

Научная статья

УДК 614.841.12:536.46

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-9-131-142

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ ОБРАЗЦОВ ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ

О.С. Вольный¹, С.Л. Барботько¹, М.А. Венедиктова¹, А.Н. Луценко¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Проведены огневые испытания по определению эффективности действия огнезащитного интумесцентного покрытия. Установлено, что стандартная методика проведения огневых испытаний не обеспечивает получения адекватных воспроизводимых результатов. Предложена модификация методики и выполнены испытания большого количества образцов (>30). Установлено, что при использовании модифицированной методики испытаний обеспечивается высокая воспроизводимость получаемых результатов, на основании чего сделан вывод о корректности работы модифицированной методики.

Ключевые слова: огнестойкость, огнепроницаемость, огневые испытания, пожаробезопасность, интумесцентное покрытие, огнезащитное покрытие

Для цитирования: Вольный О.С., Барботько С.Л., Венедиктова М.А., Луценко А.Н. Методические особенности проведения испытаний на огнестойкость образцов интумесцентных покрытий // Труды ВИАМ. 2022. № 9 (115). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-9-131-142.

Scientific article

THE METHODOLOGICAL FEATURES OF TESTING ON FIRE RESISTANCE THE SAMPLES WITH INTUMESCENT COATINGS

O.S. Volniy¹, S.L. Barbotko¹, M.A. Venediktova¹, A.N. Lutsenko¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. Fire tests were carried out to determine the effectiveness of the fire-retardant intumescent coating. It has been established that the standard methodology for conducting fire tests does not provide adequate reproducible results. A modification of the methodology was proposed and a large number of samples (>30) were tested. It has been established that when using a modified test procedure, high reproducibility of the results obtained is ensured.

Keywords: fire resistance, fire proof, fire test, fire safety, intumescent coating, fire retardant coating

For citation: Volniy O.S., Barbotko S.L., Venediktova M.A., Lutsenko A.N. The methodological features of testing on fire resistance the samples with intumescent coatings. *Trudy VIAM*, 2022, no. 9 (115), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-9-131-142.

Введение

Требования по обеспечению пожарной безопасности, предъявляемые к используемым материалам, изготавливаемым и применяемым изделиям, конструкциям или сооружениям являются одними из основных нормативных требований в большинстве стран мира. В мировой практике действуют как международные нормативные документы, так и региональные (федеральные, государственные). Например, в Российской Федерации действуют

принятые федеральные законы и Распоряжение Правительства Российской Федерации [1–3], а также ряд других нормативных документов, требующих обеспечить выполнение установленных норм по пожарной безопасности применяемых материалов, конструкций, зданий и сооружений, транспортных средств или иных объектов.

В зависимости от типа объекта различаются как применяемые требования по нормируемым видам пожарной опасности и предельно допустимым значениям, так и сами методы огневых испытаний.

Например, для авиационной отрасли основополагающими документами являются Авиационные правила [4, 5], в которых имеются специальные разделы и параграфы, посвященные пожарной безопасности. Описываемые в этих нормах методы испытаний отличаются от применяемых для других видов транспорта или для зданий и сооружений.

Авиационная техника является одной из наиболее высоконагруженных и сочетает ограниченность пространства, в котором расположены пассажиры, большие запасы углеводородного топлива и сложность, связанную с быстрой эвакуацией людей в случае возникновения аварийной ситуации во время полета. В связи с этим требования по пожарной безопасности применяемых материалов, огнезащите пожароопасных зон и обеспечению работоспособности функциональных и управляющих устройств являются очень жесткими [6]. Одними из норм по пожаробезопасности материалов авиационного назначения являются требования по обеспечению огнестойкости и огнестойкости. Однако, в отличие от других обязательных методов огневых испытаний, используемых в авиационной отрасли, непосредственного описания метода испытаний на огнестойкость и огнестойкость (или ссылки на используемый метод испытания) в тексте авиационных правил не приведено. За рубежом эта проблема решается путем использования дополнительных вспомогательных материалов [7–11], расширенного издания авиационных норм [12], технических отчетов, например документ [13]. В Российской Федерации такие вспомогательные материалы применительно к авиационной отрасли в настоящее время практически отсутствуют, в связи с чем фактически существует нормативно-правовой вакуум по методологии проведения испытаний на огнестойкость и огнестойкость. В работе [14] рассмотрены возможные методы огневых испытаний для подтверждения соответствия требованиям по огнестойкости и огнестойкости материалов и конструкций мотогондол авиационных двигателей и других пожароопасных зон.

Для определения огнестойкости в авиационной отрасли наибольшее распространение получили два варианта испытаний: метод керосиновой горелки, описанный в американском отчете [13], и метод с использованием мультитопливной многогорючей горелки, изложенный в международном стандарте ISO 2685:1998(E) [15]. Метод испытаний на огнестойкость с использованием горелки по ISO 2685:1998(E) включен в номенклатуру рекомендованных методов испытаний в Европейском сообществе [12]. Испытания, выполненные в DGA Aeronautical Systems (ранее – Европейский центр испытаний авиационной техники в Тулузе, Франция – CEAT) [16–18], показали возможность использования многогорючей горелки для оценки огнестойкости авиационных материалов. Однако специалисты Технического центра Федерального авиационного управления (FAA) США считают допустимым для определения огнестойкости использовать только керосиновую горелку [19], хотя показано, что по интенсивности воздействия пламя многогорючей горелки не уступает керосиновой горелке [20].

Другим, не менее важным этапом работ, кроме проведения сертификационных огневых испытаний, является создание новых, более совершенных материалов [21–24], в том числе обеспечивающих выполнение требований по огнестойкости и созданию огнестойких конструктивных элементов [25–27]. В настоящее время наиболее

эффективными с точки зрения огнезащиты являются интумесцентные (вспучивающиеся) покрытия, образующие при воздействии пламени (повышенной температуры, теплового потока) пенококс, затрудняющие дальнейший нагрев защищаемого материала и обеспечивающие сохранение работоспособности конструкции в течение необходимого времени.

Для сравнительной оценки новых разрабатываемых материалов с существующими аналогами необходимо проведение огневых испытаний. Однако в ряде случаев при проведении таких испытаний возникают методические проблемы, требующие последующего решения. Именно идентификации одной из проблем и поиску ее решения и посвящена данная статья.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ (далее – ВИАМ) в рамках реализации комплексной научной проблемы 2.2. «Квалификация и исследования материалов» стратегического направления 2. «Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [21–24].

Материалы и методы

Испытания на огнестойкость и огнестойкость материалов авиационного назначения в последние годы в ВИАМ выполнялись по методике, приведенной в стандарте организации СТО 1-595-20-532–2017 [28]. Данный стандарт разработан на основе части стандарта ISO 2685:1998(E) и использует многорожковую газовую горелку. Конструкция горелки приведена на рис. 1, соотношение открытой поверхности образца (200×200 мм) и диаметра сопла горелки (Ø180 мм) обеспечивает создание практически равномерного температурного поля по большей части образца. В нижнюю часть горелки подается смесь воздуха и топлива (метан, пропан) в соотношении от 0,5 до 1,0 от стехиометрического. В верхнюю часть горелки подается дополнительное количество воздуха для охлаждения верхней панели горелки (сопла) и обеспечения лучшей полноты сгорания топлива. Точная регулировка количеств подаваемого воздуха и топлива в горелку осуществляется на этапе калибровки по температуре.

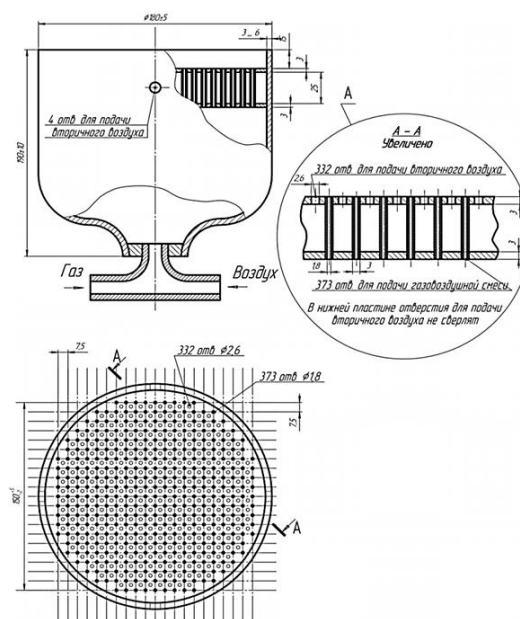


Рис. 1. Конструкция многорожковой мультитопливной горелки для испытаний на огнестойкость и огнестойкость

Согласно нормативным документам, используемым в авиационной отрасли [11, 12, 15, 29], испытания на огнестойкость и огнестойкость материалов авиационного назначения проводятся при постоянном температурном режиме, при котором температура пламени составляет 1100 ± 80 °С в зоне воздействия пламени на образец.

Для испытаний, согласно разработанному и применяемому в ВИАМ стандарту организации СТО 1-595-20-532–2017, используются образцы размером 250×250 мм, которые устанавливаются в держатель образца (рис. 2) на специальную монтажную раму. Жесткая фиксация образца при помощи крепежных рамок обеспечивает создание практически газонепроницаемого соединения, предотвращающего выход открытого пламени, продуктов пиролиза и горения на необогреваемую сторону образца.

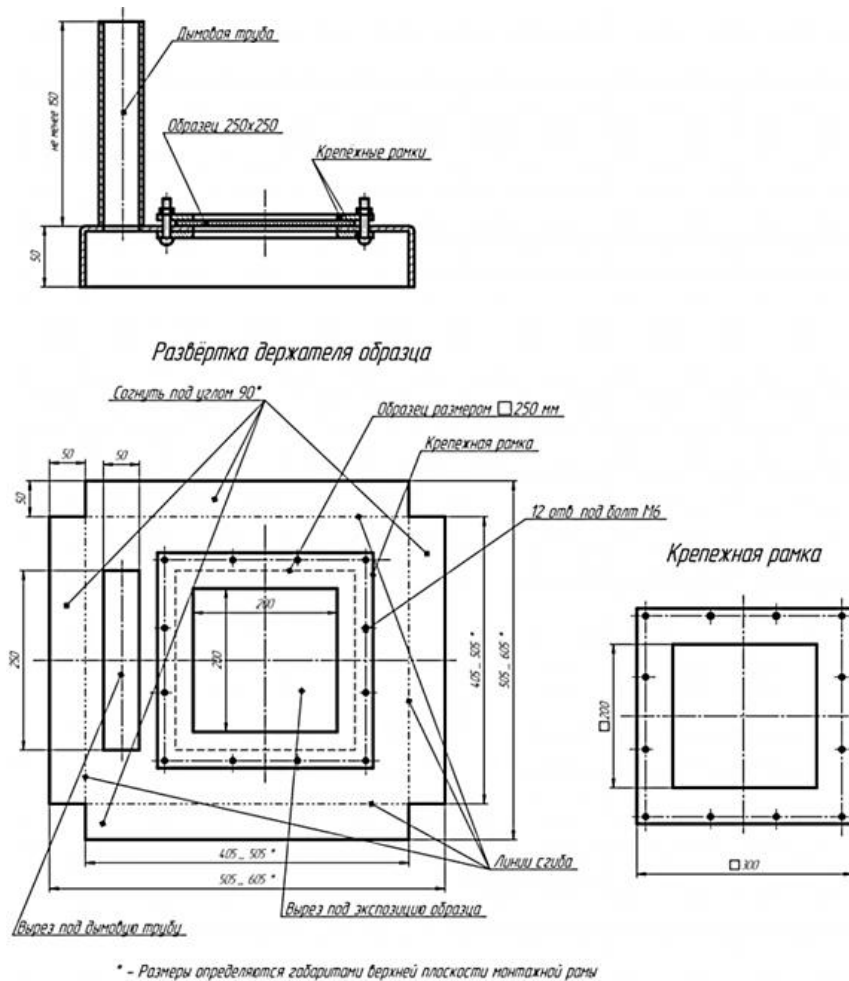


Рис. 2. Конструкция держателя образца

Внешний вид монтажной рамы с установленной горелкой приведен на рис. 3.

Стандарт СТО 1-595-20-532–2017 предусматривает несколько вариантов проведения испытаний: в условиях естественной конвекции (тыльная сторона охлаждается за счет свободного излучения и естественной конвекции), вынужденной конвекции (тыльная сторона охлаждается набегающим потоком воздуха) и с теплоизолированной тыльной стороной. Во всех трех вариантах испытаний, кроме контроля целостности образца, возможно проведение измерений температуры тыльной (необогреваемой) поверхности образца. Кроме того, при проведении испытаний по второму варианту возможно измерение температуры воздуха на расстоянии 100 мм над поверхностью образца.



Рис. 3. Монтажная рама с установленной в вертикальном положении горелкой

Для измерения, регистрации и контроля температуры пламени совместно с термодатчиками использовали регистрационно-измерительное устройство – регистратор многоканальный технологический РМТ-59М (НПП «ЭЛЕМЕР», Россия), который обеспечивает непрерывное измерение, регистрацию и запись данных одновременно со всех используемых термодатчиков. В данном случае при проведении испытаний использовали режим, обеспечивающий регистрацию информации 1 раз в секунду.

Проведение исследований выполнено на образцах интумесцентного огнезащитного покрытия разработки ВИАМ. Данный материал характерен тем, что для обеспечения эффективной теплозащиты при воздействии открытого пламени образуется прочный высокократный пенококс с относительно низкой теплопроводностью.

В соответствии со стандартом на метод испытания изготовлены образцы размером 250×250 мм. Образцы представляли собой лист из алюминиевого сплава Д16-АТ толщиной 2 мм, на который в несколько слоев нанесено огнезащитное покрытие. Общая толщина образца после высыхания покрытия составляла ~7 мм. Все образцы до проведения испытаний предварительно кондиционированы согласно ГОСТ 12423–2013 при температуре 23 ± 1 °С и относительной влажности 50 ± 5 % в течение не менее 24 ч.

Результаты и обсуждение

Ранее проведенные экспериментальные и теоретические исследования [30, 31] показали работоспособность и адекватность используемого метода при выполнении испытаний образцов из металлических сплавов, полимерных композиционных или гибридных (металлополимерных) материалов. Однако при проведении испытаний интумесцентного покрытия возникли сложности.

Огнезащитное покрытие обладает ярко выраженным интумесцентным эффектом – при воздействии высоких температур происходит термодеструкция полимерной составляющей, вспенивание и коксование. При этом кратность образующегося пенококса (отношение толщины образовавшегося пенококса к толщине исходного материала) составляет >10 (рис. 4).

Высокая кратность образующегося пенококса приводила к расклиниванию образца между держателем и крепежной рамкой, что приводило к деформированию крепежных элементов и повышало сложность демонтажа испытанного образца.

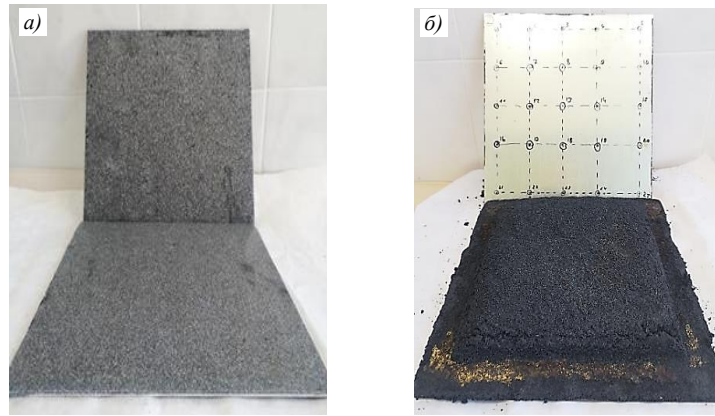


Рис. 4. Внешний вид образца с интумесцентным покрытием в исходном состоянии (а) и после огневых испытаний (б)

Конкретно для этих испытываемых образцов толщина образовавшегося пенококса превышала 80 мм. С учетом того, что расстояние от лицевой поверхности образца до среза сопла горелки составляет немногим более 5 см, расстояние от среза сопла горелки до форсунок 15 мм и толщина самого покрытия ~5 мм, то получаем, что пенококс заполняет собой все возможное пространство между металлическим листом основы и форсунками горелки.

Вследствие сильного коксообразования происходило изменение фронта пламени: частично пламя отклонялось в боковые стороны от образца, а частично (под действием избыточного давления газа, воздуха и образовавшихся продуктов горения горючего газа) – вдувалось внутрь пенококса, где и происходило его догорание. Такое искажение фронта пламени приводило к получению некорректных результатов и сопровождалось большим разбросом данных параллельных испытаний одинаковых образцов – разброс данных по температурам на тыльной стороне образцов мог превышать 100 °С (рис. 5).

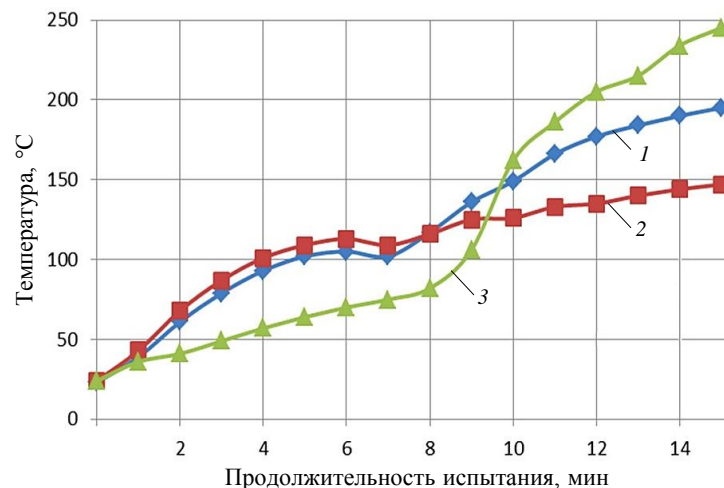


Рис. 5. Изменение температуры тыльной поверхности образцов с интумесцентным покрытием при жестком закреплении образцов 1–3

Первоначально высказана гипотеза, что данный разброс значений может быть вызван искажением фронта пламени газовой горелки и большей степенью прогрева металлической конструкции держателя образца. Однако дополнительная теплоизоляция

внешней поверхности держателя образца при помощи термостойкого неорганического покрытия с низкой теплопроводностью не привела к существенному изменению регистрируемых результатов.

Предложено попробовать увеличить расстояние между горелкой и поверхностью исходного образца. Однако увеличение изначального расстояния между срезом сопла горелки и лицевой поверхностью образца нежелательно, так как в этом случае в начальный период времени образец оказывается в зоне пламени с более низкой температурой – на $\sim(50-150)$ °С меньше необходимых 1100 °С.

Для решения задачи постоянного (регулируемого) расстояния между источником нагрева и лицевой поверхностью испытываемого материала существует специальное испытательное оборудование [32]. В данном оборудовании имеется специальный механизм, позволяющий во время проведения испытания принудительно передвигать нагревательную панель относительно держателя с образцом, обеспечивая таким образом необходимое расстояние между нагревательными элементами и лицевой поверхностью образца, а также обеспечивая либо сохранение воздействия постоянного теплового потока на поверхность, либо изменение его интенсивности по заданному временному закону.

В используемом в данной работе испытательном оборудовании принудительное регулируемое изменение расстояния между срезом сопла горелки и поверхностью образца непосредственно во время испытаний потребовало бы внесения серьезных изменений в конструкцию оборудования, что фактически невыполнимо на данном этапе работ. Поэтому в качестве возможного устранения данной проблемы решено отказаться от необходимости закрепления испытываемого образца с помощью жестко фиксируемой крепежной рамки.

Данное решение несколько снижало газоплотность стыка между образцом и держателем образца, но одновременно обеспечивало свободное перемещение образца по мере вспучивания покрытия в зазоре между металлической основой образца и нижней крепежной рамкой. При этом хотя расстояние между лицевой поверхностью испытываемого образца и срезом сопла горелки несколько уменьшалось в процессе испытания, но перекрытия сопла горелки образующимся пенококсом не происходило.

Внедренное методическое решение позволило получать данные с хорошей воспроизводимостью (рис. 6). Выполненный комплекс испытаний образцов интумесцентного покрытия (более 10 различных комплектов образцов, по 3 образца для параллельных испытаний в каждом комплекте, т. е. всего >30 образцов) подтвердил правильность принятого технологического решения.

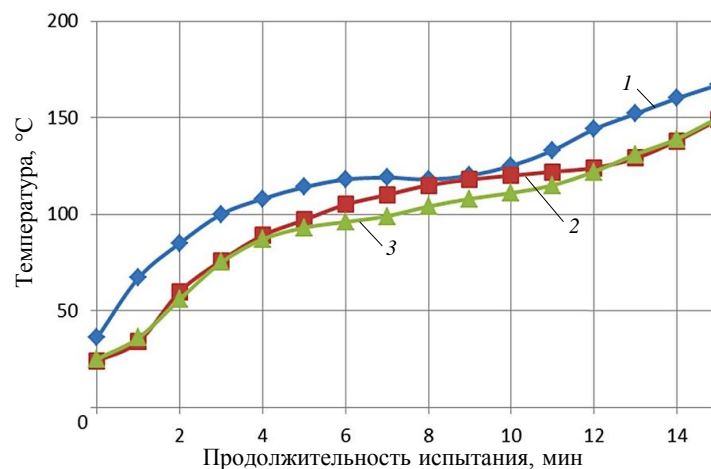


Рис. 6. Изменение температуры тыльной поверхности образцов с интумесцентным покрытием при свободно расположенных образцах 1–3

Заключения

Проведены огневые испытания огнезащитного интумесцентного материала.

Установлено, что при стандартной процедуре проведения испытаний на огнестойкость получают некорректные данные вследствие образования высокократного пенококса, изменяющего работу газовой горелки.

Предложено методическое решение, позволяющее устранить проблему и добиться адекватных результатов огневых испытаний с удовлетворительной воспроизводимостью данных.

Список источников

1. О пожарной безопасности: Федер. закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 01.02.2022).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон № 123-ФЗ от 22.07.2008. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 01.02.2022).
3. Перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и осуществления оценки соответствия: Распоряжение Правительства РФ от 10 марта 2009 г. № 304-р. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902146883> (дата обращения: 01.02.2022).
4. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат, 2009. 267 с.
5. Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes: Part 25 // Code of Federal Regulation. URL: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=9091f0ebbf1539cdb87015908ad369&mc=true&node=pt14.1.25&rgn=div5> (дата обращения: 01.02.2022).
6. 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.
7. Aircraft Materials Fire Test Handbook: Report DOT/FAA/AR-00/12 / Federal Aviation Administration. Atlantic City, 2000. 234 p. URL: <https://www.abbottaerospace.com/downloads/dot-faa-ar-00-12-aircraft-materials-fire-test-handbook/> (дата обращения: 01.02.2022).
8. Fire Protection: Systems: AC 25.869-1A / Aircraft Certification Service, Transport Airplane Directorate. 2007. 11 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/74393 (дата обращения: 10.02.2022).
9. Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes: AC 25.1701-1 / Aircraft Certification Service, Transport Airplane Directorate. 2007. 92 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/73476 (дата обращения: 10.02.2022).
10. Engine fire Protection: AC 33.17-1A / Aircraft Certification Service, Engine & Propeller Directorate – Rulemaking & Policy. 2009. 12 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/99608 (дата обращения: 10.02.2022).
11. Powerplant Installation and Propulsion System Component Fire Protection Test Methods, Standards, and Criteria: AC 20-135 / Policy and Innovation Division. 1990. 18 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22194 (дата обращения: 10.02.2022).
12. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes: CS-25. 2020. URL: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-25%20Amendment%2024.pdf> (дата обращения: 01.02.2022).

13. Revised Power Plant Engineering Report No. 3A. Standard Fire Test Apparatus and Procedure (For Flexible Hose Assemblies): AC 20-104. Aviation Safety – Aircraft Certification Service, Aircraft Engineering Division, 1978. 35 p. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22049 (дата обращения: 01.02.2022).
14. Барботько С.Л., Кириенко О.А., Вольный О.С., Луценко А.Н. Анализ пожарной опасности мотогондол авиационных двигателей и других пожароопасных зон; используемые методы огневых испытаний материалов и конструктивных элементов на соответствие требованиям авиационных норм // Проблемы безопасности полетов. 2017. № 5. С. 3–24.
15. ISO 2685:1998(E). Aircraft – Environmental test procedure for airborne equipment – Resistance to fire in designated fire zones. International Standard Organization, 1998. 34 p.
16. Le Neve S. Fire behavior of structural composite materials // 5th International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, 2007. 27 p.
17. Le Neve S. Fire behavior of structural composite materials (progress in the work) // 6th International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, 2010. 39 p.
18. Le Neve S. AC 20-135 / ISO 2685, Fire tests on components used in fire zones. Comparison of gas burner to oil burner // Proceedings of the FAA Materials Meeting. Atlantic City, 2008. 26 p.
19. Development of Next Generation Burner Characteristics for Fire Testing of Power Plant Materials and Components: Report DOT/FAA/TC-13/38 / Department of Aerospace Engineering and Engineering Mechanics University of Cincinnati. Cincinnati, 2015 52 p.
20. Laborie D. Fire Test Burner Evaluation // International Aircraft Systems Fire Protection Working Group Meeting. Atlantic City, 2015. 8 p.
21. Kablov E.N. New generation materials and technologies for their digital processing // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2020. Vol. 90. No. 2. P. 225–228.
22. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // Директор по маркетингу и сбыту. 2017. № 5–6. С. 40–44.
23. Каблов Е.Н. Материалы – основа любого дела // Деловая слава России. 2013. № 2. С. 4–9.
24. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГИЦ 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.
25. Венедиктова М.А., Петрова А.П., Барботько С.Л., Брык Я.А. Применение новых экологически безопасных антипиренов в составе теплозащитной шпатлевки // Труды ВИАМ. 2020. № 9 (91). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 24.02.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-35-43.
26. Венедиктова М.А., Евдокимов А.А., Краснов Л.Л., Петрова А.П. Исследование возможности применения огнезащитной пасты для повышения пожаробезопасности конструкций из ПКМ // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 24.02.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-67-75.
27. Антипов В.В. Научно-технологические основы разработки слоистых алюмокомпозитов нового поколения с варьируемыми физико-механическими свойствами на основе листов из алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2021. 44 с.
28. Барботько С.Л., Вольный О.С., Боченков М.М. Методы оценки пожароопасности теплоогнезащитных материалов // Материалы Всерос. науч.-техн. конф. «Фундаментальные и прикладные исследования в области уплотнительных, герметизирующих и огнетеплозащитных материалов». М.: ВИАМ, 2019. С. 105–118.
29. Пожарная безопасность: РЦ-АП 33.17 / Межгосударственный авиационный комитет. Авиационный регистр. М.: МАК, 2005. 15 с.
30. Барботько С.Л., Вольный О.С., Вешкин Е.А., Гончаров В.А. Оценка огнестойкости материалов и конструктивных элементов для авиационной техники // Авиационная промышленность. 2018. № 2. С. 63–67.

31. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Шуркова Е.Н. Построение математической модели и расчет температур образцов при испытаниях на огнестойкость // Труды ВИАМ. 2017. № 7 (55). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.02.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-7-12-12.
32. Гаращенко А.Н., Кульков А.А., Страхов В.Л. Влияние срока эксплуатации на огнезащитную эффективность вспучивающихся покрытий и огнестойкость конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 2 (67). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.06.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-97-110.

References

1. *About fire safety*: Federal Law (December 21, 1994, No. 69-FZ). Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (accessed: February 01, 2022).
2. *Technical regulations on fire safety requirements*: Feder. Law (July 22, 2008, No. 123-FZ). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (accessed: February 01, 2022).
3. *The list of national standards containing the rules and methods of research (testing) and measurements, including the rules for sampling, necessary for the application and execution of the Federal Law "Technical Regulations on Fire Safety Requirements" and the implementation of conformity assessment*: Order of the Government of the Russian Federation of (March 10, 2009, No. 304-r). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902146883> (accessed: February 01, 2022).
4. *Airworthiness standards for transport category aircraft: AP-25*: approved. Decree of the 28th session of the Council on Aviation and the Use of Airspace on 11.12.2008. 3rd ed. with amendments 1-6. Moscow: Aviaizdat, 2009, 267 p.
5. *Airworthiness Standards: Transport Category Airplanes: Part 25. Code of Federal Regulation*. Available at: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=9091f0ebbf1539cdb87015908ad369&mc=true&node=pt14.1.25&rgn=div5> (accessed: February 01, 2022).
6. Barbotko S.L., Volny O.S., Kirienko O.A., Shurkova E.N. *Evaluation of the fire safety of polymeric materials for aviation purposes: state analysis, test methods, development prospects, methodological features*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2018, 424 p.
7. *Aircraft Materials Fire Test Handbook*: Report DOT/FAA/AR-00/12. Federal Aviation Administration. Atlantic City, 2000, 234 p. Available at: <https://www.abbottaerospace.com/downloads/dot-faa-ar-00-12-aircraft-materials-fire-test-handbook/> (accessed: February 01, 2022).
8. *Fire Protection: Systems*: AC 25.869-1A. Aircraft Certification Service, Transport Airplane Directorate. 2007, 11 p. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/74393 (accessed: February 10, 2022).
9. *Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes*: AC 25.1701-1. Aircraft Certification Service, Transport Airplane Directorate, 2007, 92 p. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/73476 (accessed: February 10, 2022).
10. *Engine fire Protection*: AC 33.17-1A. Aircraft Certification Service Engine & Propeller Directorate – Rulemaking & Policy, 2009, 12 p. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/99608 (accessed: February 10, 2022).
11. *Powerplant Installation and Propulsion System Component Fire Protection Test Methods, Standards, and Criteria*: AC 20-135. Policy and Innovation Division, 1990, 18 p. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22194 (accessed: February 10, 2022).
12. *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes: CS-25*. 2020. URL: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-25%20Amendment%2024.pdf> (accessed: February 01, 2022).

13. *Revised Power Plant Engineering Report No. 3A. Standard Fire Test Apparatus and Procedure (For Flexible Hose Assemblies)*: AC 20-104. Aviation Safety – Aircraft Certification Service, Aircraft Engineering Division, 1978, 35 p. Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22049/ Available at: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22049 (accessed: February 01, 2022).
14. Barbotko S.L., Kirienko O.A., Volny O.S., Lutsenko A.N. Fire hazard analysis of aircraft engine nacelles and other fire hazardous areas; used methods of fire testing of materials and structural elements for compliance with the requirements of aviation standards. *Problemy bezopasnosti poletov*, 2017, no. 5, p. 3–24.
15. ISO 2685:1998(E). Aircraft – Environmental test procedure for airborne equipment – Resistance to fire in designated fire zones. International Standard Organization, 1998, 34 p.
16. Le Neve S. Fire behavior of structural composite materials. *5th International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference*. Atlantic City, 2007, 27 p.
17. Le Neve S. Fire behavior of structural composite materials (progress in the work). *6th International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference*. 2010, 39 p.
18. Le Neve S. AC 20-135 / ISO 2685 Fire tests on components used in fire zones. Comparison of gas burner to oil burner. *Proceedings of the FAA Materials Meeting*. Atlantic City, 2008, 26 p.
19. *Development of Next Generation Burner Characteristics for Fire Testing of Power Plant Materials and Components*: Report DOT/FAA/TC-13/38 / Department of Aerospace Engineering and Engineering Mechanics University of Cincinnati. Cincinnati, 2015, 52 p.
20. Laborie D. Fire Test Burner Evaluation. *International Aircraft Systems Fire Protection Working Group Meeting*. Atlantic City, 2015, 8 p.
21. Kablov E.N. New generation materials and technologies for their digital processing. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2020, vol. 90, no. 2, pp. 225–228.
22. Kablov E.N. Marketing of materials science, aircraft building and industry: present and future. *Direktor po marketingu i sbytu*, 2017, no. 5–6, pp. 40–44.
23. Kablov E.N. Materials are the basis of any business. *Delovaya Slava Rossii*, 2013, no. 2, pp. 4–9.
24. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
25. Venediktova M.A., Petrova A.P., Barbotko S.L., Bryk Ya.A. Application of new environmentally friendly organophosphorus flame retardants in the composition of heat-protective putty. *Trudy VIAM*, 2020, no. 9 (91), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 24, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-35-43.
26. Venediktova M.A., Evdokimov A.A., Krasnov L.L., Petrova A.P. Research of possibility of application of fireproof paste for increase of fire safety of designs from polymeric composite materials. *Trudy VIAM*, 2021, no. 9 (103), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 24, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-67-75.
27. Antipov V.V. *Scientific and technological foundations for the development of a new generation of layered alumina-glass-reinforced plastics with variable physical and mechanical properties based on low-density aluminum-lithium alloy sheets*: thesis abstract, Dr. Sc. (Tech.). Samara: Samara State Tech. University, 2021, 44 p.
28. Barbotko S.L., Volny O.S., Bochenkov M.M. Methods for assessing the fire hazard of heat-fireproof materials. *Materialy All-Rus. Sci.-tech. conf. "Fundamental and applied research in the field of sealing, sealing and fire-protective materials"*. Moscow: VIAM, 2019, pp. 105–118.
29. *Fire safety: RTs-AP 33.17 / Interstate Aviation Committee*. Aviation Register. Moscow: IAC, 2005, 15 p.
30. Barbotko S.L., Volny O.S., Veshkin E.A., Goncharov V.A. Evaluation of the fire resistance of materials and structural elements for aviation equipment. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 2018, no. 2, pp. 63–67.

31. Barbotko S.L., Volnyy O.S., Kiriyenko O.A., Shurkova E.N. Creation of the mathematical model and calculation of sample temperatures at tests on fire resistance. *Trudy VIAM*, 2017, no. 7 (55), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: February 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-7-12-12.
32. Garashchenko A.N., Kulkov A.A., Strakhov V.L. The effect of the service life on the flame-retardant efficiency of the bulging coatings and the fire resistance of structures. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 2 (67), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 29, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-97-110.

Информация об авторах

Вольный Олег Светозарович, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Барботько Сергей Львович, начальник сектора, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Венедиктова Мария Анатольевна, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Луценко Алексей Николаевич, заместитель начальника Испытательного центра, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Oleg S. Volniy, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Sergey L. Barbotko, Head of Sector, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Maria A. Venediktova, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleksey N. Lutsenko, Deputy Head of Testing Center, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 01.07.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 06.07.2022.
The article was submitted 01.07.2022; approved and accepted for publication after reviewing 06.07.2022.