

УДК 614.841.345:629.7.042.2

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

**АНАЛИЗ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ФЕДЕРАЛЬНОЙ
АВИАЦИОННОЙ АДМИНИСТРАЦИИ США
ПО РЕФОРМИРОВАНИЮ АВИАЦИОННЫХ НОРМ
В ЧАСТИ, КАСАЮЩЕЙСЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-101-117

Рассмотрен проект Федеральной авиационной администрации США по внесению изменений в текст авиационных норм в части, касающейся требований по пожаро-безопасности. В предлагаемом комплекте документов запланировано существенное изменение предъявляемых требований и используемых методов испытаний. После принятия в действие этой поправки для сертификации новых марок отечественной авиационной техники на соответствие зарубежным авиационным нормам, а также для создания конкурентоспособных материалов необходимо развитие отечественной испытательной базы для проведения огневых испытаний.

Ключевые слова: авиационные нормы, пожарная безопасность, методы испытаний, Федеральная авиационная администрация США, проекты изменений норм.

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

**ANALYSIS OF THE US FEDERAL AVIATION
ADMINISTRATION PROPOSALS FOR THE REFORM
OF AVIATION STANDARDS REGARDING
THE FIRE SAFETY OF USED MATERIALS (review)**

A draft of the US Federal Aviation Administration on amendments to the text of aviation standards regarding fire safety requirements is considered. In the proposed set of documents, a significant change in the requirements and the test methods used is planned. After the adoption of this amendment, in order to certify new brands of domestic aviation equipment for compliance with foreign aviation standards, as well as to create competitive materials, it is necessary to develop a domestic testing base for conducting fire tests.

Keywords: airworthiness regulations, fire safety, test methods, Federal Aviation Administration, proposed rulemaking.

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

Безопасность полетов на воздушном судне, по сравнению с безопасностью передвижения на других видах транспортных средств, находится на высоком уровне. Однако полностью исключить возможность гибели людей в случае возникновения аварийных ситуаций не представляется возможным. Одной из причин появления аварийных ситуаций или фактором, сопутствующим при их возникновении, является пожар [1–4]. Так, например, возгорание топлива из пробитого кессона при аварийной посадке самолета Сухой Суперджет-100 (RRJ-95B) и развитие мощного внешнего и внутреннего пожара привели к гибели более 50% пассажиров [5].

Требования по пожарной безопасности материалов, применяемых в конструкции или отделке авиационной техники, введены более 50 лет назад, но они постоянно совершенствуются [6]. Необходимость их развития определяется созданием новых материалов, удовлетворяющих более жестким требованиям, получением новых знаний о закономерностях процессов горения и методах повышения пожарной безопасности, а также количественным и качественным изменением используемых материалов.

За последние десятилетия произошли существенные изменения и в спектре применяемых материалов для изготовления конструкций авиационной техники, и в разнообразии перевозимых грузов. Так, например, в конструкции самолета В-787 >50% (по массе) (до 80% (объемн.)) приходится на полимерные композиционные материалы (ПКМ), общая масса которых составляет >50 тонн [7, 8]. В современных отечественных самолетах также растет доля используемых полимеров и создаются в свою очередь новые, более совершенные материалы [9–13].

До настоящего времени пожарная безопасность внешнего контура (фюзеляж, крыло, киль, стабилизаторы и т. п.) никак не нормировалась. Однако в современных самолетах существенно выросли количество и мощность электрогенерирующих, электропотребляющих и аккумулирующих устройств, неполадки с которыми приводят к возникновению аварийных ситуаций и являются основными причинами пожаров во время полета [14, 15]. Возгорание литиевых источников тока происходит в среднем один раз в 10 дней, и количество таких случаев растет год от года [16]. Применение литиевых источников тока в различных бытовых предметах, перевозимых в качестве груза или багажа, также является одним из опасных факторов несанкционированного воспламенения [17].

Ранее были рассмотрены основные направления работ отечественных и зарубежных исследователей по направлению пожарной безопасности авиационных материалов [18, 19] и методов огневых испытаний [6, 20–22]. Одна из важных составляющих этой деятельности – разработка предложений по совершенствованию нормативных документов, регламентирующих пожаробезопасность применяемых материалов, методической и экспериментальной базы для проведения испытаний. На конференциях и совещаниях, проводимых под руководством Федеральной авиационной администрации США (FAA), неоднократно рассматривался вопрос о необходимости внесения изменений в действующие нормативные документы [23, 24].

Результатом выполненных специалистами Технического центра FAA работ является комплекс документов, состоящий из новой редакции Справочника по методам испытаний материалов авиационного назначения (далее – Справочник) [25], проекта поправки в авиационные нормы и девяти проектов рекомендательных циркуляров, которые и будут рассмотрены ниже.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 2.2. «Квалификация и исследования материалов» стратегического направления 2. «Фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов и неразрушающий контроль» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» [26, 27].

Краткий анализ действующих авиационных норм

История развития отечественных и зарубежных авиационных норм в части предъявляемых требований по пожарной безопасности подробно рассмотрена в работах [6, 28].

Первая попытка ввести ограничения по горючести (скорости распространения пламени по горизонтально расположенному образцу) материалов предпринята в США в 1948 г. В 1964 г. FAA введены новые авиационные правила, в том числе изменяющие требования по ограничению горючести (стойкости к воспламенению) и огнестойкости

[29]. Аналогичные нормы в СССР были приняты в 1974 г. [30]. Фактически эти требования предписывали применение наиболее пожаробезопасных материалов из существующих, но без учета возможных типов пожаров – используемые материалы обеспечивали стойкость к отсутствию длительного горения только от малокалорийных источников воспламенения (спички, сигареты). Но начиная с 1984 г. ситуация существенно меняется – в СССР выпущена третья редакция авиационных норм, включающих требования по ограничению дымообразования и токсичности продуктов горения [31], а в США введены нормы по ограничению воспламеняемости подушек пассажирских кресел.

Так как в случае пожара наибольшее количество людей подвергаются опасности в больших самолетах (самолеты транспортной категории), наиболее жесткие требования по пожарной безопасности предъявляются к материалам, используемым именно на таком виде авиационной техники. Федеральная авиационная администрация США в течение 20 лет (1984–2003 гг.) периодически пересматривала нормативные документы и вводила комплекс новых требований, касающихся больших поверхностей (панелей) пассажирского (§ 25.853) и багажно-грузового отсеков (БГО) (§ 25.855), а также тепловой и звуковой (акустической) изоляции (ТЗИ) (§ 25.856), материалов электротехнического назначения – EWIS (§ 25.1713). Аналогичные требования включены и в отечественную редакцию части 25 Авиационных правил [32], максимально гармонизированных с зарубежными нормами. Требования по пожарной безопасности применяемых материалов, наряду с подробным описанием методов испытаний, включены в Части II–VII Приложения F авиационных норм [32–34].

Кроме этих требований по пожарной безопасности, непосредственно предъявляемых в § 25.853, 25.855 и 25.856 и описанных в Частях I–VII Приложения F, есть еще и другие. Как правило, это требования по огнестойкости или огнестойкости материалов (конструктивных элементов), применяемых в пожароопасных зонах. Существуют также требования, хотя они непосредственно и не описаны в Авиационных правилах, по стойкости материалов спасательных надувных конструкций к воздействию теплового потока.

Фактически во всех вышеперечисленных требованиях уже введены различия между разными видами пожарной опасности (в случае возникновения пожара во время полета и наземного пожара в результате аварии), но существование большого количества методов испытаний затруднило идентификацию, какой именно метод испытаний для материала какого назначения (функциональной зоны) должен применяться. Кроме того, наибольшие опасения в случае пожара во время полета представляют случаи воспламенения в так называемых «труднодоступных зонах», куда во время полета доступ членов экипажа с огнетушителем затруднен или невозможен, а именно в таких местах и регистрируется наибольшее количество возгораний [16].

Планируемые изменения по параграфам авиационных норм

Более пяти лет назад Федеральная авиационная администрация США приняла решение, что необходим новый подход к структуре требований по пожарной безопасности. Поскольку поправки к правилам с 1980-х гг. основывались фактически на оценке типа пожара, но не были структурированы таким образом в авиационных нормах, FAA определила, что требования должны соответствовать типу пожара, который может угрожать самолету. Однако из-за значительного масштаба рассматриваемых изменений FAA поручила разработать предложенный подход и дать рекомендации по совершенствованию авиационных норм Консультативному комитету по нормотворчеству в авиации (Aviation Rulemaking Advisory Committee – ARAC). Тот поручил эту задачу Рабочей группе по воспламеняемости материалов (Materials Flammability Working Group – MFWG). Предложенную концепцию MFWG рассмотрела

и в октябре 2015 г. рекомендовала принять ее вместе с несколькими соответствующими консультативными циркулярами (Advisory Circular – AC). Рабочая группа также подняла несколько вопросов, которые требовали разрешения FAA по разработке правил, включая рассмотрение утвержденного списка материалов, наличие консультативных материалов и средств для устранения так называемых «мошеннических сбоев» – способов «обхода» требований.

Текст проекта и обоснование планируемых к внесению в авиационные нормы изменений приведены в выпуске Федерального регистра США [35]. В обеспечение работы с измененными нормами FAA также подготовила проекты шести новых и трех пересмотренных циркуляров, опубликованных одновременно с проектом [36–44], и предложила внести изменения в некоторые параграфы правил летной годности, касающиеся противопожарной защиты внутренних отсеков на самолетах транспортной категории. Предложенная к рассмотрению поправка устраним, изменит или введет некоторые новые требования по воспламеняемости и противопожарной защите, приведенные в части 25 раздела 14 Кодекса федеральных правил (14 CFR). Указанные изменения будут организовывать требования в зависимости от типа пожара: в полете (в доступной или недоступной зоне) или после аварии, а не основывать их в зависимости от состава материала или функции детали.

Федеральная авиационная администрация США также предложила преобразовать методы испытаний, описанные в Приложении F к части 25 авиационных норм, из обязательных правил в справочные инструкции и добавить таблицу, показывающую возможность исключения некоторых видов испытаний, когда к данному материалу (конструктивному элементу) одновременно применяется более жесткий вид испытаний.

Предлагаемый текст § 25.853 из проекта поправки приведен ниже (перевод цитируемых фрагментов здесь и далее выполнен авторами).

§ 25.853 Детали интерьера и комплектующие противопожарной защиты.

(a) *Общее.* Каждая деталь, компонент и сборка должны защищать самолет и его пассажиров от угрозы пожара в полете и после аварии. Для целей этого параграфа деталь, узел или элемент самолета – это та часть, которая расположена внутри него, включая фюзеляж.

(b) *Испытания.* За исключением случаев, предусмотренных в пункте (e) этого параграфа, Заявитель должен провести испытания, чтобы показать соответствие использованных материалов требованиям соответствующих пунктов (c) и (d). За исключением случаев, предусмотренных в пункте (c)(1)(ii) этого параграфа, для любых испытаний, используемых для подтверждения соответствия, Заявитель должен использовать набор, состоящий как минимум из трех образцов.

(c) *Требования в полете.* В случае пожара в полете каждая деталь, компонент и сборка должны иметь характеристики воспламеняемости с минимальным уровнем опасности для пассажиров и не препятствующие продолжению безопасного полета и посадки самолета.

(1) Доступные области.

(i) Каждая деталь, компонент и узел, которые доступны летному экипажу во время полета, должны быть самозатухающими при воздействии небольшого пламени.

(ii) Каждая емкость, используемая для утилизации легковоспламеняющихся отходов, должна быть полностью закрыта, изготовлена из материалов, которые противостоят проникновению пламени от небольшого источника возгорания, и сдерживать пожары, которые могут произойти в ней при нормальном использовании. По крайней мере, одно испытание должно показать способность сосуда удерживать эти пожары при всех возможных условиях износа, перекаса и вентиляции, ожидаемых при эксплуатации.

(iii) Каждая облицовка потолка и боковины грузового отсека класса В должна выдерживать проникновение небольшого пламени.

(2) Недоступные области.

(i) Каждая широко используемая часть самолета, компонент и узел, недоступные летному экипажу во время полета, но которые могут подвергаться пожару в полете, не должны способствовать распространению самого большого пожара, непосредственно не представляющего опасности для самолета.

(ii) Каждый потолочный и боковой вкладыши грузового отсека класса F, если они установлены в соответствии с требованиями пункта (b)(2) § 25.855, и грузового отсека класса C должны противостоять проникновению огня из этого отсека и защищать структуры самолета и критические системы от воздействия огня.

(iii) Каждая потолочная и боковая панели грузового отсека класса E должны противостоять проникновению пожара в этот отсек и защищать конструкцию самолета и критические системы от воздействия пожара, если в конструкции не предусмотрено иное средство, кроме панели, защищающей конструкцию самолета и критические системы от воздействия пожара.

(iv) Облицовка пола грузового отсека любого класса и любая облицовка потолка и боковых стенок грузового отсека класса E должны противостоять проникновению небольшого пламени.

(v) Все другие детали, компоненты и узлы, которые недоступны летному экипажу во время полета, должны быть самозатухающими при воздействии небольшого пламени или электрической дуги.

(d) *Требования после аварии.* Во время топливного пожара после аварии свойства воспламеняемости каждой детали, компонента и сборки должны быть такими, чтобы обеспечивались условия выживаемости пассажиров в салоне в течение времени, достаточного для эвакуации.

(1) Для самолетов с вместимостью 19 пассажиров и менее каждая большая поверхность в пассажирском салоне должна быть самозатухающей при воздействии небольшого пламени в течение не менее 60 секунд.

(2) Для самолетов с вместимостью 20 пассажиров и более каждая большая поверхность в пассажирском салоне должна обладать такими характеристиками, чтобы противостоять топливному пожару после аварии, который проник в фюзеляж, за исключением некоторых поверхностей.

(i) Большая поверхность, ни одна часть которой не превышает 15 дюймов над полом, необязательно должна соответствовать пункту (d)(2) настоящего параграфа, если она расположена таким образом, что на нее не будет оказываться непосредственное воздействие пожара в результате аварии.

(ii) Большая поверхность во внутренней части отсека, кроме грузового или багажного отсеков, необязательно должна соответствовать пункту (d)(2) настоящего параграфа, если внутренняя часть отсека изолирована от основной пассажирской кабины дверцами или аналогичным оборудованием. Это означает, что данная поверхность обычно закрыта во время руления, взлета и посадки воздушного судна.

(3) Каждое кресло, используемое для пассажира и состоящее из сиденья и спинки, должно противостоять топливному пожару, возникшему после аварии, который попал в самолет, и не должно способствовать распространению огня.

(4) В дополнение к сопротивлению топливному пожару, возникшему после аварии и попавшему внутрь самолета, каждый компонент из легковоспламеняющегося металла должен легко затухать.

(5) Конструкция всех систем эвакуации должна обеспечивать их бесперебойную работу в условиях эвакуации, когда они подвергаются воздействию лучистого тепла от наземного пожара после аварии.

e) *Исключения.* Деталь, компонент и сборка не требуют испытаний на соответствие требованиям, указанным в пунктах (c) или (d) настоящего параграфа, если они соответствуют критериям хотя бы одного из следующих классов.

(1) Класс 1. Детали, узлы и элементы, каждый из которых помещается в куб размером по два дюйма с каждой стороны и достаточно отделен от того же типа детали, элемента или узла, чтобы в совокупности они не распространяли огонь.

(2) Класс 2. Детали, узлы и элементы, которые не используются широко, изготовлены из самозатухающих материалов и индивидуально не превышают объем 113 кубических дюймов, имеют открытую площадь поверхности, не превышающую 200 квадратных дюймов, и не распространяют пламя вертикально.

(3) Класс 3. Детали, узлы и элементы, которые Заявители могут продемонстрировать с помощью метода, приемлемого для Администратора, с размером, конструкцией или местоположением, имеющими характеристики по воспламеняемости, не угрожающие самолету или его пассажирам.

(4) Класс 4. Детали, узлы и элементы, которые важны для безопасности самолета, его пассажиров или функциональных возможностей воздушного судна и не могут быть разумно изготовлены из менее легковоспламеняющегося материала без ущерба для целостности или функциональности этой детали, узла или элемента.

(5) Класс 5. Детали, узлы и элементы, которые успешно удовлетворяют одному или нескольким альтернативным требованиям, включая любые применимые условия, изложенные в Приложении F к части 25.

В § 25.855 только пункты (c) и (d) касаются требований по пожарной безопасности. Приведем их следующую планируемую редакцию.

§ 25.855 Грузовые или багажные отделения.

...

(с) Компоненты грузового отсека должны соответствовать применимым положениям § 25.853.

(d) Все другие материалы, используемые в конструкции грузового или багажного отсеков, кроме материалов, полностью расположенных внутри грузового или багажного отсеков класса С, должны быть самозатухающими при воздействии небольшого пламени.

Параграф 25.856 планируется изменить следующим образом.

§ 25.856 Тепло/акустические изоляционные материалы.

(a) Все теплоизоляционные и звукоизоляционные материалы, установленные в труднодоступных местах фюзеляжа, должны соответствовать пункту (с)(2)(i) § 25.853, если только это не соответствует одному из исключений в пункте (е) указанного параграфа.

(b) Для самолетов с вместимостью 20 пассажиров и более все тепло/акустические изоляционные материалы, установленные в нижней половине фюзеляжа самолета, должны противостоять проникновению топлива после пожара и обеспечивать выживаемость пассажиров и членов экипажа в течение как минимум 5 минут в обитаемой части самолета, если только Заявитель не предоставит эквивалентные средства защиты от проникновения огня после аварии. Это требование не применяется к тепло/акустическим изоляционным матам, которые, по мнению Администратора, не повлияют на сопротивление проникновению огня. Для целей настоящего пункта в термин «тепло/акустические изоляционные материалы» включены также и средства крепления материалов к фюзеляжу.

Кроме того, планируется внесение изменений в пункты 12 и 14 Специального федерального регламента №109.

...

12. Материалы для отсеков салона. Заявитель должен соблюдать применимые положения § 25.853, за исключением того, что демонстрация соответствия пункту (d)(2) указанного параграфа не требуется, если Заявитель может доказать путем испытания или сочетания испытания и анализа, что максимальное время для эвакуации всех пассажиров не превышает 45 секунд при условиях, указанных в Приложении J к части 25.

14..

(е) Поверхность камбуза, окружающего варочную панель, которая может подвергнуться воздействию огня непосредственно на поверхности варочной панели или в посуде на варочной панели, должна быть изготовлена из материалов, которые соответствуют требованиям по воспламеняемости, указанным в пункте (с)(2)(ii) § 25.853. Это требование является дополнением к требованиям по воспламеняемости, обычно предъявляемым к материалам на этих поверхностях камбуза. Во время выбора материалов Заявитель должен учитывать свойства их воспламеняемости, чтобы гарантировать следующее: на данные характеристики не будет отрицательно влиять использование посуды и чистящих средств, применяемых для удаления пятен от кулинарии.

Следует обратить внимание на следующие моменты.

1. Произошло изменение наименования и назначения § 25.853. Теперь он рассматривает не только материалы интерьера и отделки пассажирской кабины, но и других компонентов. На это обращается внимание в тексте пункта (а) указанного параграфа – требования относятся *ко всем компонентам внутри фюзеляжа, включая сам фюзеляж*. То есть требования параграфа относятся к пассажирской кабине, кабине пилотов, туалетам, кухне, коридорам, багажным отсекам, труднодоступным и скрытым зонам (например, объемам, расположенным между декоративной обшивкой пассажирской кабины и внешним контуром фюзеляжа) и непосредственно к конструкции самого фюзеляжа. Фактически § 25.853 поглощает (распространяет свое действие) § 25.854, 25.855 и 25.856, так как все описанное в них находится внутри фюзеляжа. И это отражается в тексте § 25.855 и 25.856, которые практически

дублируют (и немного расширяют) требования пунктов § 25.853, касающиеся багажно-грузовых отсеков и тепловой/акустической изоляции.

2. Теперь требования предъявляются не к видам испытываемых материалов и конструктивных элементов, а в зависимости от места расположения данного компонента (узла, элемента конструкции, сборки), его доступности и вида опасности (полетный или наземный пожар) (пункты (с) и (d) § 25.853).

3. Впервые в тексте авиационных норм прописаны требования по оценке пожарной опасности деталей из металлических сплавов, способных к воспламенению, и к средствам эвакуации (пункты (d)(4) и (5) § 25.853).

4. Произведены изменения в используемых методах проводимых испытаний, критериях оценки и предельно допустимых значениях. Изменен (унифицирован) подход к определению соответствия испытанных образцов предъявляемым требованиям.

Более подробно некоторые из перечисленных моментов рассмотрены ниже.

Вспомогательные документы для подтверждения соответствия требованиям авиационных норм

Для понимания того, какой метод испытания необходимо применить для подтверждения соответствия требованиям каждого конкретного пункта авиационных норм, предусмотрено использование консультативных циркуляров, как новых [36–44], так и опубликованных ранее [45–51]. К сожалению, в России данный комплекс документов отсутствует.

Циркуляр AC 25-17A (Change 1) содержит сборник поправок, введенных по каждому конкретному параграфу авиационных норм, и позволяет проследить, как и когда изменялись требования. Аналогом этого документа, действующим в Евросоюзе, является практически второй том сборника CS-25 [34]. После принятия предлагаемых поправок данный документ будет актуализирован.

Циркуляр AC 25.853-1A содержит руководство по приемлемым способам подтверждения соответствия требованиям § 25.853 авиационных норм, разъясняет и комментирует положения данного параграфа.

Циркуляр AC 25.853-2X содержит руководство по приемлемым способам подтверждения соответствия пункту (d)(3) § 25.853 – требования по воспламеняемости к подушкам кресел. Данный циркуляр заменяет ранее действующий циркуляр AC 25.853-1.

Введение циркуляра AC 25-853-3X направлено на замену ранее действующего документа – Policy Statement No. PS-ANM-25.853-01-R2 [52]. Циркуляр содержит руководство по приемлемым способам доказательства соответствия материалов, узлов, деталей и конструктивных элементов предъявляемым требованиям § 25.853. Методы, описанные в данном документе, применяются, когда надо доказать соответствие по таким видам испытаний, как испытание на горючесть (горелка Бунзена) и определение тепловыделения при горении.

Циркуляр AC 25.853-4X содержит рекомендации по проведению испытаний на горючесть горелкой Бунзена при вертикальном положении образца (пункты (с)(1)(i) и (d)(1) § 25.853).

Циркуляр AC 25.853-5X разъясняет новый метод испытаний и содержит рекомендации по доказательству соответствия требованиям по воспламеняемости, предъявляемым к пожаробезопасности материалов узлов и элементов, расположенных в труднодоступных зонах (материалы, примыкающие к внутренней поверхности фюзеляжа, воздухопроводы, коробка, электропроводка и др.), в соответствии с требованиями пункта (с)(2)(i) § 25.853 «Противопожарная защита внутренних деталей и компонентов» и пункта (с) § 25.1713 «Противопожарная защита: EWIS».

В циркуляре АС 25.853-6Х приведены указания относительно метода доказательства соответствия материалов для средств аварийной эвакуации (спасательные надувные трапы, рампы, плоты) требованиям пункта (d)(5) § 25.853 в части стойкости к воздействию лучистого теплового потока.

Циркуляр АС 25.855-1Х разъясняет способ подтверждения соответствия требованиям пункта (с) § 25.855. Для подтверждения используется метод испытаний керосиновой горелкой. Рассматриваются испытания не только непосредственно плоских панелей, но также и различных вариантов их соединений.

Циркуляры АС 25.856-1А и АС 25.856-2В содержат рекомендации по испытаниям матов для тепловой/акустической изоляции. Циркуляр АС 25.856-1А касается испытаний матов на воспламеняемость и распространение пламени при воздействии теплового потока (подтверждение выполнения требований пункта (а) § 25.856), а АС 25.856-2В – испытаний по определению стойкости к сквозному прогоранию при воздействии пламени керосиновой горелки (пункт (b) § 25.856).

Консультативные циркуляры включают разъяснения по проведению испытаний материалов, их сочетаний, сочленений и соединений, но не содержат подробного описания используемой аппаратуры и методик их выполнения. Эти сведения приведены в отдельном документе – Справочнике [25]. Это совершенно новый документ, принципиально отличающийся от предыдущей версии, выпущенной в 2000 г., дополняемой и редактируемой в течение последующих 19 лет [53].

Новый Справочник состоит из пяти разделов.

Часть А: Методы испытаний для сценария наземного пожара (пост-катастрофы):

- А1 – Вертикальный метод испытаний на горючесть горелкой Бунзена;
- А2 – Метод испытаний на воздействие теплового потока для эвакуационных трапов, рамп и плотов;
- А3 – Метод испытаний керосиновой горелкой для подушек кресел;
- А4 – Метод определения скорости выделения тепла и общего тепловыделения при горении материалами кабины самолета;
- А5 – Метод определения стойкости к сквозному прогоранию матов тепловой/акустической изоляции;
- А6 – Метод испытаний керосиновой горелкой на воспламеняемость структур кресел, выполненных из магниевых сплавов.

Часть В: Методы испытаний в случае пожара в кабине во время полета:

- В1 – Метод испытаний на огнестойкость контейнеров с отходами;
- В2 – Метод испытаний на воспламеняемость и определение характеристик распространения пламени по материалам тепловой/акустической изоляции;
- В3 – Вертикальный метод испытаний на распространение пламени (VFP) по композитным структурам;
- В4 – VFP для воздуховодов;
- В5 – VFP для изоляции электропроводов;
- В6 – Метод испытаний на воспламеняемость и определение характеристик распространения пламени по материалам из магниевых сплавов.

Часть С: Методы испытаний в случае пожара в грузовом отсеке во время полета:

- С1 – Метод испытаний на горючесть под углом 45 градусов горелкой Бунзена материалов грузовых отсеков и мест хранения отходов;
- С2 – Метод испытаний керосиновой горелкой панелей грузовых отсеков.

Часть D: Другие методы испытаний (раздел содержит описание методов испытаний, ранее применявшихся для оценки пожарной опасности и исключаемых из новых норм):

- D1 – Горизонтальный метод испытаний на горючесть горелкой Бунзена и определение скорости распространения пламени;

- D2 – Метод испытаний электрических проводов на горючесть горелкой Бунзена под углом 60 градусов;
- D3 – Метод определения тепловыделения для материалов кабин;
- D4 – Метод определения дымообразования для материалов кабин;
- D5 – Метод керосиновой горелки для подушек кресел;
- D6 – Метод керосиновой горелки для панелей грузовых отсеков;
- D7 – Метод испытаний на воздействие теплового потока для эвакуационных трапов, рампы и плотов;
- D8 – Рекомендованная процедура испытаний на пожаробезопасность авиационных одеял в четыре сложения;
- D9 – Метод испытаний на дымообразование электрических проводов;
- D10 – Процедура испытаний проводов на стойкость к электрической дуге;
- D11 – Метод испытаний на устойчивость к прогоранию от электрической дуги;
- D12 – Метод испытаний матов тепловой/акустической изоляции при помощи хлопковой ваты;
- D13 – Метод испытаний на воспламеняемость и характеристик распространения пламени по материалам тепловой/акустической изоляции;
- D14 – Метод определения стойкости к сквозному прогоранию для матов тепловой/акустической изоляции.

Часть E: Методы испытаний для силовой установки:

- E1 – Метод испытаний на огнестойкость трубопроводов силовых установок;
- E2 – Метод определения огнестойкости для силовых установок;
- E3 – Метод испытаний соединений электропроводов в огнепреграждающих перегородках;
- E4 – Метод испытаний электропроводов, используемых для пожароопасных зон.

Видно, что несколько методов, относящихся к разделу D, по названию очень похожи на методы, используемые в разделах A, B и C: D3 – на A4, D5 – на A3, D6 – на C2, D7 – на A2, D13 – на B2, D14 – на A5. Однако в реальности эти методы имеют те или иные различия в используемом оборудовании и/или процедуре проведения испытаний.

Основные изменения в методах проведения испытаний рассмотрены ниже.

Изменения в используемых методах испытаний

Во-первых, обращает на себя внимание тот факт, что из используемых ранее методов испытаний исключены метод оценки скорости распространения пламени и метод определения дымообразования.

В действующих в настоящее время нормах [32–34] к большому количеству материалов в Части I Приложения F предъявляются требования по ограничению скорости распространения пламени (цит. по [32]).

...

(a)(1)(iv) Иллюминаторы и табло из пластика, детали, изготовленные целиком или частично из эластомеров, комплекты приборов с краевым освещением, состоящие из двух или большего количества приборов в общем корпусе, поясные ремни, плечевые ремни и оборудование для крепления груза и багажа, включая контейнеры, ящики, поддоны и т.д., используемые в кабинах пассажиров или экипажа, должны обладать средней скоростью горения (не более 63,5 мм/мин) при испытаниях в горизонтальном положении согласно соответствующим пунктам настоящего Приложения;

(a)(1)(v) За исключением небольших деталей (таких как кнопки, ручки, ролики, детали крепления, зажимы, прокладки, коуши, шкивы и небольшие детали электрооборудования), которые не оказывают существенного влияния на распространение пламени, и изоляции электропроводов и кабелей материалы изделий, не указанных в пунктах (a)(1)(i), (ii) и (iv) Части I настоящего Приложения, должны обладать скоростью горения не более 102 мм/мин при испытаниях в горизонтальном положении согласно соответствующим пунктам настоящего Приложения.

(a)(2)(iv) ... Оборудование для фиксации грузов (включая контейнеры, ящики и поддоны), используемое во всех грузовых и багажных отсеках, должно удовлетворять требованиям пункта (a)(1)(iv) Части I настоящего Приложения.

Отказ от метода оценки скорости распространения пламени по горизонтальной поверхности обосновывается тем, что используемые материалы (независимо от своего химического состава) должны либо удовлетворять требованиям по вертикальному методу определения горючести, либо относиться к одному из исключений (пункт (e) § 25.853 проекта поправки). Так как в большинстве случаев существуют материалы для изготовления остекления, корпусов приборов, ремней, эластомеров, поддонов, крепежа, удовлетворяющие требованиям по горючести в вертикальном положении, то фактически потребуется замена большого ассортимента применяемых в настоящее время материалов на менее горючие, но одновременно и более дорогостоящие.

Отказ от использования в федеральных (государственных) нормах метода определения дымообразования обосновывается следующим образом. Во-первых, в США отсутствуют реально подтвержденные данные по снижению смертности в авиационных катастрофах вследствие использования этого метода в течение последних 20 лет (так как фактически этот метод и ранее применялся к материалам, используемым в самолетах ведущих авиастроительных корпораций). Кроме того, указание на необходимость применения данного метода остается в нормах авиакорпораций Boeing и Airbus, поэтому FAA считает, что испытания по дымообразованию материалов будут проводиться и материалы с высоким дымообразованием не будут допускаться к использованию.

Во-вторых, вводится новый метод испытаний – вертикальный метод испытаний по распространению пламени при воздействии теплового потока (Vertical Flame Propagation – VFP), реализованный в трех вариациях методик испытания: композиционных материалов, воздухопроводов, материалов для электропроводов. Данный метод испытаний требует применения нового оборудования, принципиально отличающегося от используемого в настоящее время. Подробное описание используемого оборудования приведено в работах [6, 25].

В-третьих, в той или иной мере внесены изменения в конструкции испытательного оборудования и процедуры проведения испытаний для большинства ранее использовавшихся методов.

При проведении испытаний существенно повышены требования к стабильности во времени и максимально допустимым отклонениям величин теплового потока в оборудовании. Для обеспечения стабильности теплового потока испытательное оборудование должно снабжаться специальными электрическими стабилизаторами, обеспечивающими отклонение величины питающего напряжения не более ± 1 В.

Наибольшие изменения, касающиеся использованного испытательного оборудования, относятся к установке для определения тепловыделения – кардинально изменена ее конструкция. На настоящий момент непонятно, насколько результаты, полученные с использованием разных вариантов оборудования, будут различаться и будет ли допустимо для сертификационных испытаний применение предыдущей модели испытательного оборудования.

В проекте текста поправки отсутствует непосредственная связь между пунктами параграфов авиационных норм и требуемыми для доказательства методами испытаний. Частично эту информацию удастся извлечь из циркуляров и Справочника по испытаниям (табл. 1).

Таблица 1

Сопоставление пунктов авиационных норм и соответствующих им методов испытаний

Пункт авиационных норм, изложенный в предлагаемой поправке	Метод испытаний согласно Справочнику [25]	Наиболее близкий метод испытаний, изложенный в приложении F действующих авиационных норм или ином нормативном документе
(c)(1)(i) § 25.853	A1 – на горючесть, 12-секундная экспозиция; B6 – на горючесть магниевых сплавов	Часть I Приложения F –
(c)(1)(ii) § 25.853	B1 – на огнестойкость контейнеров	–
(c)(1)(iii) § 25.853	C1 – на горючесть, под углом 45 градусов	Часть I Приложения F
(c)(2)(i) § 25.853	B3, B4 – VFP	–
(c)(2)(ii) и (c)(2)(iii) § 25.853	C2 – керосиновой горелкой, БГО	Часть III Приложения F
(c)(2)(iv) § 25.853	C1 – на горючесть, под углом 45 градусов	Часть I Приложения F
(c)(2)(v) § 25.853	A1 – на горючесть, 12-секундная экспозиция*	Часть I* Приложения F
(d)(1) § 25.853	A1 – на горючесть, 60-секундная экспозиция	Часть I Приложения F
(d)(2) § 25.853	A4 – на определение тепловыделения	Часть IV Приложения F
(d)(3) § 25.853	A3 – керосиновой горелкой, для сидений кресел	Часть II Приложения F
(d)(4) § 25.853	A6 – керосиновой горелкой, для магниевых опор кресел	–
(d)(5) § 25.853	A2 – для спасательных трапов	Пункт 5.3 TSO C69c
(c) § 25.855	C2 – керосиновой горелкой, БГО	Часть III Приложения F
(d) § 25.855	A1 – на горючесть, 60-секундная экспозиция	Часть I Приложения F
(a) § 25.856	B2 – на воспламеняемость ТЗИ	Часть VI Приложения F
(b) § 25.856	A5 – керосиновой горелкой, ТЗИ	Часть VII Приложения F
§ 25.1713	B5 – VFP	–

* Не удалось однозначно идентифицировать необходимый метод испытаний.

Изменения в критериях оценки

Предлагаемые изменения затрагивают и часть критериев оценки соответствия материалов предъявляемым требованиям.

Во-первых, при оценке горючести (вертикальный метод с использованием горелки Бунзена) предлагается исключить такой критерий, как продолжительность остаточного горения образца и падающих капель, и оставить только длину прогорания.

Во-вторых, предлагается унифицировать во всех методах испытаний подходы к определению того, соответствует или нет комплект испытанных образцов предъявляемым требованиям. В настоящее время в зависимости от метода испытаний используются различные подходы. Так, например, при определении горючести, дымообразования или тепловыделения необходимо, чтобы каждое среднее значение от испытаний трех образцов было ниже предельно допустимого, а при проведении испытаний матов тепловой/акустической изоляции – чтобы у каждого из испытанных образцов были значения ниже предельно допустимых. В предлагаемой поправке подход меняется: необходимо, чтобы требованиям соответствовало не менее 80% испытанных образцов. То есть, если при испытаниях стандартного комплекта, состоящего из трех образцов, хотя бы у одного зарегистрировано превышение предельно допустимого значения, следует провести испытания дополнительных образцов.

Материал считается соответствующим требованиям, если из пяти испытанных образцов превышение допустимых значений есть не более чем у одного, из 10 – у двух, из 15 – у трех и т.д.

В-третьих, предлагается для уменьшения объема обязательных испытаний часть их не проводить, если одновременно используется более жесткий метод испытаний. Данные по возможной замене испытаний приведены в табл. 2 [35].

Таблица 2

Возможность сокращения объема испытаний или замены одного вида испытаний на другой

Возможный метод испытаний для замены	Стандартный метод испытаний					
	В полете, малое пламя, на горючесть, 12-секундная экспозиция, п. (с)(1)(i) § 25.853	Пост-катастрофа, более 20 пассажиров, на горючесть, 60-секундная экспозиция, п. (d)(1) § 25.853	В полете, БГО, проникновение малого пламени, на горючесть, под углом 45° п. (с)(1)(iii) § 25.853	В полете, недоступные зоны, VFP, п. (с)(2)(i) § 25.853	В полете, БГО, на устойчивость к прогару, керосиновой горелкой, п. (с)(2)(ii)/(iii) § 25.853	Пост-катастрофа, на устойчивость к огню, для сидений кресел, керосиновой горелкой, п. (d)(3) § 25.853
Пост-катастрофа, более 20 пассажиров, на горючесть, 60-секундная экспозиция, п. (d)(1) § 25.853	Да	–	Нет	Нет	Нет	Нет
В полете, недоступные зоны, VFP, п. (с)(2)(i) § 25.853	Да	Да	Нет	–	Нет	Нет
Пост-катастрофа, более 20 пассажиров, на устойчивость к огню и определение тепловыделения, п. (d)(2) § 25.853	Да	Да	Нет	Примечание 1	Нет	Примечание 2
Пост-катастрофа, на устойчивость к огню, для сидений кресел, керосиновой горелкой, п. (d)(3) § 25.853	Да	Да	Нет	Нет	Нет	–
Пост-катастрофа, более 20 пассажиров, на устойчивость к прогоранию ТЗИ, керосиновой горелкой, п. (d)(2) § 25.853	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет
В полете, БГО, на устойчивость к прогоранию, керосиновой горелкой, п. (с)(2)(ii)/(iii) § 25.853	Да	Да	Да	Примечание 3	–	Нет

Примечания:

1. Когда лицевой лист на задней (недоступной) стороне большой поверхности имеет ту же систему материалов, что и лицевой лист на лицевой стороне.
2. Когда подушка не поддерживает непосредственно пассажира и может быть проверена на ее фактическую толщину (например, подушка дивана, подголовник).
3. Когда задняя сторона вкладыша изготовлена из армированной стекловолокном эпоксидной смолы или фенольной смолы.

Следует обратить внимание, что введение предлагаемых поправок не означает автоматического изменения всех используемых методов испытаний. Для уже сертифицированных самолетов к материалам могут применяться как ранее используемые методы и критерии испытаний, так и новые. Однако не допускается частичного использования одновременно и старых, и новых методов или критериев испытаний.

Заключения

Федеральной авиационной администрацией США опубликован и предлагается к введению в действие проект поправки, изменяющий состав авиационных норм в части требований по пожаробезопасности. В обеспечение действия данной поправки подготовлены к введению комплекс, состоящий из шести новых и трех переработанных консультативных циркуляров, и новый Справочник по методам огневых испытаний материалов авиационного назначения.

Данной поправкой запланировано изменение структуры требований в авиационных нормах – переход от предъявления требований по видам материалов к типу пожара и месторасположению в самолете. Запланировано также изменение используемых методов испытаний. Исключаются метод определения скорости распространения пламени, метод определения горючести для электропроводов при помощи горелки Бунзена и метод определения дымообразования. Впервые вводятся требования по пожарной безопасности материала фюзеляжа, а также новый метод испытаний на распространение пламени при воздействии теплового потока в трех вариантах исполнения (для композитов, воздухопроводов, электрокомпонентов). В авиационных нормах планируют закрепить обязательное использование двух методов испытаний для легковоспламеняющихся сплавов, а также метод испытаний материалов для спасательных надувных конструкций.

Поправкой планируется ввести в действие приоритет методов испытаний, позволяющий уменьшить необходимую доказательную базу (более жесткие методы испытаний отменяют необходимость проведения испытаний с использованием более мягких методов).

Планируется изменить некоторые критерии оценки – для метода горючести отменяется необходимость контроля времени остаточного горения образца и падающих капель, а также принцип подхода к определению «соответствует/не соответствует» – следует, чтобы либо все три испытанных образца удовлетворяли требованиям, либо таким требованиям удовлетворяли четыре из пяти (не менее 80%).

Введение новой редакции Справочника по методам испытаний материалов авиационного назначения предусматривает внесение тех или иных изменений в большинство видов испытательного оборудования.

В случае принятия предлагаемых изменений (для обеспечения разработки новых отечественных конкурентоспособных материалов для авиационной техники и сертификации новых изделий) необходимо выполнить модернизацию и пополнение отечественной испытательной базы, обеспечивающей проведение квалификационных огневых испытаний.

Статья подготовлена в рамках выполнения работ по гранту РФФИ 20-19-00295 «Разработка армированных полимерных материалов пониженной горючести, перспективных для использования в авиационной промышленности, на основе экспериментального исследования и компьютерного моделирования».

Библиографический список

1. Review and Assessment of Transport Category Airplane Ditching Standards and Requirements: Report DOT/FAA/TC-14/8. 2015. 183 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC-14-8.pdf> (дата обращения: 10.07.2020).
2. Structural Factors influencing the Survivability of Occupants in Airplane Accidents // The 8th Triennial International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference. 2016. 14 p. URL: http://www.fire.tc.faa.gov/2016Conference/files/Crash_Dynamics_I/CherrySurvivability/CherrySurvivabilityPres.pdf (дата обращения: 10.07.2020).
3. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2017 году / Федеральное агентство воздушного транспорта, Управление инспекции по безопасности полетов. М., 2018. 85 с. URL: http://szfavn.ru/wp-content/uploads/2018/06/analiz_po_bp_2017.pdf (дата обращения: 02.03.2020).
4. Mouritz A.P., Gibson A.G. Fire Properties of Polymer Composite Materials. Dordrecht: Springer, 2006. 398 p.
5. Предварительный отчет по результатам расследования авиационного происшествия самолета RRJ-95B RA-89098 / Межгосударственный авиационный комитет, Комиссия по расследованию авиационных происшествий. 2019. 104 с. URL: http://mak-iac.org/upload/iblock/4e4/report_ra-89098_pr.pdf (дата обращения: 10.07.2020).
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. 1/4 Scale Fire Penetration Testing of Composite Fuselage // Sixth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, 2010. 22 p. URL: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_I/LopezFirePenetration/LopezFirepenetrationPres.pdf (дата обращения: 02.03.2020).
8. Lyon R.E. Nongalogen Fire-Resistant Plastics for Aircraft Interiors: Technical Report DOT/FAA/AR-TN08/5. 2008. 33 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TN08-5.pdf> (дата обращения: 10.07.2020).
9. 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.
10. Курносов 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.
11. Куцевич К.Е., Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Тюменева Т.Ю. Клеевые препреги – перспективные материалы для деталей и агрегатов из ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 379–387. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-379-387.
12. Кондрашов С.В., Шашкеев К.А., Петрова Г.Н., Мекалина И.В. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения с функциональными свойствами // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 405–419. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-405-419.
13. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // Директор по маркетингу и сбыту. 2017. №5–6. С. 40–44.
14. Carlo A.I. Strategic Approach to Fire Safety // The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference. 2013. 13 p. URL: http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/CarloStrategicApproach/CarloStrategicApproachPres.pdf (дата обращения: 10.07.2020).

15. Maloney T., Dadia D.D. Passive Protection of Lithium Battery Shipments: Report DOT/FAA/TC-15/38. 2015. 43 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC-15-38.pdf> (дата обращения: 02.03.2020).
16. Allen St. J. What's Behind the Increase in Lithium-Ion Battery Fires on Planes?: The FAA reports that, on average, one of these fires occurs every 10 days. Here's what passengers need to know. 2017. URL: <http://www.consumerreports.org/product-safety/whats-behind-the-increase-in-lithium-ion-battery-fires-on-planes> (дата обращения: 02.03.2020).
17. Dadia D. Class E Cargo Compartment Mitigation Strategies Subjected to Class-A Fires // 8th Triennial Fire & Cabin Safety Research Conference. 2016. 19 p. URL: http://www.fire.tc.faa.gov/2016Conference/files/Cargo_Fire_I/DadiaFCCsFRCsClassA/DadiaFC CsFRCsClassAPres.pptx (дата обращения: 02.03.2020).
18. Барботько С.Л. Пожаробезопасность полимерных материалов авиационного назначения и конструктивных элементов на их основе: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВИАМ, 2019. 333 с. URL: <http://www.viam.ru/disser> (дата обращения: 01.04.2019).
19. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Шуркова Е.Н. Анализ основных направлений исследований, выполняемых зарубежными организациями, занимающимися пожарной безопасностью авиационной техники и материалов авиационно-космического назначения (обзор) // Проблемы безопасности полетов. 2018. №2. С. 3–35.
20. Барботько С.Л. Развитие методов оценки пожаробезопасности материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 516–526. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-516-526.
21. Барботько С.Л. Требования авиационных норм и методы оценки пожарной безопасности авиационных материалов: история, современное состояние и перспективы развития // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2014. №3 (12). С. 23–33.
22. 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.
23. 9th Triennial International Aircraft Fire and Cabin Safety Research Conference. Atlantic City, 2019. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/2019Conference/conference.asp> (дата обращения: 10.07.2020).
24. Marker T.R. Short Takes and Current Projects // International Aircraft Materials Fire Test Forum. Cologne, 2019. 46 p. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/materials/June19Meeting/Marker-0619-Shorttakes.pdf> (дата обращения: 02.03.2020).
25. Marker T.R. Aircraft Materials Fire Test Handbook, Revision 3: Report DOT/FAA/TC-17/55. 2019. 573 p. URL: <https://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC17-55.pdf> (дата обращения: 02.03.2020).
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. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.
28. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 431–439.
29. Aeronautics and Space // Federal Register. 1964. Dec. 24. P. 18289–18353.
30. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. Издание второе. М.: ЦАГИ, 1974. 344 с.
31. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР. Издание третье. М.: ЦАГИ, 1984. 464 с.

32. 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.: Авиаздат, 2009. 267 с.
33. Transport Category Airplanes: Airworthiness Standards. Part 25. URL: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=d7f8803c7bd1d50b6d68749e0b42d848&node=14:1.0.1.3.11&rgn=div5> (дата обращения: 11.03.2020).
34. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes. CS-25. Amendment 15. Book 1: Certification Specifications, Book 2: Acceptable Means of Compliance (AMC). 2020. URL: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-25%20Amendment%2024.pdf> (дата обращения: 11.03.2020).
35. Interior Parts and Components Fire Protection for Transport Category Airplanes // Federal Register. Vol. 84. No. 128. 2019. P. 31747–31769. URL: <https://www.federalregister.gov/documents/2019/07/03/2019-13646/interior-parts-and-components-fire-protection-for-transport-category-airplanes> (дата обращения: 11.03.2020).
36. Flammability Requirements for Transport Category Airplanes. 2019. 17 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0018> (дата обращения: 11.03.2020).
37. Flammability Requirements for Aircraft Seat Cushions. 2019. 22 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0019> (дата обращения: 11.03.2020).
38. Flammability Testing Requirements for Commonly Constructed Parts, Construction Details, and Materials Used on Transport Category Airplanes. 2019. 32 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0020> (дата обращения: 11.03.2020).
39. Vertical Bunsen Burner Tests. 2019. 8 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0021> (дата обращения: 11.03.2020).
40. Flammability Requirements for Materials in Inaccessible Areas of Transport Category Airplanes. 2019. 24 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0022> (дата обращения: 11.03.2020).
41. Flammability Requirements for Escape System Materials for Transport Category Airplanes. 2019. 20 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0023> (дата обращения: 11.03.2020).
42. Flammability Requirements of Cargo Liners for Transport Category Airplanes. 2019. 39 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0024> (дата обращения: 11.03.2020).
43. Thermal/Acoustic Insulation Flame Propagation Test Method Details. 2019. 16 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0025> (дата обращения: 11.03.2020).
44. Fuselage Burnthrough Protection. 2019. 31 p. URL: <https://www.regulations.gov/document?D=FAA-2019-0491-0026> (дата обращения: 11.03.2020).
45. Electrical Fault and Fire Prevention and Protection. 1991. 12 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22502 (дата обращения: 10.07.2020).
46. Transport Airplane Interiors Crashworthiness Handbook. 2016. 890 p. URL: http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_25-17A_CHG-1.pdf (дата обращения: 10.07.2020).
47. Development of Transport Category Airplane Electrical Wiring Interconnection Systems Instructions for Continued Airworthiness Using and Enhanced Zonal Analysis Procedure. 2010. 98 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/319197 (дата обращения: 10.07.2020).
48. Fire Protection: Systems. 2007. 11 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/74393 (дата обращения: 10.07.2020).

49. Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes. 2007. 92 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/73476 (дата обращения: 10.07.2020).
50. Engine fire Protection. 2007. 12 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/99608 (дата обращения: 10.07.2020).
51. Powerplant Installation and Propulsion System Component Fire Protection Test Methods, Standards, and Criteria. 1990. 18 p. URL: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22194 (дата обращения: 10.07.2020).
52. Flammability Testing of Interior Materials. 2013. 28 p. URL: [https://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgPolicy.nsf/0/2e766e58ed65176d86257baa0063eca7/\\$FILE/PS-ANM-25.853-01-R2.pdf](https://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgPolicy.nsf/0/2e766e58ed65176d86257baa0063eca7/$FILE/PS-ANM-25.853-01-R2.pdf) (дата обращения: 10.07.2020).
53. Aircraft Materials Fire Test Handbook: Report DOT/FAA/AR-00/12. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/handbook.stm> (дата обращения: 31.01.2020).