

УДК 620.1:699.81

С.Л. Барботько¹, О.С. Вольный¹, М.М. Боченков¹

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ ПРИ ГОРЕНИИ

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-3-102-110

Проведено исследование влияния газопроницаемости обшивок и сотового заполнителя трехслойных панелей на величину характеристик тепловыделения при горении (максимальную интенсивность выделения тепла и общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания). Показано, что наличие перфорации обшивок или сотового заполнителя может привести к существенному снижению величины регистрируемых характеристик тепловыделения вследствие более плавного выхода горючих продуктов термодеструкции из внутреннего объема трехслойной панели.

Ключевые слова: пожарная безопасность, тепловыделение при горении, трехслойная панель, газопроницаемость, огневые испытания.

S.L. Barbotko¹, O.S. Volnyj¹, M.M. Bochenkov¹

IMPACT ASSESSMENT OF GAS PERMEABILITY OF THREE-LAYERED CORE PANEL ON HEAT RELEASE

This is a study of the effect of the gas permeability of the skin and honeycomb core of three-layer panels on the value of the heat release characteristics during combustion (the maximum heat release rate and the total amount of heat released during the first 2 minutes of the test). The study demonstrates that the presence of perforations of the skin or honeycomb can lead to a significant decrease in the recorded heat release characteristics due to a smoother exit of combustible thermal decomposition products from the internal volume of the three-layer panel.

Keywords: fire safety, heat release, core panel, gas permeability, fire testing.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Полимерные трехслойные панели нашли применение при производстве различных конструктивных элементов авиационной техники. Особенно широкое использование они получили для изготовления элементов отделки кабин самолетов [1–3]. Все материалы и изготовленные из них конструктивные элементы внутренней отделки воздушных судов, наряду с обеспечением заданных функциональных характеристик, должны в обязательном порядке удовлетворять и требованиям по пожарной безопасности. Требования по пожарной безопасности материалов интерьера пассажирских кабин, багажных и грузовых отсеков приведены в параграфах 23.853 и 23.855 авиационных норм для гражданских легких самолетов [4], 25.853 и 25.855 – для самолетов транспортной категории [5], 27.853 и 27.855 – для винтокрылых аппаратов (вертолетов) нормальной категории [6], 29.853 и 29.855 – для винтокрылых аппаратов транспортной категории [7], ОЛС.853 – для очень легких самолетов [8]. Аналогичные требования содержатся и в зарубежных авиационных нормах [9, 10].

Наиболее жесткие требования по пожаробезопасности предъявляют к панелям отделки стен, потолка и перегородок пассажирских кабин больших транспортных самолетов. Эти панели, кроме выполнения требований по ограничению горючести (контролируются продолжительность остаточного самостоятельного горения образца, длина поврежденной части и продолжительность горения падающих капель), должны также соответствовать требованиям по дымообразованию (контролируется оптическая плотность дыма за 4 мин в режиме испытания «горение») и тепловыделению при горении (контролируются максимальная интенсивность выделения тепла и общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания). Требования по ограничению выделения тепла при горении являются наиболее сложно выполнимыми и призваны обеспечить приемлемые условия для выживания людей в случае наземного летного происшествия, сопровождающегося возникновением интенсивного внешнего пожара от разлившегося углеводородного топлива [11].

Горение полимерных материалов является сложным многостадийным процессом, имеющим большое количество положительных и отрицательных обратных связей, причем каждая составляющая этого процесса может оказывать существенное влияние на конечный результат [12]. Для достижения поставленной цели (повышение пожарной безопасности авиационной техники) необходимо учитывать как характеристики отдельных составляющих материалов (компонентов), так и их возможное взаимодействие в конкретном конструктивном элементе. Поэтому задача снижения пожарной опасности конечного изделия или элемента конструкции является значительно более сложной, чем повышение пожарной безопасности одного конкретного материала.

Трехслойная панель является конструктивным элементом, включающим:

- лицевой декоративный слой;
- внешнюю обшивку, как правило, состоящую из 2–3 слоев стеклопластика;
- наполнитель – как правило, это сотопласт (но может быть пенопласт, гофра или иной разделитель с низкой кажущейся объемной плотностью);
- тыльную обшивку, как правило, аналогичную по составу внешней обшивке;
- тыльное декоративное или защитное покрытие.

Торцы трехслойной панели с целью повышения ее прочности, защиты внутреннего наполнителя и снижения действия факторов окружающей среды, как правило, защищены специальным наполнителем. Иногда для обеспечения лучшей звукоизоляции, снижения массы и иных целей тыльную обшивку выполняют не из сплошного стеклопластика, а из сетки. Тыльная или лицевая обшивки также могут иметь сквозную перфорацию. В случае большой толщины трехслойной панели возможно наличие внутри нее еще одного дополнительного слоя в виде обшивки. Все компоненты такой панели соединены между собой при помощи клея либо соединение происходит в процессе изготовления конструктивного элемента за счет отверждения полимерного связующего, содержащегося в неотвержденных обшивках.

Многослойная структура трехслойной панели приводит к дополнительному усложнению процесса горения:

- сначала происходят прогрев, термодеструкция и воспламенение внешней обшивки с лицевым декоративным покрытием. Одновременно за счет теплопередачи постепенно прогреваются наполнитель и тыльная обшивка;
- затем часть образующихся газообразных продуктов термодеструкции, выделяющихся с тыльной стороны внешней обшивки, попадает в объем наполнителя и накапливается в нем, создавая избыточное давление, распирающее изнутри трехслойную панель;

– по мере термодеструкции полимерной составляющей внешней обшивки и/или клеевого соединения, соединяющего внешнюю обшивку с наполнителем, и повышения избыточного давления газообразных продуктов термодеструкции во внутреннем наполнителе, происходит превышение внутреннего давления газов над пределом прочности клеевого соединения на отрыв. Вследствие этого практически мгновенно отслаивается внешняя обшивка по всей плоскости образца и скопившиеся во внутреннем объеме наполнителя горючие газообразные продукты термодеструкции практически мгновенно выходят наружу, где и воспламеняются;

– по мере выгорания полимерной составляющей всех компонентов трехслойной панели постепенно снижается интенсивность выделения тепла.

Вследствие этой многостадийности процесс выделения тепла при горении трехслойных панелей, в отличие от горения монолитных пластиков, как правило, имеет не один, а несколько пиков (локальных максимумов). Первый пик тепловыделения связан с интенсивностью горения декоративного покрытия; второй – с горением лицевой обшивки; третий – с горением газообразных продуктов термодеструкции, скопившихся в объеме наполнителя; четвертый и пятый – с горением наполнителя и тыльной обшивки. Величина и время наступления каждого локального максимума зависят от ряда факторов: химического состава деструктирующего слоя, количества полимера в нем, его композиционной структуры, толщины и др. В процессе испытания пики тепловыделения могут частично пересекаться или наслаиваться друг на друга.

За максимальную интенсивность тепловыделения, допустимая величина которой регламентирована авиационными нормами, принимают пик с абсолютной максимальной интенсивностью. Как правило, первый и второй пики (горение лицевого декоративного покрытия и внешней обшивки) практически совпадают, а четвертый и пятый пики (горение наполнителя и тыльной обшивки) – незначительны. Типичный вид кривой, описывающей кинетику процесса тепловыделения трехслойной сотовой панели, приведен на рис. 1 [13].

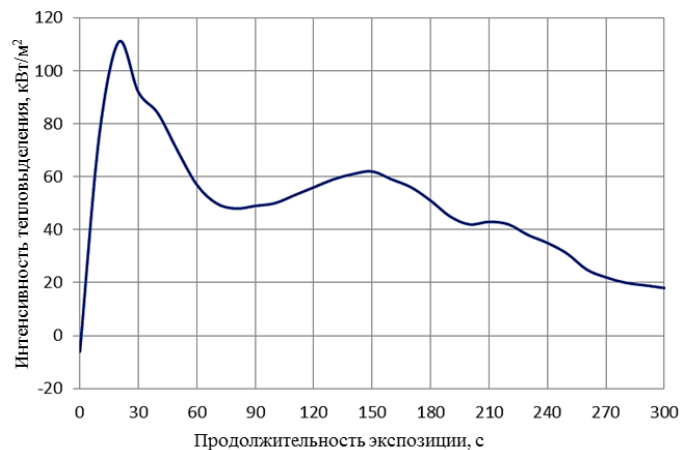


Рис. 1. Типичный вид кинетической кривой тепловыделения трехслойной сотовой панели [13]

Таким образом, на кинетику и интенсивность выделения тепла при горении трехслойных сотовых панелей оказывают несколько различных составляющих. Наиболее важным с точки зрения обеспечения пожарной безопасности является снижение двух пиков тепловыделения, отвечающих за горение лицевой обшивки с декоративным покрытием и газообразных продуктов, скапливающихся в объеме наполнителя.

Изредка для изготовления трехслойных панелей используют другие составляющие компоненты. Например, в панели фирмы Schneller, применяемой Техническим

центром Федерального авиационного агентства США в качестве стандартной при проведении исследований, сравнительных и круговых межлабораторных испытаний, для тыльной обшивки использовали сетчатый материал. Вследствие высокой газопроницаемости кривая выделения тепла при горении такой панели имеет только один существенный пик (рис. 2) [14].

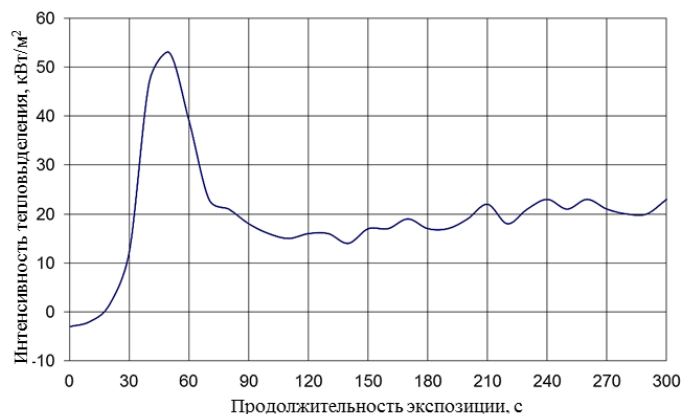


Рис. 2. Тепловыделение «стандартной» трехслойной панели производства фирмы Schneller (США) [14]

Иногда при создании трехслойных панелей вместо сотового заполнителя используют пенопласт, гофру или иные складчатые заполнители, обеспечивающие бóльшие возможности по изготовлению конструктивных элементов одинарной либо двойной кривизны, или с лучшими характеристиками звукопоглощения [15, 16].

Имеется ряд отечественных работ, описывающих научные исследования, проведенные с целью повышения пожарной безопасности за счет изменения химического состава полимерного связующего [17–19] или структуры композита обшивки [20]. Аналогичные исследования выполняют и за рубежом [21–24]. В рекомендательном циркуляре PS-ANM-25.853-01-R2 Федеральной авиационной администрации США описано влияние различных факторов на характеристики пожарной опасности, однако влияние газопроницаемости панелей на величину ее пожарной опасности не рассмотрено [25].

В случае использования достаточно термостойкого декоративного покрытия и полимерного связующего максимальную интенсивность выделения тепла можно регламентировать с помощью пика теплового выделения, связанного с горением газообразных продуктов из заполнителя. Одной из возможностей снижения теплового выделения является именно изменение процесса выхода горючих газообразных продуктов из объема заполнителя.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 2. «Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль» комплексной научной проблемы 2.2. «Квалификация и исследования материалов» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [26–28].

Материалы и методы

Исследования проведены на образцах трехслойных сотовых панелей следующего состава.

Вариант 1:

- сотовый заполнитель ПСП-1-2,5×45 толщиной 8,8 мм;
- обшивки: 1 слой препрега ПТ-15(П).ФП-520-62 + 1 слой препрега СТ-520-15;

– декоративное покрытие: шпон натуральный с огнезащитной пропиткой, покрытый огнезащитным лаком и приклеенный к обшивкам клеем Pur-501 фирмы Klebchemie M.G. Becker GmbH & Co KG (Германия).

Вариант 2: образцы трехслойной сотовой панели EC-PA233E фирмы Euro-Composites S.A. (Люксембург) толщиной 20 мм с приклеенным клеем 88НП декоративным покрытием – искусственной замшей фирмы Alcantara (Италия).

Характеристики тепловыделения определяли в соответствии с требованиями Авиационных норм (АП-25, Приложение F, Часть IV) [5] при помощи проточного калориметра типа OSU при падающем тепловом потоке на образец, равном 35 кВт/м^2 . Оборудование и метод испытания описаны в ГОСТ Р 57928–2017 и ASTM E906M-14 (Release Rate Apparatus – Configuration A).

Сущность метода заключается в следующем: образец испытываемого материала (конструктивного элемента) помещают в испытательную камеру оборудования, в которой на него воздействует тепловой поток заданной интенсивности; воспламенение образца и сгорание продуктов термодеструкции обеспечивают при помощи газовых горелок. Через испытательную камеру продувают воздух с заданным расходом; температуру воздуха на входе в оборудование и на выходе из него измеряют при помощи термодатчиков. По разности температур, на основании заранее определенного термического коэффициента испытательного оборудования, рассчитывают интенсивность выделения тепла в каждый момент времени испытания.

В процессе испытания регистрируют кинетику выделения тепла (HRR – Heat Release Rate) в графическом и табличном виде. На основании полученных данных определяют максимальную интенсивность выделения тепла (Peak, кВт/м^2), общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания (Total Heat Release, $\text{кВт}\cdot\text{мин/м}^2$) и время наступления максимальной интенсивности тепловыделения.

Результаты и обсуждение

Сначала проведены испытания панелей в исходном состоянии. В процессе испытания под воздействием теплового потока происходил прогрев лицевой поверхности панели, а затем ее воспламенение. Через некоторое время после начала горения лицевой поверхности происходило резкое разрушение панели (с хлопком), сопровождавшееся отслоением лицевой обшивки и значительным усилением образовавшегося пламени. Графики тепловыделения при горении исходных трехслойных сотовых панелей представлены на рис. 3. Видно, что в каждом случае имеется несколько пиков тепловыделения, причем их абсолютная величина сопоставима: максимальным может быть первый пик (рис. 3, а), а могут и последующие пики (рис. 3, б).

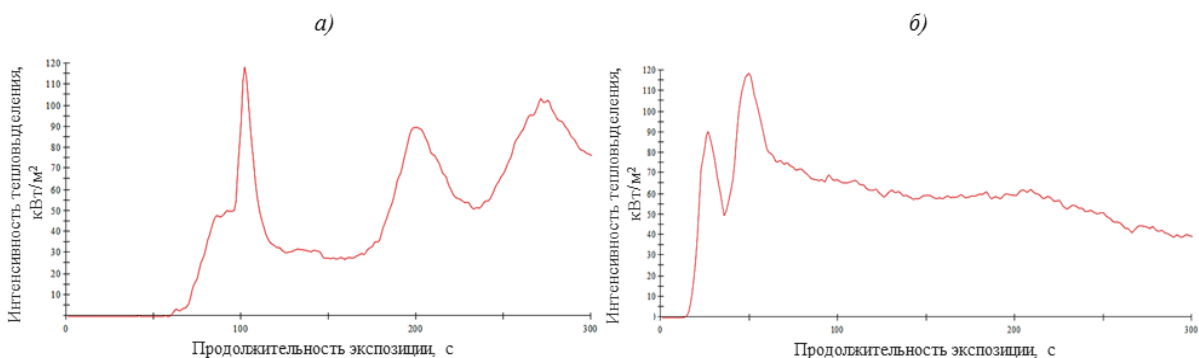


Рис. 3. Тепловыделение исходных трехслойных сотовых панелей по вариантам 1 (а) и 2 (б)

Выдвинуто предположение, что снижение герметичности внутреннего объема сотовой панели может способствовать плавному выходу образующихся во внутреннем объеме заполнителя горючих газообразных продуктов термодеструкции, вследствие чего величина пика будет сглажена по абсолютной величине. С этой целью в образцах панелей произведена перфорация тыльных обшивок при помощи сверла диаметром 1 мм с шагом 10 мм. В процессе испытания резкого разрушения панелей и существенного увеличения высоты пламени не происходило. Результаты испытаний таких панелей с перфорированной тыльной обшивкой приведены на рис. 4.

При сопоставлении графиков на рис. 3 и 4 видно, что перфорация тыльной обшивки привела к желаемому эффекту – существенно снизилась величина пика тепловыделения, связанного с резким выходом газообразных продуктов из внутреннего объема. Одновременно может несколько снизиться и величина предыдущего пика, связанного с горением лицевой обшивки. В случае перфорации тыльной обшивки панели выход горючих продуктов, образовавшихся в процессе термодеструкции внутреннего объема такого конструктивного элемента, осуществляется на противоположную от декоративной сторону. Таким образом, уменьшается интенсивность горения материала и токсичные продукты выходят на лицевую поверхность – в объем пассажирского салона, т. е. безопасность и выживаемость людей в случае пожара значительно возрастают.

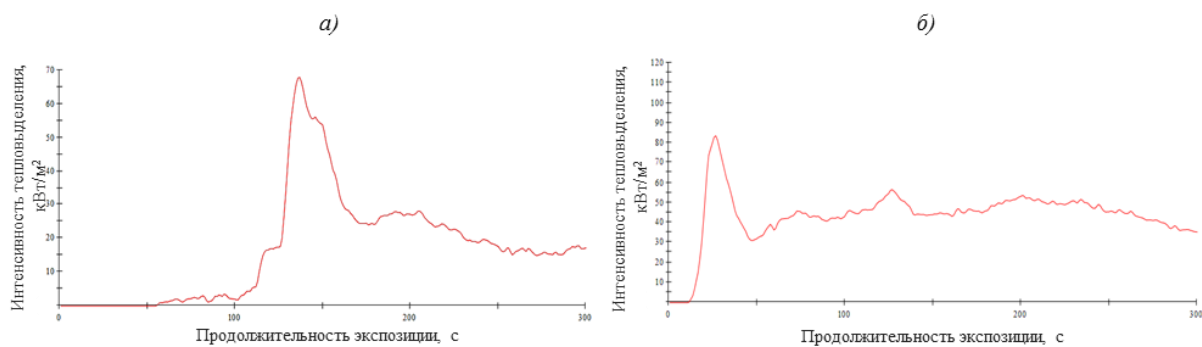


Рис. 4. Тепловыделение трехслойных сотовых панелей с перфорированной тыльной обшивкой по вариантам 1 (а) и 2 (б)

Как упоминалось ранее, иногда вместо сотопласта используют другие виды заполнителей, например гофру, ячеистый или складчатый заполнители. Общей их особенностью является то, что они либо образуют общее незамкнутое внутреннее пространство (ячеистый и складчатый заполнители), либо содержат внутренние каналы большой протяженности по всей внутренней поверхности образца. Хотя панели интерьера при монтаже салона обычно имеют заделку торцов, стандартным испытаниям на тепловыделение в соответствии с требованиями нормативных документов (АП-25, FAR-25, CS-25) должны подвергаться образцы без заделки. Тогда при испытании панелей с альтернативными заполнителями (гофра, ячеистый, складчатый), как и при испытании сотовых панелей с перфорацией тыльной обшивки, происходит свободный выход газообразных продуктов из внутреннего объема заполнителя и значительный пик тепловыделения не формируется. Для проверки этой гипотезы проведена модификация сотового заполнителя трехслойной панели (вариант 2) – с торцов образца с шагом 30 мм сделаны сквозные проколы сотопласта на всю ширину образца диаметром 3 мм. Эти проколы в заполнителе обеспечивают почти такой же плавный выход газообразных продуктов из внутреннего объема панели (рис. 5).

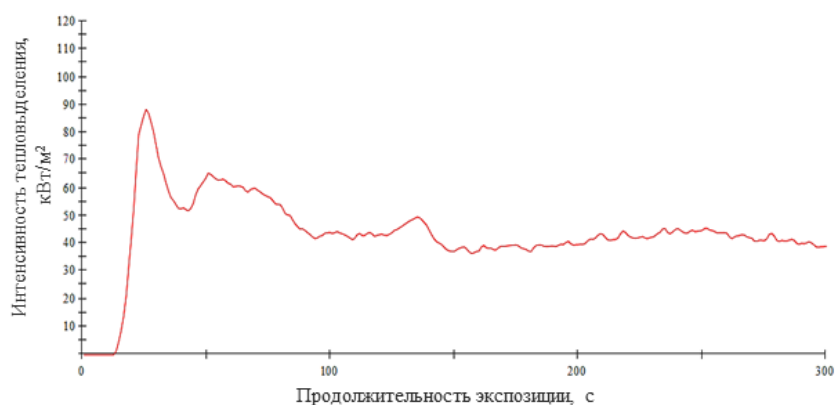


Рис. 5. Тепловыделение трехслойной сотовой панели с проколотым сотовым наполнителем (вариант 2)

Для визуального сопоставления полученных результатов на рис. 6 одновременно приведены графики выделения тепла исходной сотовой панели и этой же панели, но с перфорированной обшивкой и проколами в сотовом наполнителе.

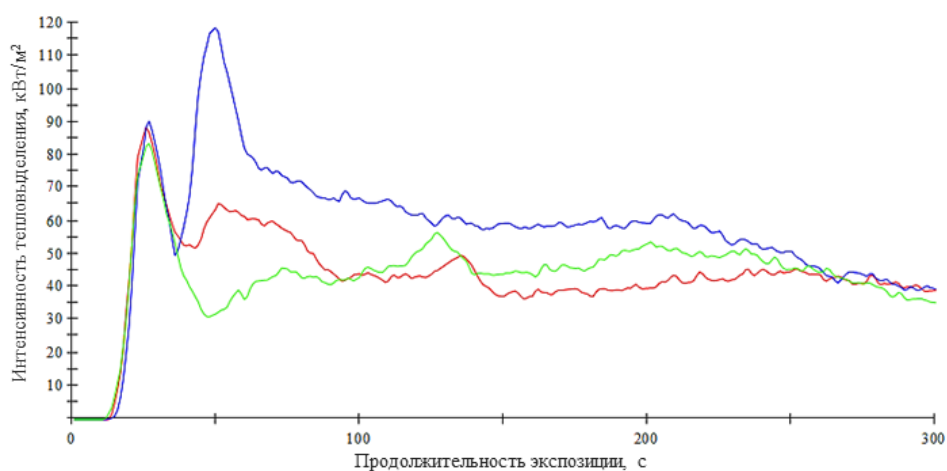


Рис. 6. Тепловыделение трехслойной сотовой панели (вариант 2): в исходном состоянии (—), с перфорацией тыльной обшивки (—) и с проколотым сотовым наполнителем (—)

В таблице приведены численные данные по значениям нормируемых характеристик тепловыделения для исходных вариантов трехслойных сотовых панелей и модифицированных образцов.

Сводные данные по тепловыделению образцов трехслойных сотовых панелей в исходном состоянии и модифицированных

Тип панели	Модификация панели	Максимальная интенсивность тепловыделения, кВт/м ²	Общее тепловыделение за первые 2 мин испытания, кВт·мин/м ²	Время наступления максимума, с
Вариант 1	Исходная перфорация тыльной обшивки	118	42	102
	Исходная перфорация тыльной обшивки, прокол сотового наполнителя	68	4	137
Вариант 2	Исходная перфорация тыльной обшивки, прокол сотового наполнителя	118	126	50
		83	79	27
		88	94	26
Предельно допустимые значения по авиационным нормам (не более)		65	65	—

Из представленных данных видно, что за счет выполненной модификации трехслойных сотовых панелей возможно достичь существенного снижения выделения тепла при горении, регистрируемого при помощи проточного калориметра типа OSU.

Заключения

Проведено исследование влияния газопроницаемости обшивок и сотового заполнителя трехслойных панелей на величину характеристик тепловыделения при горении. Показана возможность снижения интенсивности выделения тепла за счет изменения конструкции панелей и обеспечения лучшей газопроницаемости.

Сравнительные испытания исходных и модифицированных образцов трехслойных сотовых панелей подтвердили существенное снижение регистрируемых значений – максимальной интенсивности тепловыделения и общего количества выделяемого при горении тепла.

Тем не менее достичь положительных результатов испытаний (чтобы испытанные образцы полностью соответствовали требованиям авиационных норм) в данном исследовании не удалось. Это вызвано очень высокой интенсивностью выделения тепла лицевой обшивкой с декоративным покрытием. Для достижения положительных результатов необходимо сочетание как низкого тепловыделения лицевой обшивкой, так и низкого тепловыделения из внутреннего объема панели.

Библиографический список

1. Постнов В.И., Петухов В.И., Стрельников С.В., Макрушин К.В., Плетинь И.И., Кавун Н.С., Застрогина О.Б., Швец Н.И. Пути повышения технологичности и конструкционных свойств панелей интерьера самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2008. Т. 1. Спец. вып.: Четверть века изысканий и экспериментов по созданию уникальных технологий и материалов для авиастроения УНТЦ – ФГУП «ВИАМ». С. 59–64.
2. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Застрогина О.Б., Сатдинов Р.А. Технология ускоренного формирования трехслойных сотовых панелей интерьера самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. №4-4. С. 799–805.
3. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 344–348. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-344-348.
4. Нормы летной годности гражданских легких самолетов: АП-23: утв. Постановлением 34-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 06.12.2013. 4-е изд. с поправками 1–5. М.: Авиаздат, 2014. 208 с.
5. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 35-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 23.10.2015. 3-е изд. с поправками 1–8. М.: Авиаздат, 2015. 290 с.
6. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов нормальной категории: АП-27: утв. Постановлением 34-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 06.12.2013. 2-е изд. с поправкой 27-1. М.: Авиаздат, 2014. 128 с.
7. Нормы летной годности винтокрылых аппаратов транспортной категории: АП-29: утв. Постановлением 36-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 15.03.2018. 3-е изд. с поправками 1–3. М.: Авиаздат, 2018. 136 с.
8. Нормы летной годности очень легких самолетов: АП-ОЛС. М.: Авиаздат, 2006. 104 с.
9. Transport Category Airplanes: Airworthiness Standards. Federal Regulations. Part 25. URL: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=d7f8803c7bd1d50b6d68749e0b42d848&node=14:1.0.1.3.11&rgn=div5> (дата обращения: 10.10.2019).
10. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes: CS-25. 2020. 1162 p. URL: <https://www.easa.europa.eu/document-library/certification-specifications/cs-25-amendment-24> (дата обращения: 10.10.2019).

11. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Шуркова Е.Н. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения: анализ состояния, методы испытаний, перспективы развития, методические особенности / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2018. 424 с.
12. Берлин А.А. Горение полимеров и полимерные материалы пониженной горючести // Соросовский образовательный журнал. 1996. №9. С. 57–63.
13. Барботько С.Л. Тепловыделение при горении полимерных материалов авиационного назначения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1999. 23 с.
14. Barbotko S.L., Vorobyov V.N. Influence of air flow in OSU calorimeter on test results // Proceeding of the Third Triennial International Aircraft Fire & Cabin Safety Conference (Atlantic City, New Jersey, USA. October 22–25, 2001). URL: <http://www.fire.tc.faa.gov> (дата обращения: 10.10.2019).
15. Железина Г.Ф., Бейдер Э.Я., Раскутин А.Е., Мигунов В.П., Столянков Ю.В. Материалы для звукопоглощающих конструкций // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №4. С. 12–16.
16. Способ изготовления рельефного заполнителя: пат. 2307032 Рос. Федерация; заявл. 27.12.05; опубл. 27.09.07.
17. Barbotko S.L. Ways of providing fire safety of aviation materials // Russian Journal of General Chemistry. 2011. Vol. 81. No. 5. P. 1068–1074.
18. Курносков А.О., Соколов И.И., Мельников Д.А., Топунова Т.Э. Пожаробезопасные стеклопластики для интерьера пассажирских самолетов (обзор) // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2015. №11. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.10.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-7-7.
19. Петрова Г.Н., Бейдер Э.Я., Перфилова Д.Н., Румянцева Т.В. Пожаробезопасные литые термопласты и термоэластопласты // Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн. 2013. №11. Ст. 02. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 10.10.2019).
20. Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры // Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 27–30.
21. Lyon R.E., Gandhi S., Crowley S. Fire Properties of Heat-Resistant Polymers: Technical Report DOT/FAA/TC-TN18/32. 2019. 33 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov> (дата обращения: 10.10.2019).
22. Quintiere J.G., Walters R.N., Crowley S. Flammability Properties of Aircraft Carbon-Fiber Structural Composite: Technical Report DOT/FAA/AR-07/57. 2007. 43 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov> (дата обращения: 10.10.2019).
23. Lyon R.E., Janssens M.L. Polymer Flammability: Technical Report DOT/FAA/AR-05/14. 2005. 82 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov> (дата обращения: 10.10.2019).
24. Zhang H. Fire-Safe Polymers and Polymer Composites. Technical Report: DOT/FAA/AR-04/11. 2004. 209 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov> (дата обращения 10.10.2019).
25. Flammability Testing of Interior Materials: Policy Statement; No PS-ANM-25.853-01-R2. 2013. 28 p. URL: <http://www.faa.gov> (дата обращения: 10.10.2019).
26. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
27. Каблов Е.Н. На перекрестке науки, образования и промышленности // Эксперт. 2015. №15 (941). С. 49–53.
28. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.