

ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ВОДЫ В СОТОВЫХ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Попадание воды внутрь сотовых конструкций самолетов является серьезным эксплуатационным дефектом, приводящим к разрушению сотовых конструкций. Перед авиационно-техническими базами аэропортов встает задача не только качественной диагностики, но и количественной оценки массы воды внутри сотовой конструкции для своевременного принятия решения о ремонте сотовой панели. Рассмотрены подходы к неразрушающему контролю воды в сотовых авиационных конструкциях.

Сотовые конструкции в авиации. В российских и зарубежных самолетах нового поколения широко применяются сотовые конструкции. Сотовые панели представляют собой две обшивки, между которыми находится ячеистая сотовая структура, состоящая из соединенных профилированных листов, образующих замкнутые ячейки квадратной или шестигранной формы [1, 2]. В конструкциях с несущими слоями из алюминиевого сплава материалом заполнителя служит обычно алюминиевая фольга (или гетинакс, текстолит), соединяемая с несущими слоями при помощи клея. Толщина обшивки из дюралюминиевых листов составляет 0.5-1.5 мм, а дюралюминиевой фольги сот - 0.1 мм. Такие конструкции использованы в российских самолетах последнего поколения ИЛ-76, ИЛ-86 и др., а также в европейских Airbus A-310 (Airbus Industry).

Сотовые конструкции, выполненные из полимерных композиционных материалов (ПКМ), применяют на самолетах АН-72, ИЛ-96, Ту-204, вертолетах Ка-50.

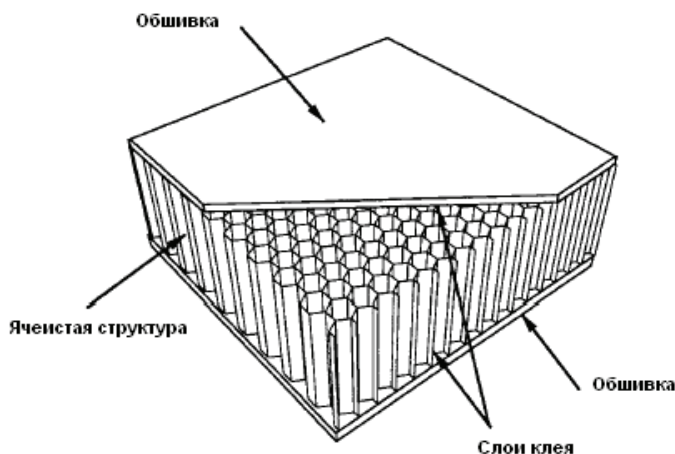


Рис. 1. Конструкция сотовой панели

Сотовые конструкции самолета Ту-204 выполнены из ПКМ двух типов: 1) «Органит» (обшивка) и бумажные соты – неэлектропроводящие материалы, из которых выполнены сотовые клинья рулей высоты, руля направления и панели «зализов» крыла, фюзеляжа в районе отсеков для основных стоек шасси самолета; 2) ПКМ типа углепластика – электропроводящего материала, который используется при изготовлении закрылков, элеронов, тормозных щитков и интерцепторов самолета.

Основными дефектами сотовых конструкций являются: 1) отслоение сот от обшивки вследствие непрочности и смятия сот (данный вид дефекта возникает как в силу технологических причин, так и в ходе эксплуатации самолетов); 2) вода, заполняющая полностью или частично одну или более ячейку (возникает в ходе эксплуатации самолета в результате попадания воды извне через технологические неплотности панелей крыльев,

фюзеляжа, киля и других частей самолетов). Фактически первый вид дефекта в большинстве случаев также возникает вследствие наличия в сотах воды.

В процессе полета вода претерпевает фазовые превращения, так как температура за бортом самолета может изменяться от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Увеличение объема воды при замерзании может вызвать разрушение ячеек сотовых конструкций и отрыв обшивки. Наличие воды приводит также к утяжелению сотовой конструкции, что увеличивает взлетный вес и снижает прочность панелей.



Рис. 2. Пример отслоения обшивки сотовой панели

Методы контроля воды в сотовых конструкциях. Используемые штатно, в российских аэропортах два вида неразрушающего контроля (НРК) воды в сотах - радиационный, и ультразвуковой контроль обладают рядом преимуществ и недостатков.

Радиационный НРК: 1) эффективен только при двустороннем доступе, 2) требует большого количества дорогостоящей рентгеновской пленки, 3) специфические требования техники безопасности ограничивают применение в многоярусных ангарах, 4) не позволяет дать количественную оценку влагосодержанию, 5) обладает низкой производительностью.

Ультразвуковой НРК: 1) большая чувствительность, 2) малая производительность (шаг сетки осмотра составляет около 1 см), 3) контактный характер метода неприемлем для осмотра наклонных и вертикальных поверхностей, 4) большая дороговизна бесконтактных методов контроля (стоимость существующих систем бесконтактного ультразвукового НРК доходит до 1 млн. долларов США). Специалистами ГосНИИ Гражданской авиации (ГА) разработана установка УКВС-1 для ультразвукового контроля воды в сотовых конструкциях (измерительный блок - дефектоскоп УД2В-П46 / УД4-Т; минимально определяемый уровень воды в соте - от 0,5мм; локальность контроля - 5 мм; производительность контроля - 0,5-2 кв.м/ч; допустимый наклон сотового агрегата - до 30 град.; высота расположения сотового агрегата - не менее 1,5-2 м от уровня пола; диапазон допустимых температур - от $+5$ до $+55^{\circ}\text{C}$; допустимо использование при более низких температурах при нагреве воздуха аэродромными подогревателями типа МП-300/МП-85 и использовании в качестве иммерсионной жидкости 50% раствора спирта и воды; питание - 220 В, либо от аккумулятора 9-12 В; время непрерывной работы - не менее 8 часов).

На данный момент **тепловой метод** не является штатно используемым методом НРК в российских аэропортах, но проведенные экспериментальные и теоретические исследования показали ряд преимуществ использования этого метода для обнаружения воды в сотовых конструкциях по сравнению радиационным и ультразвуковым методом.

Тепловой метод НРК - метод основанный на регистрации и визуализации тепловых полей на поверхности объекта контроля. Температурные аномалии на поверхности объекта контроля могут служить индикаторами неправильного функционирования или наличия дефектов внутри объекта контроля.

Ряд обследований самолетов Ту-204, ИЛ-86 проведенных в 2003 - 2005 гг. в аэропортах Толмачево г. Новосибирск, Емельяново, г. Красноярск, а также лабораторные исследования в лаборатории теплового контроля НИУ ТПУ, показали, что, при обнаружении воды в сотовых панелях реализуются такие *скрининговые* характеристики теплового (тепловизионного, инфракрасного термографического) метода контроля, как дистанционность, высокий уровень автоматизации и документирования, а также высокая производительность обследований.

Тепловой метод описан в документах по эксплуатации некоторых типов самолетов фирм Boeing (Boeing 777, Nondestructive testing manual, Part 9 – Thermography) и Airbus Industry (A318/A319/A320/A321 Nondestructive testing manual). Следует подчеркнуть, что в данных документах регламентирован *активный* способ испытаний путем нагрева самолетных панелей непосредственно на самолете с помощью так называемого «теплого одеяла», либо в условиях ангара на снятых с самолетов панелях. Детали процедур контроля составляют ноу хау указанных фирм [3, 4]. В ходе проведенных обследований самолетов нами использовался преимущественно пассивный метод теплового неразрушающего контроля, без использования внешних источников теплового нагружения.

На Рис. 3 приведены термограммы правого и левого элеронов самолета Ту-204. Съемка производилась в условиях стоянки самолета. Зоны скопления воды в ячейках сотовых панелей отчетливо видны по локальному понижению температуры (области темного цвета). Температурные сигналы сохранялись в течение около 4-х часов. Следует отметить, что 100% контроль всех сотовых панелей самолета занял около 2 часов. Обследование проводилось с помощью тепловизора Thermovision 570 (частота кадров – 50 Гц, температурная чувствительность 0.08°C , формат кадра 320×240 элементов, спектральный диапазон – 7-13 мкм), фирмы AGEMA.

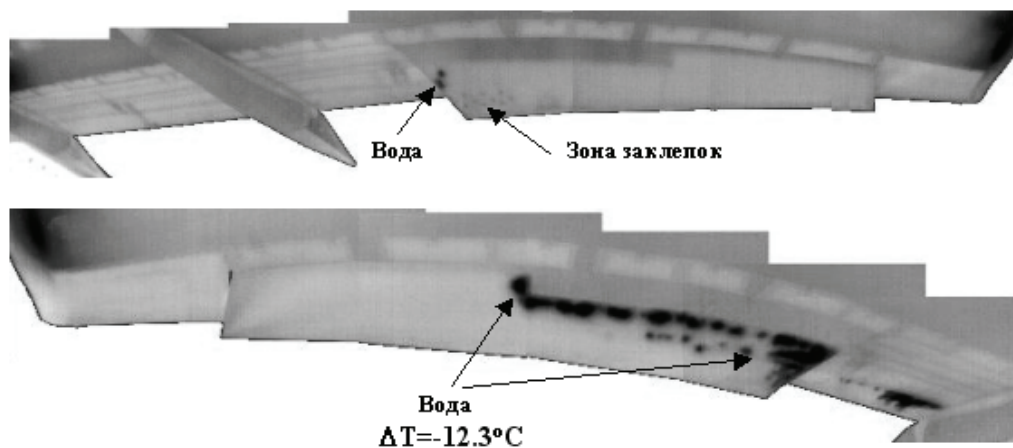


Рис. 3. Термограммы левого и правого элеронов самолета Ту-204

Подходы к определению количества воды в сотах. Для решения задачи как качественного так и количественного контроля воды в сотовых конструкциях самолета в сжатые сроки предлагается использование комбинированного теплового и ультразвукового метода контроля воды [5]. Тепловой метод позволяет получать контуры зон с водой, а ультразвуковой метод – высоту столбика воды, что позволит оценить массу воды в сотовом заполнителе. Предварительные работы по комбинированию метода ТК и УЗ контроля были проведены в рамках работы над кандидатской диссертацией [6], а на способ определения массы воды был получен патент РФ. Данный подход требует разработки специального программного обеспечения для обработки данных по тепловизионному обследованию.

Направления дальнейших исследований. На данный момент имеется ряд вопросов требующих решения в области контроля воды в сотовых авиационных конструкциях. Требуется исследования вопрос обнаружении воды в сотовых конструкциях с обшивкой из металлов. Металл обладает высокой теплопроводностью, поэтому температурные аномалии вызванные наличием воды внутри соты не имеют четких границ, что затрудняет идентификацию зон с водой. Кроме того, время существования температурных сигналов от воды в сотах в данном случае значительно меньше чем для обшивки из полимерно-композиционных материалов. Данный вопрос может быть решен подбором оптимальных параметров обнаружения, а также использованием методов активного теплового контроля, что требует дополнительных исследований.

На данный момент разработана методика по обнаружению воды в сотовых конструкциях самолета Ту-204, где подробно описана процедура теплового контроля воды,

указаны условия проведения тепловизионной съемки и требования к аппаратуре, персоналу. Но к настоящему времени эта методика так и не утверждена в ГосНИИ ГА. Утверждение методики позволит штатно использовать тепловой метод обнаружения воды в сотовых конструкциях авиационно-техническими базами аэропортов без получения дополнительных разрешений (что на данный момент существенно усложняет работу в данной области).

Ведутся также работы по разработке специализированного программного обеспечения для упрощения операций по созданию отчетов по тепловизионным обследованиям (создание панорамных изображений, хранение термограмм, стандартная обработка термограмм, оценка массы воды на основании результатов обследований).

Выводы

В данной работе показано состояние проблемы по обнаружению воды внутри сотовых авиационных конструкций тепловым методом неразрушающего контроля. Предложенный метод теплового неразрушающего контроля отличается высоким быстродействием и может быть использован для оперативного, в условиях стоянки самолетов в аэропорту, контроля воды внутри сотовых агрегатов.

Список литературы

1. А.Л. Гиммельфарб. Основы конструирования в самолетостроении. М.: «Машиностроение», 1971. – 312 с.
2. Справочник по композиционным материалам, 2 том / под. ред. Любина Д. – М: Машиностроение, 1988 – 580 с.
3. Boeing 777, Nondestructive testing manual, Part 9 – Thermography, 51-00-01, 51-00-02, 51-00-03
4. A318/A319/A320/A321 Nondestructive testing manual, Part 10, A. 55-20-06 – Thermographic, Page block 1001
5. Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. Особенности применения теплового метода неразрушающего контроля для обнаружения и оценки массы воды в сотовых панелях авиационной техники. – Известия ТПУ №6, том 307, 2004, с. 62-65.
6. Нестерук Д.А. Тепловизионный контроль воды в авиационных сотовых панелях в процессе эксплуатации самолетов.-Кандидатская диссертация по СП. 05.11.13, защищена в ТПУ (г. Томск) 04.10.2005.-142 с.