

С. Л. БАРБОТЬКО, канд. техн. наук, начальник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: slbarbotko@yandex.ru)

О. С. ВОЛЬНЫЙ, ведущий инженер лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

О. А. КИРИЕНКО, канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

Е. Н. ШУРКОВА, инженер 2-й категории лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

УДК 614.841.345:629.7.042.2

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПОЖАРООПАСНОСТЬ.

Часть 3. Испытания на дымообразование. Влияние толщины монолитного образца полимерного композиционного материала

Показано, что согласно требованиям авиационных нормативных документов материалы внутренней отделки пассажирских салонов должны быть проверены на дымообразующую способность с проведением испытаний по ГОСТ 24632–81. Показано также, что в отличие от описанного в п. 4.18 ГОСТ 12.1.044 метода определяемая согласно ГОСТ 24632 дымообразующая способность относится к площади материала, а не к его массе, поэтому при использовании полимерных материалов авиационного назначения различной толщины возникает необходимость в испытании образцов каждого варианта. Проанализирован зарубежный опыт, проведены исследования и обобщены данные по влиянию толщины различных типов монолитных композиционных материалов на регистрируемые показатели дымообразования.

Ключевые слова: дымообразование; толщина; полимерный композиционный материал; стеклопластик; углепластик; авиационные нормы.

Введение

Одним из важнейших показателей, характеризующих пожарную безопасность материала, является его дымообразующая способность. Значимость этого показателя определяется не только тем, что наличие дыма снижает видимость, затрудняя эвакуацию, но и тем, что интенсивность дымообразования косвенно связана с токсичностью продуктов горения, обусловленной неполнотой сгорания полимеров, а следовательно, дымообразование влияет на выживаемость людей, оказавшихся в зоне воздействия опасных факторов пожара (ОФП).

Наибольшее распространение в отделке и конструкциях авиационной техники получили полимерные композиционные материалы (ПКМ), поэтому исследование особенностей горения именно таких

материалов в условиях пожара представляет первоочередной интерес.

Как и подавляющее большинство показателей пожарной опасности, оптическая плотность образующегося при сгорании материала дыма не является физико-химической константой вещества, а зависит от условий термоокислительной деструкции и способа регистрации. Оценке дымообразующей способности ПКМ и совершенствованию методик ее измерения для данных материалов, в частности авиационного назначения, придается большое значение [1–6].

В связи с этим необходимо рассмотреть и сопоставить основные, наиболее часто используемые методы измерения дымообразования и выявить основные факторы, влияющие на характеристики дымо-

образования ПКМ, значения которых регламентируются авиационными нормами.

Сопоставление методов оценки дымообразующей способности

В настоящее время как в отечественной, так и в зарубежной практике дымообразование материалов характеризуется преимущественно оптической плотностью дыма. Оптическая дымообразующая способность материалов может определяться при помощи ряда специализированных методов, различающихся как конструкцией испытательного оборудования, условиями сжигания образца, так и регистрируемыми характеристиками.

Все используемые методы по определению оптической плотности дыма условно могут быть разделены на два типа: 1) определение дымообразования в условиях замкнутого объема испытательной камеры; 2) измерение оптической плотности отходящих дымовых газов. В первом случае используется камера, в которой осуществляется сжигание образца в тех или иных условиях, при этом весь образующийся в течение эксперимента дым остается внутри камеры. Во втором случае происходит постоянное удаление продуктов горения от горящего образца, а их оптическая плотность измеряется в отводящей дымовой трубе. Анализ и сопоставление методов по оценке дымообразования в различных отраслях промышленности в России, США и странах Евросоюза приведены, например, в [7].

В зарубежной научно-исследовательской и квалификационной практике наиболее широкое распространение получили следующие методы.

1. Методы определения дымообразования в камерах с замкнутым объемом

Дымовая камера NBS. Подробно конструкция испытательного оборудования описана в стандарте ASTM E662 [8]. Данная камера применяется для оценки материалов, используемых в транспортном машиностроении (на железнодорожном транспорте [8], в судостроении [9, 10], в авиации [11]), электрокабельных изделий, строительных материалов, а также для сравнительных испытаний материалов в исследовательской практике. Для испытаний используется камера объемом $0,51 \text{ м}^3$, образцы размером $75 \times 75 \text{ мм}$ и толщиной до 25 мм . Испытания проводятся в режиме горения или пиролиза. В режиме пиролиза на образец воздействует только тепловой поток, в режиме горения — тепловой поток и пламя горелки, инициирующей воспламенение. При испытаниях по ASTM E662 [8] или ASTM F814 [11] ориентация образца вертикальная, величина падающего теплового потока на образец 25 кВт/м^2 . При испытаниях по ASTM E1995 [10] ориентация об-

разца горизонтальная, величина падающего теплового потока на образец 50 кВт/м^2 . Для снижения вероятности уменьшения количества выделяющегося дыма за счет попадания его на расположенный над образцом нагреватель последний выполнен в форме усеченного конуса с открытой верхней частью.

Дымовая камера по ASTM D2843 [12] (аналоги среди стандартов ISO отсутствуют). Камера имеет размеры $300 \times 300 \times 790 \text{ мм}$. Образец размером $25 \times 25 \times 6 \text{ мм}$ сжигается в ней в пламени пропановой горелки. Дополнительный тепловой поток на образец от нагревателя отсутствует. Оптическая плотность дыма определяется по изменению интенсивности проходящего горизонтального луча света. Данный метод используется для оценки дымообразования пластиков, используемых в строительстве [13, 14].

Полномасштабные испытания в огневой камере по ASTM E1537 [15] (аналог — ISO 9705). В качестве камеры используется помещение размером $2,44 \times 3,66 \times 2,44 \text{ м}$ или $3,05 \times 3,66 \times 2,44 \text{ м}$. В камере осуществляется сжигание полномасштабного образца мебели.

2. Методы определения дымообразования в проточной среде

Как правило, данные методы используются для получения дополнительной информации по дымообразованию при проведении испытаний по определению какой-либо другой характеристики пожарной опасности.

Для материалов строительного назначения согласно [13, 14] наряду с индексом распространения пламени по методу 24-футовой тоннельной печи устанавливается и коэффициент дымообразования [16]. При определении тепловыделения при горении по методам [17, 18] возможно измерение оптической плотности отходящих дымовых газов.

3. Основные методы определения дымообразования в России

В отечественной практике наиболее широко используется метод определения дымообразующей способности материалов, изложенный в п. 4.18 ГОСТ 12.1.044 [19]. Испытания проводят на образцах размером $40 \times 40 \text{ мм}$, имеющих фактическую толщину, но не более 10 мм . В отличие от зарубежных методов [8–11] для определения коэффициента дымообразования необходимо проведение испытаний при различной величине тепловых потоков с установлением наихудшего режима, обеспечивающего наибольшее дымообразование.

Для оценки материалов авиационного назначения и продукции электрокабельной промышленности в России и других странах бывшего СССР ис-

пользуется ГОСТ 24632 [20]. Камера, образцы и процедура выполнения испытаний практически аналогичны описанным в [8]. Величина теплового потока во всех испытаниях одинакова — 25 кВт/м².

Конструкция камер и методика проведения испытаний по [19] и [8] имеют несколько принципиальных отличий. Конструктивные различия выражаются в расхождениях по размерам образца, его ориентации, источнику теплового потока, объему испытательной камеры. Имеется различие также в формулах по расчету оптической плотности дыма.

Расчет оптической плотности проводится по формулам:

- по ГОСТ 12.1.044, п. 4.18 [19]:

$$D_m = \frac{V}{Lm} \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (1)$$

- где D_m — коэффициент дымообразования, м²/кг;
 V — вместимость камеры измерения, м³;
 L — длина пути луча в задымленной среде, м;
 m — масса образца, кг;
 $T_0, T_{\min}$ — значения соответственно начального и конечного светопропускания, %;
- по ГОСТ 24632 [20], ASTM E662 [8] и ASTM F814 [11]:

$$D_s = \frac{V}{LS} \lg \frac{I_0}{I} = 132 \lg \frac{I_0}{I} = 132 \lg \frac{100}{T}, \quad (2)$$

- где D_s — удельная оптическая плотность, безразмерная величина;
 V — вместимость камеры, равная 0,51 м³;
 L — длина светового пути, м; $L = 0,915$ м;
 S — площадь экспонируемой поверхности образца, м²; $S = 4,225 \cdot 10^{-3}$ м²;
 I_0, I — интенсивность светового потока соответственно в начальный момент времени и в процессе испытания;
 T — светопропускание, %.

Коэффициент дымообразования по ГОСТ 12.1.044 (п. 4.18) определяется при условии максимально возможного снижения видимости (достижения абсолютного максимума светопоглощения как по времени, так и по тепловому потоку и режиму испытания).

В отличие от пожаров в зданиях эвакуация из самолетов должна быть проведена в течение не более 90 с после возникновения наземной аварийной ситуации, поэтому основными требованиями по дымообразующей способности являются не максимально возможные значения удельной оптической плотности дыма, а ее величина за сравнительно небольшой промежуток времени. Согласно требованиям нормативного документа корпорации Airbus ATS-1000.001 [21] нормируемыми по дымообразованию являются показатели за 90 и 240 с при испытании в режимах пиролиза и горения. В соответствии с современ-

ными нормами корпораций Airbus (AITM 2.007B) и Boeing (BSS 7338) регламентируется интенсивность дымообразования только за 4 мин, при этом испытания должны проводиться в двух режимах (горение и пиролиз). Для материалов авиационного назначения согласно требованиям отечественных норм, действовавших в 80–90-х годах XX века, НЛГС-3 [22] нормируемыми показателями являлись удельная оптическая плотность дыма за первые 2 мин (D_2) и 4 мин (D_4)*, а также максимально достигаемая в процессе эксперимента ($D_{\max}$). Какие именно показатели нормировались (за 2 и 4 мин, или за 4 мин и максимальное дымообразование) и какие допустимые значения их принимались, зависело от функционального назначения материала. В действующих в настоящее время государственных (федеральных) авиационных нормах, как отечественных (АП-25 [23]), так и зарубежных (FAR-25 [24], CS-25 [25]), нормируемой характеристикой является удельная оптическая плотность дыма только за 4 мин и при испытаниях только в режиме горения (FAR и CS), причем требования распространяются исключительно на панели стен, перегородок и потолка. В настоящее время международным сообществом рассматривается возможность и необходимость введения государственных требований, которые бы распространялись на более широкую номенклатуру материалов и конструктивных элементов, в том числе на материалы внешнего контура авиационной техники.

Поскольку при проведении испытаний материалов авиационного назначения жестко установлена величина постоянного теплового потока на образце (25 кВт/м²), необходимость в проведении исследований по влиянию величины падающего теплового потока на характеристики материалов авиационного назначения в данный момент времени отсутствует.

В конструктивных и отделочных элементах авиационной техники используется широкая номенклатура разнообразных материалов различной толщины. Например, толщина стеклопластиков может быть от 0,2 мм (шторка) до 15 мм (силовой каркас кресла); толщина панелей в отделке интерьера (перегородки кабин) — от 3 до 50 мм. В связи с тем что в качестве показателя дымообразования выбрана удельная оптическая плотность, относящаяся к единице площади поверхности образца, а не к ее массе, необходимо оценивать дымообразование материалов

* В отечественной практике (ГОСТ 24632, НЛГС-3, АП-25), как правило, используют обозначения D_2 и D_4 для 2- и 4-минутных интервалов соответственно. В зарубежной практике чаще применяют обозначения с индексами, выраженными в секундах, — D_{90} и D_{240} для 1,5- и 4-минутных интервалов соответственно. В настоящей работе было принято решение использовать индексы, указывающие интервал измерения в секундах, т. е. D_{90} , D_{120} и D_{240} для 1,5-, 2- и 4-минутных интервалов соответственно.

для каждой используемой толщины. В работе [1] отмечается сложный характер измерения дымообразования с увеличением толщины и даны квалификационные ряды для оценки данной характеристики для различных типов материалов и конструктивных элементов.

Настоящая работа посвящена исследованию влияния толщины монолитных полимерных композиционных материалов (стекло- и углепластики) авиационного назначения как непосредственно на кинетику дымообразования, так и на нормируемые характеристики. Эта работа является продолжением ряда работ, посвященных методическим особенностям испытаний материалов авиационного назначения на пожарную опасность [26–28] и др.

Образцы и материалы, использованные для исследований

ФГУП “ВИАМ” на протяжении более 80 лет занимается разработкой авиационных материалов, в том числе свыше 40 лет — исследованиями по пожарной безопасности материалов и конструктивных элементов авиационного назначения. В соответствии со стратегическими направлениями развития авиационного материаловедения проводятся исследования, разработка, квалификация и внедрение новых материалов [29–31]. Разработан комплекс новых ПКМ на основе различных типов полимерных матриц [32–34]. Проведены обширные квалификационные испытания, в том числе по определению климатической стойкости и эксплуатационному ресурсу [35–39].

Одной из важнейших задач, требующих решения для обеспечения безопасности, является обоснование и подтверждение достаточного объема выполненных работ по определению характеристик пожарной безопасности, в частности дымообразующей способности.

Целью настоящей работы являлось проведение исследований по определению кинетики дымообразования при выполнении стандартных испытаний и влияния толщины монолитных образцов четырех марок стеклопластиков (ВПС-41, ВПС-42п, ВПС-47 и ВПС-48) и пяти марок углепластиков (ВКУ-28, ВКУ-29, ВКУ-32, ВКУ-33, ВКУ-39) на регистрируемые характеристики.

Аппаратура и методы проведения испытаний

Для определения дымообразования полимерных материалов авиационного назначения применяли методы в соответствии с требованиями авиационных норм: отечественных АП-25 (приложение F, часть V) — ГОСТ 24632–81 [20], американских FAR-25 [24]

и европейских CS-25 (приложение F, часть V) [25] — ASTM F814 [11]. Экспериментальное оборудование идентично для обоих стандартов. При выполнении данных исследований применяли дымовую камеру марки SD#1 производства “Govmark” (США) по ASTM E662 [8].

Испытания материалов проводили при постоянном тепловом потоке на образец 25 кВт/м^2 в режимах пиролиза (воздействие только теплового потока) и горения (воздействие теплового потока и пламени, инициирующего воспламенение). Для каждого режима испытаний и каждой толщины материала было проведено по три параллельных испытания с автоматической регистрацией оптической плотности газовой среды с интервалом 5 с.

На основе полученных кинетических кривых определяли данные по оптической плотности дыма (кинетические характеристики дымообразования) за 1,5 мин (D_{90}), 2 мин (D_{120}), 4 мин (D_{240}), а также максимально достигаемое дымообразование в процессе эксперимента (D_{max}) и время достижения максимальной оптической плотности дыма.

Согласно ASTM F814 [11] длительность эксперимента составляла 5 мин, однако при выполнении данной работы эксперимент останавливали только после прекращения увеличения оптической плотности дыма (т. е. по достижении максимальной оптической плотности).

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены кинетические кривые изменения оптической плотности дыма образцов стекло- и углепластиков толщиной от 0,5...1,0 до 2,5...4,0 мм. Видно, что с увеличением толщины, как правило, возрастает и максимальная дымообразующая способность. Одновременно происходит увеличение периода индукции (время с момента начала испытания до интенсивного дымообразования) и изменение (как в меньшую, так и в большую сторону) скорости выделения дыма. Так как согласно требованиям авиационных норм основным критерием оценки является не максимально возможное дымообразование, а оптическая плотность, достигаемая за определенное время, наибольший интерес представляет задача по установлению основных закономерностей изменения кинетических параметров дымообразования в зависимости от толщины образца.

На рис. 3 и 4 представлены кривые изменения нормируемых характеристик дымообразования в зависимости от толщины образцов ПКМ. Как видно из графиков, кинетические характеристики дымообразования D_{90} , D_{120} и D_{240} для образцов малой толщины (менее 1 мм) возрастают с увеличением

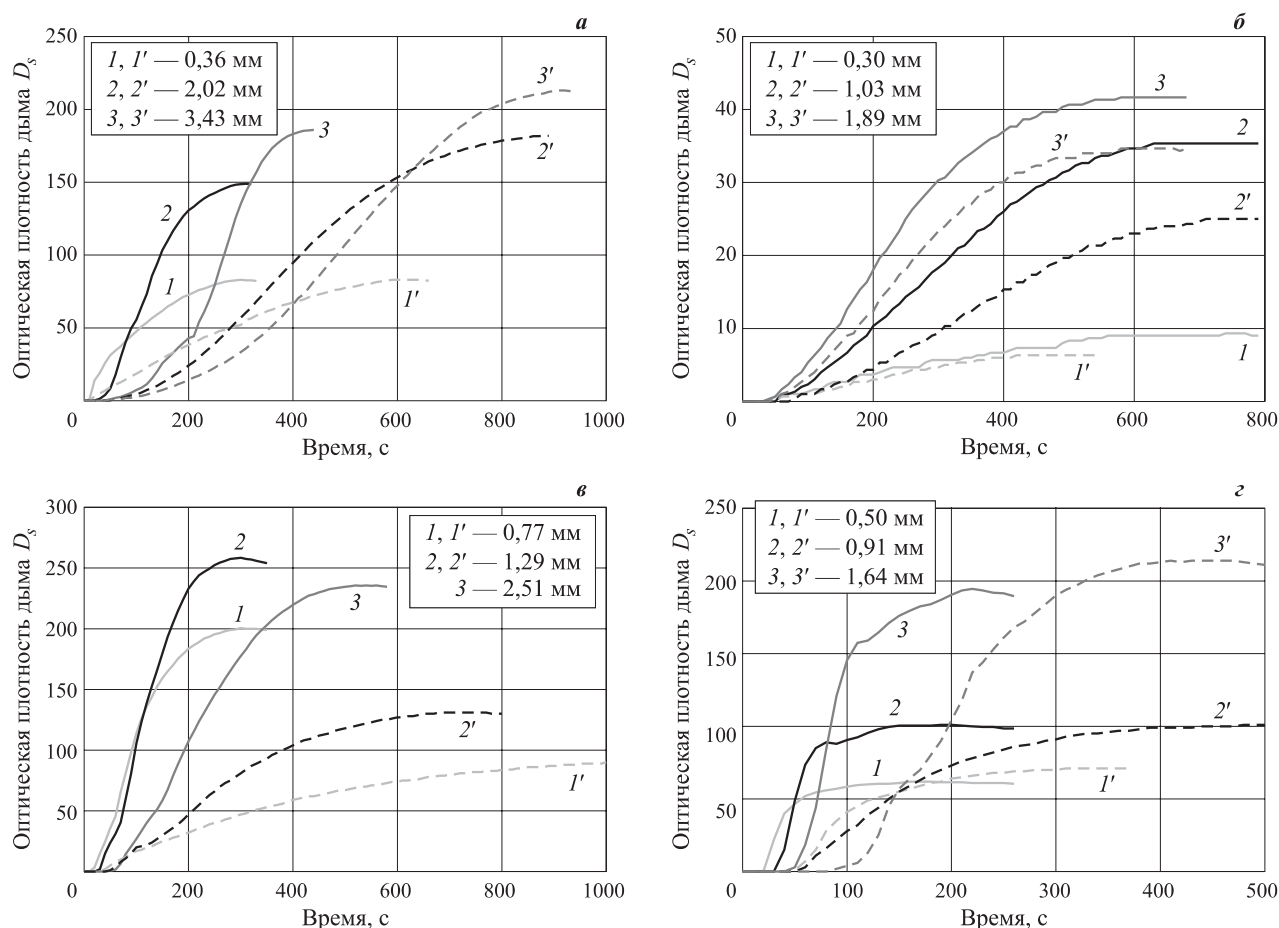


Рис. 1. Кинетика изменения оптической плотности дыма при испытании в режиме горения (1–3) и пиролиза (1'–3') стеклопластиков: а — ВПС-41; б — ВПС-42п; в — ВПС-47; з — ВПС-48

их толщины как в режиме горения, так и в режиме пиролиза. При дальнейшем увеличении толщины происходит выход на плато (максимум), а затем — снижение до нулевого значения. Толщина, при которой наблюдается максимум, зависит от вида материала (полимерного связующего), режима испытания и временной (кинетической) характеристики (т. е. D_{90} , D_{120} или D_{240}). Для исследованных марок материалов максимальные значения характеристик D_{90} и D_{120} наблюдались у образцов толщиной 0,5...1,0 мм в режиме горения и 0,5...1,5 мм в режиме пиролиза. Для интервала 240 с максимальные значения характеристики D_{240} достигались при толщине образцов 1,5...2,0 мм.

Согласно работе [1] при выполнении квалификационных испытаний образцов материалов и конструктивных элементов в настоящее время действует следующая практика: “**Except** for foam core panels with prepreg skins where each thickness will be tested, use the following approach Sandwich panels, laminates, thermoplastic parts, and parts made from a single material are shown to be compliant with § 25.853(d) (appendix F, parts IV and V) by test, or by similarity to a part with similar thickness (in the same thickness range).

For certification purposes, thickness ranges are defined to eliminate the need to test every possible thickness. It is an acceptable practice to test a given thickness within a tight range and use these data to substantiate all thicker items within that range. The following table details standard thickness ranges currently used”. То есть: “**За исключением** панелей с сердцевинной из пены с обшивками из препрега, для которых каждая толщина должна быть проверена, используется следующий подход к сэндвич-панелям, слоистым пластикам, деталям из термопластов и сделанным из отдельного материала для показа соответствия § 25.853(d) (приложение F, части IV и V) испытаниям, или подобным образцам (изготовленным по аналогичной технологии) такой же толщины (в том же самом ряду толщин). В целях легализации ряды толщин определены для того, чтобы устранить потребность в проверке каждой возможной толщины. Это является приемлемой практикой, чтобы проверить толщину в точках компактного ряда и использовать эти данные, чтобы доказать допустимость применения всех толщин стандартных деталей в заданном интервале (табл. 1). В ближайшее время согласно [11] эту практику планируется несколько изменить и использо-

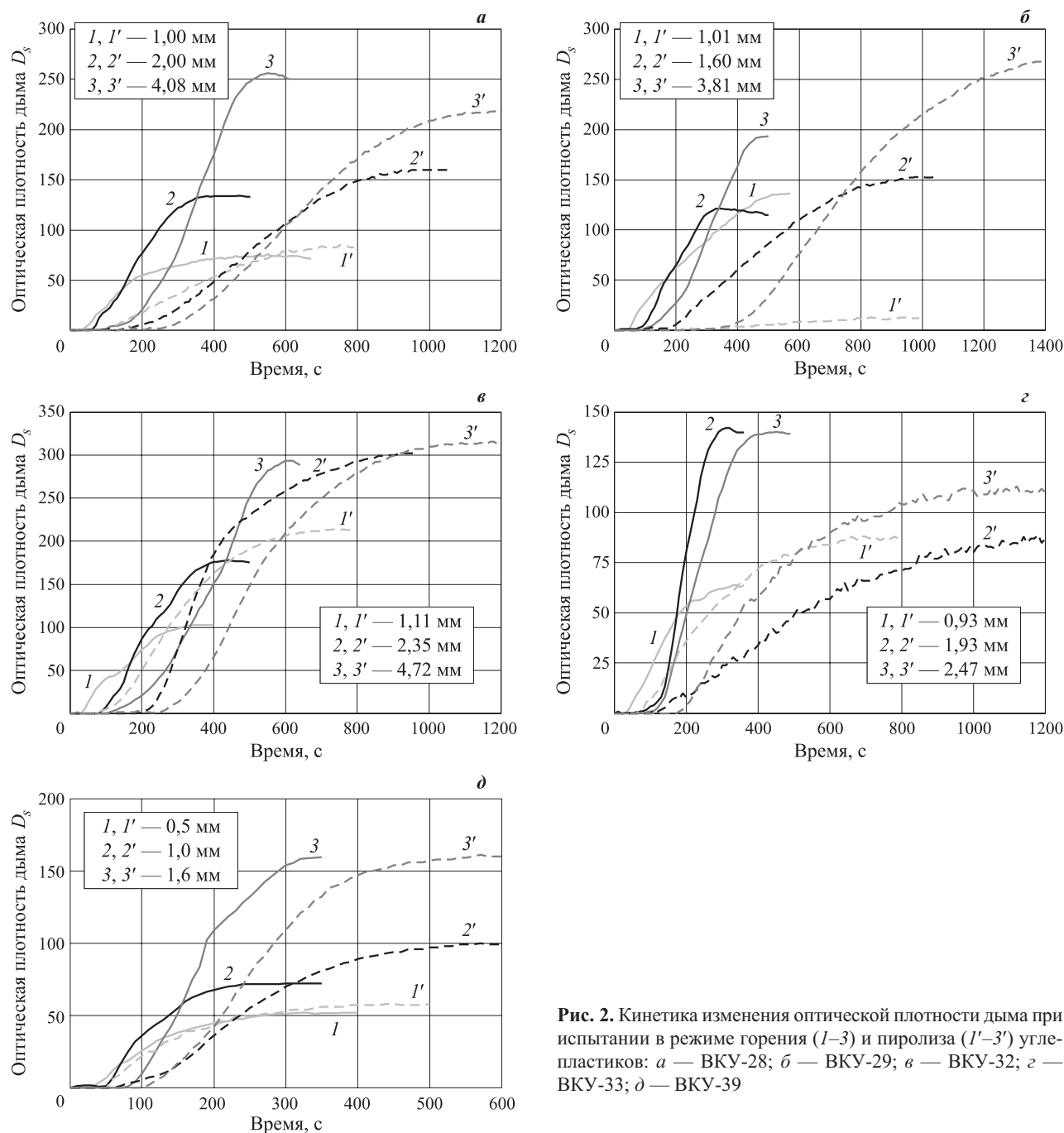


Рис. 2. Кинетика изменения оптической плотности дыма при испытании в режиме горения (1–3) и пиролиза (1'–3') углепластиков: а — ВКУ-28; б — ВКУ-29; в — ВКУ-32; г — ВКУ-33; д — ВКУ-39

вать единый ряд толщин для всех типов материалов и конструктивных элементов (табл. 2).

Из анализа полученных данных следует, что стандартный ряд толщин образцов монолитных материалов обязательно должен включать точки 0,5; 1,0 и 2,0 мм, а также толщину, близкую к предельной (бесконечно толстой) по максимальному дымообразованию, например 5,0 мм. Данный ряд толщин близок к используемому и предлагаемому в [1] рядам, но несколько отличается от них.

Обобщая полученные кривые изменения характеристик ПКМ в зависимости от толщины для различных материалов, можно сделать следующие выводы:

- все кривые изменения характеристик дымообразования (D_{90} , D_{120} , D_{240} , $D_{\max}$) при нулевой толщине, исходя из физического смысла, должны иметь нулевое значение;
- в области малых толщин увеличение толщины образца должно приводить к прямо пропорциональному увеличению данной характеристики дымообразования;
- дальнейшее увеличение толщины приводит к снижению скорости возрастания характеристики дымообразования; имеется некоторая критическая толщина, при которой этот параметр достигает максимальных значений;

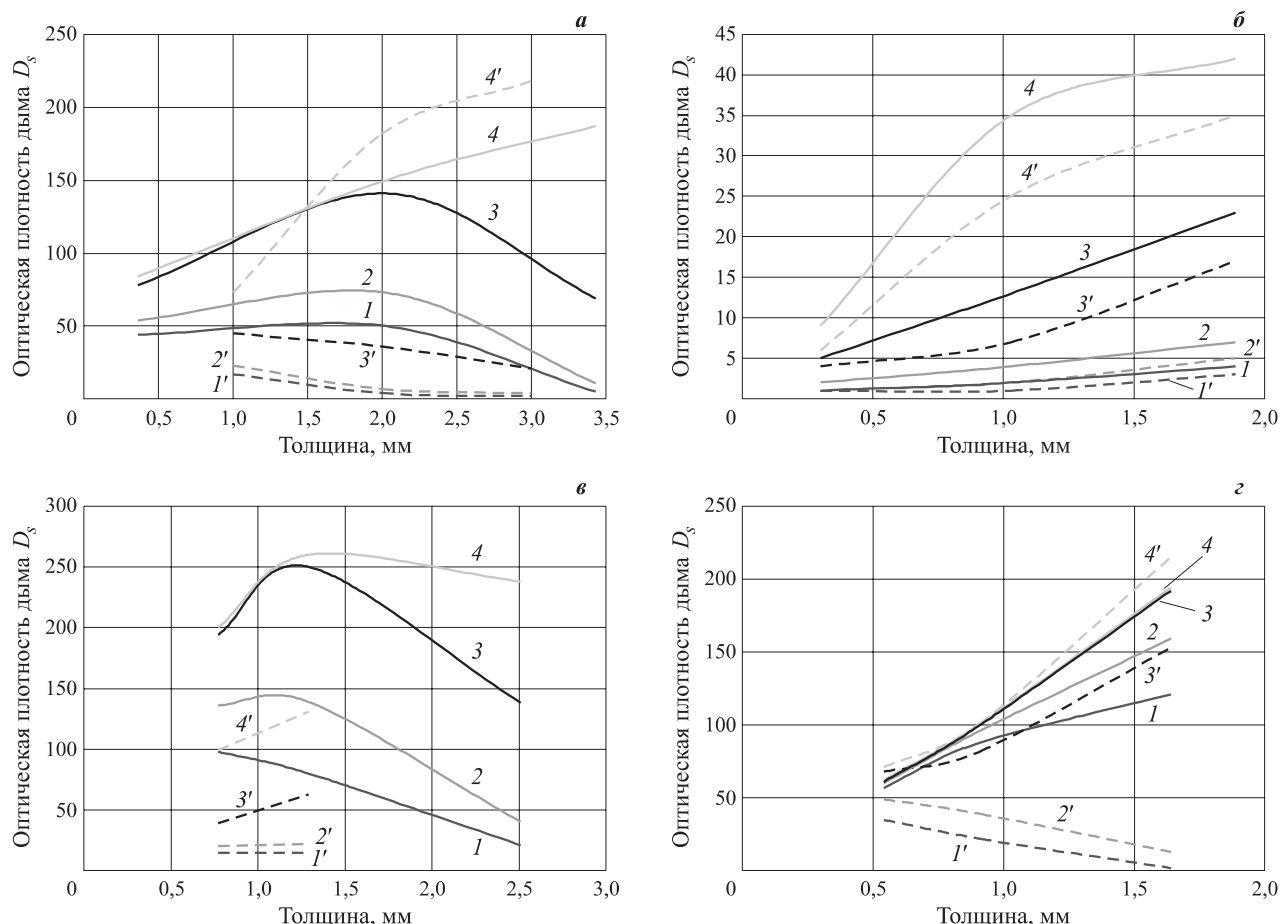


Рис. 3. Изменение основных регистрируемых характеристик дымообразования D_{90} (1, 1'), D_{120} (2, 2'), D_{240} (3, 3') и $D_{\max}$ (4, 4') в зависимости от толщины стеклопластиков при испытании в режиме горения (1–4) и пиролиза (1'–4'): а — ВПС-41; б — ВПС-42п; в — ВПС-47; г — ВПС-48

- дальнейшее увеличение толщины образца приводит к снижению кинетических характеристик (D_{90} , D_{120} и D_{240}). В зависимости от характеристик материала кинетические характеристики дымообразования для бесконечно толстого (термически толстого) материала могут снижаться вплоть до нулевого значения. Иначе говоря, нулевое дымообразование для термически толстого материала наблюдается в том случае, если за заданный интервал времени прогрев материала под действием теплового потока не достигает температуры, приводящей к термодеструкции полимера и выделению в газовую фазу конденсированных частиц, которые и вызывают повышение оптической плотности воздушной среды. Уменьшение кинетических характеристик при увеличении толщины материала может быть объяснено повышением затрат на прогрев лицевой поверхности образца до температуры термодеструкции. Наиболее существенно уменьшение дымообразования должно проявляться у материалов, имеющих высокую теплоемкость, теплопроводность и высокую температуру начала термодеструкции (высокая термостойкость).

Максимальное дымообразование в отличие от кинетических характеристик, как правило, не имеет максимума. Изменение характеристики максимального дымообразования с увеличением толщины материала может быть описано уравнением вида:

$$D_{\max} = k_3 (1 - e^{-k_2 \delta^m}), \quad (3)$$

где $D_{\max}$ — характеристика максимального дымообразования материала;
 k_2 , k_3 — коэффициенты;
 δ — толщина образца, мм;
 m — показатель степени.

Изменение характеристик дымообразования (D_{90} , D_{120} и D_{240}) с увеличением толщины образца (в случае снижения характеристики до нулевого значения для термически толстого образца) может быть описано уравнением вида:

$$D_t = k_1 \delta e^{-k_2 \delta^n}, \quad (4)$$

где D_t — характеристика дымообразования (D_{90} , D_{120} или D_{240});
 k_1 — коэффициент;
 n — показатель степени.

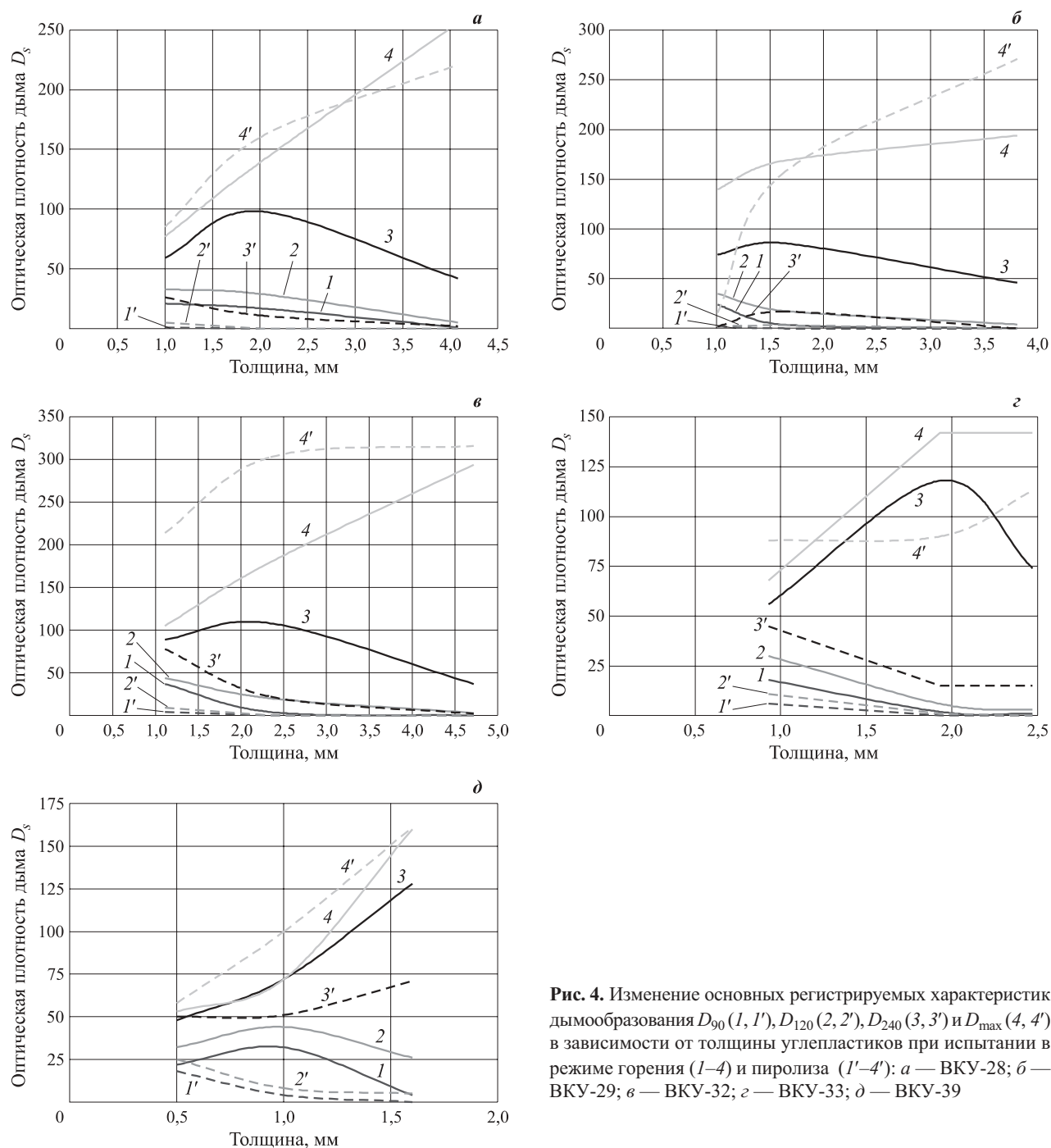


Рис. 4. Изменение основных регистрируемых характеристик дымообразования D_{90} (1, 1'), D_{120} (2, 2'), D_{240} (3, 3') и $D_{\max}$ (4, 4') в зависимости от толщины углепластиков при испытании в режиме горения (1–4) и пиролиза (1'–4'): а — ВКУ-28; б — ВКУ-29; в — ВКУ-32; г — ВКУ-33; д — ВКУ-39

Для описания изменения характеристик дымообразования в общем случае, в том числе при кинетических характеристиках для термически толстого материала, отличных от нулевого уровня, уравнения (3) и (4) могут быть объединены и приведены к виду:

$$D_t = k_1 \delta e^{-k_2 \delta^n} + k_3 (1 - e^{-k_2 \delta^m}), \quad (5)$$

где D_t — характеристика дымообразования (D_{90} , D_{120} , D_{240} или $D_{\max}$).

В работе [28] обосновано и применено уравнение аналогичного вида для описания кривых изменения

характеристик тепловыделения с изменением толщины материала, что объясняется схожими условиями термоокислительной деструкции материала в условиях испытаний.

Коэффициенты можно рассчитать непосредственно по экспериментальным кривым изменения кинетических характеристик с увеличением толщины образца, используя метод наименьших квадратов (МНК) или постановку ряда отдельных экспериментов.

Коэффициент k_1 имеет физический смысл как показатель изменения дымообразования с увеличе-

Таблица 1. Действующие ряды толщин образцов материалов для показа соответствия требованиям авиационных норм FAR-25 (приложение F части IV и V) [1]

Тип образца	Интервал толщин, дюймы (мм)
Сэндвич-панель	0,125 (3,2)
	0,188 (4,8)
	0,250 (6,3)
	0,500 (12,7)
	0,750 (19,1)
	1,750 (44,5) и более
Ламинаты и термопласты	0,020 (0,5)
	0,040 (1,0)
	0,060 (1,5)
	0,080 (2,0)
	0,100 (2,5)
	0,200 (5,1)
	0,300 (7,6)
	0,500 (12,7)
	0,750 (19,1)
	1,750 (44,5) и более
Детали, выполненные из одной полимерной матрицы	0,080 (2,0)
	0,120 (3,0)
	0,250 (6,3)
	0,50 (12,7)
	1,750 (44,5) и более

Примечание. Перевод единиц измерения в метрическую систему выполнен авторами статьи.

нием толщины при малых толщинах образцов и описывается уравнением

$$k_1 = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\Delta D_t}{\Delta \delta}. \quad (6)$$

Следовательно, для определения коэффициента k_1 необходимо провести испытания наиболее тонкого образца (пленочного или однослойного композиционного материала толщиной не более 0,1...0,3 мм).

Коэффициент k_3 равен предельному значению характеристики дымообразования для образца бесконечной толщины, т. е.

$$k_3 = \lim_{\delta \rightarrow \infty} D_t. \quad (7)$$

Таким образом, для определения коэффициента k_3 необходимо провести испытания образца максимальной толщины. Имеющиеся экспериментальные данные показывают, что необходимо испытание образцов толщиной не менее 5...10 мм, а в отдельных случаях и более толстых.

После определения коэффициентов k_1 и k_3 на основании уравнения (5) возможен расчет коэффициента k_2 . Однако в связи с высокими погрешнос-

Таблица 2. Планируемый согласно [1] к введению ряд толщин образцов материалов для показа соответствия требованиям авиационных норм FAR-25 (приложение F части IV и V)

Толщина, дюймы (мм)	Испытываемые толщины для показа соответствия, дюймы (мм)
0,02–0,06 (0,5–1,5)	0,02; 0,06 (0,5; 1,5)
0,06–0,10 (1,5–2,5)	0,06; 0,10 (1,5; 2,5)
0,10–0,25 (2,5–6,0)	0,10; 0,25 (2,5; 6,0)
0,25–0,50 (6,0–12,5)	0,25; 0,50 (6,0; 12,5)
0,5–1,0 (12,5–25,5)	0,5; 1,0 (12,5; 25,5)
1,00–1,75 (25,5–44,5)	1,00; 1,75* (25,5; 44,5*)
1,75 и более (44,5 и более)	1,75* (44,5*)

* Образцы 1,75 дюйма (44,5 мм) и толще не испытываются на дымообразование.
Примечание. Перевод единиц измерения в метрическую систему выполнен в [1].

тями по определению коэффициента k_1 при проведении испытаний очень тонких материалов и неопределенностью достижения предельных значений коэффициента k_3 более целесообразно выполнять расчеты по методу МНК.

В качестве примера в табл. 3 приведены варианты расчетов коэффициентов для материала ВПС-41 с использованием МНК (полученные значения округлены до трех значащих цифр).

При выполнении расчетов были приняты следующие граничные условия:

- величина коэффициента k_3 не может превышать $D_{\max}$ для образцов толщиной 3,43 мм более чем в 1,3 раза;
- показатели степени n и m не могут иметь нулевое или отрицательное значение (задано, что минимальное значение составляет не менее 0,1).

При расчетах толщина образца была выражена в миллиметрах. Адекватность полученного уравнения

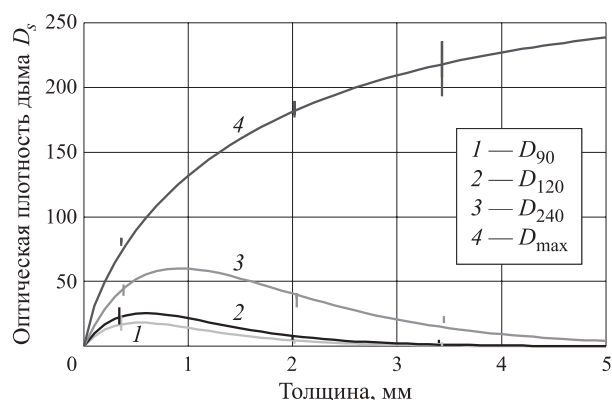


Рис. 5. Расчетные зависимости основных регистрируемых характеристик дымообразования от толщины стеклопластика ВПС-41 при испытании в режиме пиролиза

Таблица 3. Результаты расчета коэффициентов уравнений для материала ВПС-41 при различных кинетических характеристиках дымообразования и математических моделях

Характеристика дымообразования (режим испытания)	Вариант расчета	Номер уравнения	Задаваемые параметры и их значения	Рассчитываемые параметры и полученные значения	Коэффициент корреляции R^2
$D_{\max}$ (горение)	1	(3)	$m = 1$	$k_3 = 173; k_2 = 1,69$	0,951
	2	(3)	–	$k_3 = 243; k_2 = 0,710; m = 0,536$	0,993
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 0,030; k_3 = 173; k_2 = 1,69$	0,951
	4	(5)	$n = 1$	$k_1 = 0,030; k_3 = 243; k_2 = 0,710; m = 0,536$	0,993
$D_{\max}$ (пиролиз)	1	(3)	$m = 1$	$k_3 = 220; k_2 = 1,00$	0,995
	2	(3)	–	$k_3 = 268; k_2 = 0,678; m = 0,739$	1,000
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 0,000; k_3 = 220; k_2 = 1,00$	0,995
	4	(5)	$n = 1$	$k_1 = 0,000; k_3 = 268; k_2 = 0,678; m = 0,739$	1,000
D_{90} (горение)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 193; k_2 = 1,09$	0,971
	2	(4)	–	$k_1 = 130; k_2 = 0,444; n = 1,88$	1,000
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 193; k_3 = 0,000; k_2 = 1,09$	0,971
	4	(5)	$m = 1$	$k_1 = 130; k_3 = 0,000; k_2 = 0,444; n = 1,88$	1,000
	5	(5)	$n = 2; m = 1$	$k_1 = 128; k_3 = 1,84; k_2 = 0,408$	1,000
D_{90} (пиролиз)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 92,1; k_2 = 1,86$	0,995
	2	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 99,4; k_3 = 1,84; k_2 = 2,24$	1,000
	3	(5)	$n = 2; m = 1$	$k_1 = 85,8; k_3 = 3,00; k_2 = 5,91$	0,992
D_{120} (горение)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 237; k_2 = 1,01$	0,973
	2	(4)	–	$k_1 = 160; k_2 = 0,412; n = 1,83$	1,000
	3	(4)	$n = 2$	$k_1 = 155; k_2 = 0,353$	1,000
	4	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 237; k_3 = 0,000; k_2 = 1,01$	0,973
D_{120} (пиролиз)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 117; k_2 = 1,69$	0,988
	2	(4)	$n = 2$	$k_1 = 70,2; k_2 = 0,735$	0,988
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 126; k_3 = 3,73; k_2 = 2,15$	1,000
D_{240} (горение)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 307; k_2 = 0,764$	1,000
	2	(4)	$n = 2$	$k_1 = 166; k_2 = 0,193$	0,993
	3	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 307; k_3 = 0,000; k_2 = 0,764$	1,000
	4	(5)	$n = 2; m = 2$	$k_1 = 219; k_3 = 61,5; k_2 = 0,383$	1,000
	5	(5)	$n = m$	$k_1 = 248; k_3 = 0,000; k_2 = 0,513; n = m = 1,29$	1,000
D_{240} (пиролиз)	1	(4)	$n = 1$	$k_1 = 177; k_2 = 1,08$	0,960
	2	(4)	$n = 2$	$k_1 = 128; k_2 = 0,466$	0,962
	3	(4)	–	$k_1 = 436; k_2 = 2,18; n = 0,544$	1,000
	4	(5)	$n = 1; m = 1$	$k_1 = 178; k_3 = 16,4; k_2 = 2,15$	1,000
	5	(5)	$n = 2; m = 2$	$k_1 = 131; k_3 = 20,9; k_2 = 0,681$	1,000
	6	(5)	$n = m$	$k_1 = 436; k_3 = 0,000; k_2 = 2,18; n = m = 0,544$	1,000

математической модели оценивалась по критерию Фишера.

Во всех вариантах расчета получен высокий коэффициент корреляции (не менее 0,95); все полученные уравнения описывали изменение характеристик адекватно.

При использовании уравнения (5) получены значения коэффициента k_1 , близкие к нулю, т. е. величиной первого члена уравнения можно пренебречь.

Следовательно, для характеристики максимального дымообразования наиболее целесообразно применение уравнения (3). Наилучшая корреляция с экспериментальными данными получена при значении показателя степени m , близком к 0,5 для режима горения и 0,75 для режима пиролиза.

Для материала ВПС-41 изменение кинетических характеристик дымообразования D_{90} , D_{120} и D_{240} с увеличением толщины удовлетворительно описыва-

ется уравнением (4). В случае использования уравнения (5) величина рассчитанного коэффициента k_3 существенно меньше максимального значения данной характеристики при наихудшей толщине. Таким образом, вторым членом уравнения можно пренебречь. Полученные значения коэффициента корреляции не позволяют однозначно рекомендовать использование показателя степени n , отличного от 1,00. На рис. 5 приведены графики, описывающие изменение характеристик дымообразования с ростом толщины при испытании в режиме пиролиза. Коэффициенты уравнений для всех характеристик были рассчитаны по первым вариантам табл. 3.

Выводы

Исследовано и проанализировано влияние толщины образцов на характеристики дымообразования (дымообразование за 1,5; 2 и 4 мин и максимальное в режимах горения и пиролиза) монолитных композиционных материалов (стекло- и углепластики).

Установлено, что с ростом толщины образца существенно увеличивается время индукции до начала дымообразования.

Выявлен экстремальный (с максимумом) вид кривых кинетических характеристик дымообразования и установлены толщины образцов, определяющие максимальные (наихудшие) значения характеристик дымообразования D_{90} , D_{120} и D_{240} .

Предложены уравнения, описывающие изменение нормируемых характеристик дымообразования материалов авиационного назначения в зависимости от толщины испытываемого образца. Для стеклопластика ВПС-41 методом МНК рассчитаны коэффициенты уравнений, проверена и подтверждена адекватность использованных математических моделей экспериментальным данным, установлен высокий уровень корреляции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 14-29-10186 “код офи-м”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cambell S., Jensen M., Sattayatham P.* Flammability Standardization Task Group — Final Reports: Federal Aviation Administration Draft Policy Memo, AMN-115-09-XXX, August 20, 2009 // Report FAA DOT/FAA/TC-12/10. — 2012. — 881 p. URL : <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC-12-10> (дата обращения: 13.02.2015).
2. *Carlo Al.* Strategic approach to fire safety // The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. — 13 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/CarloStrategicApproach/CarloStrategicApproachPres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
3. *Moraine J., Yon J., Talbaut M., Coppalle A.* Properties of smokes emitted during smoke-chamber tests // The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. — 15 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Fire_Research_I/CoppalleSmokeEms/CoppalleSmokeEmsPres.pptx (дата обращения: 13.02.2015).
4. *Campbell S., Jensen M.* Flammability Standardization Task Group // The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. — 28 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_II/CampbellStandardization/CampbellStandardizationPres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
5. *Hill R.* Development/Updating of Material Flammability Test Methods in Support of Proposed Part 25 Regulatory Change // The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. — 15 p. URL: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/HillSupportPart25/HillSupportParat25Pres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
6. *Le Neve S.* Fire behaviour of structural composite materials (progress of the work) // The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. — 39 p. URL : http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_I/LeNeveFireBehavior/LeneveFireBehaviorPres.pdf (дата обращения: 13.02.2015).
7. *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.
8. ASTM E662–09. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials.
9. ISO 5659–2. Plastics — Smoke Generation — Part 2: Determination of Optical Density by Single-Chamber Test.

10. ASTM E1995–08. Standard Test Method for Measurement of Smoke Obscuration Using a Conical Radiant Source in a Single Closed Chamber, With the Test Specimen Oriented Horizontally.
11. ASTM F814–84B. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials for Aerospace Applications.
12. ASTM D2843–10. Standard Test Method for Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics.
13. 2012 International Building Code / International Code Council Inc., USA, 2011. — 730 p.
14. 2012 International Fire Code / International Code Council Inc., USA, 2011. — 546 p.
15. ASTM E1537–07. Standard Test Method for Fire Testing of Upholstered Furniture.
16. ASTM E84–12. Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials.
17. ASTM E906M–10. Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using a Thermopile Method.
18. ASTM E1354–11B. Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter.
19. ГОСТ 12.1.044–89*. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. — Введ. 01.01.91. — М. : Изд-во стандартов, 1989; ИПК “Изд-во стандартов”, 1996; 2001.
20. ГОСТ 24632–81. Материалы полимерные. Метод определения дымообразования. — Введ. 01.01.82. — М. : Изд-во стандартов, 1981.
21. ATS-1000.001. Airbus Industrie Technical Specification. Fire-Smoke-Toxicity (FST). Test Specification.
22. Нормы летной годности гражданских самолетов СССР / Межведомственная комиссия по нормам летной годности гражданских самолетов и вертолетов СССР. — Изд. 3-е. — М. : ЦАГИ, 1984. — 464 с.
23. Авиационные правила. Часть 25. Нормы летной годности транспортных самолетов // Межгосударственный авиационный комитет. — Изд. 3-е с поправк. 1–6. — М. : ОАО Авиаиздат, 2009. — 274 с.
24. Federal Register. 14 CFR Part 25 — Airworthiness Standards. Transport Category Airplanes // Federal Aviation Administration. URL : <http://www.faa.gov/regulations/policies/faa-regulations> (дата обращения: 15.12.2014).
25. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25. Amendment 15. — European Aviation Safety Agency, 2014. — 921 p.
26. Барботько С. Л., Дементьева Л. А., Сереженков А. А. Горючесть стекло- и углепластиков на основе клеевых препрегов // Клеи. Герметики. Технологии. — 2008. — № 7. — С. 29–31.
27. Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Изотова Т. Ф., Барботько С. Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала за счет изменения его структуры // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 1. — С. 27–30.
28. Барботько С. Л., Швец Н. И., Застрогина О. Б., Изотова Т. Ф. Исследование влияния толщины стеклопластиков на характеристики тепловыделения при горении // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 30–36.
29. 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. — С. 3–33.
30. Каблов Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. — 2012. — Т. 82, № 6. — С. 520–530.
31. Каблов Е. Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2008. — № 3. — С. 2–14.
32. Давыдова И. Ф., Кавун Н. С. Стеклопластики — многофункциональные композиционные материалы // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 253–260.
33. Борщев А. В., Хрульков А. В., Халтурина Д. С. Изготовление низкопористого полимерного композиционного материала для применения в слабо- и средненагруженных конструкциях // Труды ВИАМ. — 2014. — № 7. — Ст. 03. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/682.pdf> (дата обращения: 03.02.2015).
34. Гуляев И. Н., Власенко Ф. С., Зеленина И. В., Раскутин А. Е. Направления развития термостойких углепластиков на основе полиимидных и гетероциклических полимеров // Труды ВИАМ. — 2014. — № 1. — Ст. 04. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/636.pdf> (дата обращения: 03.02.2015).

35. Кириллов В. Н., Ефимов В. А., Барботько С. Л., Николаев Е. В. Методические особенности проведения и обработки результатов климатических испытаний полимерных композиционных материалов // Пластические массы. — 2013. — № 1. — С. 37–41.
36. Ефимов В. А., Шведкова А. К., Коренькова Т. Г., Кириллов В. Н. Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натурных условиях // Труды ВИАМ. — 2013. — № 1. — Ст. 05. URL : <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/5.pdf> (дата обращения: 06.02.2015).
37. Кириллов В. Н., Ванюров Ю. М., Дрозд Е. А. Исследование атмосферной стойкости полимерных композиционных материалов в условиях атмосферы теплого влажного и умеренно теплого климата // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 4. — С. 31–38.
38. Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Постнов В. И. Влияние длительного теплового воздействия на пожаробезопасность полимерных материалов // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 1. — С. 12–20.
39. Барботько С. Л., Барботько М. С., Вольный О. С., Шведкова А. К. Исследование длительных совместных воздействий факторов температуры и влажности на пожаробезопасность стеклопластиков // Пожаровзрывобезопасность. — 2014. — Т. 23, № 7. — С. 16–25.

Материал поступил в редакцию 27 февраля 2015 г.

English

FEATURES THE TESTING OF AVIATION MATERIALS ON FIRE SAFETY. Part 3. Test on smoke density. Influence of sample thickness on registered characteristics

BARBOTKO S. L., Candidate of Technical Sciences, Chief of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: slbarbotko@yandex.ru)

VOLNYI O. S., Leading Engineer of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

KIRIENKO O. A., Candidate of Chemical Sciences, Leading Research Associate of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

SHURKOVA E. N., Engineer of 2th category of Laboratory "Research of Nonmetallic Materials on Climatic, Microbiological Resistance and Fire Safety", All-Russian Science-Research Institute of Aviation Materials (VIAM) (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

ABSTRACT

According to requirements of aviation normative documents, materials of internal furnish of passenger cabins have to be checked on smoke-generating ability. State Standard 24632 is applied in Russia at smoke density qualification tests of aviation materials. Unlike the method described in item 4.18 of Interstate Standard 12.1.044, smoke density defined according at State Standard 24632 belongs to area of the material, instead of to its weight. Therefore, when using polymeric materials of aviation assignment of different thickness, there is need of carrying out tests of samples for each option of thickness. According to requirements of aviation norms on which the admissibility of application of materials in products is defined by the main characteristics of smoke density are kinetic indicators, that is the optical density for the given period of time (90, 120 or 240 sec).

In this work foreign experience is analyzed, researches are conducted and available data on influence of thickness for different types of monolithic composite materials on registered indicators of smoke density are generalized. A presence of extremum (maximum) on schedules of change of characteristics of smoke density from thickness of sample of material is shown. Depending on type

of material and the characteristic time of smoke density, thickness at which the maximum of smoke density is observed may change in the range from 1 to 3 mm.

The equations of kinetic characteristics of smoke density describing character depending on thickness of tested sample are offered. Calculations of factors of the equations are carried out for the material VPS-41, the regression analysis is made, adequacy of the used mathematical models to experimental data is checked and confirmed and high level of correlation is established.

Keywords: smoke density; thickness; polymeric composite material; fiberglass; carbon fiber-reinforced plastic; aviation norms.

REFERENCES

1. Cambell S., Jensen M., Sattayam P. Flammability Standardization Task Group — Final Reports: Federal Aviation Administration Draft Policy Memo, AMN-115-09-XXX, August 20, 2009. *Report FAA DOT/FAA/TC-12/10*, 2012. 881 p. Available at: <http://www.fire.tc.faa.gov/pdf/TC-12-10.pdf> (Accessed 13 February 2015).
2. Carlo Al. Strategic Approach to Fire Safety. *The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. 13 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/CarloStrategicApproach/CarloStrategicApproachPres.pdf (Accessed 13 February 2015).
3. Moraine J., Yon J., Talbaut M., Coppalle A. Properties of smokes emitted during smoke-chamber tests. *The 7th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Philadelphia, PA, USA, December 2–5, 2013. 15 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2013Conference/files/Fire_Research_I/CoppalleSmokeEms/CoppalleSmokeEmsPres.pptx (Accessed 13 February 2015).
4. Campbell S., Jensen M. Flammability Standardization Task Group. *The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. 28 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_II/Campbell-Standardization/CampbellStandardizationPres.pdf (Accessed 13 February 2015).
5. Hill R. Development/Updating of Material Flammability Test Methods in Support of Proposed Part 25 Regulatory Change. *The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. 15 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Aircraft_Fire_Safety/HillSupportPart25/HillSupportParat25Pres.pdf (Accessed 13 February 2015).
6. Le Neve S. Fire Behaviour of Structural Composite Materials (progress of the work). *The 6th Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, Atlantic City, NJ, USA, 28 October 2010. 39 p. Available at: http://www.fire.tc.faa.gov/2010Conference/files/Materials_Safety_Development_I/LeNeveFireBehavior/LeneveFireBehaviorPres.pdf (Accessed 13 February 2015).
7. Barbotko S. L., Volny O. S., Kirienko O. A., Lutsenko A. N., Shurkova E. N. Sopostavleniye metodov otsenki pozharной opasnosti polimernykh materialov v razlichnykh otraslyakh transporta i promyshlennosti [The comparison of fire danger assessment methods for polymeric materials in the different branches of transport and industries]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik — All Materials. Encyclopedic handbook*, 2015, no. 1, pp. 2–9.
8. ASTM E662–09. *Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials*.
9. ISO 5659–2. *Plastics — Smoke Generation — Part 2: Determination of Optical Density by Single-Chamber Test*.
10. ASTM E1995–08. *Standard Test Method for Measurement of Smoke Obscuration Using a Conical Radiant Source in a Single Closed Chamber, with the Test Specimen Oriented Horizontally*.
11. ASTM F814–84B. *Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials for Aerospace Applications*.
12. ASTM D2843–10. *Standard Test Method for Density of Smoke from the Burning or Decomposition of Plastics*.
13. 2012 *International Building Code*. International Code Council Inc., USA, 2011. 730 p.
14. 2012 *International Fire Code*. International Code Council Inc., USA, 2011. 546 p.
15. ASTM E1537–07. *Standard Test Method for Fire Testing of Upholstered Furniture*.
16. ASTM E84–12. *Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials*.
17. ASTM E906M–10. *Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using a Thermopile Method*.
18. ASTM E1354–11B. *Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter*.

19. Interstate Standard 12.1.044–89*. *Occupational Safety Standards System. Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials. Nomenclature of Indices and Methods of Their Determination*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1989; IPK Izdatelstvo standartov, 1996; 2001 (in Russian).
20. State Standard 24632–81. *Materials Polymer. Method for Determination of Smoke Development*. Moscow, Izdatelstvo standartov, 1981 (in Russian).
21. ATS-1000.001. *Airbus Industrie Technical Specification. Fire-Smoke-Toxicity (FST). Test Specification*.
22. *Norms of the flight validity for civil aircrafts of the USSR*. Second edition. Moscow, TsAGI Publ., 1974. 344 p. (in Russian).
23. *Aviation rules. Chapter 25. Airworthiness norms for transport category airplanes*. Interstate Aviation Committee. Ed. 3 with amendments 1–6. Moscow, Aviaizdat, 2009. 274 p. (in Russian).
24. *Federal Register. 14 CFR Part 25 — Airworthiness standards. Transport category airplanes*. Federal Aviation Administration. Available at: http://www.faa.gov/regulations_policies/faa_regulations (Accessed 15 December 2014).
25. *Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes CS-25. Amendment 15*. European Aviation Safety Agency, 2014. 921 p.
26. Barbotko S. L., Dementyeva L. A., Serezhnikov A. A. Goryuchest steklo- i ugleplastikov na osnove kleevykh prepregov [Combustibility of glass- and carbon- plastics based on the glue preregs]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii — Glues. Sealing. Technologies*, 2008, no. 7, pp. 29–31.
27. Shurkova E. N., Volnyy O. S., Izotova T. F., Barbotko S. L. Issledovaniye vozmozhnosti snizheniya teplovydeleniya pri gorenii kompozitsionnogo materiala putem izmeneniya ego struktury [Research of an opportunity to reduction the heat release at burning for polymer composite material due to a changing of its structure]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 1, pp. 27–30.
28. Barbotko S. L., Shvets N. I., Zastrogina O. B., Izotova T. F. Issledovaniye vliyaniya tolshchiny stekloplastikov na kharakteristiki teplovydeleniya pri gorenii [The influence of fibreglasses thickness on heat release characteristics at burning]. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 30–36.
29. Kablov E. N. Innovatsionnyye razrabotki FGUP “VIAM” GNTs RF po realizatsii “Strategicheskikh napravleniy razvitiya materialov i tekhnologiy ikh pererabotki na period do 2030 goda” [Innovative development of Federal State Unitary Enterprise “VIAM” the State Scientific Centre of Russian Federation on implementation “The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030”]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2015, no. 1, pp. 3–33.
30. Kablov E. N. Materialy i khimicheskiye tekhnologii dlya aviatsionnoy tekhniki [Materials and chemical technologies for aviation technics]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk — Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
31. Kablov E. N. Aviakosmicheskoye materialovedeniye [Aerospace materials science]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik — All Materials. Encyclopedic Handbook*, 2008, no. 3, pp. 2–14.
32. Davydova I. F., Kavun N. S. Stekloplastiki — mnogofunktsionalnyye kompozitsionnyye materialy [Fibreglasses — multifunction composite materials]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. S, pp. 253–260.
33. Borshchev A. V., Khrulkov A. V., Khalturina D. S. Izgotovleniye nizkoporistogo polimernogo kompozitsionnogo materiala dlya primeneniya v slabo- i srednenagruzhennykh konstruktsiyakh [Manufacturing of low-porous polymeric composite material for application in weak and middle load designs]. *Trudy VIAM — Proc. VIAM*, 2014, no. 7, art. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/682.pdf> (Accessed 3 February 2015).
34. Gulyaev I. N., Vlasenko F. S., Zelenina I. V., Raskutin A. E. Napravleniya razvitiya termostoykikh ugleplastikov na osnove poliimidnykh i geterotsiklicheskiykh polimerov [The directions of development heat-resistant carbonplastics on the basis of polyimide and heterocyclic polymers]. *Trudy VIAM — Proc. VIAM*, 2014, no. 1, art. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/636.pdf> (Accessed 3 February 2015).
35. Kirillov V. N., Efimov V. A., Barbotko S. L., Nikolaev E. V. Metodicheskiye osobennosti provedeniya i obrabotki rezultatov klimaticheskikh ispytaniy polimernykh kompozitsionnykh materialov [Methodical features of carrying out and processing of results of climatic tests for polymeric composite materials]. *Plasticheskiye massy — Plastics*, 2013, no. 1, pp. 37–41.

36. Efimov V. A., Shvedkova F. K., Korenkova T. G., Kirillov V. N. Issledovaniye polimernykh konstruktsionnykh materialov pri vozdeystvii klimaticheskikh faktorov i nagruzok v laboratornykh i naturnykh usloviyakh [Research of polymeric constructional materials at influence of climatic factors and loadings in laboratory and natural conditions]. *Trudy VIAM — Proc. VIAM*, 2013, no. 1, art. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru/plugins/content/journal/uploads/articles/pdf/5.pdf> (Accessed 6 February 2015).
37. Kirillov V. N., Vapirov Yu. M., Drozd E. A. Issledovaniye atmosfernoй stoykosti polimernykh kompozitsionnykh materialov v usloviyakh atmosfery teplogo vlazhnogo i umerenno teplogo klimata [Research of atmospheric firmness of polymeric composite materials in the conditions of the atmosphere of warm wet and moderately warm climate]. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii — Aviation Materials and Technology*, 2012, no. 4, pp. 31–38.
38. Barbotko S. L., Barbotko M. S., Volnyy O. S., Postnov V. I. Vliyaniye dlitelnogo teplovogo vozdeystviya na pozharobezопасnost polimernykh materialov [Influence of long thermal exposure on fire safety of polymeric materials]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 1, pp. 12–20.
39. Barbotko S. L., Barbotko M. S., Volnyy O. S., Shvedkova A. K. Issledovaniye dlitelnykh sovместnykh vozdeystviy temperatury i vlazhnosti na pozharobezопасnost stekloplastikov [Research of joint long-time impacts of temperature and humidity on fire safety of glass reinforced polymers]. *Pozharovzryvobezопасnost — Fire and Explosion Safety*, 2014, vol. 23, no. 7, pp. 16–25.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины «Основы безопасности жизнедеятельности» в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03;
e-mail: mail@firepress.ru; www.firepress.ru