
Эксплуатационный УЗК содержания и определения количества воды в клеевых сотовых конструкциях самолетов



**Азаров
Николай
Тихонович**

Главный специалист по НМК Научного центра поддержания летной годности ГосНИИ гражданской авиации (Москва), к.т.н. По окончании МГУ (кафедра акустики) с 1964 по 1995 гг. работал в НИИ авиационных технологий (Москва). Занимается разработкой методов и средств УЗК тонкостенных сварных, клеевых и паяных соединений изделий авиационной техники.

Как показала практика эксплуатации самолетов ИЛ-86, ТУ-204, АН-124 («Руслан»), клеевые сотовые конструкции самолетов набирают внутрь воду вследствие нарушения герметичности агрегатов. Попавшая внутрь сотовых агрегатов вода снижает прочность клеевых соединений, вызывает разрушение клеевого слоя и сотового заполнителя, приводит к увеличению массы и изменению центровки агрегатов, отслоению обшивки от сот, а при замерзании воды — к отрыву обшивки от сотового заполнителя, или разрушению агрегата в полете. Поэтому проблема обнаружения воды в сотовых агрегатах и ее устранения актуальна для авиации и является одной из важных задач в обеспечении безопасности полетов самолетов.

В отечественной и мировой практике для НК наличия воды в сотовых конструкциях применяются рентгеновский [1], инфракрасный (тепловой) [2] и радиоволновой [3] методы.

Руководствами по эксплуатации (РТЭ) отечественных самолетов ИЛ-76, ИЛ-86, ИЛ-96–300 и др. для обнаружения воды в сотах предусматривается применение рентгенографического метода. Однако, как показывает практика, применение рентгеновского контроля в авиации связано с рядом серьезных трудностей: радиационная опасность и необходимость получения специального разрешения на право его проведения, высокая трудоемкость, необходимость снятия агрегатов с самолета (предусматривается РТЭ), высокая стоимость и др. Тепловым и радиовол-

новым методами, как и рентгеновским, находятся только места расположения зон с водой, но не определяется количество воды в агрегате. К тому же эти методы применяются главным образом на сотовых агрегатах из композиционных материалов (КМ) и практически неприменимы для металлических сотовых конструкций.

В ОАО «Внуковские авиалинии» в 1995 г. был разработан и внедрен для самолета ИЛ-86 ультразвуковой (УЗ) метод и специальная аппаратура для контроля содержания и определения количества воды в сотовых агрегатах самолета, выполненных из алюминиевого сплава.

Комплекс аппаратуры УЗК показан на рис. 1а. Используются отечественные дефектоскопы с высокочастотным 10–15 МГц диапазоном рабочих частот — УД2-12, УД-11ПУ и др., или зарубежные — USL-38, ЕРОСН-III и др. Вся оснастка (кроме аккумулятора) размещается в дипломате 6. Суммарная масса дефектоскопа и дипломата с оснасткой не превышает 15 кг.

На рис. 1б приведена схема контроля. К нижней поверхности контролируемой сотовой панели 8 прижимается локальная иммерсионная ванна 2, состоящая из двух секций: внутренней, в которой установлен УЗ преобразователь 7, и куда подается насосом контактная жидкость (вода), и внешней, через которую жидкость сливается в специальную ёмкость 3 объемом около 2 литров. Преобразователь подключен к дефектоскопу 1.

Контроль осуществляется эхо-импульсным методом. УЗ колебания возбуждаются преобразователем 7, проходят через слой воды в иммерсионной ванне в обшивку сотового блока 8 и далее в сотовую ячейку с водой 9 (при ее наличии), и после отражения от поверхности воды в ячейке принимаются тем же преобразователем. Результат контроля — распределение воды по поверхности агрегата и ее количество регистрируется

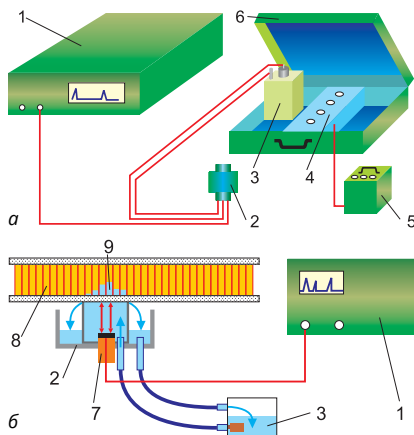


Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) переносной установки для УЗК воды:
1 — ультразвуковой дефектоскоп, 2 — локальная иммерсионная ванна 3 — ёмкость с насосом и устройством для слива воды из иммерсионной ванны, 4 — пульт управления, 5 — аккумулятор, 6 — чемодан для переноски аппаратуры, 7 — ультразвуковой преобразователь, 8 — сотовый агрегат, 9 — вода в сотовых ячейках

на компьютере в виде изображения «C-scan». На экране дефектоскопа в начале и в конце развертки видны два импульса — первое и второе отражение УЗ колебаний в иммерсионной ванне от обшивки сотовблока (включена задержанная развертка). Высота локальной иммерсионной ванны выбрана равной 20 мм*. Поэтому цена одного большого деления (всего на экране 10 делений) горизонтальной шкалы на экране дефектоскопа в этом случае составляет 2 мм.

Прижимая локальную ванну к поверхности отсека, оператор сканирует всю поверхность сотового агрегата с шагом 10 мм. В случае появления на экране дефектоскопа эхо-сигнала от поверхности содержащейся в сотовой ячейке воды и срабатывания звукового (светового) сигнализаторов дефектоскопа, контролер отсчитывает по экрану высоту столба жидкости с точностью 0,5 мм и отмечает ячейку с водой на поверхности отсека.

Необходимость проведения измерений высоты столба жидкости по шкале на экране дефектоскопа вместо использования только цифрового индикатора встроенного в него глубиномера вызвана следующими причинами:

1. Помимо импульса от поверхности воды в сотовой ячейке, в зоне контроля постоянно появляются также импульсы помех — от пузырьков воздуха в воде, ложные отражения при наклонах и отрыве локальной ванны и др. По экрану дефектоскопа опытный оператор может отличить полезные сигналы от помех, что практически невозможно сделать, если ориентироваться только на показания цифрового индикатора дефектоскопа.

2. Точность отсчета уровня воды по экрану дефектоскопа $\pm 0,5$ мм вполне достаточна для оценки общего количества воды в сотовблоке по результатам контроля.

Результаты измерений — уровни воды в отдельных ячейках и схема их расположения на агрегате — заносятся контролером на эскиз или передаются по радиоканалу с места измерения в лабораторию, где они вводятся в компьютер. При этом рассчитывается общее количество воды в агрегате и одновременно решается проблема документирования результатов контроля. Разработана специальная программа ком-

* Как показала практика, высота столба воды в сотовых агрегатах более 20 мм практически не встречается. Наиболее часто, примерно в 40% случаев, встречаются ячейки с высотой столба жидкости от 3 до 5 мм.

пьютерной обработки и регистрации результатов УЗК воды в сотовых агрегатах с представлением полученных данных в виде изображения типа «C-scan».

Практика показала, что от качества дефектоскопа — его лучевой разрешающей способности и типа используемого преобразователя — зависит чувствительность контроля, т. е. минимальный уровень обнаруживаемой воды в сотах (табл. 1).

Контроль проводится непосредственно на самолете, как в условиях ангара, так и в полевых, в том числе зимой, при условии предварительного прогрева сотового агрегата аэродромным источником тепла.

Самолет ИЛ-86

УЗК воды в сотовых агрегатах, выполненных из алюминиевых сплавов, на самолетах ИЛ-86 в ОАО «Внуковские авиалинии» был введен в 1995 г. с разрешения АООТ им. С. В. Ильюшина. Предварительно была проведена совместная работа по сравнению характеристик рентгеновского и УЗ методов контроля на сотовых клиньях четырех закрылков самолета ИЛ-86. Для примера на рис. 2 в одинаковом масштабе показаны результаты УЗ (а) и рентгеновского (б) контроля воды в правом внутреннем закрылке самолета ИЛ-86.

Видно, что по местам расположения зон с водой, их форме и размерам результаты контроля обоими методами практически совпадают. Однако при этом УЗ методом были определены как места расположения зон с водой, так и общее количество воды в агрегате, а рентгеновским — только места их расположения.

УЗК может проводиться повторно, в том числе *в процессе удаления воды из сотового блока*, что позволяет контролировать степень ее удаления, т. е. существенно повышается эффективность ремонта сотовых агрегатов. Разработана и внедрена новая технология удаления воды из сотовых блоков ИЛ-86, позволившая удалять до 75–80% воды по сравнению с 1–3% (установлено практически) по серийной технологии, предусмотренной РТЭ самолета.

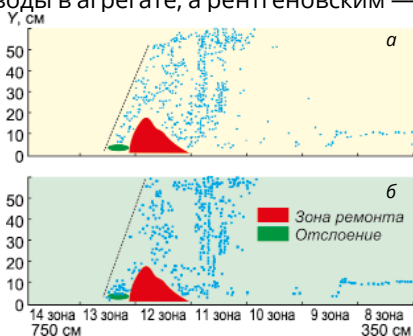


Рис. 2. Сравнение результатов ультразвукового (а) и рентгеновского (б) контроля воды в правом внутреннем закрылке (хвостовой клин) самолета ИЛ-86 №001. Масштаб

Табл. 1

Тип дефектоскопа	Тип преобразователя	1 Рабочая частота, МГц 1	Чувствительность, мм 1
УД-11ПУ, УД2-12	Серийный П-111-10-КН	10	3,0
	Специальный	10	1,5
115038, КрайЕкратер	L10M	10	1,0
ЕРОСН-111	Специальный, 15 МГц	15	до 0,7

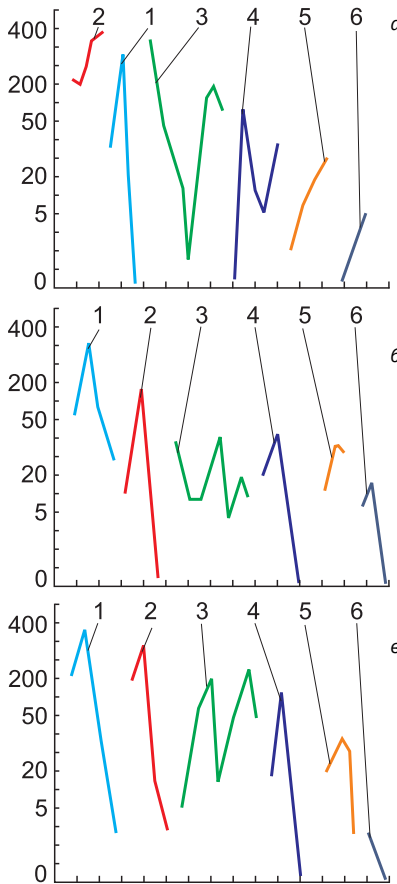


Рис. 3. Распределение количества воды по типам сотовых агрегатов для трех самолетов ИЛ-86 (а — № 001, б — № 002, в — № 003): 1 — закрылки, 2 — тормозные щитки, 3 — спойлеры, 4 — рули высоты, 5 — элероны, 6 — рули направления

Таким образом, доказана более высокая эффективность УЗК воды в сотовых агрегатах по сравнению с рентгеновским методом (см. табл. 2).

В 1996–97 гг. в ОАО «Внуковские авиалинии» проведен УЗК воды в сотовых конструкциях трех самолетов ИЛ-86 при их обслуживании на форме ТО-10000. Суммарная площадь проверенных сотовых агрегатов составила около 300 м². Измерено количество воды в каждом сотовом агрегате до и после ее удаления. Результаты измерений обрабатывались статистическим методом путем подсчета количества и типа зон с водой (линейные, сплошные или в виде отдельных ячеек с водой) для разных сотовых агрегатов с последующим построением гистограмм распределения воды по типам агрегатов, расчетом среднего уровня и объема (массы) содержащейся в них воды.

Распределение воды по типам сотовых агрегатов для трех самолетов ИЛ-86 показано на рис. 3, где для наглядности по оси ординат массы воды, г в агрегате дается

в логарифмическом масштабе, а по оси абсцисс отмечается номер каждого из 29 контролируемых сотовых агрегатов.

Как видно, максимальное количество воды (до 400 г) содержится в наиболее нагруженных элементах конструкции самолета, а наименьшее — в руле направления, расположенном вертикально.

Результаты измерений обрабатывались статистическими методами путем подсчета количества и типа зон с водой (линейные, сплошные или в виде отдельных ячеек с водой). На рис. 4 построены гистограммы распределения зон с водой по их длине и по площади. Отметим, что 43% линейных зон с водой имеют длины до 200 мм.

Для нахождения распределения воды по высоте столба в сотах данные примерно по 1000 ячеек с водой для самолета ИЛ-86 № 004 были обработаны по формулам теории вероятности. Результаты представлены на рис. 5. Отметим, что для внешних закрылков максимум плотности вероятности распределения приходится на уровни 4–5 мм, в то время как для внутренних — 2–3 мм. Это, по-видимому, как-то связано с условиями эксплуатации внешних и внутренних закрылков самолета.

При анализе полученных данных отмечены следующие особенности в распределении воды в сотовых агрегатах ИЛ-86:

1. Максимальное количество воды (до 400 г) содержится в сотовых клиньях закрылков и тормозных щитков. В процессе эксплуатации отмечался случай разрушения (полного отслаивания) обшивки тормозного щитка, в котором УЗ методом было обнаружено около 2 л воды. Минимальное количество воды (2–11 г) содержится в сотовых клиньях руля направления.

2. От 75 до 86% всех обнаруженных зон с водой — линейные, и распределены они вдоль краев, средних нервюр, лонжеронов и кромок.

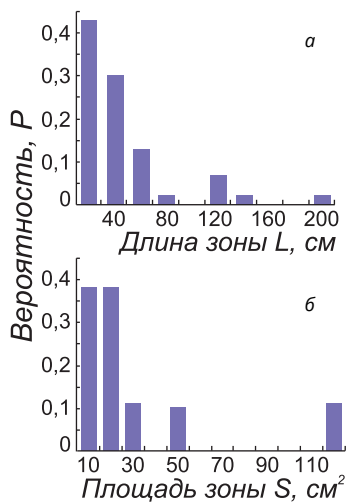


Рис. 4. Гистограммы вероятности появления зон с водой для сотовых агрегатов самолета ИЛ-86 № 001 различной длины (а) и площади (б)

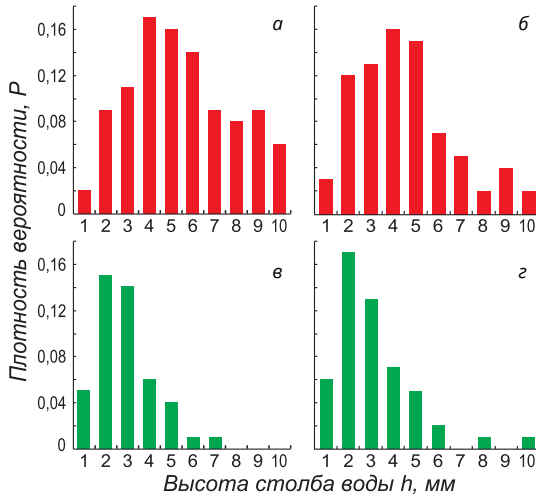


Рис. 5. Гистограмма плотности вероятности распределения уровней воды для сотовых агрегатов самолета ИЛ-86 № 004: двух внешних (левый и правый) и двух внутренних закрылков (а-г соответственно)

Поэтому одними из наиболее важных норм браковки должны быть допустимая минимальная длина непрерывной линейной зоны с водой, минимальное расстояние между соседними зонами и их количество на одном метре длины.

3. Учитывая разную степень опасности воды, распределенной линейно, при ее расположении вдоль краев, кромок, нервюр и лонжеронов, и исходя из изложенных выше данных, были рекомендованы нормы браковки по количеству воды в этих зонах.

Установлены причины и пути проникновения влаги в сотовые агрегаты самолета ИЛ-86. Внутри агрегата боковые поверхности сотовых блоков приклеены к силовым элементам (лонжерону, нервюрам) через слой специального полимерного заполнителя — «вспенивающейся композиции». Данный материал гигроскопичен и, при нарушении герметизации сотового агрегата в местах установки болтовых креплений силовых элементов агрегата в процессе эксплуатации самолета, атмосферная влага попадает внутрь, впитывается этим материалом, затем проходит в сотовый блок, где постепенно накапливается. При этом вода распределяется преимущественно линейно вдоль силовых элементов и кромок агрегата.

В процессе ремонта сотовых агрегатов, согласно разработанным в АТЦ ОАО «Внуковские авиалинии» технологическим рекомендациям ТР 1.4.1831-98 «Ремонт сотовых клееных конструкций из алюминиевых сплавов и полимерных композиционных материалов в условиях авиаремонтных предприятий и эксплуатирующих организаций», обнаруженная вода удаляется. При этом методами течеискания с помощью специальных индикаторов на основе поверхностно-активных веществ определяются места негерметичности агрегата, данные места тщательно герметизируются, что позволяет с большой степенью надежности обеспечить дальнейшую работоспособность сотового агрегата при эксплуатации самолета.

Самолет ТУ-204

Отличительной особенностью сотовых конструкций самолета ТУ-204, также как и АН-124 («Руслан»), является применение в них полимерных композиционных материалов (ПКМ). УЗК воды в них и ремонт таких сотовых агрегатов имеет ряд особенностей, изложенных ниже.

Установлено, что количество воды в сотовых агрегатах самолетов ТУ-204, АН-124 («Руслан») намного (в 5–10 раз) больше, чем в ИЛ-86. Возможно, это связано с материалом обшивок, выполненных из КМ (на ИЛ-86 обшивки металлические).

Сотовые конструкции самолета ТУ-204 выполнены из КМ двух типов:

1. «Органит» (обшивка) и ПСП (бумажные соты) — неэлектропроводящие материалы, позволяющие применить для контроля воды в сотах, помимо ультразвукового метода, также и электроемкостной метод. Из этих материалов 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. Из ПКМ выполнены закрылки, элероны, тормозные щитки и интерцепторы самолета.

В период 1996–2001 гг. при техническом обслуживании самолета ТУ-204 в ОАО «Внуковские авиалинии» проводился регулярный УЗК воды в сотовых конструкциях самолета (последний контроль проведен в сентябре 2001 г.).

Наибольшее количество воды (5,0 л) отмечено в панели № 140.3Е (правая) зализа крыла-фюзеляжа. Причем в ней отмечено регулярное

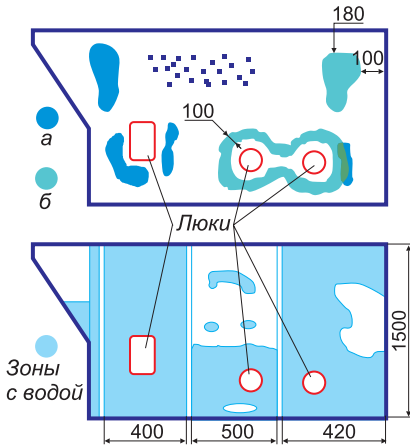


Рис. 6. Карта результатов УЗК воды в стырке зализа крыла-фюзеляжа № 140.3Е (правая) самолета ТУ-2014 (вид снизу): а — 30.07.96 и 30.06.00, $h = 6,8$ мм, $S = 4600$ см², $V = 3,5$ л, б — 30.09.01, $h = 4,8$ мм, $S = 10180$ см², $V = 5$ л

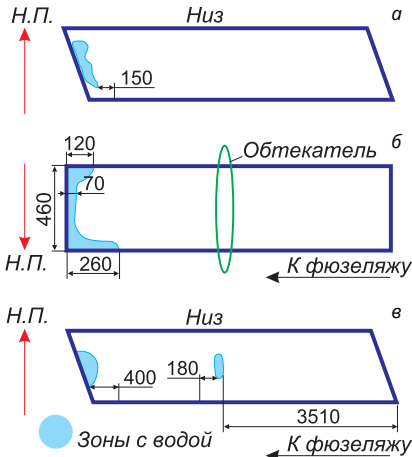


Рис. 7. Карта результатов УЗК воды в сотовых агрегатах самолета ТУ-2014 (вид снизу): а — элерон левый, $h = 5,7$ мм, $S = 175$ см², $V = 0,1$ л, б — закрылок правый внешний (внутренняя секция), в — руль

увеличение количества воды (h — средний уровень, V — общий объем, S — суммарная площадь зон с водой) при проверках в 1996, 2000 и 2001 гг. (рис. 6).

При визуальном осмотре стыка данной панели с фюзеляжем отмечено нарушение его герметизации, вследствие чего внутрь фюзеляжа попадает дождевая вода. При существующих в панели дренажных отверстиях и недостаточной гидроизоляции ее внутренней поверхности вода просачивается внутрь сотового блока, что и послужило причиной накопления в ней большого количества воды.

Ранее при проверках 1996 и 2000 гг. в других сотовых конструкциях самолета — элеронах, закрылках и рулях высоты, воды не было. Однако при проверке в сентябре 2001 г. и в них появились участки с водой (рис. 7).

Механизм их появления, по-видимому, аналогичен появлению воды в сотовых агрегатах самолета ИЛ-86: нарушение герметизации сотовых агрегатов в местах крепления силовых элементов — лонжеронов и нервюр. Однако проверить герметичность данных агрегатов можно только на очередной форме ТО-10000, когда они будут сняты для технического обслуживания.

Для контроля сотовых панелей из неэлектропроводящих материалов (панели зализов, рули высоты и руль направления) на самолете впервые

нами был применен электроемкостной метод с использованием влагомера ВД-1.

Прибор портативен (масса 700 г), имеет автономное питание и в его схеме заложен ряд технических решений, повысивших его чувствительность к влаге в сотовых конструкциях из КМ. Прибор позволяет быстро обнаружить на панели участки с водой, которые затем проверяются УЗ методом для измерения количества воды в них. Производительность контроля воды в сотовых агрегатах при этом повышается в 2–3 раза. Другим важным преимуществом прибора является возможность контроля воды в вертикально расположенных агрегатах, например, руле на правления.

Самолет АН-124 («РУСЛАН»)

Количество сотовых конструкций из КМ на самолете АН-124 значительно превосходит объемы применения КМ на других отечественных самолетах ТУ-204, ТУ-214, ИЛ-96. Поэтому проблема контроля воды в сотовых конструкциях самолета АН-124 особенно важна для его безопасной эксплуатации.

В данной работе УЗ метод был применен для контроля воды в створках заднего грузолюка самолета АН-124. При очередном техобслуживании самолета в январе 2000 г. на правой створке заднего грузолюка была визуально обнаружена трещина в обшивке, выполненной из КМ, длиной 750 мм. После демонтажа обеих створок и их размещении в ангаре из трещины вылилось несколько литров воды. В связи с этим было принято решение проверить наличие воды в обеих створках УЗ методом. При первом контроле в январе 2000 г. в обеих створках в зоне расположения силовой балки обнаружено 1,5 л (в правой) и 3 л воды (в левой) створке (рис. 8а). На правой створке в зоне расположения сквозной трещины в нижней ее части (по месту расположения на самолете) обнаружены три зоны с водой. Аналогичные зоны были выявлены и на других участках створки, причем все они располагались в местах установки стяжных болтов, соединяющих силовую балку с обшивкой. Можно сделать вывод, что вода проникает в сотовый блок через отверстия для болтов вследствие нарушения герметичности соединения.

При повторной проверке створок через год, в феврале 2001 г., в зонах, где ранее была вода, появились большие (до 4400 см²) отслоения (рис. 8б), обнаруженные акустическим импедансным методом. По грани-

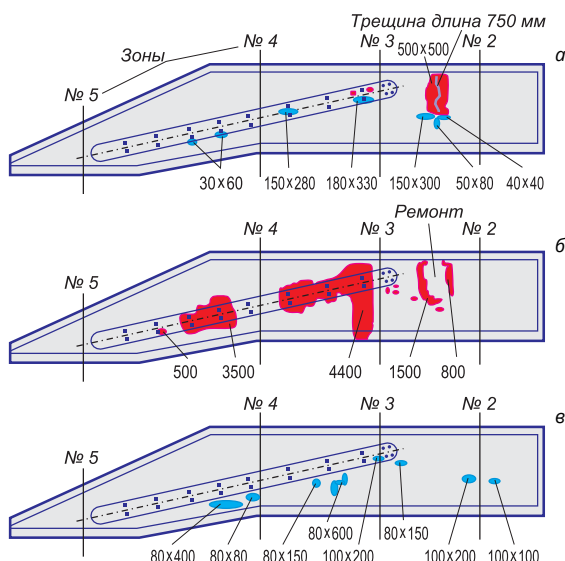


Рис. 8. Карта результатов УЗК воды (синий цвет, мм) и акустического контроля отслоений (красный цвет, см²) на внешней стороне правой створки заднего грузолюка самолета АН-124 («Руслан»): а — 22.01.00; б — 28.01.01; в — 28.02.01

цам отслоений с нижней стороны створок обнаружены новые зоны с водой (Рис. 8в). То есть вода вызвала появление отслоений обшивки от сот и скопилась у нижней кромки створок. Ясно, что существует явная связь наличия воды и появления отслоений обшивки в сотовых конструкциях из КМ.

Учитывая высокую эффективность метода УЗК воды в сотовых конструкциях, целесообразно его широкое внедрение на всем парке самолетов, как гражданских, так и военных.

Литература

1. Методика рентгеновского контроля воды в сотовых агрегатах самолета ИЛ-86. ПИ-028.03486, 1989.
2. X. P. Maldague. Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography. — London: Springer Verlag. 1993
3. Демидов В. В. Радиоволновый контроль влагосодержания теплозащитных покрытий. — 14-я Российская научно-техническая конференция «Неразрушающий контроль и диагностика»/Доклад 10.259. — М.: 1996.