после столкновения до места остановки.

При моделировании движения транспортного средства учитываются следующие параметры: характеристики работы двигателя, параметры (передаточные числа) трансмиссии, модель шин каждого колеса, параметры работы подвески, распределение нагрузки в транспортном средстве, время срабатывания тормозной системы, рулевого привода, скорость вращения рулевого колеса, угол поворота управляемых колес, параметры работы тормозной системы.

Посредством задания участков дороги с разными режимами движения транспортного средства моделируется его траектория, максимально повторяющая фактическую траекторию, что позволяет рассматривать ряд вопросов, которые иными экспертными средствами решить невозможно.

Моделирование опрокидывания автомобиля

Далее продемонстрируем, как с помощью программного пакета PC-CRASH возможно моделировать опрокидывание автомобиля [2, 3]. Для русскоязычного читателя понятие об отдельных окнах и опциях программного пакета (рис. 1–5) будет затруднено, так как авторы используют литуанизированную версию программного пакета PC-CRASH.

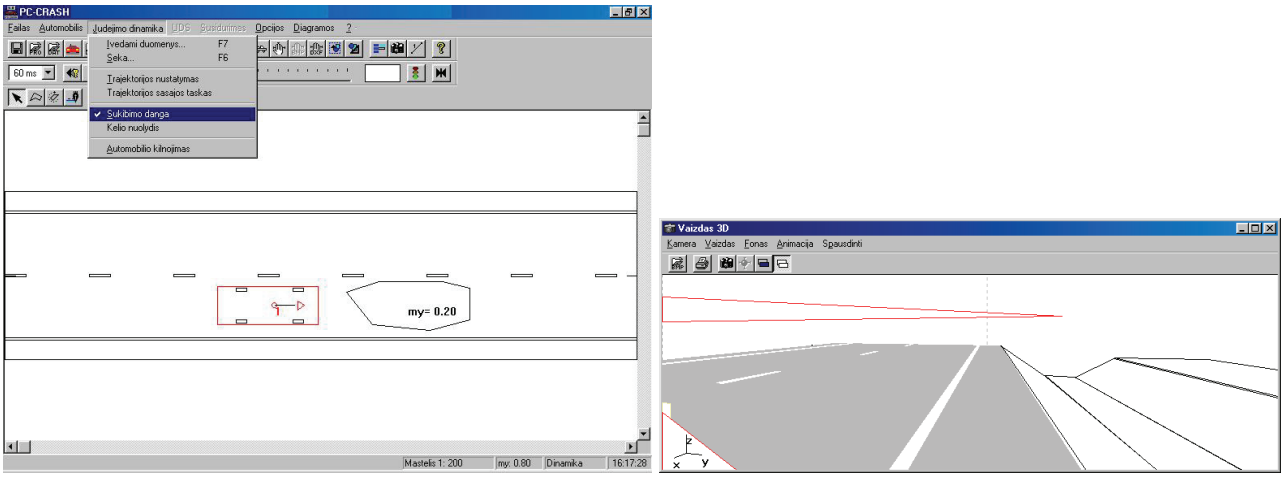
Для начала выбирается участок дороги и для ее поверхности задаются коэффициенты сцепления шин колес автомобиля с поверхностью дороги (рис. 1 а). Поверхность дороги можно разделить на множество участков с различными коэффициентами сцепления. Для пространственного моделирования в программный пакет вводится информация не только о поверхности дороги, но и ее поперечный профиль (рис. 1 б).

Далее из банка данных выбирается конкретный автомобиль (с конкретными техническими характеристиками) для исследования его движения до опрокидывания, во время опрокидывания и после него (рис. 2).

Также возможно задать различные режимы движения автомобиля (разбег, установившееся движение, торможение) и параметры режима движения.

При моделировании предусмотрена возможность выбора и учета множества параметров автомобиля, например, элементы подвески, степень загруженности автомобиля, тип шин, распределение тормозных и других сил, и т. д. (рис. 3 и 4).

Выбрав (введя) значение коэффициента сцепления шины колеса автомобиля с покрытием дороги, программный пакет автоматически выберет значение замедления автомобиля. Возможно и наоборот, ввести значение замедления автомобиля, тогда программный пакет пересчитает значение коэффициента сцепления (рис. 4 в). Предусмотрена возможность ввода значения замедления автомобиля, как функции от скорости. В таком случае, замедление – гиперболическая функция, значения которой рассчитываются при вводе замедлений при скорости движения автомобиля 20 и 80 км/ч.



а) б)

Рис. 1. Информация о поверхности дороги:
а – выбор коэффициента сцепления шины колеса автомобиля с поверхностью дороги на конкретном участке; б – поперечный профиль дороги

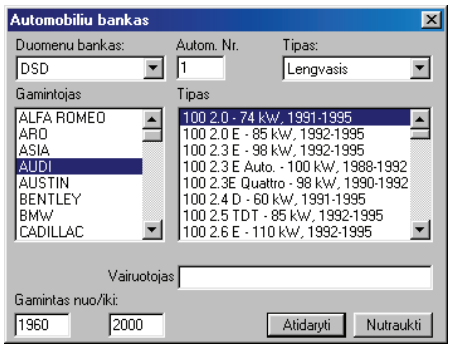


Рис. 2. Выбор конкретного автомобиля с конкретными техническими характеристиками

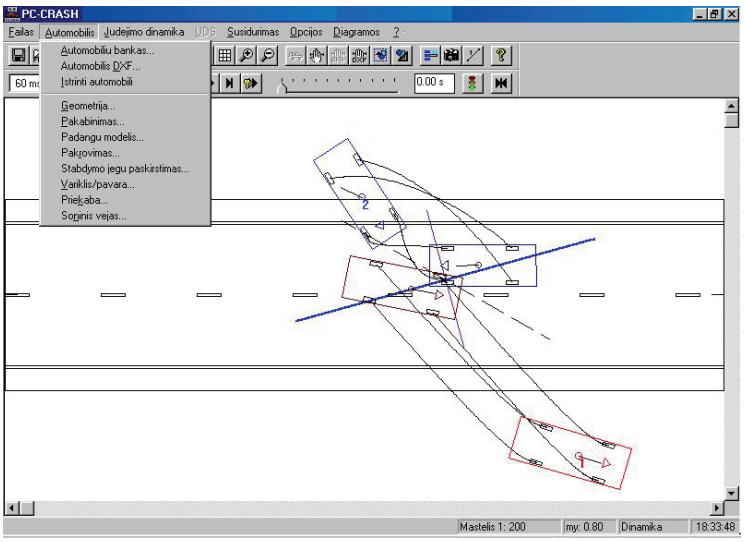
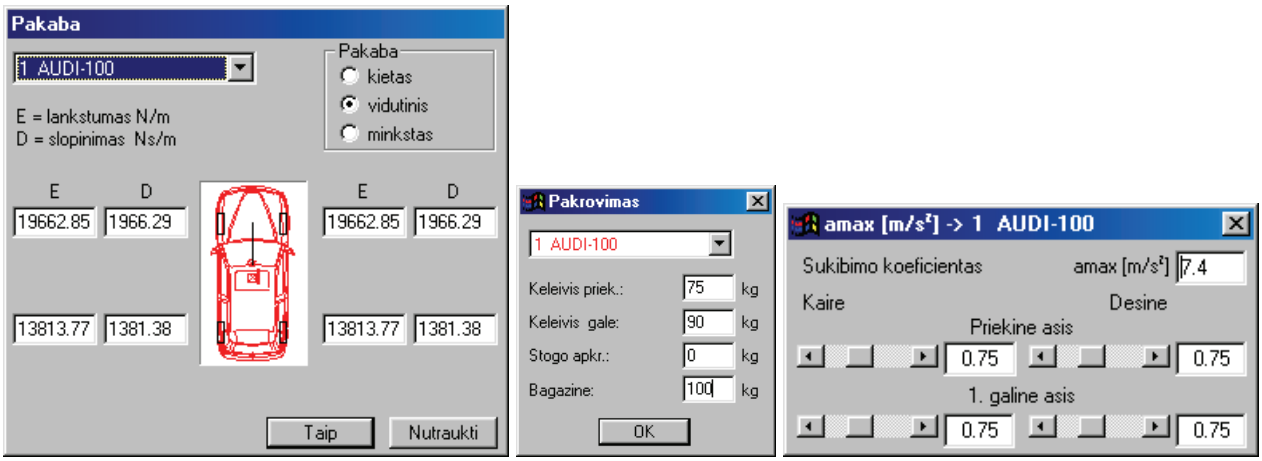
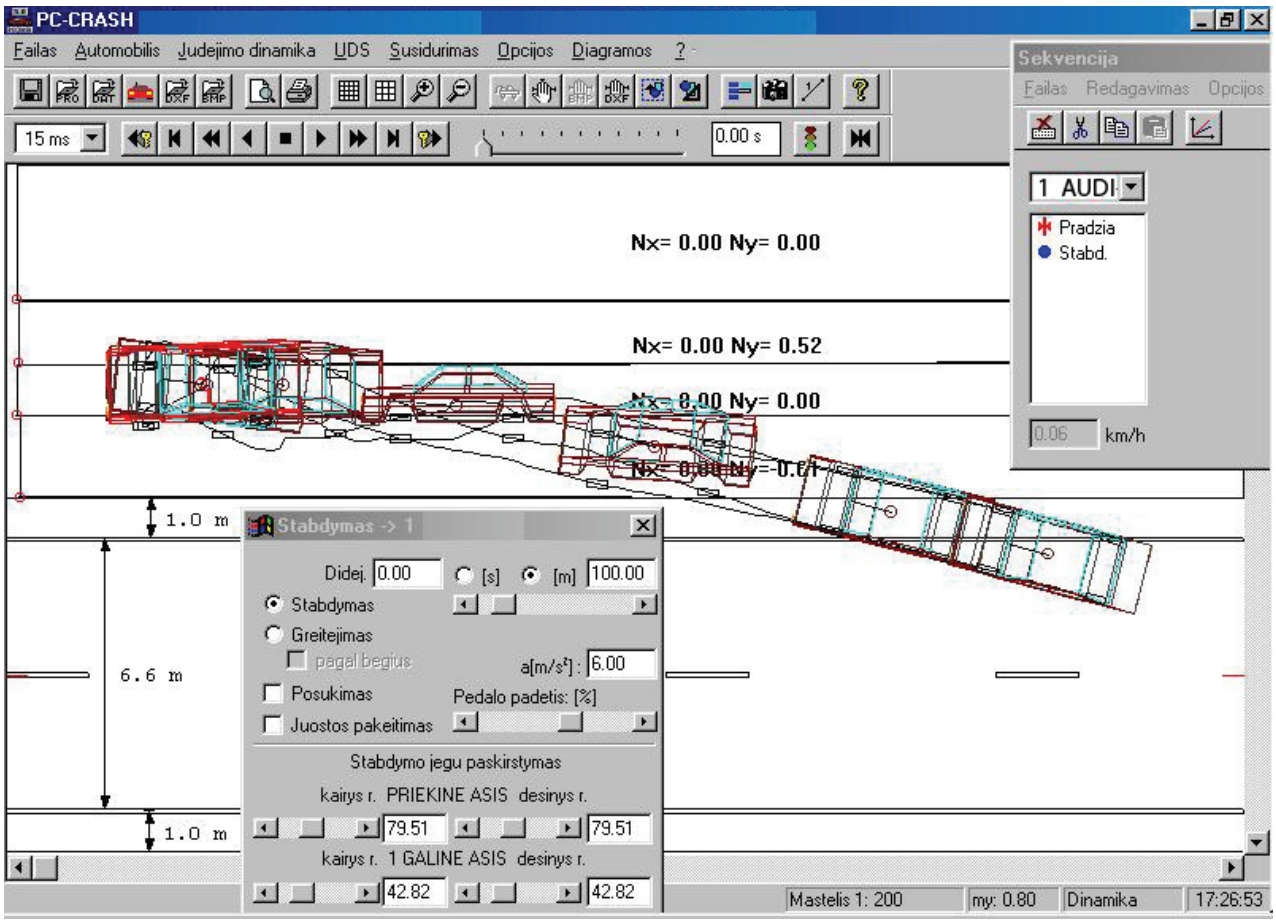


Рис. 3. Общий вид окна визуализации программного пакета PC-CRASH (видны возможные для выбора параметры автомобиля)

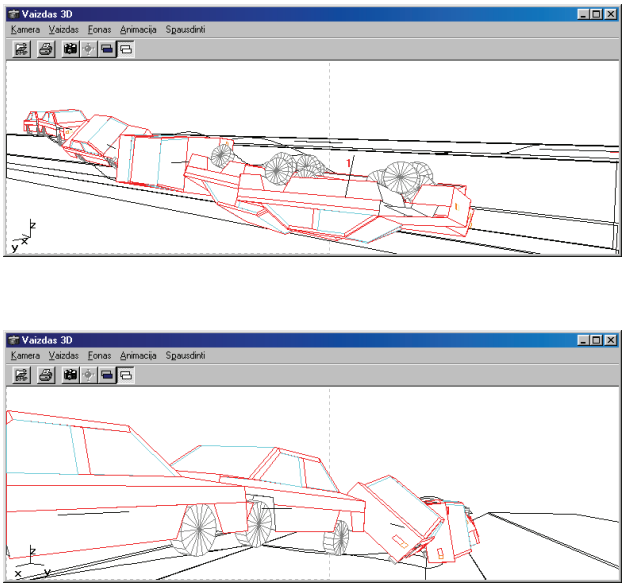


а) б) в)

Рис. 4. Выбор параметров:
а – подвески автомобиля; б – загруженности автомобиля; в – коэффициентов сцепления шин колес автомобиля и замедления автомобиля, независимо от скорости движения



а)



б) в)

Рис. 5. Опрокидывание автомобиля: а – вид сверху; б – вид спереди; в – вид сзади

С помощью программного пакета PC-CRASH возможно не только определить скорость движения перед дорожно-транспортным происшествием (в данном случае – опрокидывании), но и наглядно увидеть «поведение» автомобиля до, во время и после дорожно-транспортного происшествия (в данном случае – опрокидывании).

На рис. 5 представлены результаты моделирования опрокидывания автомобиля – его съезд с обочины (откоса) дороги.

Выводы

1. Программные пакеты для моделирования и исследования дорожно-транспортных происшествий облегчают работу экспертам, расследующим дорожно-транспортные происшествия, проектировщикам потенциально опасных участков дороги и исследователям упомянутых участков. Один из таких программных пакетов – PC-CRASH, одно из его практических применений – моделирования опрокидывания автомобиля – наглядно представлено в публикации.
2. Понятно, что результаты моделирования во многом зависят от вводимых параметров всех участников дорожно-транспортного происшествия, поэтому компьютерное моделирование должен выполнять специалист (эксперт, проектировщик, исследователь), имеющий навыки применения программного пакета, только в таком случае полученные результаты будут надежными и могут быть использованы практически.

Список литературы

1. *Prentkovskis O., Sokolovskij E., Bartulis V.* Investigating Traffic Accidents: a Collision of Two Motor Vehicles // Transport Vol 25, No 2. Vilnius: Technika, 2010, p. 105–115. doi:10.3846/transport.2010.14

2. PC-CRASH: A Simulation Program for Vehicle Accidents. Operating Manual. Version 8.1. Datentechnik Group. Linz, Austria. 2007. 299 p.

3. *Prentkovskis O.; Sokolovskij E.* Computer-run simulation of rollover of the motor vehicle // Transport and Telecommunication Vol 9, No 1. Riga: Transport and Telecommunication Institute, 2008, p. 14–20.

УДК 697.8

Ю.В. Верюжський, професор, О.І. Яворська, доцент
(Національний авіаційний університет, Україна)

ПРОВЕДЕННЯ РИЗИК-АНАЛІЗУ РУЙНУВАННЯ ЦЕГЛЯНИХ ДИМОВИХ ТРУБ З ВРАХУВАННЯМ ФАКТИЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

Основною властивістю, що визначає надійність будівельних конструкцій будинків й інженерних споруд, є безвідмовність їхньої роботи - здатність зберігати задані функції протягом певного терміну служби. Найнебезпечніші раптові відмови. Вони, як правило, супроводжуються миттєвим обваленням конструкцій.Уникнути раптових відмов можна шляхом їхнього прогнозування й ліквідації допущених помилок.

При експлуатації будівель та споруд, а також при їх дослідженні широко застосовуються для оцінки технічного стану конструкцій візуальні та інструментальні дослідження. В зв'язку з цим виникає необхідність у встановленні надійності досліджуваних конструкцій по зовнішнім признакам пошкоджень та з врахуванням їх фактичного стану.

Як показали спостереження, в процесі експлуатації конструкцій цегляних димових труб відбувається циклічна зміна їх надійності, що пов'язано зі змінністю величин навантажень та зміною несучої здатності внаслідок порушення умов експлуатації та різних пошкоджень.

При досягненні конструкціями певного рівня надійності в ній будуть спостерігатися незворотні пошкодження: тріщини, втрата стійкості стиснутих елементів, пластичні деформації, корозійні пошкодження тощо. Пошкодження критичного характеру в конструкціях можуть привести до руйнування конструкції та аварії будівлі або споруди [1].

Актуальним питанням являється експертиза цегляної димової труби на можливість аварії за допомогою проведення ризик-аналізу з врахуванням фактичного стану конструкцій цегляних димових труб.

Для будівель та споруд основним видом безпеки є конструкційна, що характуризує здатність несучого каркасу об'єкта чинити опір перевантаженням в надзвичайних ситуаціях, і що визначається як відсутність в ньому недопустимого ризику аварії [1,2].

Рівень конструкційної безпеки вважається достатнім, якщо фактичний ризик аварії об'єкта знаходиться в області прийнятних значень.

Межами такої області є два стандартних значення ризику: нормальний, що являється допустимим значенням ризику аварії для проектуємих будівель та споруд, та гранично-допустиме значення, при досягненні якого на об'єкті, що знаходиться в експлуатації, необхідно виконати ремонтні роботи з метою зниження ризику аварії та подовження його безпечного ресурса. Існує і третє стандартне значення ризику аварії – граничне, при досягненні якого фізичний (конструкційний) стан об'єкта стає граничним, а здатність несучого каркасу опиратися діючим навантаженням практично вичерпується.

Границя допустимих значень ризику аварії регламентує рівень конструкційної безпеки будівель та споруд. Для її практичного застосування необхідна інформація щодо велечини фактичного ризику аварії [4].

Методики розрахунку ризику аварії та безпечного залишкового ресурсу будівель та споруд тісно пов'язані з процедурами оцінки та регулювання рівня конструкційної безпеки проектуємих будівель та споруд. Застосування даної методики дозволяє:

– віднести технічний стан досліджуваного об'єкта до одного з трьох можливих: безпечному, аварійному або ветхо-аварійному;

– визначити важливість кожної групи конструкцій несучого каркасу в величину ризику аварії досліджуваного об'єкта;

– визначити безпечний остаточний ресурс об'єкта та зробити прогноз проміжку часу експлуатації, по закінченню якого на цьому об'єкті необхідно виконати заходи щодо зниження ризику аварії.

З багаторічного досвіду будівництва та експлуатації виявлено наступні причини аварійного руйнування будівельних об’єктів:

- недоробку норм проектування - 10%;
- невдале проектне рішення-36%;
- низька якість будівельних матеріалів-2%;
- погана якість виготовлення й монтажу - 39%;
- недоліки експлуатації-12%;
- збіг несприятливих факторів-2%.

Фактична ймовірність аварій у рік складає:

- для будинків -$1{,}4 \cdot 10^{-4}$;
- для інженерних споруд $1{,}5 \cdot 10^{-5}$.

Причому ймовірність аварійного руйнування будівельних об’єктів, викликаних несприятливим розподілення міцності конструкцій і навантажень, складає в середньому $2 \cdot 10^{-6}$.

Аналізуючи дані про аварійні руйнування, слід відзначити, що аварії так чи інакше пов'язані з порушенням вимог норм і правил будівельної практики.

В даний час, більша частина цегляних димових труб знаходиться в експлуатації більше 15-20 років та експлуатується з дефектами та пошкодженнями у вигляді тріщин цементно-піщаного розчину та цегляної кладки труби, сколами цементо-пісчаного розчину з оголенням цегляної кладки, частковим зруйнування цегляної кладки, сколами цегляної кладки, відколюванням цегли у наслідок розморожування кладки, виступанням солей на зовнішній поверхні цегли тощо [3,5].

Усунення виявлених дефектів та пошкоджень відбувається лише при планових ремонтах або зупинці обслуговуючих агрегатів. Існуючі в даний час методики з розрахунку довговічності конструкцій з подібними дефектами застосовано до стволів цегляних труб не відображають дійсної роботи споруд даного типу і не враховують всю специфіку характеру навантаження.

Проблемі руйнування конструкцій і споруд присвячено велике число робіт, і дослідження в цій області продовжуються. Проте вивчення питання в області безпечної експлуатації і контролю стану димових труб вкрай обмежене. Вживання в цих цілях традиційних методів обстеження і моніторингу будівельних об'єктів потребує істотного коректування і обґрунтування, пов'язаних із специфікою експлуатаційних умов об'єкту (високотемпературні, хімічно агресивні газові потоки усередині труб, вібрації тощо). Офіційні методи оцінки фізичного стану та ризик-аналізу аварії функціонуючих димових труб без зупинки технологічного процесу до теперішнього часу не розроблені [5, 6, 7].

Таким чином, існує необхідність в розробці методики оцінки довговічності та проведення ризик-аналізу руйнування стволів цегляних димових труб, що експлуатуються з тріщиноподібними дефектами, що будуть враховувати специфіку температурних і вітрових навантажень, а також зміну властивостей матеріалу несучих конструкцій цегляних димових труб за час експлуатації.

Для вирішення поставленої задачі необхідно вирішити ряд завдань:

1. Проаналізувати умови експлуатації та пошкодженості несучих стволів цегляних димових труб.
2. Проаналізувати характер обтікання циліндричних тіл та методику визначення вітрового навантаження на стволи димових труб.
3. Провести аналіз властивостей матеріалів цегляних димових труб, та виявити закономірності їх змін з часом.
4. Провести експериментальні дослідження температурного режиму експлуатації та виявити температурний градієнт на поверхні стволів цегляних труб в зонах виникнення пошкоджень футерування цегляних димових труб.
5. Проаналізувати параметри пульсаційного вітрового навантаження та характеру роботи цегляних димових труб.

Розвиток методів розрахунку, що враховуватимуть поведінку конструкцій цегляних димових труб з врахуванням фактичного технічного стану при виключенні з конструктивної

схеми окремих елементів, зв'язків, закріплень тощо, та створення на основі аналізу подібних ситуацій адаптаційних конструктивних схем, що виключатимуть прогресуюче руйнування як під час експлуатації так і при реконструкції, передбачає поєднання методів інструментальних та чисельних досліджень.

При проведенні дослідження ризику була використана інтегрована система аналізу конструкцій (ПК) "ЛИРА 9.4", орієнтована на вирішення широкого класу задач та аналіз поводження конструкцій при різноманітних навантаженнях та впливах.

Реакція споруди на вплив навколишнього середовища визначається рядом складних фізичних процесів, адекватний опис яких на протязі всього інтервалу дії навнтаження – від початку до руйнування конструкції є проблематичним з багатьох причин. Для цього необхідно визначити детальну теорію явища (опису особливостей втомного руйнування, повного набору параметрів, що характеризують фактичну поведінку матеріалів споруди тощо). Все це призводить до необхідності заміни фізичної реальності деякою апроксимованою розрахунковою моделлю, або розрахунковою схемою, що має ідеалізовані властивості.

Заміна вихідної конструкції сукупністю дискретних елементів має на меті рівність енергій конструкції та її дискретної моделі. Для виконання розрахунків за міцністю несучих конструкцій розробляється модель метода скінчених елементів. При побудові розрахункових схем приймається, що всі конструктивні елементи будівельних конструкцій димової труби складаються із ідеалізованого матеріалу, із зберіганням головних фізико-механічних характеристик та властивостей. Цегляна труба моделюється універсальним чотирикутним скінченним елементом оболонки (СЕ типу 44). Стяжні кільця та конструктивні елементи технологічних площадок моделювалися елементами просторового стержня (СЕ типу 10). На рис. 1 наведено переріз скінченно-елементної моделі цегляної димової труби до реконструкції, на рис. 2 переріз скінченно-елементної моделі цегляної димової труби після реконструкції:

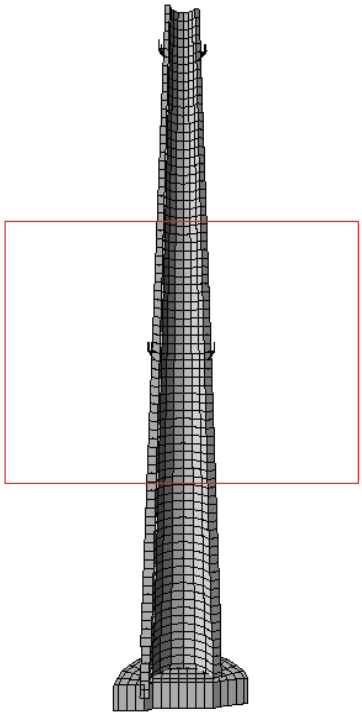


Рис. 1. Переріз скінченно-елементної моделі цегляної димової труби до реконструкції

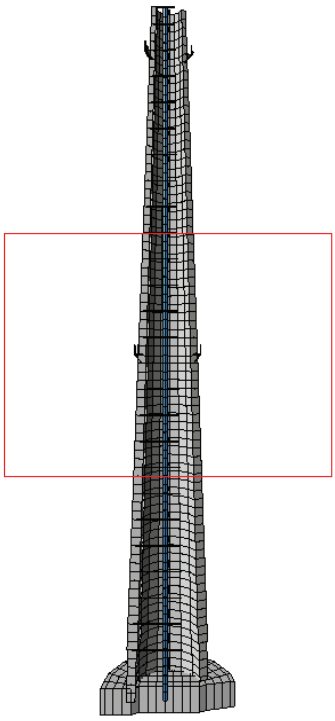


Рис. 2. Переріз скінченно-елементної моделі цегляної димової труби після реконструкції

В результаті розрахунку були отримані періоди та частоти коливань, переміщення вузлів розрахункової моделі за напрямком осей основної системи координат, напруження відносно власних (місцевих) осей скінченних елементів.

Для кожного скінченного елемента по кожному завантаженню та комбінації завантажень

були визначені всі параметри напружено-деформованого стану.

Враховуючи складність представлення великого об'єму інформації, результати розрахунку для основних несучих конструкцій представлені у вигляді ізоліній деформацій та напружень, та проведений відбір найбільш навантажених елементів конструкцій споруди.

Враховуючи складний характер будівельних ризиків (більшість з них неможливо описати з допомогою суворо детермінованих причинно-наслідкових зв'язків), основним джерелом для виявлення (ідентифікації) будівельних ризиків являються переліки ризиків на об'єктах-аналогах, або їх виявлення при проведеннях обстежень, моніторингу, експертної оцінки, авторського спостереження та інше.

Існуючі статистичні данні вказують на найбільш конкретні причини аварійного руйнування цегляних димових труб:

1. Порушення правил технічної експлуатації – 35,3%.
2. Втрата несучої здатності вузловими монтажними з'єднаннями внаслідок допущених дефектів та відступ від проектних рішень – 26,5%.
3. Перевищення розрахункових навантажень на конструкції при будівництві, реконструкції та виконання ремонтних робіт – 11,8%.
4. Низька міцність конструкційних систем та окремих конструкцій – 11,8%.
5. Просадки фундаментів, викликані зниженням несучої спроможності ґрунтів основи та їх зміщенням – 8,8%.
6. Застосування помилкового проектного рішення – 2,9%.
7. Незабезпечення вимог розподілення навантаження в місцях спирання несучих конструкцій на цегляну кладку – 2,9%.

Висновки

За результатами візуальних, інструментальних, вимірювальних, геодезичних та обмірних обстежень споруди цегляної труби, а також чисельних методів розрахунків та проведення ризик-аналізу, були зроблені висновки про фактичний технічний стан несучих будівельних конструкцій та розроблені рекомендації для забезпечення довготривалої та безпечної роботи споруди цегляної труби під час та після реконструкції.

Список літератури:

1. *Верюжський Ю.В.* Методи аналізу небезпек будівельних конструкцій будинків та споруд на основі теорії ризиків.-К.: Вісник НАУ, 2004, №4. с.92-98.

2. *Верюжський Ю.В.*, *Ширшов В.Г.* Визначення розрахункового і допустимого значення ризиків відповідальних об′єктів. Вісник НАУ. №1, -К.: 2004.с.86-89.

3. Дымовые трубы. *А.М. Ельшин*, *М.Н. Ижорин*, *В.С. Жолудов*, *Е.Г. Овчаренко*. Под редакцией *С.В. Сатьянова*. – М.:Стройиздат, 2001. – 296 с.

4. *Тамразян А.Г.*, *Степанов А.Ю.* Оценка рисков различного характера при техногенных воздействиях на объекты строительства, реконструкции и эксплуатации. Материалы III Международной научно-практической конференции «Современные системы и средства комплексной безопасности и противопожарной защиты объектов строительства. Стройбезопасность-2005»

5. *Шаповал Д.В.* Контроль пространственного положения промышленных труб // Эксперт промышленной безопасности Южного Урала: Информационно-аналитический бюллетень, Челябинск, 2005. – Вып. 2 – С.

6. СНиП III-24-75 «Промышленные печи и дымовые трубы»

7. СП 13-101-99 «Свод правил по проектированию и строительству. Правила надзора, обследования, проведения технического обслуживания и ремонта промышленных дымовых и вентиляционных труб»

УДК 696(078)

Н.Б. Агаев, доктор технических наук
(Национальная Академия Авиации, Азербайджан)

НЕЙРОСЕТЕВЫЕ ПОДХОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

В работе предлагается четырехслойная нейронная модель в сложных трубопроводных системах. Разработано алгоритм обучения для предлагаемой обобщенно - нейронной сети с радиальными базисными элементами. Исследования показывают, что предлагаемая нейронная сеть хорошо моделирует изменения газодинамических параметров газопроводов.

Газодинамические процессы в сложных трубопроводных системах при классическом подходе моделирования описываются большим числом алгебраических и дифференциальных уравнений. Учет отдельных элементов, которые рассредоточены и удалены друг от друга и от центров управления на значительные расстояния и изменение режимов работы каждого из этих элементов в увязке граничных и начальных условий из-за многомерности задачи, не позволяет провести точный и достоверный анализ неустановившихся режимов. Поэтому при составлении математических моделей стремятся к получению простейших моделей при удовлетворительной точности расчетных данных. В этом случае, нейронное модели оказываются более предпочтительными. В литературе имеются публикации об успешном использовании нейронных сетей для прогнозированиях[1], адаптивного управления [2] и оптимизации [3,4], работы различных технических систем, в том числе систем газоснабжения [5,6,7]

Постановка задачи Рассмотрим газопроводную систему со сложными топологическими структурами. Она описывается набором входных (давление и расход в начале трубопроводной системы) и выходных (давление и расход в конце трубопроводной системы) переменных. За начало трубопроводной система принимаются пункты управление, которые обычно находятся в начале системы по направлению движения. Принимаем, что наблюдаемые входные и выходные данные имеют ограниченную случайную ошибку. Кроме того, будем считать, что температура по всей системе постоянная. Измерение давления и расхода проводилось независимо друг от друга.

Для моделирования динамических процессов, происходящих в сложных трубопроводных системах выбираем обобщенно-нейронную сеть с радиальными базисными элементами. П редлагаемая сеть состоит из четырех слоев: входной, два скрытых слоя и выходной. Во входном слое каждый элемент принимается как один нейрон. Кроме того, в слое имеется специальный вычислительный блок, который подготавливает данные к применению. После применения процедуры повышения достоверизации и нормализации исходных данных нужно оценить глубину предыстории по каждой из входных переменных. С этой целю используется время корреляции $T_{кор}$, которое дает нам глубину предыстории входного переменного. Учитывая это, данные, которые измерялись в течение временного интервала, равного времени корреляции-$T_{кор}$, группировались в виде входных наборов. Временной сдвиг между входными и выходными данными определяется как время задержки - $T_{зад}$ Выходные наборы или так называемые контрольные выходные выборки, комплектируются $T_{зад}$ позже от входных наборов.

Из входных наборов с длинами не меньше $T_{зад}$ составляются классы. При этом второй класс комплектируется со сдвигом один элемент первого класса и таким образом все элементы входного слоя распределяются по классам с одинаковыми длинами. Для каждого *i*-го класса определяется среднее и среднеквадратического отклонение.

Каждый класс на первом скрытом слое принимается как один нейрон, который состоит из радиальных элементов со своими средними значениями и среднеквадратическими отклонениями. В этом слое каждый *j*-тый элемент *i*-го нейрона характеризуется гауссовыми ядерными функциями :

$$f_i(X_j, \overline{X}_i, \sigma_i) = e^{-\left(\frac{X_{ij}-\overline{X}_i}{\sigma_i}\right)^2} \qquad i = 1,....,N\,. \tag{2}$$

Первый скрытый слой принимает элементы от входного слоя по классам. В этом слое специальный блок «деление» находит взвешенную среднюю сумму:

$$X_{ki} = x_{ki} e^{-\left(\frac{x_{ki}-\overline{x}_i}{\sigma_i}\right)^2} \Bigg/ \sum_{k=1}^{N_i} e^{-\left(\frac{x_{ki}-\overline{x}_i}{\sigma_i}\right)^2}\,, \tag{3}$$

где

X_{ki} -выход i –го нейрона первого скрытого слоя;

N_i -число элементов i–го класса;

x_{ki} - i-ый элемент k -го класса.

На втором скрытом слое осуществляется линейное преобразование данных полученных от первого скрытого слоя:

$$Y = \sum_{j=1}^{N} w_j f(X_j, \overline{x}_j, \sigma_j)\,, \tag{4}$$

где

$w_j \quad j = 1,..., N$ – вес связи с i-ым нейроном второго скрытого слоя.

Настраиваемыми параметрами сети в данном подходе являются синоптические связи между нейронами скрытого слоя и выходным нейроном:

$$W = \left|w_1, w_2, ..., w_n\right|^T. \tag{5}$$

Чтобы определить значение синоптических связей между нейронами скрытого слоя, определим их среднее - $\overline{x}_i$ и среднеквадратического отклонение- σ_i активационных функций. Выбираем контролируемые выборки с размером равным количеству входных классов. Выход j -го нейрона выходного слоя будет равен:

$$Y_j = w_1 f(X_{j1}, \overline{x}_1, \sigma_1) + w_2 f(X_{j2}, \overline{x}_2, \sigma_2) + ... + w_N f(X_{jN}, \overline{x}_N, \sigma_N) \quad j = \overline{1, N}\,. \tag{6}$$

Расписав это уравнение для всех выходов сети, получим следующее уравнение в матричной форме:

$$\Phi \left\| W \right\|^T = Y\,, \tag{7}$$

где

$$\Phi = \begin{Vmatrix} f(X_{11}, \overline{x}_1, \sigma_1) & f(X_{12}, \overline{x}_1, \sigma_1) & ... & f(X_{1N}, \overline{x}_1, \sigma_1) \\ f(X_{21}, \overline{x}_2, \sigma_2) & f(X_{22}, \overline{x}_2, \sigma_2) & ... & f(X_{2N}, \overline{x}_2, \sigma_2) \\ ... & ... & ... & ... \\ f(X_{N1}, \overline{x}_N, \sigma_N) & f(X_{N2}, \overline{x}_N, \sigma_N) & ... & f(X_{NN}, \overline{x}_N, \sigma_N) \end{Vmatrix} \tag{8}$$

матрица активационных функции; W - вектор выходных синоптических весов; Y - вектор выходных контрольных наборов.

Решение $W^T = \Phi^{-1} Y$ (9)

даст нам искомые значения выходных синоптических весов, обеспечивающих прохождение интерполяционной поверхности через тренировочные шаблоны в пространстве выходных сигналов сети.

Учитывая вышеуказанную методику выбора параметра активационной функции и инерционные свойства технологического процесса транспорта газа для обучения нейросетевой модели, используем следующий алгоритм обучения:

Шаг 1. Из входных наборов составляются классы с длинами времени корреляции между входными и выходными сигналами вычисленной по формуле (1). Каждый следующий класс комплектуется со сдвигом в один элемент с предыдущим классом. Каждый класс принимается как один нейрон, а элементы синапсами этого нейрона;

Шаг 2. Для каждого *i*-го нейрона определяется среднее и среднеквадратическое отклонение;

Шаг 3. Для всех синапсов входного нейрона вычисляется значение гауссовой ядерной функции (2);

Шаг 4. Значение синапса преобразуется в средневзвешенное значение по всем наборам нейронов по формуле (3);

Шаг 5. Для каждого преобразованного значения синапса (4) вычисляется значение гауссовой ядерной функции и формируется матрица (5);

Шаг 6. Контролируемый набор комплектируется из выходного элемента, который измерен позже времени задержки. Число контролируемых элементов выбирается равным числу синапсов входных нейронов;

Шаг 7. Свободные элементы алгебраических систем уравнений (6-8) принимают контрольный набор и находятся решения (9). Найденные решения принимаются как значения выходных синоптических весов;

Шаг 8. Для каждого полученного нового значения входного сигнала со сдвигом одного элемента формируются новые нейроны и вычисляются соответствующие значения гауссовой ядерной функции;

Шаг 9. По формуле (6) вычисляются новые прогнозируемые выходные значения;

Шаг 10. После получения нового фактического значения алгоритм повторяется по шагам 1- 9.

Предлагаемый алгоритм обучения нейронной сети проверен на данных газопровода «Гарадах-Беюк-Шор». Длина газопровода равна 41451 м, диаметр 400 мм. Изменение давления в начале и в конце газопровода показано на рис.1. Вычислена взаимокорреляционная функция давления в начале и в конце газопровода. Нулевые значения получаются приблизительно после 12-ти значений лага. Соответственно алгоритмом обучения, формируем входного класса по 12 элементам каждого. Число классов или входных нейронов выбираем 12. Следует отметить, что алгоритм обучения не ограничивает число входных нейрона. Однако из условии их формирования выходит, что число нейронов должно быть не меньше абсолютного значения времени корреляции. Вычисляем для каждого класса среднее значение и значение среднеквадратического отклонения. По найденным значениям вычисляем Гауссовою ядерную функцию. По всем входным нейронам находим сумму значений гауссовой ядерной функции. В нашем случае она равна 84.12. По этим значениям преобразуем значения синапсы входного нейрона соответственно алгоритмом обучения и формируем матрицу (8). Формируем выходной контролируемый набор и находим решение уравнения (9) (табл.1). Со сдвигом одного элемента сформируем новые входные нейроны и вычисляем выход нейронной сети (рис.3). На первой итерации ошибка сети составляла всего 3.52%, а в последующих итерациях она уменьшилась до 1.16%. (табл.1.)

Табл.1

Параметры работы нейронной сети на данных газопровода «Гарадах-Беюк Шор»

Номер итерации	1	2	3	4
w1	-7.90	-9.76	-10.83	-10.83
w2	10.41	19.87	11.36	13.11
w3	0.37	-1.03	-1.17	-1.48
w4	2.46	4.12	5.01	5.49
w5	2.66	3.68	5.29	5.16
w6	5.37	2.91	3.93	3.41
w7	3.27	-2.06	-3.24	-3.29
w8	-2.09	-2.10	-2.66	-2.74
w9	1.79	4.80	4.56	2.03
w10	0.80	6.64	5.08	5.51
w11	3.79	4.68	4.55	4.32
w12	5.16	3.96	1.92	1.52
выход нейронной сети	10.61	11.27	12.14	11.38
Опытные данные	11.00	11.50	12.00	11.50

Номер итерации	1	2	3	4
относительная ошибка	3.52	2.01	1.16	1.28

Это означает, что предлагаемая нейронная сеть хорошо моделирует изменения давления в конце исследуемого газопровода, если она работает в нормальном режиме. Отметим, что предлагаемая нейронная сеть обучается только на основе статистических измеряемых данных. В процессе обучения никакое теоретическое знание о системе не было вовлечено. При этом размеры и число входных классов выбираются унифицировано для исследуемого газопровода. Предлагаемый метод предсказания применим не только к одному виду входных и выходных параметров, но и ко многим ситуациям, когда данные относятся к непрерывным процессам. Кроме того, при резком изменении значения входного или контролируемого параметра, которое имеет место при нарушении технологического режима, выход сети резко отличается от фактических значений, что позволяет обнаружить нарушения не более одного интервала времени измерение, что существенно при оперативно-диспетчерском управлении.

Выводы

1. Учитывая, что при классическом подходе моделирования невозможно учесть отдельно рассредоточенные и удаленные друг от друга и от центров управления на значительные расстояния элементы и изменение режимов работы каждого из этих элементов в увязке граничных и начальных условий и не позволяет провести точный и достоверный анализ неустановившихся режимов сложных газоснабжающих систем, предлагается четырехслойная нейронная модель газодинамических процессов. Разработано алгоритм обучения для предлагаемой обобщенно-нейронной сети с радиальными базисными элементами.
2. Исследования показывают, что предлагаемая нейронная сеть хорошо моделирует изменения газодинамических параметров газопроводов, работающих в нормальном режиме.
3. Показано, что результат предлагаемой нейронной сети можно использовать как диагностирующий признак нарушения нормального технологического режима.

Список литературы

1. *Agayev N.B.* Short-term forecasting models for gas utilization volumes using artificial neural networks. / Abstracts the 1st International Conference on Control and Optimization with Industrial Applications (COIA-2005) Baku 22-25 May, 2005, p.14.
2. *Agayev N.B.* Adaptive methods for evaluating the gas-dynamic parameters of the gas supply pipelines systems.//Automatic Control and Computer Sciences. Vol. 40, Issue 2, 2006, pp. 47-53).
3. *Агаев Н.Б.* Нейросетевые модели объема газопотребления в распределительных системах газоснабжения. //Газовая промышленность, февраль, Москва, 2006, с.37-41.
4. *Агаев Н.Б.* Прогнозирование объема газопотребления с использованием комбинированных искусственных нейронных сетей. /Материалы V научно-технической конференции «Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности», 24-25 апреля 2006 г., Ульяновск, науч. изд., Том 1, с. 98-102.
5. *Алгулиев Р.М, Агаев Н.Б.* Принципы построения информационно-технологических систем управления транспорта газа. //Информационные технологии моделирования и управления, № 7(33), Воронеж, 2006, с. 869-882 .
6. *Агаев Н.Б.* Краткосрочное прогнозирование объема газопотребления с использованием искусственных нейронных сетей. //«Нейрокомпьютеры: разработка, применение», №7, Москва, 2007; //Нефтегазовое дело, 2007, **http://www.ogbus.ru/authors/Agayev/Agayev_1. pdf.**
7. *Агаев Н.Б., Гасанов Г.Б.* Модель управления распределением ресурсов между категориями газопотребителей на основе гибридных нейронных сетей. //«Моделирование и информационные технологии». Специальный выпуск. Сборник научных трудов. Институт Проблем Моделирования в энергетике им. Г.Э. Пухова НАН Украины, Киев, 2005, с.70-76.

СЕКЦІЯ 25.

ТЕХНІЧНА ЕСТЕТИКА, АРХІТЕКТУРА ТА ДИЗАЙН

УДК 711.4:504.06 (045)

С.Г. Бібер, старший викладач
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВПЛИВ ВИМОГ ЕКОЛОГІЧНИХ НОРМАТИВІВ НА ФОРМУВАННЯ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА

В статті визначені напрямки розвитку законодавчо-екологічного регулювання містобудівної діяльності. Розкривається сутність чинників, які впливають на формування вимог до міського середовища. Наголошується, що врахування екологічних вимог є обов'язковим та спрямоване на забезпечення раціонального природокористування, охорону довкілля та екологічну безпеку міського середовища.

Постановка проблеми. Умовою існування та життєдіяльності суспільства є підтримання збалансованого стану всіх елементів його структури, а також сталі значення параметрів навколишнього середовища. На даний час питання містобудівного проектування з його плануванням тісно пов'язане з вирішенням екологічних проблем урбанізації. Негативне відношення до міського середовища і критику сучасного містобудування поєднує як невиразність існуючого архітектурного середовища, так і екологічні проблеми міст. Витоки цих проблем пов'язані з загостренням протиріччя між природою і штучним (антропогенним) середовищем, що створює людина. Великомасштабна діяльність людини по відношенню до природи призвела до стану екологічної кризи, при якому до межі загострилися суперечності між інтересами суспільства в споживанні і використанні природи та екологічними вимогами охорони довкілля.(1)

Аналіз зарубіжного досвіду. В останній треті XX століття країни Європи почали створювати програми стійкого розвитку міст та їх агломерацій. Розробляються єдині норми раціонального використання природних ресурсів. Координуються дослідження по запобіганню глобальних екологічних наслідків антропогенного впливу на геосферу. Відправним пунктом на шляху становлення екологічної політики стала Стокгольмська конференція ООН з навколишнього природного середовища (1972). Було розроблено перший екологічний план дій ЄС, прийнятий в 1973 році. Екологічна політика почала наповнюватися реальним змістом. В подальшому цілеспрямована діяльність країн ЄС показала перевагу спільних зусиль щодо охорони довкілля. Екологічна програма дій ЄС, яку було прийнято в 1993 р. і названо „До сталого розвитку", зобов'язує виробників, споживачів, уряди і громадськість країн не допускати погіршення якості навколишнього природного середовища і зважати на екологічні вимоги в своїй діяльності. Міжнародні екологічні організації прийняли шлях комплексності і уніфікації. Вважається, що це допоможе перейти на єдині універсальні методи оцінки екології середовища, створить умови безперешкодної міжнародної співпраці. Програма відображає не тільки особливості екологічної політики притаманної лише регіону ЄС, а й містить положення, що придатні для впровадження в усіх індустріальних країнах, у тому числі й в Україні.(6)

Мета статті. Насамперед, необхідно визначити значення впливу екологічних нормативів, дотримання яких направлені на пом'якшення наслідків містобудівельної діяльності, удосконалення і поліпшення міського середовища. Процес проектування треба організувати так, щоб на кожному етапі розробки містобудівної документації й прийнятті архітектурно-планувальних рішень було враховано екологічні вимоги, які є обов'язковими та визначені в законодавчих та підзаконних актах і спрямовані на забезпечення раціонального природокористування, охорону навколишнього природного середовища та екологічну безпеку міського середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами:

Проведення дослідження є частиною науково-дослідної роботи кафедри архітектури ІМГ НАУ по розробці держбюджетної теми « Визначення структури нормативних вимог до

формування міського середовища»

Викладення основного матеріалу. В Україні національну екологічну політику визначено в „Основних напрямах державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки”, затверджених постановою Верховної Ради України від 5 березня 1998 р № 188/98-ВР. На час затвердження державної екологічної політики Верховною Радою для України це був важливий крок у формуванні нового екологічного світогляду і плану дій. Нині цю політику слід гармонізувати з європейською екологічною політикою і міжнародними стандартами серії ISO 14000.

Законодавчо-екологічне регулювання містобудівної діяльності повинно ґрунтуватися на власній державній законодавчій і нормативно-правовій базі, яка за своїм впливом на розвиток суспільства буде займати домінуюче місце. Закон України «Про основи містобудування» зазначає, що «містобудування (містобудівна діяльність) – це цілеспрямована діяльність державних органів, органів місцевого самоврядування, підприємств, установ, організацій, громадян, об'єднань громадян по створенню та підтриманню повноцінного життєвого середовища». [5]

Ідея нормування і стандартизації якості навколишнього середовища безпосередньо отримала своє законодавче закріплення в наступних законах і підзаконних актах:

„Про охорону навколишнього природного середовища”; ”Земельний кодекс України”; „Водний кодекс України”; „Лісовий кодекс України”; Кодекс України про надра; „Про тваринний світ”; „Про рослинний світ”;„Про природно-заповідний фонд”; „Про екологічну експертизу” та ряд інших законів.

Аналіз змісту екологічних державних стандартів дозволяє зробити висновок про те, що вони є передумовою (основою) розробки екологічних нормативів, які знаходяться зі стандартами в співпорядкованому становищі. Так і в самому Законі „Про охорону навколишнього природного середовища ” спочатку розкривається зміст екологічних стандартів, а потім екологічних нормативів. В юридичній літературі екологічне нормування (стандартизація) розглядаються як певні якості природного середовища, тобто такий стан його екологічних систем, який постійно і незмінно забезпечує процес обміну речовин та енергії між природою та людиною і відновлює життя на планеті [4].

Діяльність зі створення середовища існування людини регламентується великою кількістю документів різного рівня. Нормативно-правова база діяльності будівельного комплексу складається з двох великих груп регламентуючих документів:

1) нормативно-правові акти, до яких належать закони України, укази Президента України, постанови і розпорядження Кабінету Міністрів України, будівельні норми різних рівнів (загальнодержавного, відомчого і територіального), санітарно-гігієнічні норми і правила, технічні регламенти з підтвердження відповідності, інші рішення центрального органу виконавчої влади у сфері будівництва, містобудування та архітектури, місцевих органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування та які є обов’язковими до застосування; По-перше це ДБН – державні будівельні норми , ДСТУ- державні стандарти України, ДСТУ – Н – державні стандарти-настанови України,;

2) нормативні документи, до яких належать стандарти, кодекси усталеної практики і технічні умови та які є добровільними до застосування,(СОУ – стандарти організацій України, ТУ – технічні умови, які бувають відомчі, галузеві).

В системі ДБН не має спеціального видання, нормуючого екологічні параметри, але в кожному нормативному документі вимоги до охорони оточуючого середовища викладені в окремих розділах. В доповнення діють документи, які більш детально нормують екологічні параметри і без яких неможливо сформувати повноцінне середовище існування людини.

Відносно недавно нормативно-правова база в будівництві поповнилася ще одним видом регламентуючих документів – технічним регламентом з підтвердження відповідності, Отже, “технічний регламент з підтвердження відповідності – нормативно-правовий акт, затверджений Кабінетом Міністрів України, в якому містяться опис видів продукції, що підлягає обов’язковому підтвердженню відповідності, вимоги безпеки для життя та здоров'я

людини, тварин, рослин, а також майна та охорони довкілля, процедури підтвердження відповідності цим вимогам, правила маркування і введення продукції в обіг" (Закон України "Про підтвердження відповідності").

Формування нормативної бази в проектуванні та будівництві здійснюється на вузьковідомчій основі, де відсутня серйозна взаємодія між тою безліччю наукових, проектних і будівельних організацій, які повинні ці нормативи здійснювати і дотримуватись їх.

Міське середовище повинно створюватися за певними правилами, які містять нормативні обмеження з різних питань його організації, що стосуються вимог як в цілому до середовища, так і до його структурно-функціональних елементів (4).

На формування вимог до міського середовища. впливають фактори, які визначають нормативні критерії екологічних обмежень. Такими факторами є :

1 - природні критерії, що забезпечують рівновагу і репродуктивність екосистем;

2 - антропологічний тиск на природу, який визначається потребами людини (щільність населення, ступінь перетворення ландшафту і т.д.);

3 - санітарно-гігієнічні критерії;

4 - техногенні обмеження (споживання ресурсів, викид шкідливих відходів);

Природні фактори впливають як на потреби людини, на основі яких визначаються вимоги до середовища існування, так і безпосередньо на середовище, на правила та закономірності його формування.

Природні фактори можна розподілити на дві великі групи:

- клімат (що включає в себе температурно-вологісний режим довкілля, сонячну радіацію);

- геологія (що включає в себе сейсмічність та геологічну характеристику ґрунтів).

Наступний чинник, який впливає на формування вимог до середовища – потреби людини, які визначити чітко і однозначно досить складно, оскільки ми маємо справу з цілою ієрархією взаємопов'язаних потреб, які носять не лише матеріальний характер. Ці потреби не статичні, це – потреби живої системи, якій властивий динамічний взаємозв'язок індивідів одного з одним і з навколишнім середовищем.

Санітарно-гігієнічні та екологічні фактори, які також суттєво впливають на формування повноцінного середовища існування людини, визначаються на основі фізіологічних потреб людини і повинні диктувати вимоги щодо створення оптимального повітряного та температурно-вологісного режимів у приміщеннях і просторах середовища.

Таким чином, слід зазначити, що антропологічні фактори так само, як і природні, лежать в основі виведення кількісних параметрів, які впливають на експлуатаційні властивості середовища в цілому і його окремих елементів.

Тому організація середовища повинна здійснюватись з урахуванням заходів, спрямованих на забезпечення екологічної рівноваги. Запровадження нових технологій, матеріалів, обладнання слід здійснювати лише після ретельної екологічної експертизи та оцінки можливого негативного впливу в разі їх застосування.

В області містобудування до останнього часу в Україні не розроблена цілісність законодавчої бази. Для створення умов щодо реалізації сучасних екологічних вимог треба подолати проблеми екологічного управління в державі, галузеву неузгодженість екологічних нормативів, визначити національну стратегію і екологічну політику держави. При відсутності єдиної нормативно-правової бази неможливо кваліфіковано управляти процесом охорони довкілля. Необхідно щоб законодавчі документи відповідали визначеним вимогам, а саме:

- документі повинні мати єдиний термінологічний апарат;
- мати уніфіковані норми екологічних обмежень;
- повинні бути єдиним правовим комплексом.

Виконання вимог по розміщенню і проектуванню міських поселень висуває певні вимоги до планувальної організації та функціонального зонування території населеного

пункту, до інженерної підготовки та обладнання території. Важливим містобудівним заходом по охороні повітряного і водного басейнів стає правильне розміщення промислових і комунально-складських зон, при одночасному поступовому переводі промислових підприємств на безвідходні технології і замкнуті цикли споживання води, будівництво очисних споруд і заводів по переробці відходів.

Система екологічних нормативів, як уже зазначалося, викладена в ст.33 Закону України „ Про охорону навколишнього природного середовища ”. Екологічні нормативи вказують на рівні максимально допустимого втручання людини в екосистеми, містять нормативи екологічної безпеки, вказують на гранично допустимі рівні шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Обов'язкове виконання нормативних вимог з безпеки життя і здоров'я людей, охорони і покращення оточуючого міського середовища сприятиме покращенню мікроклімату міст і забезпечить:

- захист атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунту від забруднення;
- зниження рівня міських шумів та вібрацій, електромагнітних та іонізуючого випромінювання;
- охорона міських та приміських ландшафтів;
- підвищення санітарно-гігієнічної ефективності зелених насаджень;
- зонування акваторій і при берегових територій, щоб передбачити правильне розміщення місць відпочинку, водозаборів, комунальна гігієна.

Виходячи з цього аналізу, можна визначити групи вимог, що застосовуються при нормуванні обмежень, а саме: - санітарно-гігієнічні та екологічні нормативи, які визначають параметри санітарно-гігієнічного та екологічного комфорту середовища як всередині будівель і споруд, так і на конкретних територіях, починаючи від фізичних і хімічних характеристик повітря і закінчуючи вимогами до охорони та раціонального використання природних ресурсів.

Висновки

Якщо суспільство зацікавлене у соціально-економічному розвитку, що є єдиною умовою підвищення якості життя населення, яке значною мірою визначається станом довкілля, тому слід приділяти більше уваги вирішенню проблем формування міського середовища, а для цього держава повинна постійно працювати над удосконаленням системи архітектурного та містобудівного нормування

Можна стверджувати, для того щоб досягнути суттєвого прогресу в забезпеченні охорони та оздоровлення навколишнього природного середовища і формуванні якісного міського середовища, необхідно активно застосувати різноманітні інструменти екологічної політики і забезпечити підпорядковане виконання екологічних нормативів, неухильно дотримуючись створеного за останній період екологічного законодавства.

Список літератури

1. *Кобецька Н.Р.* Екологічне право України. Навч. посібник, - К.Юрінком Інтер, 1007. –с.12

2. Екологічне управління: Підручник / В.Я. Шевчук, Ю.М.Саталкін, Г.О. Білявський та ін.-, - К.: Либідь, 2004. – 432 с.

3. *Маслов Н.В.*.Градостроительная екологія: Учеб.пособие для строит. Вузов / Подр ед. М.С. Шумилова. – М.: Высш.шк., 2002. – 284 с.: ил.

4. *Дьомін М.М., Омельяненко М.В.*Актуальні питання удосконалення нормативно-правової бази формування міського середовища: Стаття.Збірник наукових праць – К.: НДІТАМ, 2005. – 382 с.

5. Закон України «Про основи містобудування».

6. Дёмин Н.М. Управление развитием градостроительных систем, - К., Будівельник, - 1991. –185с.

УДК 725.39: 712(045)

Н.К. Бут, старший викладач
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОБЛАШТУВАННЯ ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ АЕРОПОРТІВ ЗАСОБАМИ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНУ

Обґрунтовано можливість використання нових засобів благоустрою та озеленення прилеглих територій аеропортів при їх реконструкції. Це призведе у відповідність до міжнародних вимог використання спеціалізованого середовища. Оновлення зроблять обслуговування пасажирів значно комфортнішим.

Постановка проблеми. Реконструкція аеропортів в рамках підготовки до Чемпіонату Європи по футболу в 2012 р. Євро-2012 є пріоритетним завданням Міністерства транспорту і зв'язку України. Про це повідомив на брифінгу міністр транспорту і зв'язку України Іосиф Вінський. За його словами, це стосується реконструкції ГП "Міжнародний аеропорт "Бориспіль" і стратегічних регіональних аеропортів загальнодержавного значення Києва, Львова, Дніпропетровська, Донецька, Одеси і Харкова. Міністр підкреслив, що аеропорти, які будуть задіяні в обслуговування фінальної частини Євро-2012, повинні відповідати вимогам сертифікації і міжнародним стандартам. І.Вінський підкреслив, що на сьогоднішній день технології аеропортів, технічний стан споруд, навколишніх територій не відповідає сучасним вимогам, оскільки більшість аеровокзалів були побудовані в 60-70 рр. минулого століття.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю пошуку нових засобів і підходів до створення оптимальних умов для відвідувачів в урбанізованому середовищі з урахуванням переосмислення багатьох застарілих стереотипів, формування середовища аеропортів, яке відповідає сучасним соціальним та архітектурно-містобудівельним вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Якщо кількість публікацій, що присвячені проектуванню територій аеропортів достатньо багато [1,2,3,4], то наукові праці в яких би висвітлювалися можливі шляхи удосконалення благоустрою та озеленення за допомогою новітніх технологій, на жаль, практично відсутні.

Невирішена раніше частина загальної проблеми. У роботах [3,4] розглядаються окремі аспекти упорядкування прилеглих територій авіапортів, проте в них не враховується взаємозв'язок із тією складною архітектурно-планувальною ситуацією в Україні зокрема, яку ми можемо спостерігати сьогодні в світі.

Ціль статті і виклад основного матеріалу. Ціллю статті є визначення засобів ландшафтного дизайну, залучення новітніх технологій в реконструкцію аеропортів в сучасний період.

Аеропорти повинні дістати можливість розвивати свою привабливість. Зрозуміло, що не всі із 30 існуючих аеропортів України будуть реконструкціюватись та відновлюватись. Перспективними є в першу чергу вісім стратегічних аеропортів «Бориспіль», «Донецьк», «Харків», «Дніпропетровськ», «Одеса», «Сімферополь»,«Львів» та «Київ» (Жуляни). Крім того, наближення чемпіонату Європи з футболу Євро-2012 змушує архітекторів з особливою увагою ставитися до розвитку вітчизняних аеропортів. Оскільки головним засобом доставки вболівальників та гостей на Чемпіонат Європи з футболу Євро-2012 буде авіація. УЄФА має певні вимоги до аеропортів приймаючих країн.

Якщо, незважаючи на існуючі перешкоди, аеропорти України вдасться привести у відповідність до міжнародних вимог, то після проведення чемпіонату з футболу Євро-2012 рентабельність аеропортів може збільшитися на 15%.

Аналіз існуючого стану проблеми показує, що вона теоретично розроблена недостатньо, розглянуті лише її окремі аспекти. Питаннями організації ландшафтної складової архітектурного середовища міста займалися А.П. Вергунов, В.А. Горохов, Л.С. Залєсская, Е.М. Микуліна, А.В. Сичева, Н.П. Тітова, В.Т. Шимко, О.А. Швидковський, Е.А.

Ахмедова. Екологічну та естетичну роль ландшафтних компонентів територій міста досліджували М.В. Малаховська, Е.Г. Матюгіна, Н. Бринза, І. Ільїна, А.Д. Маяк, Н.Я. Крижановська. Проблематику міського, архітектурного і архітектурно-ландшафтного середовища вивчали М.Г. Бархін, Н.М. Шебек, А.В. Сичева і О.Н. Вороніна. Теоретичні надбання вищеназваних науковців є основою для більш детального вивчення проблеми оновлення, перетворення і удосконалення ландшафтного дизайну територій аеропортів. Проте недостатня вивченість даного питання, а саме особливостей комплексного удосконалення екологічних та естетичних властивостей аеропортів робить актуальним проведення цілеспрямованого теоретичного дослідження сучасних засобів формування ландшафтного дизайну на прилеглих територіях аеропортів, розробку принципів удосконалення його еколого-естетичних властивостей.

Таким чином необхідно нами в дослідженні виявлені засоби досягнення індивідуальності територій аеропортів, їх відкритих просторів:

- рослинність як засіб композиції і фактор екологічної стійкості.

Відповідаючи однієї з потреб, що найбільше часто проявляються, людини (особливо в умовах урбанизированной середовища великого міста) у збільшенні присутності природи, ландшафтний дизайн може стати ефективним засобом в екологічній реконструкції прилеглих території за рахунок повернення природних компонентів на тих ділянках, які безпосередньо впливають на умови життя населення. Перетворення конфліктних, з погляду екології, фрагментів міського середовища в простори "обжиті" людиною, становить особливий зміст таких перетворень. Повернути людині, що живе у великім місті, можливість повноцінного контакту із природою, означає відмовитися від багатьох стереотипів в організації архітектурно-просторового середовища, заснованих на твердім розмежуванні її природних і штучних компонентів.

- пластика поверхня землі в новій якості.

Архітектура поверхні землі, організація ландшафтного середовища просто неба притягує багатьох фахівців. Проте насторожує те, що ряд архітекторів абстрагується від ландшафтних аспектів в проблемах, де нерозривний зв’язок штучного і природного очевидний. Наприклад, у дослідженнях Н. Новікова, присвячених архітектурної організації відкритого простору, ландшафтні особливості не виявлені. І якщо природні елементи згадуються, то лише з останніми при перерахуванні інших, по визначенню автора, "незастроєних" елементів - сходів, рівнів, колон. У роботі архітектора О. Кравченко по організації зовнішнього середовища й суспільних центрів спостерігається аналогічне відношення до природних елементів.

У той же час починаючи ще у 80 роки минулого століття новий підхід до проектування міського середовища виявився учасниками семінару "Интердизайн-80" в Москві. На семінарі були присутні не тільки архітектори-планувальники, але художники й дизайнери. У проекті забудови району Лочини в Тбілісі вони виходили зі спільно прийнятої програми, що відбиває сучасні погляди на проблематику міського середовища. У визначенні характеру архітектури програма ґрунтувалася на використанні особливостей природнього ландшафту, а в розв’язку відкритих просторів у першу чергу враховувалися масштабність, сприйняття середовища з рівня очей людини. Фахівці з одинадцяти країн (Бельгія, ВНР, ГДР, Італія, НРБ, Норвегія, СРСР, Фінляндія, Франція, Швейцарія, Швеція) розробляли проект, у якім розміщена на березі озера забудова із щільною й нерегулярною вуличною мережею об’єднана системою різноманітних мальовничих відкритих просторів, що відповідають клімату місцевості, національним традиціям Грузії, сучасним потребам людей. На семінарі була доведена можливість і ефективність широкого співробітництва в області комплексного архітектурно-дизайнерського (у тому числі й ландшафтного) проектування міського середовища.

У зв’язку з інтенсивним розвитком міст, збільшенням чисельності населення в них, зростанням транспортних вузлів у великих містах, ускладненням інфраструктури міст і загостренням соціальних проблем питання організації архітектурного середовища життєдіяльності міського населення набувають особливого значення. Сучасне місто – це

складна ієрархічна багаторівнева система з інтегрованою взаємодією компонентів, що характеризується великою кількістю економічних, соціальних, транспортних, екологічних, композиційно-планувальних, архітектурно-художніх (естетичних) та інших проблем, які істотно знижують рівень комфортності архітектурного середовища життєдіяльності людей. Особливо це стосується великих і найбільших міст, кількість яких в усьому світі невпинно зростає.

- взаємодія форм архітектури і ландшафту.

Різні аспекти взаємозв'язку природи і архітектури містять теоретичні праці Ф. Л. Райта, Ле Корбюзье, Дж. Саймондса, С. Кроу, А. Бурова, А. Буніна, А. Полянського, А. Іконникова і інших фахівців за кордоном, і інших в нашій країні. Багато архітекторів працює над питаннями ландшафтної архітектури. Розвиваючи роботи Л. Залесської, Л. Тверського, С. Палентрєєр, М. Коржева, Л. Лунца і інших архітекторів, все більше фахівців звертається до проблем міського і заміського ландшафту, у тому числі до естетики його деталей. Це Ю. Бондар, В. Стаускас, А. Вергунов, В. Бауліна, Е. Мікуліна, З. Ніколаєвська і ін.. По формуванню предметно-архітектурного середовища промислових територій відомі роботи К. Яковлеаса-Матецкіса; обладнання жилих територій та парків відображено в книгах Ю. Хромова, естетика деталей міського середовища – статтях Б. Мержави і Н. Соловйова. Для дослідження поставлених завдань роботи були важливі публікації дизайнерів і архітекторів, які працюють в напрямку дизайна міського середовища, - Хан-Магомедова, І. Лежава, Є. Асса та інші.

Засоби ландшафтного дизайну слугують для оформлення, як відкритих так і закритих ландшафтних просторів. Найбільш поширеним елементом є малі архітектурні форми для вертикальних садів. Вони надзвичайно різноманітні за функціональним призначенням і просторовими характеристиками, потребують враховування специфіки, пов'язаної з функціональним призначенням. Як об'єкти варіабельного та типового проектування забезпечують різноманітність рішень і виявляють найбільш яскраво архітектурно - художній вигляд середовища, підкреслюючи його індивідуальність.

Одним із типів вертикальних садів є вертикальне озеленення. Основу вертикального озеленення складають виткі рослини. Цей тип квіткового і рослинного оформлення має важливе значення вже хоча б тому, що дає можливість на невеликій площі отримати максимальну зелену масу, приховати від ока частину стін і створити ілюзію зеленого оточення. За допомогою вертикального озеленення можна декорувати фасади будівель, а можна маскувати непривабливі будови і приховувати небажані частини та деталі композиції. Вертикальне озеленення різними рослинами крім декорування ще й корисно, тому що створює більш сприятливий мікроклімат. Листя ліан зменшують нагрівання стін, особливо на південній і південно-західній стороні. Так температура повітря на озеленених терасах нижче на 2-3°С ніж на неозеленених. В'юнкі рослини зменшують проникнення пилу або забрудненого повітря в приміщення, а їх пишне листя відбиває теплові сонячні промені, не даючи стінам перегріватися. Листя створює прохолоду і підвищує вологість повітря, що особливо цінно в період спеки [5].

Незамінно вертикальне озеленення і при оформленні таких малих архітектурних форм як альтанки, трельяжі, перголи, підпірні стінки. За допомогою витких рослин можна створити витончені укриття, а також прикрасити ними різні архітектурні споруди. Опори, повиті ліанами, набувають своєрідного вигляду і створюють враження великої маси зелені. Цікаві з гарноквітуючих ліан з розрізними листами різні стійки, піраміди, триноги. Поруч з опорами висаджують ліани. Іноді з ліан роблять гірлянди - це старовинний забутий прийом квіткового оформлення.

Ще одним типом вертикальних садів є сад на даху або зелений дах. Сьогодні зелені дахи особливо актуальні в містах Західної Європи, де позначається нестача вільного місця, а кам'яна забудова займає близько 80% міської площі. Використання вільних площ дахів під сади на дахах дало можливість заповнити дефіцит зелених зон. В великих містах сад на даху - необхідність. При цьому, створення садів на крівлях – терасах, через існуючий дефіцит

озелененої поверхні землі, стає важливим композиційно-просторовим елементом не тільки об'ємно-планувальної але і містобудівної структури.

В сучасному будівництві в наш час також привертає велику увагу концепція створення експлуатованих покрівель. Вона є ідеальним місцем для відпочинку через те, що саме на ній можливо розміщення декоративного ландшафтного озеленення, а також площа такої покрівлі може бути використана для облаштування веранд, оранжерей і т.п.

Екстенсивне озеленення представляє собою тільки газон і грунтопокрівні рослини. Доступ людей на такий дах, в принципі, не передбачається. Ходити можна тільки по спеціальних доріжках. Особливого догляду таке озеленення не вимагає. Рослини використовуються грунтопокрівні, причому ті, які добре переносять різницю температур і нестачу вологи. Таке озеленення можливо на дахах з ухилом до 28 градусів [5].

Переваги зеленої покрівлі очевидні. Зелені насадження на даху дозволяють регулювати температуру нагріву покрівлі (адже влітку температура розігрівання покриття може досягати 80 градусів по Цельсію), досягти звукоізоляції, пилепоглинання і маси інших корисних речей, як, наприклад, створити в місті додаткове середовище незаселеного для представників фауни.

В основі садів на дахах прототипами є малі сади. Велика увага приділяється саме інженерній частині проекту, тоді як при створенні вертикальних садів в основу закладено композиційні, біологічні та технологічні принципи, методи, підходи. Відмінність вертикального озеленення від вертикальних садів полягає в тому, що виткі рослини утворюють переважно однорідні зелені зарості, що укорінені в землі рослин на тлі якоїсь будови або МАФ, в той час коли вертикальні сади (живі стіни, зелені стіни, фітостіни) набагато складніші за технологією і складаються з готових панелей, пластикових модулів, нетканих карманів або рослинних інтегрованих систем.

Вертикальні сади окрім зниження температури будівлі, створення мікроклімату, поглинання пилу та шуму мають вирішальне значення для поглинання зливних стоків. Використання дощової води для поливу зменшує актуальність поливу в спекотний літній період та мінімальний догляд. За допомогою вертикальних садів можливо візуально помягчити суворе архітектурне середовище, звести до мінімуму одноманітність міського середовища відновити або трансформувати при необхідності комплексну єдність. Вони займають значно менше місця, не потребують кропотливого догляду, їх можливо інтегрирувати у вже існуючу архітектуру, а також при необхідності легко змінити асортимент рослин або демонтувати.

Ландшафт сучасного міста відбиває вся різноманітність і суперечливість процесів, що відбуваються в ньому. Природне розширення міських територій і зростання технологічних можливостей перетворення природи зробили звичним зміну ландшафту міста і його оточення. Особливо це проявляється в тому, що з міського середовища поступово зникає природна складова, тобто озеленення, змінюючись на мощення й асфальтування будь-яких вільних місць, крім можливості існування різних рослин.

У міру наростання темпів урбанізації в зонах найбільших міст якість життя людей усе більшою мірою визначається ступенем збереження компонентів природного середовища. Тривале нагромадження протиріч між штучними й природними компонентами міського ландшафту обумовило інтенсивний пошук методів урегулювання численних конфліктів у відносинах "людей - природа". Тривалий період домінування "нормативного" підходу при розробці проектів нових житлових районів привів на практиці до видимості благополуччя в кількісному вимірі озеленених територій, але в якіснім відношенні не зміг відгородити від примітивного раціоналізму в трактуванні засобів "озеленення".

Висновки

Таким чином екологізація прилеглих територій аеропортів здійснюється в основному на стадії їх реконструкції й в ході експлуатації. Професійні засоби ландшафтного дизайну можна підрозділити на чотири групи: 1) природні; 2) технологічні й функціонально-експлуатаційні; 3) формально композиційні; 4) художньо-образні.

Перша група спрямована на підвищення екологічної якості середовища й включає оптимізацію простору за рахунок раціонального планування, озеленення, благоустрою впорядкування транспортних потоків, зонування. Сюди ж відносяться природоохоронні заходи, збереження й введення елементів природи (рослин, тварин, комах, мешканців повітряного й водного басейнів), що сприятливо впливають на людину. Це метод збереження " природи, що компенсує, " за рахунок екологічної реставрації, реабілітації й реутилізації.

Друга група заходів пов'язана із застосуванням сучасних технічних засобів економії енергії, зменшення забруднення, підвищення комфорту й безпеки, а також використання альтернативних джерел енергії й безвідхідних технологій.

Потрібно не забувати про освоєння третього виміру - вертикалі. Освоєння дахів будинків і споруджень, балконів, терас і їх озеленення сприяє стиранню границь між архітектурою й природою, що благотворно впливає на людську психіку й сприйняття навколишньої дійсності. Використання озеленення поверхонь дахів будинків і споруджень у великім місті має чималі можливості в плані оздоровлення міського середовища й поліпшення багатьох мікрокліматичних показників, зокрема, для протидії утвору так званого "острова тепла" з негативними наслідками у вигляді акумулювання в нижньому шарі атмосфери шкідливих викидів промисловості, що супроводжуються підвищенням температурного режиму приземного шару повітря.

Третя група - робота з формою. Вона включає засоби й прийоми екологічної адаптації й гармонізації форм, синтезовані в композиційній діяльності. Засоби композиції впливають не тільки на фізичні, але й на психологічні й енергоінформаційні якості середовища. Простір обмежують поверхні, які взаємодіють один з одним через енергоінформаційні поля. Світло, колір, енергія розсіюються, відбиваються або поглинаються поверхнями. У цей процес залучені й такі природні засоби композиції як текстура й фактура матеріалу, за допомогою яких можна візуально розмежувати або ізолювати простір, показуючи тим самим різні функції його використання, або з метою підвищення його художньо-екологічної якості.

Четверта група заходів спрямована на формування в людини почуття доречності, природності, єдності з оточенням. Виявлення ліричних, поетичних образно-емоційних якостей простору сприяє його одушевлению і єднанню з людиною на духовному рівні. Для цього застосовуються різні засоби, у тому числі, художньо-образного плану. Це імітація природних форм - пряма у вигляді муляжів, діорам, зображень або опосередкована конструктивно, структурно або пластично. Крім імітації застосовується образна трансформація - у випадку, якщо джерелом архітектурного образу служать форми природи.

У процесі проектування зазначені прийоми екологізації просторів на стадіях предпроектного аналізу й розробки концепції, у процесі композиційного пошуку. Ці прийоми доповнюють арсенал архітектора й застосовуються на основі використання нормативної, естетичнонаукової і технічної інформації. Погляд на практику розвинених країн дає досить підстав стверджувати, що замість конфлікту, що загострився, між технологією й природою в більшості випадків знайдений розумний компроміс, коли технологічні досягнення використовуються для повернення динамічної рівноваги між штучними й природними компонентами прилеглих територій будівель аеропортів.

Список літератури

1. *Вергунов А.П.* Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. – Л.: Стройиздат, 1982. – 134 с.
2. *Залесская Л.С., Микулина Е.М. Ландшафтная* архитектура. – М.: Стройиздат, 1979. – 235 с.
3. *Родичкин И.Д.* Ландшафтная архитектура – К.: Будівельник, 1990. – 336 с.
4. *Сычева А.В.* Ландшафтная архитектура. – Минск.: ООО «Парадокс», 2002. – 88 с.
5. *Титова Н.П.* Сады на крышах. – М.: «ОЛМА-ПРЕСС Гранд», 2003. – 112 с.

УДК 711.4:504.05

Л.М. Бармашина, к.арх., доцент, Т. Бабак
(Національний авіаційний університет, Україна)

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ З УРАХУВАННЯМ ПОТРЕБ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ ФІЗИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

Стаття присвячена комплексу питань, пов'язаних із формуванням безперешкодного просторового середовища, а саме деяким особливостям функціонально-планувальної організації аеровокзальних комплексів з урахуванням вимог і потреб людей з обмеженими фізичними можливостями, зокрема параметрам основних типологічних елементів відповідних будівель і споруд

Постановка проблеми. Практика проектування та будівництва цивільних об'єктів, зокрема аеровокзальних комплексів і Її складових елементів, потребує формування нових принципових підходів, розробки прийомів і засобів забезпечення доступності відповідної інфраструктури та усунення будь-яких перешкод (просторових, соціальних, морально-психологічних тощо) для повноцінної життєдіяльності усіх категорій маломобільного населення з урахуванням місцевої специфіки та ментальності. *ретельного вивчення та творчого застосування* .

Аналіз досліджень і публікацій. Питання архітектурно-планувальної організації житлових та громадських будівель з урахуванням вимог людей з обмеженими можливостями в межах проблеми створення відповідного просторового середовища розглядалися в наукових роботах Скляренко Ю.В., Прокопенко О.В., Данчака І.О., Сигаєва А.В.

Мета статті. Висвітлення деяких підходів щодо пристосування інфраструктури аеровокзальних комплексів до потреб людей з обмеженими фізичними можливостями та інших маломобільних категорій населення на основі принципів універсального дизайну та безбар'єрної технології.

Основна частина. Забезпечення доступності для людей з обмеженими фізичними можливостями всіх об'єктів міського середовища на основі принципів безбар'єрної технології та універсального дизайну обумовлює необхідність адаптації до потреб інвалідів найбільш важливих елементів (так званих функціонально-типологічних вузлів) як зовнішнього простору, так і внутрішньої структури будівель та споруд.

Головне завдання аеропорту як багатофункціонального комплексу будівель, споруд і просторів – позаміське обслуговування населення і створення умов для пересадки з одного виду транспорту на інший: із залізничного або автомобільного — на повітряний і навпаки. В багатьох цивілізованих країнах будівлі та елементи інфраструктури аеровокзальних комплексів максимально пристосовані до потреб людей з обмеженими фізичними можливостями та інших маломобільних категорій населення, а саме: людей з вадами зору та слуху, громадян із дитячими візками, вагітних жінок тощо. Це є ознакою гуманної соціальної політики та справжнього безперешкодного середовища, що зафіксовано відповідними законами, нормами та правилами.

Архітектурне довкілля в Україні все ще розраховане на ідеально здорову за середніми стандартами людину. Але не всі люди вкладаються у середні стандарти: є високі, дуже повні, діти, старі і немічні та багато інших «нестандартних» людей. Саме ці люди переживають багато незручностей у повсякденному житті. Особливо страждають особи з обмеженими фізичними можливостями. Для того, щоб такі люди мали рівні права і могли повноцінно брати участь у життєдіяльності суспільства, дуже важливо мати доступне фізичне середовище для тих, хто має знижену справність та користується допоміжними засобами. Неповносправні по цілому світі стикаються з багатьма перешкодами, але фізичних бар'єрів можна уникнути, витрачаючи незначні кошти ще на етапі планування. Багато змін можна

внести в існуюче середовище з мінімальними витратами. Зараз вживаються такі терміни як доступна, пристосована архітектура, універсальний дизайн, безперешкодний доступ, які описують елементи архітектури для потреб неповносправних і вкладаються в загальний термін «безперешкодне просторове середовище».

Розрахований на переважну більшість людей, а також на широкий спектр неповносправностей, таких як вади зору, слуху, сприйняття, руху, а також психоемоційні та інтелектуальні особливості, універсальний дизайн звертається до проблем безперешкодного просторового середовища і пропонує перетворити всі елементи середовища в доступні. Це може бути досягнуто через врахування специфічних потреб на всіх етапах проектування. Універсальний дизайн вимагає глибокого розгляду можливостей людини протягом життя. Створення універсального середовища для інвалідів – це створення безпечного і зручного, комфортного середовища для всіх без винятку осіб.

При детальній проробці будь-якого проекту необхідне неухильне врахування вимог маломобільних груп населення. Це означає, що архітектурне рішення та технічне оснащення кожного функціонально-планувального та об’ємного елементу будівлі чи споруди має базуватися на необхідності забезпечення можливості самостійного доступу інваліда на візку до всіх основних та допоміжних приміщень і відповідного обладнання, а також користування послугами, передбаченими конкретним закладом. Такий підхід обумовлює необхідність застосування засобів універсального дизайну, які передбачають пріоритетне врахування вимог інвалідів на візках як категорії населення, найбільш уразливої та специфічної щодо параметрів фізичного середовища. Оскільки пристосування до потреб інвалідів на візках матеріально-просторового оточення обумовлює загальне підвищення рівня його комфортності, то відповідні потреби інших категорій населення при цьому забезпечуються автоматично. Отже параметри інвалідного візка, технологічного простору інваліда на візку та відповідної маневрової площі мають стати нормативною основою універсального дизайну та безбар'єрної технології формування матеріально-просторового середовища. За однією з методик проведення аудиту доступності об’єктів громадського призначення було визначено дев’ять ознак, які впливають на повну та універсальну доступність соціальної інфраструктури для всіх категорій громадян:

- Безпроблемне пересування по прилеглій території.
- Наявність визначених місць для паркування автомобілів інвалідів найближче до входу у будинок.
- Відповідні входи та виходи, параметри та конструкція дверей.
- Доступний заїзд у приміщення, наявність відповідних сходів і пандусів перед входом.
- Відсутність порогів, широкі коридори.
- Доступність до всіх поверхів у приміщенні (ліфти, ескалатори, пандуси тощо).
- Наявність доступних і пристосованих для неповносправних санітарно-гігієнічних приміщень: туалету, душової тощо.
- Доступні для людей на візках таксофони, банкомати.
- Позначення місцезнаходження та шляхів пересування (піктограми, логотипи тощо).

Метою цих заходів є забезпечення безперешкодного пересування у просторі і можливості користуватися суспільними надбаннями та благами. Стандарти доступності дещо різні у різних країнах. Багато країн вже виробили свої підходи, взявши до уваги кращий практичний досвід інших країн. Таким чином формуються уніфіковані стандарти для цивілізованої країни.

Універсальний дизайн передбачає:

1) рівноправність використання засобів та приміщень всіма категоріями користувачів, щоб додаткові, доступні пристосування не ставили окремих відвідувачів у гірше становище;

2) гнучкість у вживанні, коли одним і тим же пристроєм могли б користуватися всі однаково легко;

3) простоту, коли дія не вимагає додаткових навичок, досвіду, чи знань мови, а може здійснюватись на інтуїтивному рівні;

4) сприйнятність інформації та сигналів, в тому числі незрячими, нечуючими чи людьми зі зниженим рівнем уваги, з інтелектуальними вадами;

5) толерантність до помилок, коли випадкова чи ненавмисна дія не створить великої загрози;

6) мінімальність зусилля, коли пристрій чи елемент середовища викликає мінімальну втому при тривалій дії, а також невелике одноразове зусилля;

7) достатність розмірів і простору, включаючи місце для допоміжних засобів, якими користуються люди з особливими потребами, а також враховуючи зони досяжності, різні для різних людей.

Аеровокзальні комплекси згідно із номенклатурою громадських об’єктів відносяться до об'єктів і споруд транспортного обслуговування населення, зв'язку і інформації. Це залізничні вокзали, автовокзали, аеровокзали, аеропорти, інші об'єкти автомобільного, залізничного, водного і повітряного транспорту для обслуговування населення.

Інваліди, люди похилого віку, а також громадяни з малолітніми дітьми найчастіше користуються різними видами міського і магістрального транспорту. При дальніх пересуваннях цих пасажирів необхідними об'єктами для їх обслуговування стають вокзали різного призначення (залізничні, річкові, морські, автобусні, аеровокзали). Недоліки планування, організації пішохідних шляхів і обслуговування у вокзальних комплексах, що зустрічаються на практиці, ускладнюють пересування цієї категорії осіб на великі відстані. Проблема транспортного обслуговування інвалідів обумовлена відсутністю спеціального облаштування громадського транспорту, а також пов'язана з недоліками будівельних норм і правил, орієнтованих на здорових людей. У громадських будівлях транспортного призначення і на прилеглих територіях є так звані будівельні бар'єри (бортові камені, сходи, недостатні по ширині отвори і проходи тощо), які роблять недоступними ці споруди для інвалідів на візках.

У просторово розвинених містах спостерігається збільшення дальності поїздок населення, включаючи осіб з обмеженими фізичними можливостями, з використанням декількох видів транспорту. Пересадки при поїздках (від однієї і більше пересадок) особливо складні для ослаблених людей.

Вокзальні комплекси різного призначення (залізничні, автобусні, повітряні) включають все функціонально і композиційно взаємозв'язані між собою будівлі, споруди і пристрої, призначені для обслуговування пасажирів і проведення квиткових, багажних, поштових і інших операцій.

У передвокзальній зоні з погляду зручності для інвалідів бажано розміщувати громадські будівлі, призначені для обслуговування пасажирів в безпосередній близькості від вокзалів. Рекомендується кооперувати будівлі вокзалів з готелями, торговими будівлями, транспортними агентствами, ресторанами, туристичними бюро тощо, планувальні і технологічні вимоги кожного з яких повинні відповідати вимогам інвалідів.

При окремо розташованих готелях необхідні зупинки транспорту, пристосованого для інвалідів, а також стоянки особистого автотранспорту інвалідів. При розміщенні інвалідів в готелі бажано віддавати перевагу номерам, розташованим на перших поверхах, найближчих до будівлі вокзалу, порту, аеровокзалу, автобусної станції і забезпечити біля них зупинки транспорту, що підвозить. При окремо розташованих будівлях готелів необхідно влаштовувати стоянки особистого автотранспорту інвалідів.

Необхідність розділення шляхів пішоходів і транспорту на привокзальних площах визначається, головним чином, кількістю одиниць міського транспорту (автобуси, тролейбуси, трамваї, автомобілі) і умовами їх руху. Організацію руху пішоходів на привокзальних площах вирішують з використанням переважно наступних прийомів:

влаштування пішохідної зони півострівного типа в центральній частині привокзальної площі, що розділяється таким чином на площу прибуття і площу відправлення;

влаштування пішохідної зони по периметру привокзальної площі;

організації руху пішоходів і транспорту в двох або декількох рівнях з використанням тунелів, естакад і інших споруд для розв'язки потоків пішоходів і транспорту.

Ширина ділянок евакуації або накопичення на зупинних пунктах, де інваліди можуть знаходитися достатній час, а також пішохідних шляхів другорядного значення, наприклад, біля окремих установ "супутнього" обслуговування, інформаційних стендів, кіосків, павільйонів повинна бути збільшена з урахуванням можливості під'їзду і розвороту інвалідного візка. На основних пішохідних шляхах не допускається установка кіосків тощо, перешкоджаючих руху маломобільних пасажирів.

Для організації руху пасажирів з обмеженими фізичними можливостями, а також з дефектами зору на привокзальних площах слід передбачати комплекс планувальних, конструктивних і технічних заходів:

уникати по можливості перепадів рівнів і перешкод на шляхах руху;

при перепадах рівнів влаштовувати пандуси і східці сходів з поручнями (число східці повинне бути не менше трьох);

біля вертикальних перешкод необхідно встановлювати огорожі, поверхня яких повинна бути рівна, неслизька;

на тротуарах влаштовуються рельєфні смуги, застерегаючі інвалідів з дефектами зору про можливі небезпеки, а поблизу входів в будівлю вокзалу передбачаються стоянки для машин інвалідів.

При одноповерховому рішенні будівлі аеровокзалів, які перш за все входять до складу аеровокзальних комплексів, зонуються по горизонталі, мають витягнуту форму і досягають в довжину до 200 - 300 м, що значно збільшує шляхи пересування інвалідів і маломобільних пасажирів, але одночасно є зручним для безперешкодного пересування в одному рівні. Для переміщення інвалідів і маломобільних пасажирів в будівлях аеровокзалів великої протяжності слід використовувати рухомі тротуари або інші механізовані засоби пересування. Другий варіант - в центральній частині будівлі для пасажирів цієї групи слід передбачити спеціальний вихід на перон.

У багатоповерхових будівлях аеровокзалів зона для пасажирів, як правило, займає два рівні. Найчастіше верхній рівень (рівень входу в літак) призначається для пасажирів, що вилітають, нижній (рівень землі) - для тих, що прибувають і переміщення багажу. Для пересування між рівнями інвалідів і маломобільних пасажирів слід влаштовувати ліфти, пандуси, ескалатори і спеціальне облаштування сходових маршів. При їх відсутності слід передбачати для інвалідів на колясках і маломобільних пасажирів спеціальний вихід на перон в рівні першого поверху.

Посадка в літак і висадка проводяться на ближньому або дальньому пероні. На ближньому пероні при посадці (висадці) з рівня другого поверху використовуються галереї і телетрапи, з рівня землі - приставні сходи-трапи. Ухил телетрапа або галереї для пасажирів, що самостійно пересуваються на візках і маломобільних пасажирів не повинен перевищувати 1:12, при пересуванні інвалідів з супроводжуючими допускається ухил більшої величини. На галереї через кожні 10 м слід передбачати горизонтальний майданчик для відпочинку розміром не менше 1,5 х 1,5 м.

При посадці в літак з рівня землі (висадці) для підйому або спуску інвалідів і маломобільних пасажирів слід передбачити спеціальний пристрій - приставний механізований трап-ескалатор або автоліфт. При доставці пасажирів до літаків (і від них), розміщених на дальньому пероні, спеціальними автобусами або автопоїздами із зниженим рівнем підлоги для посадки і висадки з них інвалідів і маломобільних пасажирів слід використовувати відкидний пандус.

На аеровокзалах рекомендується передбачити приміщення для спеціальної служби супроводу та допомоги інвалідам і маломобільним пасажирам і зону для зберігання спеціальних малогабаритних колясок, використовуваних для обслуговування інвалідів при проходженні реєстрації, контролю, огляду і у польоті.

Реєстрацію квитків маломобільних пасажирів і оформлення їх багажу до перевезення, при необхідності рекомендується проводити за спеціально виділеною для цієї категорії пасажирів стійкою висотою від підлоги до робочого рівня 0,67 - 0,80 м, завглибшки під'їзду коляски 0,4 - 0,6 м. Над стійкою реєстрації рекомендується розміщувати рекламний короб, що звисає зі стелі або спирається на стійку, який містить інформацію і освітлення. Необхідне розміщення на ньому піктограми, що позначає переважно обслуговування інвалідів. У аеровокзалах (секторах) міжнародних авіаліній в зонах для заповнення декларації необхідно передбачати можливість установки столів для пасажирів на візках.

Висновок

Проектування та будівництво аеровокзальних комплексів потребує формування прийомів і засобів забезпечення доступності відповідної інфраструктури та усунення будь-яких перешкод (просторових, соціальних, морально-психологічних тощо) з метою забезпечення вимог і потреб усіх категорій маломобільного населення. Запровадження в практику принципів безбар'єрної технології та універсального дизайну є ефективним напрямом психологічної реабілітації та соціальної інтеграції людей з обмеженими фізичними можливостями.

Список літератури

1. Л. Бармашина. Доступність архітектурного середовища (проблеми усунення просторових перешкод щодо життєдіяльності маломобульних людей). Науково-технічний збірник Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Випуск 16. - К.: КНУБА, 2008. – С.303-310.

2. Сигаев А.В. Пешеходные пути и транспорт для инвалидов и престарелых /Архитектурная среда обитания инвалидов и престарелых. - М.: Стройиздат, 1989. – 325 с.

УДК 725.39.691.618.5 (045)

В.І. Васильченко, старший викладач
(Національний авіаційний університет, Україна)

СКЛОПРОЗОРІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У БУДІВНИЦТВІ АЕРОПОРТІВ

У даній статті розглянута проблема використання склопрозорового огородження у будівництві аеропортів. Світлопрозорі огороджуючи конструкції призначені для забезпечення необхідної природної освітленості та інсоляції, можливості візуального контакту з зовнішнім середовищем і захисту приміщень від його негативного впливу.

Постановка проблеми.

Завдяки світлопрозорим конструкціям зі скла збудовано багато аеропортів, у яких мешканці не відчувають на собі екстремальності клімату жарких суховіїв або північних буранів. Створення багаторівневих просторів зі скляним дахом стало досить поширеним архітектурним прийомом для великих багаповерхових комплексів.

Метою сучасних будинків просторових споруд є максимальна оглядовість та багатоваріантність переміщення великої кількості людей

Коли архітектор у рішенні зовнішнього огородження будинку використовує прозоре, декоративне покриття — він щоразу звертається до особливих властивостей скла, заснованих на його легкості, прозорості, здатності відбивати небо, ландшафти й міське середовище, поглядом розчинятися в ньому, створювати різноманітні оптичні ілюзії від-носно навколишнього простору.

Для створення споруд, здатних домінувати в міському або природному ландшафті, використовувалися чисті за формою візуально нерозчленовані геометричні тіла. Виникнення нових технологій засклення фасадів будинків, застосування суцільного засклення різних систем без стиків та швів з'єднання елементів та зорове сприйняття великих будинків як цілісної маси дозволяє розглядати такі споруди як домінанти.

Сучасна споруда - навіть житловий будинок, а тим більше споруда масштабного транспортного призначення – це складна інженерна система, насичена механізами й комунікаціями. І тому використання скла у будівництві аеропортів є актуальною проблемою сучасності.

Мета статті – визначити основні проблеми використання скла у будівництві аеропортів. Сьогодні, аеропорти стали центром глобального обміну і сприймаються як міжнародні міста-метрополити. Аеропорти стали не лише приклади екологічної будівлі, але і символами міжнародної культури. Особливістю сучасних будинків такого типу є все більше полегшення конструкцій з метою максимальної оглядовості та багатоваріантності переміщення великих мас людей у подібних вузлах масової активності.

Розвиток новітніх технологій виготовлення та застосування світлопрозорих конструкцій призвів до суттєвої зміни багатьох положень архітектурної практики.

Змінилися не лише принципи архітектурного рішення будинків, але й принципи формоутворення світлопрозорих елементів, пов'язаного з особливостями конструкцій і матеріалів, а також зорового сприйняття скляних стін. Крім того, з'явилися нові світлопрозорі елементи будівель ("зимові сади", суцільні фасадні системи, світлопрозорі дахи та елементи інтер'єру тощо).

Змагаючись у вишуканості й красі несучої структури, архітектори часто виводять її назовні, а скляну оболонку підвішують до легких вант, як це, наприклад зробив в одній із споруд Лондонського аеропорту Норман Фостер.

Великі зальні простори поєднуються з протяжними критими комунікаціями, які організуються у вигляді прозорих труб з вигнутого скла (рис.1).

Рис.1. Лондонський аеропорт

Коло функціональних (прагматичних) і композиційних (естетичних) рішень будівель зі світлопрозорими конструкціями надзвичайно широке. Спираючись на досвід практики сучасної архітектури, з'являється можливість систематизувати та узагальнити основні положення у будівництві споруд та аеропортів із застосуванням світлопрозорих огороджень.

Аналіз практики застосування світлопрозорих огороджень дозволяє виділити два основні аспекти формоутворення світлопрозорих конструкцій:

- перший полягає у визначенні функціональних особливостей будівель, у яких застосовуються світлопрозорі конструкції;
- другий - це композиційні принципи утворення архітектурних форм світлопрозорих елементів.

Особливості конструкцій і матеріалів світлопрозорих огороджень - легкість, прозорість та дзеркальність - змінили положення з архітектурної композиції: збільшення розмірів склопакетів, спрощення рішень пластики елементів стін будинків. Все це призвело до утворення нових принципів архітектурної композиції фасадів і особливостей їхнього сприйняття.

Можна передбачити, що подальший розвиток світлопрозорих систем має відбуватися в напрямку застосування матеріалів засклення: різноманітних світлопрозорих, композитних запрограмованих матеріалів, інженерного обладнання фасадів та елементів „ зимових садів", дахів.

Аеропорт – це об'єкт зовнішньої транспортної системи, один з елементів, що формує структуру міста та міжрегіональні процеси. Аеропорт являє собою місце з'єднання та взаємодії трьох основних компонентів повітряно-транспортної системи: аеропорту в цілому, авіакомпаній та користувачів. Тут проходить умовна межа та перехід повітряного транспорту з повітряного режиму в наземний. Інфраструктура аеропорту складається з п'яти основних функціональних зон: зона обслуговування літаків, зона розміщення навігаційних керуючих повітряним рухом, зона обслуговування пасажирів на пероні, споруда аеровокзалу, складові та технічні зони.

Для більш повного та ясного відображення теми скористаємось прикладами. Розглянемо міжнародний аеропорт Пекін столичний (Китай) (рис.2).

Розглянемо прогрес конструктивних схем. Особливу увагу варто звернути на розширення можливостей використання скла за цей короткий період часу. Якщо у XX столітті прозорість та легкість конструкції досягалась за рахунок вікон, що могли займати

площу всієї стіни, то на початку XXI ст. наука пішла далі: новий термінал аеропорту в Пекін практично прозорий, навіть аеродинамічний дах (єдина не засклена конструкція) має вікна, зорієнтовані на південний схід, щоб використовувати тепло і світло ранкового сонця.

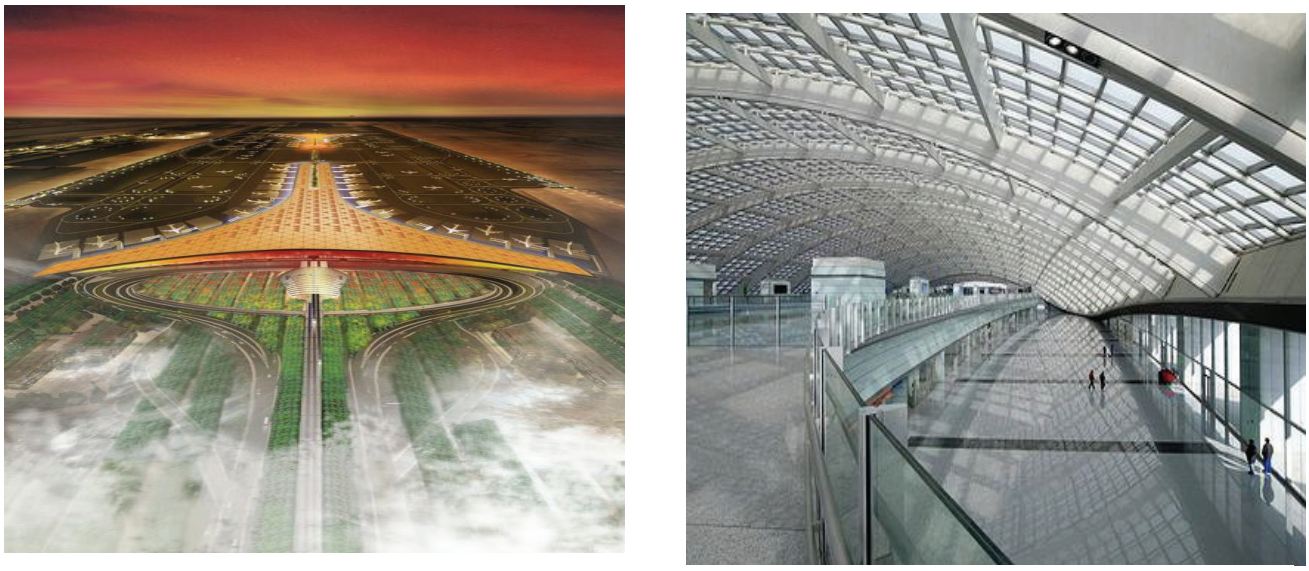


Рис.2. Аеропорт Пекін

Звичайно науковий прогрес впливає на естетичне архітектурне рішення проекту. Ми можемо спостерігати та аналізувати роботу Нормана Фостера в Пекіні та насолоджуватись взаємодією технічного та образного мислення, що яскраво виражається в архітектурі XXI століття. Не можна залишити без уваги і шарм простої ясності в поєднанні з композиційною виразністю архітектури XX століття.

Природне світлове середовище в умовах якого функціонують архітектурні об’єкти, відіграє вирішальну роль у створені комфортних умов життя і діяльності людини у внутрішньому просторі цих об’єктів і сприйняття їх архітектурно-художніх рішень.

Основне значення світло прозорих огороджуючи конструкцій будівель і споруд полягає в забезпеченні умов зорового сприйняття внутрішнього простору і його зв’язку з зовнішнім, транспортуванні прямого, відбитого, і розсіяного світла в приміщення при цілеспрямованим у управлінні його потоками та якісними і кількісними характери-тиками.

Скляна архітектура стала й вираженням нової ментальності людства. XX ст. звільнило людину від пут земного тяжіня, випустило його спочатку в небесну сферу, а потім і в космос. Невагомість стала новим відчуттям, що стало категорією естетики. Це немов би прагматичний аспект походження скляної архітектури, який може бути пояснений з позиції утилітарної логіки, з позицій організації міського або інтер'єрного простору як потреби, з позиції комфорту й такого фактору, як престиж особистості або певної компанії. У ньому головним є можливість організації просторів, що за багатьма ознаками нагадують відкриту природу, але разом з тим у них регулюються мікрокліматичні умови.

Новітні тенденції розвитку архітектури спрямовані на розвиток комплексних систем геліоосвітлення шляхом введення прямих і відбитих потоків сонячного світла у внутрішні частини будинків, в які за традиційними рішеннями воно не могло б потрапити.

Створює, наприклад в міському аеропорту Штудгарта неповторний ефект сонячного світла, що ллється зверху на деревоподібні опори, направлене слідкуючими за Сонцем геліостатами, які працюють від сходу до заходу Сонця, а потім їм на зміну приходять прожектори денного світла (рис.3).

Рис.3. Аеропорт Штудгарта

Розробляються або реалізовані декілька підходів. В яких своє місце знаходять світло прозорі огородження, геліостати і концентратори, світловоди або системи дзеркал, які керують потоками сонячного світла, допоміжні джерела світла.

Останнім часом у будівництві використовуються стекла зі спеціальними властивостями, що покращують ті чи інші фізико-технічні показники звичайного скла. Це таки види скла як: кварцове скло, забарвлене у масі скло, увіолеве скло, скло з твердим покриттям, фотохромне , армоване , візерункове, гнуте, загартоване, ламіновані, скло з м'яким покриттям, матове, гідрофобне, термохромне, електрохромне, рідкокристалічне, скло з дисперсними частинками і скло, що нагрівається.

Скло як будівельний матеріал має широкий вжиток. Його використання дедалі збільшується, що пов'язано з новим архітектурним стилем, новою будівельлною технологією (скло застосовується як облицювальний матеріал).

Завдяки оволодінню можливостями скла й металу здійснилося передбачення архітекторів-фантастів про криті вулиці та площі.

Висновки. Аналіз проведеного дослідження виявив, що для аеропортів нового покоління використання світлопроворих огороджень набуває широкого вжитку і привертає в останній час до себе особливу увагу. Світлопрозорі конструкції відносять до групи огороджувальних конструкцій, застосовують для забезпечення теплоізоляції, природного освітлення, візуального контакту із зовнішнім середовищем. Все частіше зустрічаються будівлі зі світлопрозорими фасадними системами.

В теперішній час в Україні поширюється світова тенденція в архітектурному стилі, яка принесла дуже багато скла в фасади сучасних аеропортів.

Список літератури

1. Маркус Т.А., Моррис Є.Н. Здания, климат и енергия /Т.Маркус, Є. Морис –Л.: Гидрометеоиздат, 1996. – 543 с.

2. *Казимиров Н.Н.* Стекло в вопросах и ответах. /Н.*Казимиров* –К.: Технолуч-Витрина, 2003. –32 с.

3. *Пелагенко А.П.* Цивільна авіація України: історико-аналітичний огляд / *А. Пелагенко* – Київ:, „Агробізнес", 2005. –128 с.

4. *Харук А.В.* У истоков украинской авиации: портрет. /А.*Харук* – Київ, Авиация и время 2004. 14–15 с.

5. *S.Gielion:* Time and Architecture. Fifth Edition. /*S.Gielion* – Harvard University Press, Gambridge, 2004. –100 с.

УДК 656.71.017:7.012(045)

Л.Р. Гнатюк, доцент, О.В. Кравченко
(Національний авіаційний університет, Україна)

КОМУНІКАТИВНИЙ ДИЗАЙН В ІНТЕР'ЄРАХ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглядається питання систем візуальної комунікації в інтер'єрах аеровокзальних комплексів, розподіл пасажиропотоків за допомогою засобів орієнтування.

На сьогоднішній день авіаперевезення стали глобальним та міжнародним способом переміщення. Пасажири аеровокзалів – це безперервний потік людей різного віку, з різних країн, які щомиті прилітають, відлітають та зустрічають. Для правильного розподілення пасажиропотоку в аеровокзалах, зручного орієнтування, необхідним стає правильна організація системи візуальних комунікацій та навігацій у аеровокзальних комплексах аеропортів, особливо розрахованих на міжнародні рейси.

Покажчики та інформаційні табло, які використовуються в аеропортах, а також різні системи візуальної навігації – це свого роду гіди, які вказують відвідувачам і пасажирам вірний напрям при пошуку виходу на посадку, переходу на інші термінали, зали очікування, кав'ярні, туалетної чи дитячої кімнати. Інформаційне обслуговування забезпечує швидку орієнтацію пасажирів і відвідувачів в аеровокзалах. Засоби візуальної інформації забезпечують інформування вилітаючих і прилітаючих пасажирів.

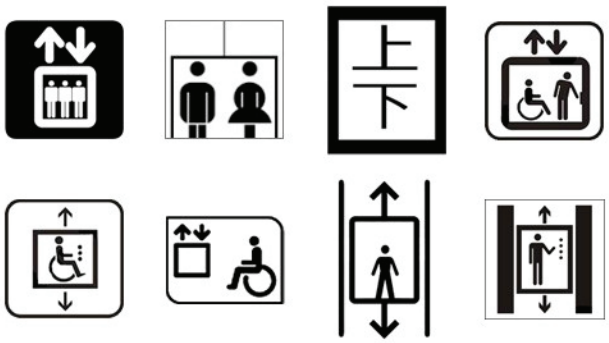
Комунікативний дизайн – це спосіб донести до людини доступними візуальними засобами інформацію будь-якого характеру. Комунікативний – значить, пов'язуючий одне одного, комунікація – передача повідомлення від людини до людини. Ця передача здійснюється за допомогою візуальних графічних засобів.

Візуальна комунікація – важлива складова дизайну. В основному вона оперує двомірними зображеннями – плакатами, відеорядом, знаками, графікою. Мета візуальної комунікації зазвичай полягає у підтримці текстового повідомлення, а не в самостійному впливі [1].

Починаючи з 50-х років галузь авіаперевезень стрімко розвивалася, збільшуючи потік пасажирів. З використанням складної логістичної системи, що зв'язує авіакомпанії між собою, авіаперевезення стали глобальним та міжнародним способом переміщення. Тепер можна купити квиток в одному місці і шляхом однієї-двох пересадок потрапити в будь-яку точку планети використовуючи тільки літак.

Різні міжнародні організації в другій половині 20-го століття вирішили проблеми навігації орієнтування в громадських місцях шляхом введення стандартних символів, піктограм і знаків (рис.1).

Рис.1. Навігації з використанням стандартних символів, піктограм і знаків.



а. б. в. д.

Рис. 2. Піктограма ліфта в різних варіантах:
а. AIGA, ERCO, Japan; б. Heiko Barmbold; в. City of Bruges (BE); д. Hansgrohe AG, ISO 7001

На практиці виявляється дещо складніше, з'явилися інші проблеми, оскільки аеропорти не зобов'язані використовувати або чітко слідувати системам стандартів, розроблених міжнародними організаціями (рис.2). Але навіть якщо вони захочуть ними скористатися, то виникає проблема вибору, тому що існує три поширені системи. У 60-х роках за участю Герберта В. Капіцкі (Herbert W. Kapitzki) організація «ADV» (German Civil Airports Working Group) розробила систему символів для навігації в аеропортах (рис.3.а.). У 1964 році використовуючи аналогічний підхід, були розроблені дизайнером Кацумі Масару (Katsumi Masaru) піктограми для олімпіади в Токіо(рис.3.б.). А в 1972 році для олімпіади в Мюнхені дизайнер Отл Айхер (Otl Aicher) розробив свої піктограми (рис. 3.в.).

а. б. в.

Рис. 3. Міжнародні стандарти навігаційних системи.
а. Піктограми Герберта В. Капіцкі; б.Піктограми Кацумі Масару; в. Піктограми Отла Айхера

Все це сформувало певні тенденції та принципи для впровадження інформативної графіки. З часом незалежно один від одного з'явилося дві системи стандартів: AIGA (розроблений «The American Institute of Graphic Art» у співпраці з Міністерством транспорту США) та ISO 7001 («International Standards Organization»). Особливістю обох систем є те, що при розробці символів і піктограм керувались виключно візуальним рядом, характерним для західних країн. Зараз, коли по світу активно подорожують представники інших культур (Азія, Африка, Латинська Америка), стало очевидним, що не всі піктограми легко впізнаються і трактуються однозначно.

Сучасними проблемами інформативної графіки аеропортів займається дизайнер візуальних комунікацій Маркус Шреппель (Markus Schröppel) з Нердлінгена (Німеччини). Ця проблематика лягла в основу його докторської дисертації, в рамках якої він на основі існуючої інфографіки для аеропортів намагається сформувати єдиний міжнародний стандарт з урахуванням культурних і національних відмінностей. Для оцінки існуючих піктограм використано три критерії [2]: надійність (достовірність), корисність (практичність) і задоволення (рис.4).

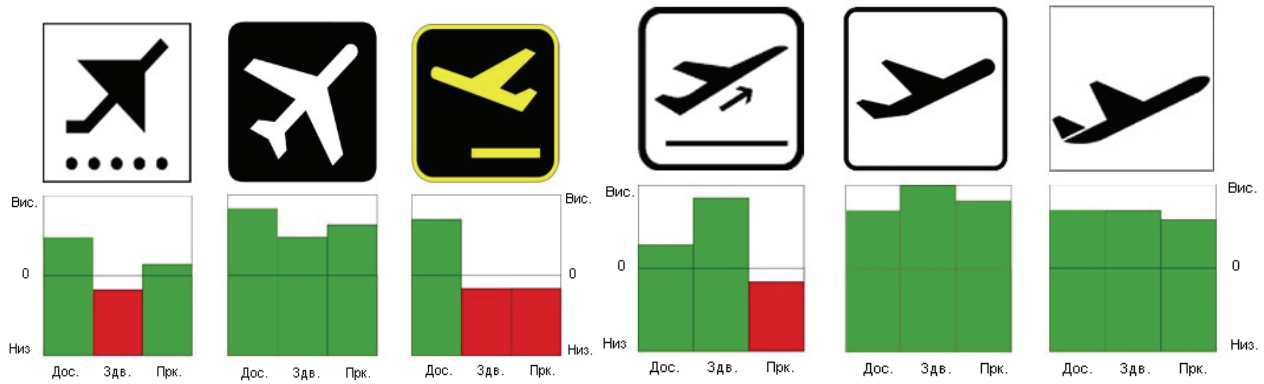


Рис.4. Піктограми злітаючого літака за трьома критеріями. (Піктограми з наборів: Ольга Куликова (МХУПІ), AIGA, Cheongju International Airport (South-Korea), Logo-Arte (It), Hong Kong Airport, ERCO (використано в Frankfurt Airport)

дос.	–	критерій достовірність,	вис.	–	високий показник
здв	–	критерій задоволення	0	–	нульовий показник
прк.	–	критерій практичність	низ.	–	низький показник

Розробка дизайну системи знаків аеропорту завдання – це складна систему візуальної навігації, що враховує тенденції поведінки пасажирів, коректний напрямок пасажиропотоку, особливості навколишнього середовища, специфіку конструктивних елементів тощо.

При розробці дизайну покажчиків систем навігації для аеропорту чи іншої громадського будівлі необхідно добре вивчити візуальне оточення місць їх майбутнього розташування. Колір стін, підлоги, наявність вікон, ступінь природного освітлення в приміщеннях, наявність і розташування штучного освітлення та інші елементи інтер'єру та екстер'єру які обов'язково враховуються при створенні дизайну. Для досягнення максимального ефекту в умовах щільного пасажиропотоку важливо, щоб покажчики чітко виділялися на загальному фоні. Не можливе використання різноманітних колірних поєднань, визначившись з єдиною колірною гамою, необхідно її дотримуватись у всьому інтер'єрі для виділення відповідних зон (метод «колірного зонування»). Можливе використання підсвічування покажчиків, для підвищення їх читабельності пасажирами (рис.5.).

а. б.

Рис. 5. Використання підсвічування покажчиків у аеровокзалах світу
а. Аеропорт Сінгапуру; б. Міжнародний аеропорт Франкфурт

Високо-контрастні знаки завжди чітко сприймаються і на них добре відчитується зміст повідомлення. Кольорові сполучення, успішно вирішують це завдання в аеропортах – це світлі букви або піктограми (іконки) на темному тлі [3]. Наприклад, чорний фон з білими буквами, що світяться забезпечить високий контраст та достатню читабельність для людського ока; такий знак точно можна побачити з великої відстані [4]. Інші можливі, і досить вдало реалізовані, поєднання кольорів, що зустрічаються у приміщеннях аеровокзалів – це чорні букви на жовтому тлі (рис. 6.).

Рис. 6. Аеропорт Шонефельд, Берлін, Німеччина

Шрифти використовуються «рубані» (sans type), наприклад FF Info, створений Еріком Спікерманом, або шрифт Frutiger від Адріана Фрутігера. Також добре використовувати шрифти з високими малими літерами без виносних елементів, так як це підвищує розбірливість слів на покажчику [5]. Важливо дотримуватися однаковості, використовувати єдиний шрифт, на всіх рівнях візуальної комунікації навігаційної системи аеропорту [6]. Для міжнародних аеропортів важливим є використання покажчиків, забезпечених піктограмою і двомовним текстом (на місцевій та переважно англійською мовами), що позначають сервіси як всередині будівлі, так і на прилеглій території (рис. 7.). Таким чином, більшість пасажирів і відвідувачів зможуть прочитати інформацію на покажчиках.

а. б.

Рис. 7. Використання пітограм з двомовним текстом.
а. Аеропорт Порто, Португалія; б. Аеропорт Сінгапуру, Термінал 3.

Висновки. При розробці дизайну системи знаків візуальної комунікації аеровокзалу необхідно передбачати тенденції поведінки пасажирів та направляти пасажиропотоки, враховувати особливості оточення, специфіку середовища, елементи архітектурних конструкцій. Необхідним є досконале вивчення візуального оточення місць запланованого розміщення вказівників систем навігації. Доцільним є попереднє тестування макетів покажчиків на предмет їх функціональності у візуальному оточенні. Для досягнення максимального ефективності необхідно, щоб вказівники чітко виділялися на фоні інших об'єктів дизайну. Саме тому, необхідно враховувати колористику інтер'єру, наявність природного та штучного освітлення, що допоможе в подальшому виділити відповідні інформаційні зони.

Список літератури

1. *Дегтярев А.Р.* Изобразительные средства рекламы: слово, композиция, стиль, цвет / А.Р. Дегтярев. – М.: Фаир-пресс, 2006. – 254 с.
2. *Markus Schröppel* Talking about information graphics. Art and Design, Dragonsource Group com Inc., 2007 – S. 37
3. *Жукова А.* Marlboro Man и красные яблоки Лео Барнетта [Электронный ресурс] / А. Жукова. – Режим доступа: http://www.master-class.spb.ru/artmalboro.
4. *Дзикевич С.* Эстетика рекламы: Эстетическая структура визуальной коммуникации / С. Дзикевич. – М.: Гардарики, 2004. – 232 с.
5. *Курушин В.* Графический дизайн и коммуникация/ В. Курушин. – М.: РИП-холдинг, 2001. – 342 с.
6. *Кафтанджиев Х.* Гармония в коммуникации / Х. Кафтанджиев. – М.: Эксмо, 2005. –368 с.

УДК 72.012.8:656.71.017(045)

Л.Р. Гнатюк, доцент, К.М. Осадча
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВІДПОВІДНІСТЬ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА РОЗРОБКИ ДИЗАЙНУ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглянуто стандарти систематизації аеровокзальних комплексів, принципи формування і призначення за виробничо-технічними і об'ємно-просторовими показниками. Визначено основи розробки дизайн-концепції аеровокзальних комплексів, що ставиться перед дизайнерами, відповідно до виробничих потреб.

Аеровокзали відносяться до транспортного типу громадських будівель і споруд [1]. Вони призначені для комплексного обслуговування пасажирів повітряного транспорту до і після вильоту, а також осіб, які проводжають і зустрічають.

Основним виробничо-технологічним показником аеровокзалу є його пропускна спроможність, що характеризується кількістю пасажирів всіх категорій, обслуговування яких можливе в аеровокзалі протягом певного періоду часу: години, місяця, року. При пропускній спроможності менше 100 пас./год. проектують службово-пасажирську будівлю або спорудження комбінованого призначення.

Необхідна пропускна спроможність аеровокзального комплексу визначається виходячи з планованого річного об'єму перевезень на розрахунковий рік експлуатації. Пропускна спроможність аеровокзального комплексу, як правило, приймається на розрахункову годину "пік". У вітчизняній практиці як розрахунковий приймається десятий рік з моменту введення комплексу в експлуатацію.

Таблиця 1.

Відповідність пропускної спроможності аеровокзальних комплексів класам аеропортів

Класи аеропортів	Пропускна спроможність аеровокзальних комплексів, пасажирів/годину	Річний об'єм перевезень, млн. пас.
I	2000–3000	7–10
II	1500–2000	4–7
III	1000–1500	2–4
IV	400–1000	0,5–2
V	100–400	0,1–0,5
Некласифіковані аеропорти	35–100	0,025–0,1

Аеровокзальний комплекс є частиною аеропорту, його основною сполучною ланкою між наземними видами транспорту і літаками.

Аеровокзальний комплекс включає аеровокзал, привокзальну площу і перон, (рис.1), але може включати так само готель, цех бортживлення та інші споруди. При проектуванні дизайнером передбачається єдність технологічного і планувального вирішення аеровокзалу, привокзальної площі і пасажирського перону. При проектуванні в аеропорту декількох аеровокзалів передбачається їх спеціалізація за видами обслуговування (відправлення, прибуття), напрямах польотів, типах літаків, міжміських, міжнародних і місцевих лініях з врахуванням прийнятих методів обслуговування пасажирів. Обслуговування пасажирів місцевих і міжнародних ліній у одній будівлі передбачається в малих аеровокзалах і допускається в середніх аеровокзалах (у спеціальних зонах).

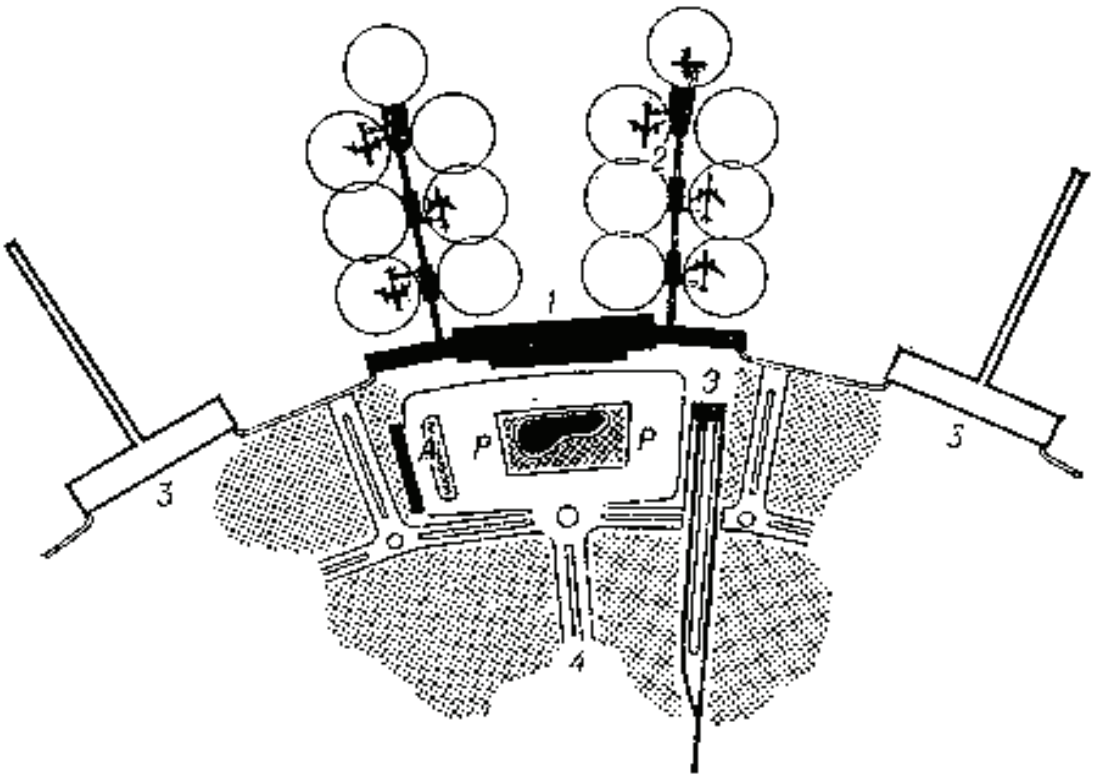


Рис. 1. Схематичний план пасажирського комплексу аеропорту Домодедово: 1 — аеровокзал; 2 — перон з галереями для посадки пасажирів в літаки; 3 — проектоване розширення комплексу (аеровокзали 2-ої і 3-ої черги будівництва); 4 — автомобільна магістраль: А — автобусна станція; Е — станція приміських електропоїздів; Р — автостоянки.

Залежно від призначення всі приміщення аеровокзалу (рис.3) об'єднані в 3 групи: пасажирські (операційні зали, зали очікування і посадки, торгівельні зали кафе і ресторани); допоміжного призначення (багажні приміщення, кімнати матері і дитини, відділення зв'язку і т. д.); службово-експлуатаційні (приміщення служби перевезень, інженерно-технічного устаткування і ін.) [4]. Дизайнер враховує кожне обов’язкове приміщення при розробці дизайну інтер’єру аеровокзалу, оскільки всі ці складові впливають на організацію єдиного простору і функціональність аеровокзалу.

Склад аеровокзального комплексу, і його пропускна спроможність багато в чому залежать від класу, величини аеропорту і його призначення, річних об'ємів перевезень.

Клас аеропорту визначається річним об'ємом пасажирських перевезень, тобто сумарною кількістю пасажирів, що вилітають, транзитних, трансфертних і таких, що прилетіли, а також класом аеродромів, що характеризує можливість безпечного прийому і випуску повітряних суден певного типу [3].

За призначенням аеровокзальні комплекси підрозділяються залежно від типу обслуговуваних авіаліній: місцевих, міжнародних. Місцеві авіалінії зв'язують населені пункти в межах однієї країни і обслуговуються повітряними суднами малої і середньої місткості. Міжнародні повітряні траси зв'язують міста різних держав і обслуговуються повітряними суднами малої, середньої і великої місткості залежно від інтенсивності руху на трасі.

В залежності від об'ємів пасажирських перевезень, технологічної схеми перону, кількості місць стоянки літаків на пасажирському пероні і їх розташування відносно аеровокзалу можуть використовуватися одноярусні, двох'ярусні, змішані схеми організації потоків пасажирів і їх багажу в аеровокзалі. При одноярусній схемі дороги руху потоків пасажирів і багажу, а також всі основні пасажирські і багажні приміщення розміщуються на

одному рівні. При двох'ярусній схемі всі потоки пасажирів і багажу розділені по різних рівнях. При змішаній схемі для одного з пасажирських потоків (пасажирів, що вилітають) схема є двох'ярусною, а для іншого (пасажирів, що прилетіли) - одноярусною.

Аеровокзальний комплекс аеропорту є одним з ланок системи обслуговування пасажирів, що також включає каси, агентства в межах міської межі, станції транспортного обслуговування між містом і аеропортом і нарешті аеровокзали. Аеровокзали, що розміщуються в місті [2], – це самостійний тип авіатранспортних споруд. Зареєстровані в місті аеровокзальні комплекси, що приймають пасажирів, повинні мати спеціально відведені для них зони, а також спеціальні дороги з в'їздами на перон через контрольно-перепускні пункти.

Великий вплив на структуру аеровокзального комплексу вчиняє питома вага трансфертних пасажирів. При малому їх числі, менше 5-10%, комплекс обслуговує переважно початкові і кінцеві пасажиропотоки, відстань між місцями стоянки літаків істотного значення не має. При великому числі трансфертних пасажирів, 30-50%, аеровокзальний комплекс повинен як правило, мати якісно іншу функціонально-технологічну структуру. Мають бути організовані значно більші площі залів для транзитних і трансфертних пасажирів, буфетів, кафе, їдалень і так далі.

Залежно від потоків пасажирів і багажу (рис.2) організація обслуговування пасажирів можлива децентралізованим і централізованим методами. Централізований метод характеризується тим, що різні типи пасажиро потоків (місцевих і міжнародних ліній), пасажири окремих рейсів обслуговуються в одному місці, одним або суміжними фронтами технологічного устаткування і одним персоналом; вони здійснюють рух через аеровокзал по загальних приміщеннях, метод Децентралізований характеризується тим, що різні типи пасажиро потоків обслуговуються в різних місцях, різними групами персоналу, спеціалізованими по методах і формах обслуговування.

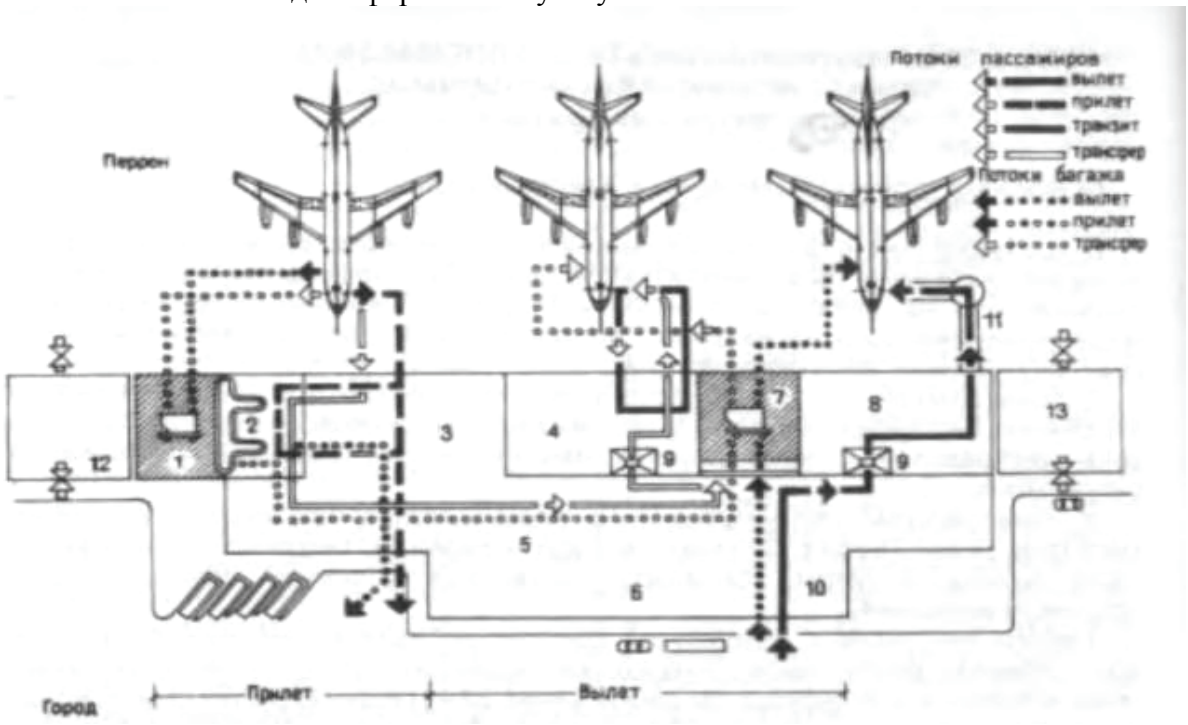


Рис. 2. Основні потоки пасажирів і багажу і основні групи приміщень в аеровокзальних комплексах

1 – багажне приміщення прильоту; 2 – зони видачі багажу; 3 – залу чекання пасажирів, що прилетіли; 4 – залу транзитних пасажирів; 5 – залу транзитних і трансферних пасажирів (загальна зона); 6 – довідкове бюро; 7 – багажне приміщення вильоту; 8 – зал-накопичувача вильоту; 9 – зони спецогляду; 10 – зони інформації і розподілу; 11 – зони розподілу з боку перону; 12 – сектора пасажирів-інтуристів; 13 сектор депутатів і делегацій

Істотний вплив на функціонально-технологічну структуру аеровокзального комплексу надає також характеристика парку повітряного транспорту. Так, при великій питомій вазі широкофюзеляжних літаків потрібні великі площі операційних залів, залів очікування, залів-накопичувачів, велика пропускна спроможність системи обробки багажу.

Аеровокзальні комплекси класифікуються так само за способом доставки пасажирів в аеропорт, тобто за виглядом транспорту між містом і аеропортом: громадський (автобус, залізниця) індивідуальний (таксі, особистий, службовий автомобіль). Кожна з перерахованих груп транспорту робить впливає на функціонально-технологічне рішення аеровокзального комплексу.

При переважному використанні залізниці, наприклад, необхідно централізована зона інформації, розподіл і реєстрації пасажирів в безпосередній близькості від залізниці. При переважному використанні індивідуального транспорту також необхідний централізований інформаційний пункт при в'їзді до аеропорту, але зони реєстрації можуть бути децентралізовані.

Таким чином, аеровокзальні комплекси характеризуються за наступними показниками, які безпосередньо впливають на сторони дизайну середовища:

— кількістю будівель аеровокзалів: багатовокзальний або одновокзальний;

— видом зв'язку між аеровокзалом і літаком: пішохідним, при розташуванні літаків безпосередньо в будівлі аеровокзалів («ближній перон»); автобусним при розміщенні літаків у віддаленні від будівлі аеровокзалу («далекий перон»); комбінованим при поєднанні «далекого» і «ближнього» перонів;

— системи обслуговування пасажирів: централізована, децентралізована, комбінована;

— формою плану будівлі аеровокзалу: проста лінійна, лінійно-дугова, галерейно-фінгерна, сателітна, комбінована, складна;

— компактністю будівлі аеровокзалу: низька, середня, висока;

— прийняттям рішення в рівнях, у тому числі перонів (один, два рівні). Будівля аеровокзалу (один, півтора, два, три рівні і так далі), привокзальній площі (один, два рівні з естакадою);

— кооперацією служб аеровокзального комплексу іншими службами аеровокзалу;

— блокуванням будівлі аеровокзалу з іншими будівлями аеропорту: командно-диспетчерським пунктом, готелем, цехом бортживлення та іншим.

Висновки. Аеровокзал надзвичайно складна система для обслуговування пасажирів повітряного транспорту в аеропортах. Робота дизайнера полягає в тому, щоб зв’язати всі компоненти аеровокзального комплексу (привокзальну площу із стоянками міського транспорту, перон із стоянками літаків, будівлі перонно-технічних служб; цех приготування бортового живлення, готель, командно-диспетчерський пункт тощо), а також врахувати пропускну спроможність, клас аеровокзалу, місце розташування аеропорту, обов’язкові групи приміщень, методи обслуговування і схеми організації пасажирів. Тільки за умови врахування всіх необхідних показників, дизайнер здобуде цільне уявлення про поставлені задачі і зуміє втілити їх в дизайн-концепції, забезпечить створення цілісного і комфортного середовища такого складного організму яким є аеровокзал.

Список літератури

1. *Архитектурное* проектирование общественных зданий и сооружений: Учеб. для вузов / Под. ред. И. Е. Рожина. и А. И. Урбаха. — 2-е узд., перераб. И доп. — М.: Стройиздат, 1985. — 543с.
2. *Вікторов Б.И.* Специальные сооружения и здания аэропортов / Б.И. Вікторов. — М.: Транспорт, 1978. — 365с.
3. *Комский М. В.* Аэровокзалы / М. В.Комский, М. Г.Писков. — М.,: Стройиздат, 1987. — 199 с.
4. *Локшин В., Согомонян Н., Берлин Ю.* Аэровокзалы аэропортов. Типы зданий / В.Локшин, Н.Согомонян, Ю. Берлин. - М., 1966. — 440с.

УДК 72.012.8:656.71.017(045)

Л.Р. Гнатюк, доцент, Г.О. Шишлакова,
(Національний авіаційний університет, Україна)

ВЗАЄМОДІЯ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ТА ДИЗАЙНУ ІНТЕР'ЄРУ АЕРОВОКЗАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглядається важливість аеровокзалу, як елементу благоустрою оточуючого середовища та його взаємозв'язок з внутрішнім оформленням.

Початок розвитку ери авіації в світі, що припало офіційно на 60-70 роки, швидко перейшло у фазу свого підйому завдяки інтенсивному розвитку технологій, активному інвестуванню інфраструктури, зниженню вартості перевезень, і повністю стабілізувалося до середини 90-х, із загальним збільшенням перевезень до 3% в рік.

Не дивлячись на те, що в деякий час спостерігався невеликий спад перевезень у зв'язку з терористичними актами 2001 р., повітряна індустрія займає міцні позиції у сучасному світі.

Аеровокзал – будівля для обслуговування пасажирів повітряного транспорту в аеропортах. Основне спорудження пасажирського комплексу, розташованого в центральній зоні аеропорту; у його склад входять: привокзальна площа із стоянками міського транспорту, перон із стоянками літаків, будівлі перонно-технічних служб; цех приготування бортового живлення, готель, командно-диспетчерський пункт. Як правило, ці будівлі і споруди об'єднуються з будівлею аеровокзалу.

Розрізняють аеровокзал внутрішніх і міжнародних ліній. Обслуговування пасажирів в аеровокзалі включає: продаж і реєстрацію квитків; прийом, оформлення, комплектування по рейсах і видачу багажу; інформацію про відправлення і прибуття літаків: поштові, побутові, медичні та інші послуги.

У аеровокзалі міжнародних ліній здійснюються також пограничний паспортний контроль і митний огляд багажу. Залежно від призначення всі приміщення аеровокзалу об'єднані в 3 групи: пасажирські приміщення основного призначення (операційні зали, зали очікування і посадки, торгівельні зали кафе і ресторану); допоміжного призначення (багажні приміщення, кімнати матері і дитини, відділення зв'язку і т.п.); службово-експлуатаційні (приміщення служби перевезень, інженерно-технічного устаткування і ін.) [2;136].

Розміри аеровокзалу залежать від встановленого для даного аеропорту об'єму пасажирських перевезень. При визначенні площі приміщень аеровокзалу враховують також необхідність обслуговування відвідувачів, супроводжуючих пасажирів, з розрахунку 30—40% від числа пасажирів [1;53].

Для кращого обслуговування населення великих міст і розвантаження аеровокзалу аеропортів споруджуються міські аеровокзали в пунктах, що зручно пов'язані з міським транспортом.

Архітектурно-планувальне рішення сучасних аеровокзалів підпорядковано технологічній схемі обслуговування пасажирів, організації їх посадки в літаки. Основним приміщенням є операційний зал, площа і характер устаткування якого визначають пропускну спроможність будівлі аеровокзалу. Об'ємно-планувальна структура пасажирських приміщень повинна відповідати прийнятою для даного аеровокзалу схемі планування перону.

При великій інтенсивності руху літаків, особливо багатомісних, для скорочення часу стоянки літака, забезпечення безпеки і створення зручностей пасажирам планування аеровокзалу передбачає влаштування наземних або підземних перехідних галерей і спеціальних павільйонів, пов'язаних з літаками стаціонарними критими трапами на рівні 2-го поверху будівлі аеровокзалу.

Планування аеровокзалу має бути чітким, виключати пересічення і зустрічі масових потоків пасажирів і прийнятого до перевезення багажу, зайві спуски і підйоми,

забезпечувати можливість самостійного орієнтування пасажирів на шляху до літаків (і від літаків).

Більшість проектів 70-х років не враховували специфіку функціонування міжнародних аеровокзалів зважаючи на обмеженість даного вигляду перевезень.

При здійсненні міжнародних перевезень система обслуговування має серйозний вплив на устаткування аеровокзалу і на саму технологію. Невідповідність розмірів і площ існуючих будівель аеровокзалів з новими потребами ускладнює можливість їх використання, виникає потреба реконструкції та технічного переозброєння.

Відсутність необхідних технологічних приміщень в побудованих аеровокзалах внутрішніх ліній і загальний дефіцит площ обумовлює необхідність розширення всіх приміщень технологічного обслуговування пасажирів, митного догляду і очікування посадки.

Аеропорти займають особливе місце у функціонуванні міста і країни в цілому, забезпечуючи зовнішні транспортні зв'язки, але одночасно утворюючи потужні самодостатні структури, що впливають на міські підсистеми і екологію (рис. 1.).

Рис. 1. Аеропорт “Чек Лап Кок”

Якісне поліпшення архітектурно-планувальних, функціональних, соціальних характеристик аеровокзалів дозволяє аеропортам не лише ефективно функціонувати у сучасному світі, але й органічно інтегруватися в міське середовище, а у ряді випадків й набути особливого значення в існуючих міських структурах, забезпечуючи новий виток розвитку крупних міст.

Стрімкий розвиток технологій будівництва надає можливості для втілення найсміливіших проектних рішень і створення незвичайного і виразного образу. Темп змін в різних сферах людської діяльності ставить архітектора та дизайнера перед проблемою втілення дизайн-концепції. Між необхідністю проектування будівель, що відповідають сучасному ритму життя суспільства, і потребою створювати архітектуру, обумовлену специфікою функціонування будівлі аеровокзалу і концептуальністю його сприйняття (рис.2.).

При цьому архітектура аеровокзалу повинна співіснувати зі своїм внутрішнім оформленням. Дизайн інтер’єрів дає можливість гостям інших країн побачити основні достоїнства або напрям діяльності окремих міст чи країни взагалі.

Рис. 2. Аеропорт “Куала-Лумпур”

Аеровокзали міжнародних аеропортів всього світу особливо чуйно реагують на всі зміни, що стосуються технологій, безпеки, архітектури, економіки, проектуючи процеси, що відбуваються в суспільстві. У випадку індивідуального підходу до проектування міжнародних аеровокзалів архітекторові надається можливість створити неповторний архітектурний образ, використовуючи неординарні архітектурні рішення (рис. 3.).

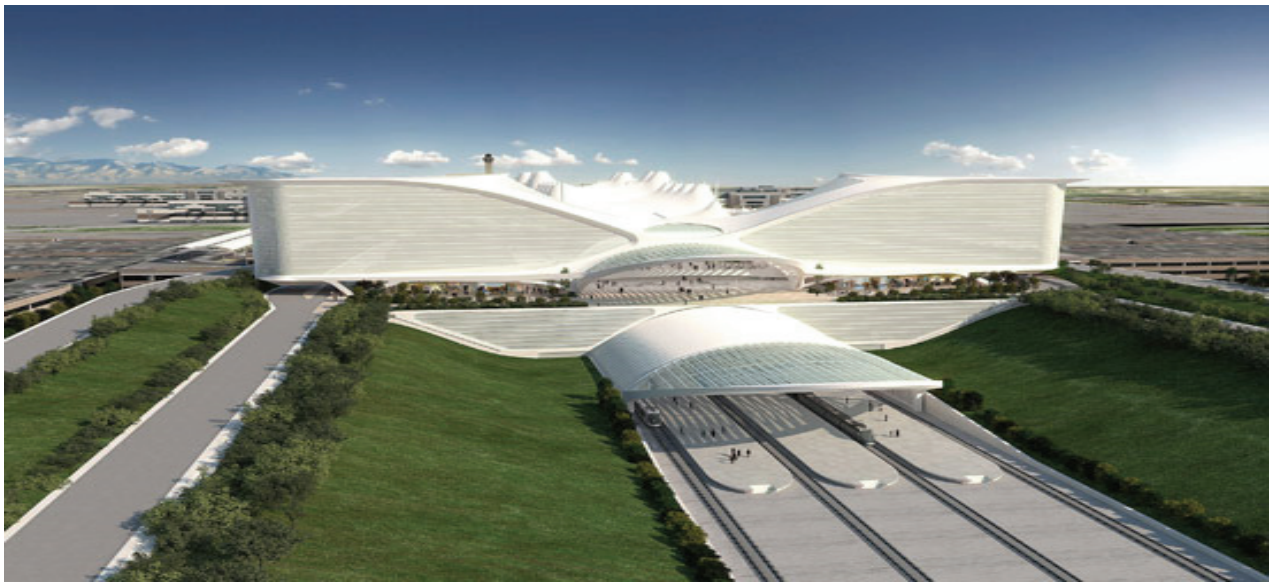


Рис. 3. Аеропорт “Куала-Лумпур”

Основні елементи інтер'єру приміщень аеровокзального комплексу (дивани, крісла і т.п.) мають бути не тільки цікавими за своїм зовнішнім виглядом, а й функціональними. Створювати залежно від свого призначення, відповідну атмосферу кожного залу.

Стосовно дизайнерського вирішення зали можуть бути як пов’язаними між собою, так і відмінними. Також обов’язковим є дотримання конкретних вимог до внутрішнього обладнання і устаткування приміщень аеровокзалів.

Операційні, розподільні зали, зали очікування повинні мати безпосередній зв'язок з медичним пунктом, кімнатою матері і дитини, торгівельними залами ресторанів, кафе і буфетів.

Елементи інтер'єру залів очікування (дивани, крісла і т.п.) мають бути розташовані із забезпеченням ширини проходу між ними не менше 1,8 м для проведення прибирання засобами малої механізації.

Квиткові і багажні каси, стійки реєстрації пасажирів і багажу необхідно влаштовувати у вигляді індивідуальних кабін, ізольованих від пасажирських залів.

Вікна і вітражі у всіх приміщеннях повинні відкриватися всередину для зручності миття скла і рам.

Медпункт повинен знаходитись на першому поверсі будівлі аеровокзалу і мати окремі входи з пасажирського залу і на перон.

Всі приміщення основного і додаткового обслуговування пасажирів, а також службові приміщення повинні мати безпосередньо природне освітлення.

У допоміжних і технічних приміщеннях допускається спільне або лише одне штучне освітлення. Санітарні вузли загального користування згідно з "Санітарними правилами облаштування суспільних вбиралень" (N 983-72) повинні мати індивідуальні кабінки, електророзетки з відповідним маркуванням, вішалки.

Устаткування і вміст ресторанів, кафе, буфетів, розташованих в аеровокзалах, повинні відповідати вимогам "Санітарних правил для підприємств громадського харчування" (N 1410-76).

Актуальними є подальші дослідження, пов'язані з інтенсифікацією використання міжнародних аеровокзалів, як багатофункціональних центрів, розвитком інфраструктури, збільшенням їх соціального статусу, технічної оснащеності, підвищенням соціальної ефективності.

Висновки. Не дивлячись на те, що авіація вважається порівняно молодою галуззю еволюція функціонування аеропортів є однією з найстрімкіших, показових і цікавих особливо з точки зору архітектурних вирішень будівель аеровокзалів та їхньої взаємодії з інтер'єром. Важливим є враховування нових технологій та тенденцій при проектування сучасних аеровокзальних комплексів. Інтер'єр аеровокзальних комплексів повинен відповідати його зовнішньому оформленню. Необхідно передбачити створення комфортних умов не тільки для тих, хто користуються у даний момент повітряним транспортом а й людей, що зустрічають або проводжають, користуючись при цьому основними приміщеннями очікування, а також і постійних працівників. Все повинно бути функціональним та взаємозалежним. Дизайн аеровокзальних комплексів повинен допомагати в орієнтації та спрощувати перебування в такому складному організмі, яким є аеровокзальний комплекс.

Список літератури

1.Анджелини О. М. Современные аэровокзалы / О. М. Анджелини. - М., 1967. – С. 67-87.

2. *Батирев В. М.* Вокзалы / В.М. Батирев. – М.: Строительство, 1988. – 211с.

Голубев Г. Е. Градостроительные основы архитектурно-пространственной организации транспортных сооружений / Г. Е. Голубев. – М.: ЦНИИП градостроительство, 1982. – 132 с.

3.*Голубев Г. Е.* Подземельная урбанизация / Г. Е. Голубев. – М.: Строительство, 1979. – 324 с.

4.*Гольденберг Ю. А.* Аэровокзалы и пассажирские станции / Ю.А. Гольденберг. – М.: Транспорт, 1975. – 243с.

УДК 747:656.71.017(045)

В.А. Зеленкова, аспірантка
(Національний авіаційний університет, Україна)

ЗАСТОСУВАННЯ У ДИЗАЙНІ ІНТЕР'ЄРІВ АЕРОВОЗАЛІВ МОНУМЕНТАЛЬНО - ДЕКОРАТИВНОГО МИСТЕЦТВА В НАЦІОНАЛЬНОМУ СТИЛІ

У статті розглядається застосування в дизайні інтер'єрів аеровокзалів аеропортів монументально - декоративних форм у національному стилі

На сьогоднішній день аеропорти – це архітектурні будівлі майбутнього, що стрімко розвиваються. Завдяки такому стрімкому розвитку розбудови та реконструкції аеропортів підвищується економічний рівень країн. З розвитком та розширенням аеропортів тісно пов'язане відродження націоналізму в багатьох країнах, тому при оформленні інтер'єрів аеропортів почали застосовувати національну символіку, використання традиційних рис в орнаментах та малих архітектурних форм в інтер'єрах аеровокзалів. Порівняння зарубіжної і вітчизняної практики проектування, реконструкції та оформлення інтер'єрів аеровокзалів аеропортів підштовхує до оригінального, сучасного оформлення аеровокзалів з використанням національної тематики.

Використання національних мотивів необхідно для підсилення національності та декоративності в дизайні пасажирських просторів аеровокзалів, тому актуальним є використання національного дизайну в аеровокзальних просторах.

В епоху глобалізації та індустріалізації виникає необхідність звернутись до свого коріння, до витоків свого походження. Тому з кінця XX – поч. XIX ст. починає поступово відроджуватись застосування національних мотивів в оформленні громадських споруд. У зв'язку з тим, що аеропорти стали візитівками для кожної країни починають інтенсивно застосовувати національні мотиви в дизайні аеровокзалів, а саме застосування декоративно – монументального мистецтва, тому дане дослідження є актуальним. Існує велика кількість наукового матеріалу в якому висвітлюється загальнотехнічні, архітектурні, проектні, історичні питання стосовно до аеропортів та аеровокзалів, проте, на жаль, вони недостатньо висвітлюють проблеми організації та оформлення внутрішнього середовища аеровокзалів в національному стилі. .

Так Ашфорд Н. досліджував питання архітектурно-будівельного проектування споруд аеропорту на основі діючих будівельних норм та правил, а також норм технічного проектування [1]; Закревский А.І., Золотоперий В.Н. дають методичні рекомендації з експлуатації аеропортів [2]; архітектурі бізнес-центрів в системі аеропорту (на прикладах об'єктів цивільної авіації України) присвячені праці Семикіної О. В.; Парфенової К. А - формуванню архітектурно - просторових рішень світових аеровокзалів під час реконструкції ;Комский М. В. розглядає прийоми поетапного розвитку аеровокзалів середньої пропускної можливості та діапазону росту [3]; Кожевін Н.В. та Крівєльов Л.І. зосереджувався на архітектурних рішеннях та проектування аеропортів та споруд цивільної авіації [4,5]. З іншого боку, вичерпна монографія Б.С. Черкеса «Національна ідентичність в архітектурі міст» розкриває загальні аспекти формування національної свідомості та її відображення в архітектурі, проте не торкається зовнішнього вигляду сучасних транспортних споруд, як аеровокзали.

Технічний прогрес, глобалізація та індустріалізація вплинули на розвиток авіаційного транспорту. Завдяки появі можливостей скоротити відстань переміщення пасажирів та вантажу між континентами. Тому авіація відіграє важливу роль в налагодженні національних стосунків. Це призвело до стрімких зміни в авіаційному будівництві на початку 60-70 – х років XX століття, які швидко перейшли у фазу світового підйому та повністю стабілізувались до середини 90-х років XX століття, із загальним збільшення до 3% у рік. У зв'язку з економічною кризою та регулярними терористичними актами в аеропортах,

спостерігається невеликий спад авіаперевезень, який не заважає повітряній індустрії займати провідні позиції в економічному просторі країн.

На даний час, авіація – невід'ємна частина тридцятимільйонної інфраструктури сучасного суспільства. Яка є гарним прикладом морфологічного еволюціювання, особливо з погляду архітектурних, стилістичних та дизайнерських рішень в інтер'єрах та екстер'єрах аеровокзалів. Виникає необхідність у зміні та розширенні функціонально-планувальної структури аеропортів, що в свою чергу, призводить до необхідних об'ємно-планувальних перетворень та образних рішень в дизайні зовнішнього та внутрішнього простору.

У зв'язку з цим, на сьогоднішній день аеропорти – це архітектурні будівлі майбутнього, що стрімко розвиваються. Завдяки такому стрімкому розвитку, розбудови та реконструкції з'являється можливість в проектуванні індивідуального дизайну інтер'єрів аеровокзалів в аеропортах, з використанням монументально - декоративних форм з використанням національної тематики в дизайні інтер'єрів аеровокзалів.

На початку XXI століття відродження та використання національних мотивів у світі починає поступово набирати обертів, що неодмінно впливає на архітектуру та дизайн аеровокзалів. Архітектура аеропорту має великий вплив на людей: цим визначається її ідеологічне значення, яке враховується при створенні архітектурних споруд, про те це виявляється не тільки в її соціально – утилітарних, але й в художньо – естетичних та композиційних якостях. В зв'язку з цим виникає одна з найголовніших методичних задач національного стилю — вирішення естетичних проблем в дизайні інтер'єрів аеровокзалів. Сприяючи легшому запам'ятовуванню та асоціюванню з державою, яка розвиває та поважає власні національно - образотворчі традиції. У зв'язку з цим в дизайні інтер'єрів аеровокзалів починає домінувати «національний» стиль. Цей стиль створює відчуття захищеності та комфорту для легшого адаптування іноземних громадян, що знаходяться в чужій країні. Це пов'язано з тим, що аеропорт – пересувна соціальна система, в якій кожна людина є транзитом. Крім того це найлегший художній метод для популяризації та ідентифікації певної країни. Із відродженням національної самоповаги в багатьох країнах популяризується використання національної тематики в архітектурі та дизайні інтер'єрів. Використання національної тематики в дизайні монументально - декоративних форм у інтер'єрах аеровокзалів – один із засобів акцентування національної особливості певного регіону, міста, країни. Великої популярності набирає застосування національної тематики в дизайні монументально - декоративних форм, що використовують для декору інтер'єрів аеровокзалів.

Монументально-декоративні – це скульптури в національному стилі. які застосовують в інтер'єрах аеропортів з метою покращення, прикрашення, надання святкової атмосфери, вдосконаленням внутрішнього простору, відчуття шарму та підкресленню національної особливості певного аеровокзалу. До них відносяться: монументи, скульптури, фонтани, вазони, урни, лавки, бесідки та інш.

Так в грандіозному за масштабами та архітектурою міжнародному аеропорті «Чангі» (Сінгапур) розміщенні різноманітні декоративні скульптури. Серед яких розташовані вази білого кольору, що стилізовані під коріння дерев тропічного лісу. В аеропорті розміщена велика кількість фонтанів та пальм, що є неодмінними символами цієї країни. Такі національні, монументальні - декоративно витвори мистецтва гармонійно поєднуються із найсучаснішим дизайном інтер'єрів.

Розповсюдженим прийомом декорування внутрішнього простору є розміщення в певних місцях національно-релігійних та монументально-декоративних скульптур. Цей прийом добре виражений у Азіатських країнах. В таких країнах релігійні скульптури – національні скульптури.

За проектом банкогського архітектора Хельмут Йан **з** компанії Murphy/Jahn Architect*s,* відбулось відкритя 2006 року міжнародного аеропору «Суварнабхумі», що розташований в Банкозі, Таїланді. В терміналі цього аеровокзала розміщена національно - релігійна скульптурна композиція, а саме шістнадцять демонів, що намагаються перетягнути на свій

бік золоту колісницю з богинею, яка стоїть на одній нозі. Скульптура зроблена у національних кольорах жовтих, зелених, червоних, коричневих. Ряд релігійно-національних скульптур у вигляді демонів розміщений біля виходу з аеропорту. Завдяки грандіозним розмірам аеропорту, можливо розміщення монументально - декоративних елементів архітектури, що відносяться до національно-релігійних символів, а саме національний алтар, який вкритий позолотою та символічні ворота до храму у національному червоному та золотому кольорі. Характерне розташування цих монументів (з обох боків терміналу) виконує релігійно – сакральну функцію захисту.

В міжнародному аеропорті Пном-Пень, (Камбоджия) розміщена позолочена скульптура Буди, навколо якої розташовані червоні зонтики у вигляді квітів – національний та релігійний символ для країни. Крім світильників в національному стилі, зроблений сам інтер'єр головними кольорами якого являються, як і в багатьох східних країнах червоний, золотий та коричневий. Під дахом терміналу розмістилась велика куля, яка вкрита позолотою та ряд декоративно-скульптурних елементів, які схожі на золоті люстри, що вкриті червоним національним орнаментом.

Відчинений перед відкриттям Олімпійських Ігор 2008 року у Пекіні аеропорту «Бейджинг», великий Термінал 3, який спроектовано британським архітектором Норманом Фостером. Вражає не тільки, своїми розмірами, але й внутрішнім декором. Так у сучасному інтер'єрі гармонійно поєднались скульптури національних міфічних істот (драконів) зроблених з міді та гіпсу, гіперболізовано-стилізованих національних ваз та національно - релігійних хаток, що створюють цікаві прийоми в оформленні дизайну інтер'єру пасажирських зон терміналів. Наприклад, гіпсове, скульптурне зображення китайського дракону, виконує не тільки декоративну функцію, але й конструктивну у вигляді декоративної перегородки між приміщеннями. Прояв декоративно – монументальних форми добре виражено в дизайні телефонних автоматів, що стилізовані під форми національних прапорів Китаю та гармонійно поєднуються із сучасними технологіями.

Так у міжнародному аеропорті Гонконгу "Чек Лап Кок", побудований Норманом Фостером в 1998 році, розміщенні у національному стилі високі ліхтарні стовпи, які стилізовані під національний символ – пагоду. Завдяки їхньому розташуванню на певній відстані одна від одної створюється національна атмосфера, не дивлячись на те, що вони зробленні не з традиційних матеріалів, а з заліза.

Монументально-декоративно стилізована скульптура золотої пальми – національний елемент та символ добробуту, затишку та захисту для Об'єднаних Арабських Еміратів. Дана скульптура розміщена в міжнародному аеропорті Дубаї. Національні мотиви чітко виявленні в оформленні, у вигляді великої чаші із тематично-національним малюнком блакитного кольору на білому фоні, фонтанчику для втамування спраги - символічний образ, для цієї країни. У країнах із певними кліматичними особливостями в пасажирських зонах аеропортів доцільним є замість скульптур розмістити фонтани, які символізують життя. Так в аеропорті Тель-Авіву (Ізраїль), який розташований в пустелі, в головній залі аеропорту розташувався фонтан незвичної форми. Вода немов пісок, стікає до отвору, у прогнутій стелі, на підлогу. На якій розміщений національний символ Ізраїльського народу – зірки Давида, або печатка Соломона. У міжнародному аеропорті Денвера (США), який побудований за проектом Денверського архітектора Кертіса Фентресса у 1995 році, під конічною стелею, що схожа на селище з юрт по середині залу розміщений фонтан. За формою схожий на амебу, яку усіх сторін прикрашають зелені насадження. Монументально - декоративні скульптури, що зробленні у національному стилі в міжнародному аеропорті Мідфіль (Маямі) розміщенні не лише на колонах у вигляді морської фауни, але й вмуровані у підлогу завдяки художниці Мішель Окі Донер. Завдяки таким дизайнерським прийомам відчувається національний стиль цих регіонів.

Висновки. Аеропорти – це архітектурні будівлі майбутнього, що стрімко розвиваються. Завдяки такому стрімкому розвитку розбудови та реконструкції аеропортів підвищується економічний рівень країн. На даний час через проведення майбутнього кубку

УЄФА на Україні спостерігається підвищення будівництва та реконструкції аеровокзалів. Цей фактор є неодмінним показником для підвищення економічного рівня країни під час проведення Євро-2012. З розвитком та розширенням аеропортів тісно зв'язане відродження націоналізму в багатьох країнах, тому при оформленні інтер'єрів аеропортів почали застосовувати національні риси: національну символіку, використання традиційних рис в орнаментах та малих архітектурних форм в інтер'єрах Порівняння зарубіжної і вітчизняної практики проектування, реконструкції та оформлення інтер'єрів аеровокзалів аеропортів підштовхує до оригінального, сучасного оформлення аеровокзалів з використанням національної тематики. На початку XXI століття відродження та використання національних мотивів у світі починає поступово набирати обертів, що неодмінно впливає на архітектуру та дизайн аеровокзалів. Архітектура аеропорту має великий вплив на людей: цим визначається її ідеологічне значення, яке враховується при створенні архітектурних споруд, про те виявляється не тільки в її соціально – утилітарному, але й в художньо – естетичних та композиційних якостях. В зв'язку з цим виникає одна з найголовніших методичних задач національного стилю — вирішення естетичних проблем в дизайні інтер'єрів аеровокзалів. Сприяючи легшому запам'ятовуванню та асоціюванню з державою, яка розвиває та поважає власні національно - образотворчі традиції. У зв'язку з цим в дизайні інтер'єрів аеровокзалів починають застосовувати монументально – декоративні скульптури у національному стилі. Це сприяє відчуттю захищеності та комфорту для легшого адаптування іноземних громадян, що знаходяться в чужій країні.Монументально – декоративні скульптури форми в національному стилі застосовують в інтер'єрах аеропортів з метою покращення, прикрашення, надання святкової атмосфери, вдосконаленням внутрішнього простору, відчуття шарму та підкресленню національної особливості певного аеровокзалу. У зв'язку з цим в інтер'єрах аеровокзалів починають активно застосовувати монументально – декоративне мистецтво в національному стилі, а саме: скульптури, фонтани, вазони, фонтанчику для втамування спраги, урни, ліхтарі, бесідки та інш. Розповсюдженим прийомом декорування внутрішнього простору є розміщення в певних міцях національно-релігійних, монументально-декоративних скульптур. Цей прийом добре виражений у Азіатських країнах. В таких країнах релігійні скульптури – національні скульптури («Чангі» Сінгапур, «Суварнабхумі» Таїланд, «Пном-Пень» Індонезія, «Бейджинг» Пекіні, "Чек Лап Кок" Гонконг). На відміну від азіатських країн, в європейських та арабських монументально - декоративні скульптури не мають релігійного навантаження, лише виконують декоративну функцію (аеропорти Об'єднані Арабські Емірати, Копенгаген, аеропорти США а Денвері та Маямі та інші). Виходячи з попередньо сказаного, застосування монументально-декоративних скульптур необхідно для підсилення національності та декоративності в дизайні пасажирських просторів аеровокзалів, тому актуальним є використання національного дизайну в аеровокзальних просторах.

Список літератури

1. *Ашфорд Н.* Проектирование аєропортов: Пер с англ.. / Н. Ащфорд, П.Райт. – М.: Транспорт, 1988. – 327 с.
2. *Закревский А.И.* Аэропорты и их эксплуатация: Методические указания и задание на курсовую работу для студентов Института заочного и дистанционного обучения специальности 8.100403 "Организация перевозок и управление на транспорте" / А.И. Закревский, В.Н. Золотоперый. – К.: НАУ, 2001. – 64 с.
3. *Комский М.В.* Архитектурно-строительные приемы этапного развития аэровокзалов // Трансп. стр-во. – 1979. - №5. – 19-22 с.
4. *Кожевін Н.В.* Архитектура и проектирование аєропортов гражданской авиации / Н.В. Кожевін. – М., 1941. - 238 с.
5. *Крівельов Л.І.* Архітектура будинків і споруд цивільної авіації: Конспект лекцій / Л.І. Крівельов. – К.: КМУЦА, 2000. – 83 с.: іл.. – Бібіліогр.: - 83 с.
6. *Олійник О.П., Пилєва В.А.* Прийоми використання національної тематики в дизайні інтер'єрів аеропортів та аеровокзалів Проблеми розвитку міського середовища: Наук – техн. Збірник / О.П.Олійник, В.А.Пилєва. - К.: НАУ, 2009. - Вип.2.- С.124 -140.

УДК 711.4.01 (045)

Д.В. Єпіхіна, асистент
(Національний авіаційний університет, Україна)

ТЕХНІЧНА ЕСТЕТИКА ІНФОРМАТИВНИХ ЗНАКІВ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

В статті розглядається роль інформативної міської графіки в житті мешканців сучасного міста та участь художників-дизайнерів в естетичному збагачені міської графіки.

Впродовж минулих століть людство жило роз'єднано, невеликі ізольовані громади превалювали над великими поселеннями. Кардинальні зміни відбулися в XX ст. у зв'язку з виникненням масового виробництва і масового споживання. Бурхливе зростання населення, особливо міського, збільшення середнього віку життя людей змінили саму структуру суспільства, а розвиток масових засобів зв'язку вперше в історії призвів до об'єднання його в єдине ціле.

Якщо озирнутися на 70, навіть 50 років тому і пригадати тодішні міста, або переглянути тогочасні документи, можна уявити собі те міське середовище, в якому існувало попереднє покоління. Повільніший темп життя, невелика кількість автотранспорту й не така швидкість руху, відсутність мобільного зв'язку та багато іншого сприяли тому, що місто в цілому було менш агресивним: існували бульвари, на лавках сиділи люди, читали або просто відпочивали. В ще більш віддалені часи городяни прогулювалися вулицями, неквапливо вклоняючись один одному.

Темп сучасного міста зростає з кожним роком. Збільшується щільність населення в містах, шаленими темпами іде забудова кожного клаптика вільної землі. Дороги не витримують великої кількості автотранспорту. Потреба в інформації в міському середовищі стала життєво необхідною. Комунікативна графіка, до якої належать знаки та покажчики, що допомагають людині орієнтуватися в топографічному просторі міста, залишилися старими, вони не відповідають сучасному темпу життя, не пристосовані до сьогоденних потреб мешканців та гостей міста. І. Воскресенський писав: ”Вывески магазинов и учреждений, плакаты и транспоранты, витрины и рекламные афиши, дорожные указатели и другие информационные знаки — обращаются к нам со стен домов, крыш, брандмауэров, заборов и специальных установок, рассказывая, сообщая, приглашая, убеждая, советуя, предостерегая..., а в конечном счете помогая ориентироваться в сложной структуре городских отношений и городской жизни»[i].

Дуже часто неможливо відшукати потрібну будівлю, зорієнтуватися не тільки в незнайомому районі, а і в центрі міста, де звичні краєвиди змінюються так швидко, що не встигаєш осмислити нову інформацію. Нові розв'язки, перепланування робляться для зручності мешканців міста. Але інформації про зміни схем проїзду, планів перебудов найчастіше немає. Людина змушена самотужки шукати дорогу, методом “проб та помилок” за рахунок власного часу. Що вже говорити про гостей міста, особливо іншомовних. Лише зрідка назви вулиць дублюються англійською мовою. Інформаційні табло, покажчики туристичних маршрутів, схеми проїзду до пам'яток історії та культури майже відсутні.

Зараз важко уявити собі наші вулиці без яскравих білбордів, рекламних рядків, екранів з повторюваними короткими рекламами, густо розмішених афіш-плакатів. На фасаді будинку розташовані не тільки вивіски магазинів, офісів та інших організацій, таблички з інформацією, а і різноманітна реклама та оголошення. Найчастіше міська графіка стихійна. Вона не відповідає декоративному оздобленню фасада, не є спімасштабною з будинком та архітектурним середовищем, естетично недосконала. За всім цим різноманіттям яскравих фарб і нав'язливих слоганів важко знайти необхідну інформацію: назву вулиці чи номер будинку, вивіску магазину тощо.

Типові таблички з назвами вулиць, вивіски, дорожні знаки структурують великий простір сучасного міста. Тому комунікативна графіка повинна бути виконана до певної міри умовно й абстраговано. Більше того вона припускає уніфіковану систему виробництва, тиражування по одному шаблону. Такий знак повинен бути впізнаваний. Він повинен бути дуже лаконічним, зрозумілим за змістом, мати єдину графічну інтерпретацію. Наприклад, табличка з назвою вулиці в Парижі — один з символів французької столиці, її модель - залишається незмінною з 1847 року. Регламентовані не тільки розмір, шрифт, колір літер і фону, а й місце розташування таблички на фасаді. Така уніфікація дозволяє легко "вихопити" потрібну інформацію з розмаїття та хаосу міської графіки. На підсвідомому рівні людина буде пам'ятати, що, наприклад, зелений хрест на табло це аптека, велика синя літера "М" — вхід до станції метро. Назви вулиць і площ, станції метрополітену, зупинки громадського транспорту, назви магазинів та громадських установ повинні бути легко читабельні, навіть у темний час доби, на великій швидкості з вікна транспорту і людьми зі слабким зором.

І ось, побачивши (після довгих пошуків) назву потрібної вулиці, ми часто забуваємо про технічну естетику, нам не до неї. Якщо врахувати, що швидкість пересування по місту незмірно зросла, навіть у порівнянні з недавнім минулим, то стає очевидним, що технічна естетика та дизайн безнадійно відстали від вимог сучасності.

Міська графіка сьогодні вже не тільки інформує, а й бере активну участь в житті городянина, його естетичному вихованні. Від неї залежить діяльність та самопочуття людини в сучасному мегаполісі. Через це необхідно хоча частково упорядковувати випадковість та стихійність інформаційної графіки, водночас не забуваючи про її естетичне значення.

Естетична цінність, художній сенс навколишнього середовища формує наше ставлення до міста, нашу спільну культуру, хочемо ми цього чи ні. Здатність створювати прекрасне в різних галузях діяльності притаманна людині майже на всіх щаблях розвитку суспільства.

Ми говорили поки що лише про доцільність і легкодоступність інформації в міському середовищі. Тепер варто звернути увагу й на естетичний бік цієї проблеми. Що таке естетика? Це здатність задовольнити людську особистість у її прагненні до самовираження за законами краси. Художня творчість спрямована на перетворення середовища існування, на олюднення його, вона, як і будь-яка діяльність людини, конструктивна.

Французькі персоналісти (Е. Муньє) поставили питання про необхідність наповнення людської діяльності естетичним змістом, розглядали творіння за законами краси - невід'ємною сутністю людини. Задум персоналістів щодо обгрунтування необхідності естетичної досконалості людини зводиться до наступного: будь-яка діяльність людини, що має ознаки творчості, повинна бути естетичною. Наповнити людську діяльність естетичним змістом можна лише за умови, якщо людині повернути творче начало, яке було нею втрачено в процесі розвитку технічного прогресу.

Отже, місто говорить з людиною. Якою мовою: голосно чи тихо, гідно і скромно або крикливо і неграмотно? Строката картина міської вулиці змушує задуматися над тим, чи брав взагалі участь художник в організації міського простору? Технічний дизайн інформаційних знаків — а це назви вулиць і площ, номери будинків, зупинки наземного громадського транспорту, назви станцій метрополітену, дорожні знаки – необхідно розробляти з залученням кращих сил технічного дизайну. Художники-дизайнери повинні співпрацювати з архітекторами та художниками декоративного мистецтва. Естетично приваблива табличка з назвою вулиці, чітко і красиво позначений номер будинку, помітна здалеку зупинка громадського транспорту — все це робить наше життя в місті не тільки комфортними, а й красивим. "Графика в городе — не только язык, но во многом его лицо", — відзначав Ю. Пясковский[ii].

В історичному центрі міста доцільно розробити єдиний дизайн інформативних знаків. Назви вулиць, площ повинні мати чітку структуру, легко читатися, дублюватися англійською мовою, в темний період доби підсвічуватися. Естетичний бік інформативної графіки в центрі міста потрібно збагатити, пов'язуючи її з архітектурою, враховуючи історично сформовані тенденції та вимоги сучасності. Для гостей міста доречно розробити плани-схеми,

інформативні табло, карти, які не тільки допомагали б орієнтуватися людині в незнайомому місті, а й знайомили б з історичними фактами (наприклад, як називалися ці вулиця, площа чи район раніше). Такі інформаційні стенди могли б перетворитися на самостійно існуючу архітектурну форму, прикрашену вітражами, мозаїками, кованими елементами.

Інший естетичний зміст мають вивіски магазинів, кафе, ресторанів. Тут у самому підході зовсім інша мета — вивіска повинна запам'ятовуватися і бути унікальною. При створенні вивіски допускаються елементи стилізації й образотворчості. Так, назва китайського ресторану, буде відрізнятися від назви фітнесклубу і шрифтом, і кольором, і самою формою вивіски. Таким чином, якщо комунікативні знаки повинні бути максимально однаковими, інші види міського дизайну зможуть досягнути своєї мети тільки тоді, коли будуть оригінальними.

"Город говорит с человеком — говорит посредством политических стендов и агитационных текстов, реклам и вывесок, объявлений и дорожных знаков", — підкреслює Ю. Пясковський[iii]. І далі: "...речевая палитра современного города определяется всей совокупностью графических элементов, где каждый — либо значимое «слово», либо пауза"[iv].

Міська графіка наводнює центр великого міста, завжди опиняючись перед очима і завжди начебто непомітна, оскільки звертається до автоматизованого сприйняття. І таким чином вона формує міське середовище, «міську культуру» — як духовне наповнення життя, як загальний знаменник різноманітності. Графічний знак — елементарна одиниця мови і водночас символ сучасної міської культури. Активне естетичне засвоєння дійсності зводиться до споглядального ставлення до продуктів культури. Таким чином, дизайн доволі звичних і різноманітних графічних форм впливає на свідомість людини, створює певний настрій.

"Есть такая аксиома: защитные механизмы человеческой психики блокируют восприятие человеком избытка информации. Это значит для спешащего по своим делам гражданина графический язык, при всей его «шумной» броскости и экспансивном внедрении в городское пространство, практически незаметен. Человек прибегает к этому языку только в случае какой-либо надобности"[v].

Міська культура, яка не вимагає постійної уваги і тактовно виділяє необхідну інформацію, створює атмосферу психологічного комфорту. А естетична різноманітність дизайнерських прийомів дозволяє не лише легко сприймати такі інформативні знаки, але й робить їх красивими. Особистісне сьогодні стає смисловою одиницею суспільного, і навпаки, загальне потрапляє в коло інтимного сприйняття. Осмислення цих тенденцій, як і взагалі механізм зворотніх зв'язків у графічній мові міського середовища, — необхідність, яку повинен усвідомлювати кожен професійний художник.

У цій статті нас насамперед цікавить культура технічного дизайну. Ймовірно, вирішити цю проблему найближчим часом майже неможливо. Це пов'язано з низкою причин. Одна з них - прагнення до досягнення негайних, хоча б і скороминучих результатів. Для того, щоб професійні художники звернулися до міського дизайну, необхідно насамперед мати соціальне замовлення, а щоб таке замовлення з'явилося, перш за все потрібно переконатися в тому, що сьогоднішні вулиці гостро потребують впорядковування строкатої сукупності інформаційних знаків. Однак, варто пам'ятати, що технічний дизайн комунікативних знаків реального прибутку не принесе ні сьогодні, ні в майбутньому.

Реклама, що приносить конкретний прибуток сьогодні, звичайно, знаходиться поза конкуренції. Тому вона і виникає скрізь, де є вільний простір. У центрі міста нерідко один невеликий житловий будинок несе на собі до десяти інформативних знаків, включаючи табло, що світяться. Якщо додати банери над проїжджою частиною, строкато розфарбовані тролейбуси й автомобілі, приватні оголошення, то городянин перебуває у неймовірно агресивному середовищі. Звідси хронічна дратівливість, втомлюваність, нервові розлади. Таким чином, технічна естетика впливає не тільки на художній смак, не тільки полегшує пошук потрібного об'єкта, а й обумовлює психологічний клімат міста в цілому. Сьогодні ховаються від нашого погляду гарні будинки, не говорячи вже про архітектуру малих форм,

про скульптуру... Втрачається неповторне обличчя стародавнього міста, зникає його своєрідність, його чарівність.

“Культура — это единство выражения, видимое в обработке ландшафта или плане города, в ритуалах и церемониях, в манерах и памятниках, в цвете и в радости. Мы культурой не обладаем, или живем за счет добытого прошлым”, — писав ще 1954 року Герберт Рід, — “культуры такого рода, с сопутствующими ей искусствами, нет сегодня нигде в мире. Слепо шатаясь, мы вступаем в новый век темноты, тупого забвения, простой утилитарности и безобразия”[vi].

Написане понад півстоліття тому застереження, в нашому нинішньому житті стало реальністю. Необхідно загальне зусилля архітекторів художників, дизайнерів, всього суспільства, щоб якщо не зупинити, то хоча б уповільнити цей процес.

Висновки. Отже, роль графіки в сучасному місті сьогодні не обмежується суто інформативними завданнями. В стрімкому темпі мегаполісу, яикй невпинно зростає, вона впливає на діяльність та самопочуття людини. Необхідно уніфікувати міську графіку, відкинути елемент випадковості і при цьому естетично збагатити та гармонійно пов'язати її з архітектурним середовищем.

Список літератури

1. Буржуазная естетика сегодня. — М.:“Наука”, 1970. - 320 с.
2. Воскресенский И. Язык современной улицы. Декоративное искусство СССР. - 1986 - № 1. – С.18–21.
3. Вдовина Н. Проблемы эстетики во французском персонализме // Буржуазная естетика сегодня.— М.: Наука, 1970. – С.56-71.
4. Дрю Ж.–М. Ломая стереотипы.-М.: Питер, 2003.- 272с.
5. Карер Т. Єффективная реклама Путеводитель для мелких предприятий.-М.: Прогресс, 1991.- 280с.
6. Кукаркин А. «Массовая культура» и ее апологеты. - М.: Наука, 1970, 320с.
7. Огилви Д. Огилви о рекламе.-М.: Єксмо, 2003.- 232с.
8. Пясковский Ю. Город говорит с человеком. Декоративное искусство СССР. – 1986 - №1. - С.21–23.
9. Торшилова Е. Герберт Рид в поисках человека // Буржуазная естетика сегодня.— М.: Наука, 1970 – С.105-134.

---

[i] Воскресенский И.. Язык современной улицы. Декоративное искусство СССР. - 1986 - № 1. – С.18.

[ii] Пясковский Ю.. Город говорит с человеком. Декоративное искусство СССР. – 1986 - №1.— С.23.

[iii] Там смо, с.22.

[iv] Там само.

[v] Там само, с.21.

[vi] Цит. за: Торшилова Е. Герберт Рид в поисках человека // Буржуазная естетика сегодня.— М.: Наука, 1970. – С.119.

Наша адреса: 03680, Київ-058,
проспект Космонавта Комарова, 1, кім. 1.238
тел.: (044) 406-71-56
факс: (044) 406-72-12
e-mail: vtnik@nau.edu.ua
http://avia.nau.edu.ua