

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ВОДЫ В СОТОВЫХ ПАНЕЛЯХ САМОЛЕТОВ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ

А.И. Московченко

*Томский политехнический университет
Научный руководитель: Вавилов В.П., д.т.н., профессор,
зав. лабораторией № 34*

Введение. В современной авиационной промышленности широко распространены так называемые сотовые конструкции, которые получили свое название из-за схожести с пчелиными сотами. Они обладают высокой прочностью и малым весом, однако при их эксплуатации возможно накопление воды в ячейках, что способствует увеличению массы и возможному разрушению конструкции при замерзании. Это является серьезной проблемой для обеспечения безопасности полетов. Существуют несколько методов определения воды в ячейках сот, обладающих как преимуществами, так и недостатками. Наиболее распространен ультразвуковой метод, который обеспечивает приемлемую точность, но является трудоемким и контактным. Рентгенографический метод не может применяться в условиях действующих аэропортов по соображениям техники безопасности. Существует также метод инфракрасной (ИК) термографии, основанный на анализе температурных полей на внешних поверхностях самолетов специальными приборами – тепловизорами [1, 2]. Данный метод отличается удобством и высокой производительностью, но не позволяет определить массу скрытой воды [3]. Поэтому в настоящее время он применяется в основном как скрининговый метод. В Томском политехническом университете (ТПУ) разрабатывается метод количественного определения воды в сотовых конструкциях с помощью ИК термографии.

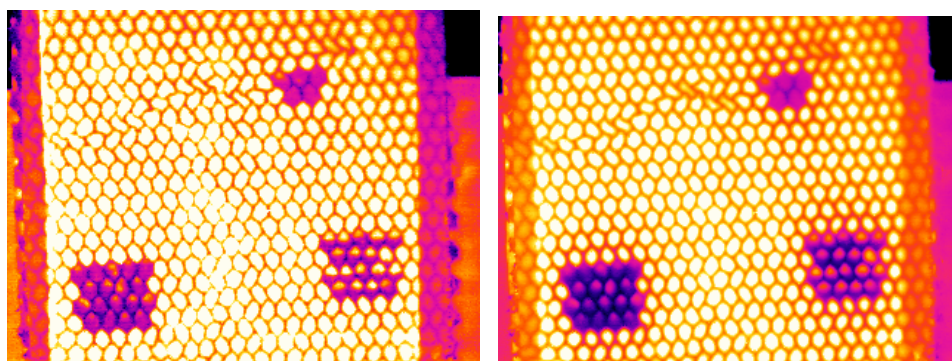
В настоящее время проведено трехмерное математическое моделирование теплового контроля воды в сотах, ведутся экспериментальные исследования на стандартных и реальных образцах авиационных сотовых панелей. Проведено сравнение различных источников тепловой стимуляции и различных вариантов расположения воды внутри ячеек. Выявлено, что вода, контактирующая с панелями обшивки, отчетливо определяется на термограммах. При наличии воздушной прослойки между контролируемой поверхностью и водой, тепловой контроль возможен, но характеризуется значительно меньшими температурными сигналами. В настоящем докладе приведены результаты экспериментов по обнаружению скрытой воды в сотовых панелях при горизонтальном

и вертикальном расположении объекта с использованием одностороннего ТК.

Экспериментальные результаты. Лабораторные эксперименты выполняли на сотовой панели, состоящей из алюминиевых сот и стеклопластиковой обшивки. В объекте имелись 3 дефектных участка. Первый участок состоит из ячеек, заполненных водой на 70–80 % (то есть при введении воды в сотах оставался некоторый объем воздуха), Ячейки второго участка были заполнены на 50 %. Третий участок был заполнен эпоксидным клеем. Эксперимент проводили при вертикальном и горизонтальном (нагрев сверху) расположении образца. Температуру обшивки регистрировали с помощью инфракрасного тепловизора NecAvioTH-9100 с частотой записи 1 Гц. Для обработки термограмм использовали программу ThermoFitPro (Томский политехнический университет). Источник тепловой стимуляции – 2 галогеновые лампы общей мощностью 2 кВт. Длительность нагрева – 10 секунд.

При вертикальном расположении образца в определенные моменты времени четко отслеживалась форма распределения воды внутри ячеек. В заполненных водой ячейках были видны пузырьки воздуха, причем воздух не всегда располагался в верхней части ячейки, что можно объяснить действием капиллярных сил. В наполовину заполненных ячейках вода всегда располагалась внизу, под действием силы тяжести. Оптимальное время наблюдения составило от 4 до 7 с в процессе нагрева. После окончания нагрева было заметно различие в температуре воздуха в пустых ячейках по сравнению с воздухом, контактирующим с водой. Это говорит о возможности идентификации воды при наличии воздуха между контролируемой поверхностью и водой.

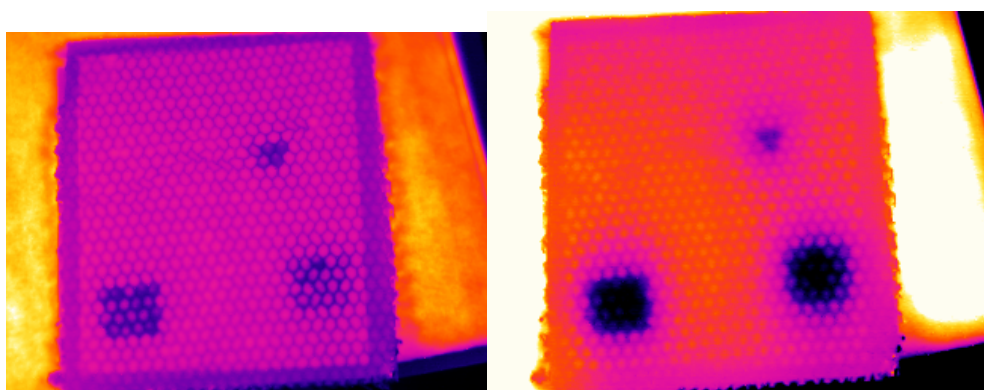
Для исследования возможности обнаружения воды при наличии воздушной прослойки между водой и контролируемой поверхностью был испытан горизонтально расположенный образец. Нагрев и съемку термограмм производили сверху. Как и в предыдущем эксперименте, во время процесса нагрева хорошо идентифицируется поверхность контакта воды с обшивкой. В заполненных водой ячейках были также отчетливо видны пузырьки воздуха. В ячейках с 50%-м заполнением вода обнаруживалась по контуру ячеек, что объясняется капиллярными силами. В данном случае приблизительную количественную оценку воды можно дать по площади температурного отпечатка воды. Ячейки с эпоксидным клеем в данном случае также идентифицируются, отличаясь от ячеек с водой. На рис. 2 изображены термограммы образца при его горизонтальном расположении и контроле сверху.



а

б

Рис. 1. Термограммы вертикально расположенного образца: а – 4 с после начала нагрева; б – 2 с после окончания нагрева



а

б

Рис. 2. Термограммы горизонтально расположенного образца: а – во время нагрева; б – через 10 с после нагрева

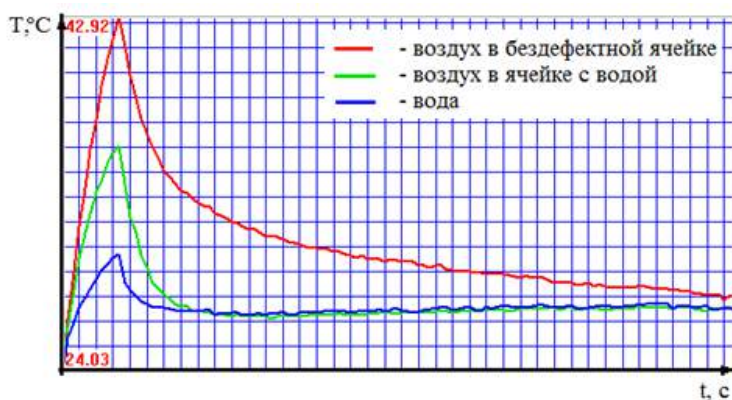


Рис. 3. Графики температурных сигналов в дефектных и бездефектных ячейках

Из графиков изменения температурных сигналов (рис. 3) видно, что температура на поверхности ячеек, в которых воздух находится

в контакте с водой, в начале нагрева, блтзка к температуре бездефектной зоны, но в дальнейшем ее величина стремится к температуре поверхности, контактирующей с водой. Через 10 секунд после окончания нагрева температура в частично заполненных водой ячейках выравнивается.

Заключение. Проведенные ранее исследования показали эффективность пассивного теплового контроля для скринингового обнаружения воды в эксплуатируемых самолетах, с оценкой массы ультразвуковым методом. Исследования последнего времени направлены на приближенную количественную оценку воды исключительно по инфракрасным термограммам. В настоящем докладе проведено исследование влияния воздуха в ячейках с водой на возможность обнаружения воды и ее количественной оценки. Показано, что при вертикальном расположении панелей возможна оценка количества воды по площади дефектной зоны, находящейся в контакте с водой. Данная площадь лучше всего идентифицируется в начале процесса тепловой стимуляции (для выбранного источника нагрева – с 4 по 7 секунду после начала нагрева). При горизонтальном расположении объекта контроля также возможна идентификация воды, в том числе и не контактирующей с поверхностью. Однако количественная оценка в данном случае затруднительна. Также установлено, что воздух, находящийся в контакте с водой, отличается от воздуха в сухих ячейках, что не было учтено при проведении трехмерного математического моделирования. Отсюда следует необходимость исследования теплофизических свойств воздуха, находящегося внутри ячеек, для проведения более корректного моделирования. Проблема калибровки термографических данных по массе скрытой воды остается открытой и требует дальнейших исследований.

Список информационных источников

1. Vavilov V., Klimov A., Nesteruk D. Detecting water in aviation honeycomb structures by using transient IR thermographic // NDT.Proc SPIE «Thermosense-XXV». – 2003. – Vol. 5073. – pp. 345–354.
2. Vavilov V.P., Nesteruk D.A.. Detecting water in aviation honeycomb structures: the quantitative approach // Quant. Infra Red Thermography J. – 2004. – Vol. 1, №2. – pp.173–184.
3. A318/A319/A320/A321 Nondestructive Testing Manual, Part 10 A, 55-20-06-Thermographic, Page block 1001.