

УДК 629.7.025.3 : 620.179.132

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ КРЫЛА САМОЛЕТА

Никита Сергеевич Романовский

*Студент 6 курса,  
кафедра «Сварка, диагностика и специальная робототехника»  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (МГТУ им.  
Н.Э. Баумана)*

*Научный руководитель: А.Л. Ремизов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварка, диагностика и специальная  
робототехника»*

В начале 21-ого века авиастроители неожиданно столкнулись с множественными авариями, происходящими во время эксплуатации самолета, проявляющиеся отрывом обшивки, разгерметизацией, и выходом из строя средств механизации. Разрушения локализовались в местах установки активно внедряемых сотовых панелей.

Сотовая панель представляет собой следующую конструкцию: сотовый наполнитель в виде набора правильных шестиугольных ячеек, изготавливаемых из алюминиевой фольги из сплава АМг-2Н, закрывается с лицевых сторон «обшивкой» из анодированных алюминиевых листов из сплава Д19ч, и с боковых сторон элементами «каркаса» - сортового проката из того же материала. Все элементы соединяются склеиванием. Сотовые панели обладают высокой прочностью и жесткостью при минимальной массе, что является важнейшим фактором в авиастроении.

При расследовании причин аварий обнаружилась следующая особенность конструкции – при эксплуатации самолета со временем происходит накопление воды в ячейках сотового наполнителя, которая на больших высотах превращается в лед, разрывающий клеевое соединение наполнителя и обшивки, что и приводит к ее отрыву.

Используемые в отечественных авиаремонтных предприятиях способы ультразвукового и рентгеновского контроля данного дефекта обладают естественными для них недостатками: низкой производительностью и контактным характере для ультразвукового, и опасном воздействии проникающего излучения для рентгеновского.

Предложен способ активного несинхронного теплового контроля по односторонней схеме, позволяющий уйти от недостатков упомянутых методов контроля и несоизмеримо увеличить производительность. Тепловой контроль интенсивно применяется в авиаотрасли за рубежом, и находится на глубокой стадии развитости и нормативности, прочно закрепившись в регламентах технического диагностирования. В диагностировании российской авиации тепловой контроль совершенно не развит, практически не применяется, и совершенно не имеет нормативной базы.

Активный тепловой контроль производится следующим образом: 1. Создание нестационарного температурного поля в объекте контроля (ОК), например, путем нагрева изделия. 2. Появление температурных аномалий (ТА) – локальных отклонений температуры от нормы. Данный эффект образуется из-за различных теплофизических свойств дефектной и бездефектных зон (алюминиевого сплава и воды). 3. Регистрация температурных полей. 4. Анализ полученных термограмм.

Основными параметрами активного несинхронного теплового контроля являются: расстояние от объектива тепловизора до сканируемой поверхности объекта контроля; мощность, время начала и конца нагрева (охлаждения) ОК; время начала и конца контроля. И если расстояние от объекта контроля до тепловизора является

исключительно расчетным параметром, то мощность и время нагрева, а также время начала и конца контроля являются предметом моделирования, что обусловлено отсутствием нормативной и теоретической базы для подбора данных параметров.

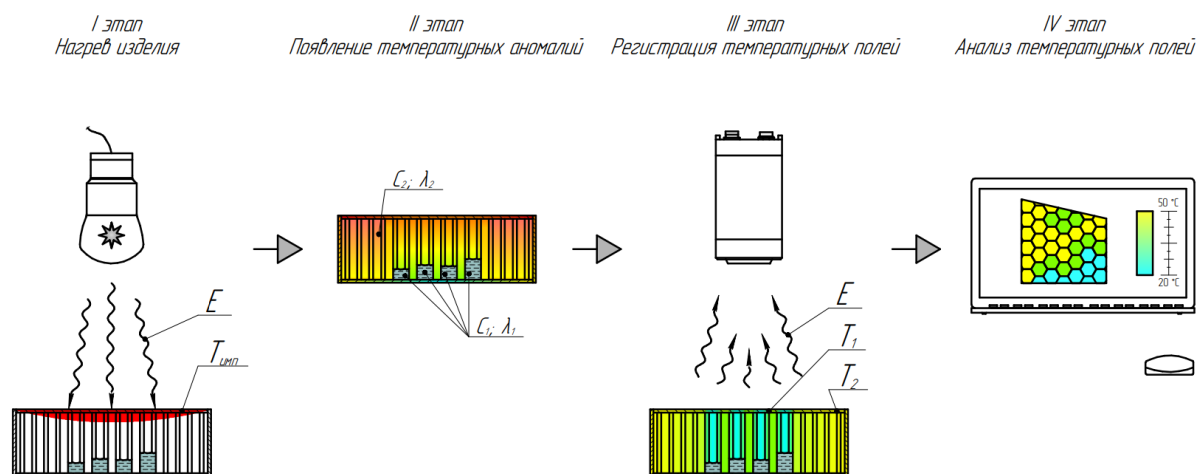


Рис. 1. План активного несинхронного теплового контроля по односторонней схеме

Расстояние от объектива тепловизора до объекта контроля определяется по необходимой чувствительности метода и критериям оптической разрешающей способности тепловизора:  $FOV$  – наибольшая область, фиксируемая на заданном расстоянии;  $IFOV$  – наименьшая деталь в  $FOV$ , различаемая прибором на заданном расстоянии;  $IFOV_{measurement}$  – круг наименьшего диаметра, для которого измеряется точное значение температуры на заданном расстоянии.

По результатам расчетов получено, что для контроля всей сотовой панели среднего размера за один снимок, контроль необходимо производить с расстояния не более 2500 мм (для тепловизора с разрешением 640\*480 пикселей).

Мощность и время нагрева выбирается по результатам моделирования, и не должно приводить к перегреву или разрушению слоев нанесенных покрытий. В качестве источника нагрева решено использовать инфракрасные теплоизлучающие лампы КГТ, т.к. они не производят трудно моделируемого конвективного теплопереноса и обладают низкой инертностью выхода на необходимый режим.

С помощью ПО Ansys было проведено моделирование процессов теплопереноса в сотовой панели при различных мощностях и времени нагрева, при различной локализации, количестве и массе воды в сотовом заполнителе. Однозначно можно сделать вывод о преимуществах применения импульса меньшей мощности, но большей длительности – 250 Вт и 1 секунда, вместо импульса 500 Вт и 0,5 секунды. При более «мягком» режиме нагрева время появления температурной аномалии, в среднем, меньше на 1 с, чем при более «жестком», вне зависимости от локализации и количества заполненных водой ячеек. Размер и время появления ТА приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты компьютерного моделирования нагрева панели для теплового контроля

№	Кол-во дефектных ячеек, шт	Высота столбиков воды, мм	Распределение дефектов	Мощность импульса, Вт	Длительность импульса, с	Размер макс. ТА, °C	Время появления ТА, с
1	14	5	К*	250	1	0,346	3,12
2	14	5	К	500	0,5	0,314	3,65
3	14	5	Х**	250	1	0,355	2,62

*Продолжение таблицы 1*

4	14	5	X	500	0,5	0,342	2,15
5	4	15	K	250	1	0,447	5,34
6	4	15	K	500	0,5	0,256	6,13
7	4	15	X	250	1	0,234	12,22
8	4	15	X	500	0,5	0,204	13,42

K\* - концентрированное; X\*\* - хаотичное

Время начала и конца контроля ограничивается временем существования достаточной для фиксирования тепловизором температурной аномалии. При этом размер временного интервала сканирования должен быть минимальным для повышения производительности, но достаточным для удовлетворительной выявляемости дефектов.

Время начала контроля должно совпадать со временем появления температурной аномалии, то есть, по результатам в таблице 1, через 1 секунду после окончания нагрева (для выявления большого числа хаотично расположенных ячеек, содержащих небольшое количество воды). Время окончания контроля – через 14 секунд после окончания нагрева (для выявления одиночных хаотично расположенных ячеек с большим количеством воды).

В результате выполнения вышеуказанных расчетов и компьютерного моделирования определены следующие теоретические параметры активного несинхронного теплового контроля алюминиевой сотовой панели по односторонней схеме:

1. Расстояние от объектива тепловизора до сканируемой поверхности объекта контроля: 2320 мм (по нормали).
2. Мощность и время нагрева: импульсный нагрев мощностью 250 Вт и длительностью 1 секунда инфракрасной теплоизлучающей лампой КГТ.
3. Время начала и конца контроля: через 2 секунды после начала нагрева; завершение контроля через 15 секунд после начала нагрева.

**Литература**

1. В.П. Вавилов, Е.В. Абрамова, В.В. Клюев. Тепловой контроль: учебное пособие [для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике]. – М.: Спектр, 2011. – 171 с.
2. Патент RU 2 284 515 C1. Способ тепловизионного контроля воды в авиационных сотовых панелях эксплуатируемых самолетов. Авторы: Вавилов Владимир Платонович, Нестерук Денис Алексеевич.
3. Д.А. Нестерук, В.П. Вавилов. Особенности применения теплового метода неразрушающего контроля для обнаружения и оценки массы воды в сотовых панелях авиационной техники. // Известия Томского политехнического университета. – 2004, Т.307. – № 6. – С. 62-65.
4. А.В. Степанов. Методы контроля сотовых конструкций авиационной техники в условиях эксплуатации // Авиационные материалы и технологии. – М.: ВИАМ, 2004. – С. 81-86.