



УДК 614.814.41

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-11-11

**ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПКМ ПРИ РАС-
ПРОСТРАНЕНИИ ПЛАМЕНИ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА
ПЕРЕМЕННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ**

О.А. Кириенко

кандидат химических наук

Е.Н. Шуркова

О.С. Вольный

С.Л. Барботько

кандидат технических наук

Июнь 2015

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

УДК 614.814.41

DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-6-11-11

О.А. Кириенко¹, Е.Н. Шуркова¹, О.С. Вольный¹, С.Л. Барботько¹

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПКМ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПЛАМЕНИ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПЕРЕМЕННОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Проведены исследования по определению характеристик пожарной безопасности полимерных композиционных материалов (ПКМ) перспективных для изготовления элементов внешнего контура авиационной техники (фюзеляж, крыло, стабилизаторы и др.) в условиях теплового потока переменной интенсивности. В качестве объектов исследований выбраны образцы стекло- и углепластиков. Испытания проводили в камере CSI-195FAA (Custom Scientific Instruments, США) с панелью теплового излучения. В ходе испытаний определяли следующие характеристики пожарной безопасности: продолжительность остаточного горения, длину прогорания, критический тепловой поток затухания и др. Дополнительно проведена оценка пожарной безопасности стекло- и углепластиков методом кислородного индекса.

Ключевые слова: *пожарная безопасность, полимерный композиционный материал (ПКМ), внешний контур, авиационная техника.*

O.A. Kirienko, E.N. Shurkova, O.S. Volnij, S.L. Barbotko

ASSESSMENT OF FIRE SAFETY OF PCM AT FLAME DISTRIBUTION ON HORIZONTAL SURFACE UNDER CONDITIONS OF HEAT FLOW OF VARIABLE INTENSITY

Definition of fire safety characteristics of polymer composition materials (PCM) for manufacturing of components of external components of aviation equipment (fuselage, wing, stabilizers, etc.) was carried out under conditions of variable intensity of the heat flow. Samples of glass- and carbon-reinforced polymers were chosen as test subjects. The tests were carried out in CSI-195FAA camera (Custom Scientific Instruments, USA) with the heat radiation panel. The following characteristics of fire safety were defined during the tests: duration of the residual burning, burn-out length, critical heat flow of flame damping, etc.

Assessment of fire safety of glass- and carbon-reinforced polymers by the oxygen index method was additionally carried out.

Keywords: *fire safety, polymer composition material (PCM), external circuit, aviation equipment.*

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

Развитие авиастроения невозможно без постоянного усовершенствования и смены групп материалов, применяемых для изготовления конструкций авиационной техники. На смену деревянным конструкциям и металлическим материалам в настоящее время пришли композиты [1]. Исследования по разработке полимерных материалов с предельно улучшенным комплексом служебных характеристик, обеспечивающих необходимый ресурс, работоспособность, безотказность и безопасность техники, являются актуальным направлением полимерного материаловедения, что отмечается в ряде работ [2–4].

Стремительный рост объемов полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых в последние годы в изделиях авиационной техники, безусловно связан с удачной совокупностью их технических и экономических показателей. Обладая высокой удельной прочностью при низкой массе, конструкции из ПКМ имеют преимущество по сравнению с конструкциями из металлов [5, 6]. Использование композитов может обеспечить снижение массы конструкций на 20% [1].

Одним из важнейших моментов при оценке свойств ПКМ является оценка характеристик пожарной безопасности. Пожарная опасность полимерных материалов определяется способностью к воспламенению, распространению процесса горения, включая последствия этого процесса, так как при горении возможно выделение значительного количества дыма и токсичных продуктов. Горение полимеров – сложный многостадийный процесс, контролируемый тепло- и массопередачей. Основными факторами, оказывающими влияние на характеристики воспламеняемости материала, являются термостойкость, коксовое число, теплота сгорания [7–13].

От правильного выбора показателей пожаробезопасности ПКМ (в зависимости от их функционального назначения) зависит обоснованность допустимости применения ПКМ, что позволяет обеспечить снижение числа и тяжести пожаров на авиационном транспорте [14–16].

Материалы и методы

В данной работе проведены исследования по определению характеристик пожарной безопасности (продолжительность остаточного горения, длина прогорания, критический тепловой поток затухания и др.) ПКМ для изготовления элементов внешнего контура авиационной техники (фюзеляж, крыло, стабилизаторы и др.) в условиях теплового потока переменной интенсивности.

В качестве объектов исследований выбраны следующие марки стекло- и углепластиков, перспективных для изготовления внешнего контура авиационной техники:

- стеклопластик и углепластик на основе клеевого препрега КМКС-2м;
- стеклопластик и углепластик на основе стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212.

Испытания проводили по СТО 1-595-20-447–2014 в камере CSI-195FAA (Custom Scientific Instruments, США) с панелью теплового излучения. Использованный метод близок в своей основе к ГОСТ 30444–97 и ГОСТ Р 51032–97 с некоторыми отличиями в ориентации иницирующей воспламенение горелке и размерах образцов. Для испытаний используются образцы размером 100×1000 мм (по 3 параллельных образца). В процессе испытания образец устанавливается в держатель и подвергается одновременному воздействию радиационного теплового потока заданной интенсивности и иницирующего воспламенения пламени горелки. Продолжительность воздействия пламенем горелки составляет 2 мин. В испытательной камере по длине образца создавали переменный тепловой поток от 1,75 (в зоне воспламенения образца пламенем горелки) и до 0,4 Вт/см² (с противоположной кромки образца).

Перед началом испытаний проводили калибровку прибора и фиксировали показания воздействия теплового потока на образец через каждые 100 мм длины. По результатам калибровки строили калибровочную кривую, по которой, зная длину прогорания образца, определяли критический тепловой поток затухания. Дополнительно перед началом испытания на образцы наносили метки с интервалом 100 мм и во время эксперимента фиксировали следующие показатели: время прохождения отметок, продолжительность остаточного горения, длину прогорания. На основании полученных данных рассчитывали следующие значения: критический тепловой поток затухания и среднюю скорость распространения пламени на различных отрезках длины образца.

Дополнительно к использованному методу оценки распространения пламени при воздействии внешнего теплового потока проведена оценка пожарной безопасности стекло- и углепластиков методом кислородного индекса. Данный метод испытаний позволяет сопоставлять различные материалы между собой и обнаруживать даже небольшие изменения в их пожарно-технических свойствах. Исследования проводили по ГОСТ 21793–76 «Пластмассы. Метод определения кислородного индекса». Метод заключается в определении минимальной концентрации кислорода в потоке смеси кислорода с азотом, движущемся со скоростью (4 ± 1) см/с, которая обеспечивает горение образца в течение (180 ± 3) с или на длину (50 ± 1) мм в зависимости от того, какое условие будет выполнено раньше. Для испытаний используют образцы размером 120×10 мм.

Результаты

Результаты испытаний по определению характеристик пожарной безопасности (продолжительность остаточного горения, длина прогорания, критический тепловой поток затухания и др.) ПКМ для изготовления элементов внешнего контура авиационной техники в условиях теплового потока переменной интенсивности приведены в таблице.

Результаты испытаний образцов стекло- и углепластиков на распространение пламени по горизонтальной поверхности в условиях теплового потока переменной интенсивности

Материал	Толщина образца, мм	Критический тепловой поток, при котором гаснет образец, Вт/см ²	Продолжительность остаточного горения, с	Длина обугливания, мм	Интервалы прохождения пламени, мм	Средний тепловой поток на интервале, Вт/см ²	Средняя скорость распространения пламени на интервале, мм/с
Стеклопластик на основе стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212	1,15	0,74	523	398	0–100	1,73	0,96
					100–200	1,55	1,42
					200–300	1,23	1,56
					300–400	0,87	0,72
					400–500	0,58	0
Стеклопластик на основе клеевого препрега КМКС-2м	1,10	1,21	327	256	0–100	1,73	1,15
					100–200	1,55	0,97
					200–300	1,23	0,46
					300–400	0,87	0
Углепластик на основе углеродной ткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212	1,00	1,11	294	290	0–100	1,73	1,28
					100–200	1,55	1,53
					200–300	1,23	1,35
					300–400	0,87	0,68
					400–500	0,58	0
Углепластик на основе клеевого препрега КМКУ-2м	1,17	1,69	271	71	0–100 100–200	1,73 1,55	1,33 0

Образцы стеклопластиков на основе клеевого препрега КМКС-2м и на основе стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212 имеют большую длину прогорания и продолжительность самостоятельного горения, гаснут при довольно низких значениях теплового потока.

Наилучшие результаты показали образцы углепластиков на основе клеевого препрега КМКУ-2м и на основе углеродной ткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212. Продолжительность остаточного горения и длина обугливания образцов имеют минимальные значения, их самостоятельное погасание происходит при высоком тепловом потоке за минимальный промежуток времени.

Таким образом, установлено, что испытанные образцы углепластиков на основе клеевого препрега КМКУ-2м и углеродной ткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212 имеют лучшую пожарную безопасность, чем аналогичные исследуемые образцы из стеклопластиков.

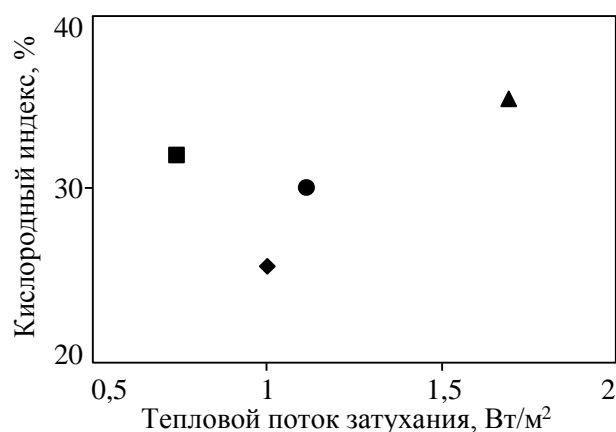
В ходе испытаний методом кислородного индекса (КИ) установлено, что испытанные образцы имеют следующие значения КИ, %:

стеклопластик на основе

- клеевого препрега КМКС-2м 26;
- стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212 32;

углепластик на основе

- клеевого препрега КМКУ-2м 35;
- углеродной ткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212 30.



Сопоставление методов испытаний по кислородному индексу и по распространению пламени по горизонтальной поверхности в условиях теплового потока переменной интенсивности образцов из стекло- (◆, ■) и углепластиков (▲, ●) на основе клеевого препрега КМКС-2м (◆, ▲) и стекло- (■) и углеткани (●) фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212

На рисунке представлено сопоставление методов испытаний, используемых в данной работе, по кислородному индексу и по распространению пламени по горизонтальной поверхности в условиях теплового потока переменной интенсивности. Видно, что полученные результаты по величинам КИ и критического теплового потока для стеклопластиков не коррелируют между собой – при большем тепловом потоке затухания наблюдается меньший кислородный индекс.

Обсуждение и заключения

Проведены исследования по пожарной безопасности стекло- и углепластиков (на основе клеевого препрега КМКС-2м и на основе стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212), перспективных для изготовления внешнего контура авиационной техники, при распространении пламени по горизонтальной поверхности в условиях теплового потока переменной интенсивности.

Установлено, что испытанные образцы из углепластиков на основе клеевого препрега КМКУ-2м и на основе стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212 имеют лучшую пожарную безопасность, чем образцы из стеклопластиков на основе клеевого препрега КМКС-2м и на основе стеклоткани фирмы Porcher и связующего ВСЭ-1212, так как происходит их самостоятельное погасание при более высоком тепловом потоке.

Проведена оценка пожарной безопасности стекло- и углепластиков методом кислородного индекса, позволяющего сопоставлять различные материалы между собой и обнаруживать даже небольшие изменения в их пожарно-технических свойствах.

Не обнаружено однозначной корреляционной зависимости между значениями критического теплового потока затухания и величинами кислородного индекса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов В.Н. Элементы научно-технического задела в механике конструкций перспективных летательных аппаратов //Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. №4 (5). С. 2482–2484.
2. 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.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники //Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.

4. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки /В кн. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди; Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ. 2012. С. 505–509.
5. Гаращенко А.Н., Рудзинский В.П., Каледин В.О. Обеспечение требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композиционных материалов с помощью огнезащиты //Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. №8 (145). С. 143–149.
6. Гаращенко А.Н., Гаращенко Н.А., Рудзинский В.П., Суханов А.В., Мараховский С.С., Теминовский И.В. Пожаробезопасность строительных конструкций из полимерных композиционных материалов //Конструкции из композиционных материалов. 2010. №2. С. 45–59.
7. 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.
8. Барботько С.Л., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Круглов Е.Ю. Об определении теплот сгорания и тепловыделения при горении полимерных материалов //Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. №5. С. 25–32.
9. Зубкова Н.С. Полимерные материалы пониженной пожарной опасности. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина. 2004. С. 3–9.
10. Барботько С.Л., Шуркова Е.Н. О пожарной безопасности материалов, используемых для изготовления внешнего контура самолетов //Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. №10. С. 19–24.
11. Барботько С.Л., Барботько М.С., Вольный О.С., Постнов В.И. Влияние длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов //Пожаровзрыво-безопасность. 2014. Т. 23. №1. С. 12–20.
12. Барботько С.Л., Швец Н.И., Застрогина О.Б., Изотова Т.Ф. Исследование влияния толщины стеклопластиков на характеристики тепловыделения при горении //Пожаровзрыво-безопасность. 2013. Т. 22. №7. С. 30–36.
13. Барботько С.Л., Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Скрылёв Н.С. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 56–59.
14. Кириенко О.А., Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Барботько С.Л. Исследование влияния различных защитных покрытий на характеристики пожарной безопасности теп-

- ловой акустической изоляции фюзеляжа //Труды ВИАМ. 2014. №10. Ст. 07 (viam-works.ru).
15. Скрылёв Н.С., Вольный О.С., Постнов В.И., Барботько С.Л. Исследование влияния тепловых факторов климата на изменение характеристик пожаробезопасности полимерных композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №9. Ст. 05 (viam-works.ru).
16. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Луценко А.Н., Шуркова Е.Н. Сопоставление методов оценки пожарной опасности полимерных материалов в различных отраслях транспорта и промышленности //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2015. №1. С. 2–9.

REFERENCES LIST

1. Semenov V.N. Jelementy nauchno-tehnicheskogo zadela v mehanike konstrukcij perspektivnyh letatel'nyh apparatov [Elements of scientific and technical backlog in mechanics of designs of perspective flight vehicles] //Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2011. №4 (5). S. 2482–2484.
2. Kablov E.N. Innovacionnye razrabotki FGUP «VIAM» GNC RF po realizacii «Strategicheskikh napravlenij razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda» [Innovative development of VIAM Federal State Unitary Enterprise of GNTs Russian Federation on implementation «The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030»] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2015. №1 (34). S. 3–33.
3. Kablov E.N. Materialy i himicheskie tehnologii dlja aviacionnoj tehniki [Materials and chemical technologies for aviation engineering] //Vestnik Rossijskoj akademii nauk. 2012. T. 82. №6. S. 520–530.
4. Strategicheskie napravlenija razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki [Strategic directions of development of materials and technologies of their processing] /V kn. Istorija aviacionnogo materialovedenija. VIAM – 80 let: gody i ljudi; Pod obshh. red. E.N. Kablova. M.: VIAM. 2012. S. 505–509.
5. Garashhenko A.N., Rudzinskij V.P., Kaledin V.O. Obespechenie trebuemyh pokazatelej pozharobezопасnosti konstrukcij iz polimernyh kompozicionnyh materialov s pomoshh'ju ognezashhity [Providing required indicators of fire safety of designs from polymeric composite materials with the help ognezashchity] //Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. 2013. №8 (145). S. 143–149.

6. Garashhenko A.N., Garashhenko N.A., Rudzinskij V.P., Suhanov A.V., Marahovskij S.S., Teminovskij I.V. Pozharobezopasnost' stroitel'nyh konstrukcij iz polimernyh kompozicionnyh materialov [Fire safety of construction designs from polymeric composite materials] //Konstrukcii iz kompozicionnyh materialov. 2010. №2. S. 45–59.
7. Shurkova E.N., Vol'nyj O.S., Izotova T.F., Barbot'ko S.L. Issledovanie vozmozhnosti snizhenija teplovydelenija pri gorenii kompozicionnogo materiala putem izmenenija ego struktury [Research of possibility of decrease in heat release when burning composite material by change of its structure] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 27–30.
8. Barbot'ko S.L., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B., Kruglov E.Ju. Ob opredelenii teplot sgoranija i teplovydelenija pri gorenii polimernyh materialov [About determination of combustion heats and heat release when burning polymeric materials] //Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21. №5. S. 25–32.
9. Zubkova N.S. Polimernye materialy ponizhennoj pozharnoj opasnosti [Polymeric materials of the lowered fire danger]. M.: MGTU im. A.N. Kosygina. 2004. S. 3–9.
10. Barbot'ko S.L., Shurkova E.N. O pozharnoj bezopasnosti materialov, ispol'zuemyh dlja izgotovlenija vneshnego kontura samoletov [About fire safety of the materials used for manufacturing of external circuit of airplanes] //Pozharovzryvobezopasnost'. 2011. T. 20. №10. S. 19–24.
11. Barbot'ko S.L., Barbot'ko M.S., Vol'nyj O.S., Postnov V.I. Vlijanie dlitel'nogo teplovogo vozdejstvija na pozharobezopasnost' polimernyh materialov [Influence of long thermal influence on fire safety of polymeric materials] //Pozharovzryvobezopasnost'. 2014. T. 23. №1. S. 12–20.
12. Barbot'ko S.L., Shvec N.I., Zastrogina O.B., Izotova T.F. Issledovanie vlijanija tolshhiny stekloplastikov na harakteristiki teplovydelenija pri gorenii [Research of influence of thickness of fibreglasses on heat release characteristics when burning] //Pozharovzryvobezopasnost'. 2013. T. 22. №7. S. 30–36.
13. Barbot'ko S.L., Shurkova E.N., Vol'nyj O.S., Skryljov N.S. Ocenka pozharnoj bezopasnosti polimernyh kompozicionnyh materialov dlja vneshnego kontura aviacionnoj tehniki [Assessment of fire safety of polymeric composite materials for external circuit of aviation engineering] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 56–59.
14. Kirienko O.A., Shurkova E.N., Vol'nyj O.S., Barbot'ko S.L. Issledovanie vlijanija razlichnyh zashhitnyh pokrytij na harakteristiki pozharnoj bezopasnosti teplovoj akusticheskoj izoljaciji fjuzeljaza [Research of influence of different protecting covers on characteristics of fire safety of thermal acoustic insulation of fuselage] //Trudy VIAM. 2014. №10. St. 07 (viam-works.ru).

15. Skryljov N.S., Vol'nyj O.S., Postnov V.I., Barbot'ko S.L. Issledovanie vlijanija teplovyh faktorov klimata na izmenenie harakteristik pozharobezopasnosti polimernyh kompozicionnyh materialov [Research of influence of thermal factors of climate on change of characteristics of fire safety of polymeric composite materials] //Trudy VIAM. 2013. №9. St. 05 (viam-works.ru).
16. Barbot'ko S.L., Vol'nyj O.S., Kirienko O.A., Lucenko A.N., Shurkova E.N. Sopostavlenie metodov ocenki pozharnoj opasnosti polimernyh materialov v razlichnyh otrasljah transporta i promyshlennosti [Comparison of methods of assessment of fire danger of polymeric materials in the different industries of transport and the industry] //Vse materialy. Jenciklopedicheskij spravocnik. 2015. №1. S. 2–9.