

УДК 699.81:678.8

М.А. Венедиктова¹, А.А. Евдокимов¹, Л.Л. Краснов¹, А.П. Петрова¹

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ПАСТЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-67-75

Исследована возможность повышения пожаробезопасности стеклопластика ВПС-58 и углепластика ВКУ-51 путем нанесения огнезащитной вспенивающейся пасты марки ВЗО-9х. Проведены комплексные исследования физико-механических, огнезащитных и теплофизических свойств огнезащитной пасты ВЗО-9х. По результатам исследований установлено, что огнезащитная паста ВЗО-9х соответствует предъявляемым требованиям и может применяться для повышения пожаробезопасности конструкций из полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова: огнезащитная паста, полимерные композиционные материалы, пожаробезопасность, углепластик, стеклопластик, тепловая защита.

М.А. Venediktova¹, А.А. Evdokimov¹, L.L. Krasnov¹, А.Р. Petrova¹

RESEARCH OF POSSIBILITY OF APPLICATION OF FIREPROOF PASTE FOR INCREASE OF FIRE SAFETY OF DESIGNS FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

Possibility of increase of fire safety of VPS-58 glass fibre plastics and carbon fiber-reinforced plastic the VKU-51 brands by putting fireproof swelling-up fireproof paste of the VZO-9kh brand is investigated. Complex researches of physico-mechanical, fire and heat-physical properties of fireproof paste of the VZO-9kh brand are conducted. By results of researches it is established that fireproof paste of the VZO-9kh brand corresponds to qualifying standards and can be applied to increase of fire safety of designs from polymeric composite materials.

Keywords: fireproof paste, polymeric composite materials, fire safety, carbon fiber-reinforced plastic, glass fibre plastics, thermal protection.

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

Введение

Развитие современной промышленности невозможно без внедрения в различные отрасли современных полимерных композиционных материалов (ПКМ). Анализ статистических данных свидетельствует о росте доли применения ПКМ на мировом рынке в различных отраслях промышленности. Совокупный среднегодовой темп роста составляет от 4 до 7,7 %. В транспортном машиностроении доля применения ПКМ составляла на 2019 г. порядка 28 % от общего объема, в строительстве ~19 %, электронике ~16 %, производстве труб и резервуаров ~15 % [1].

Использование ПКМ в строительстве позволяет улучшить коррозионную стойкость, стойкость к воздействию неблагоприятных климатических факторов, снизить массу конструкций, увеличить межремонтные интервалы и т. д. [2].

В настоящее время наметилась тенденция к применению ПКМ в строительной индустрии, где их используют для внешнего армирования строительных конструкций: опор колонн, мостовых сооружений и т. д. [3–6].

При возведении мостовых сооружений использование ПКМ привлекательно также тем, что помимо защитной функции ПКМ выполняет также функцию внешнего армирования бетона (или железобетона), находящегося в напряженно-сжатом состоянии, что позволяет увеличить несущую способность всей конструкции до 4 раз за счет так называемого «эффекта труботетона» [4].

Так, во ФГУП «ВИАМ» совместно с АО «НИИГрафит» впервые в РФ разработана технология строительства быстровозводимых автомобильных арочных мостов с использованием конструкций из ПКМ на основе стеклянных и углеродных волокнистых армирующих наполнителей. Технология заключается в следующем: в условиях производства (или непосредственно рядом с местом строительства) изготавливают полые арочные элементы из углепластика и профилированный настил из стеклопластика, которые транспортируют к месту строительства моста. На предварительно возведенный фундамент с применением автомобильного крана или вручную монтируют арочные элементы массой ~ (50–60) кг, после чего их заполняют бетоном.

Данная технология позволяет:

- возводить мостовые сооружения (технология применима только к мостам длиной до 20 м) в срок до 2 мес за счет использования меньшего количества бетона;
- сократить стоимость строительства на 30 % за счет уменьшения общей трудоемкости более чем в 2 раза по сравнению со стандартным железобетонным балочным мостом аналогичной длины;
- увеличить срок полезного использования мостового сооружения свыше 50 лет [7];
- осуществлять непрерывный мониторинг всей конструкции моста с получением достоверной информации о деформациях и температуре непосредственно от несущих арочных элементов в режиме реального времени при использовании в конструкции моста разработанного информкомполита [8].

В то же время в РФ к конструкциям из ПКМ, применяемым при возведении строительных объектов и их дальнейшей эксплуатации, предъявляются особые требования. Обязательным условием эксплуатации строительных объектов (в частности, мостовых) является проведение серии организационно-технических действий для поддержания пожарной безопасности. Защита строительных конструкций от огня – это часть системы мероприятий по повышению пожарной безопасности объекта защиты для сохранения геометрической неизменяемости и стойкости строительных конструкций при возникновении пожара [9]. Главная задача мероприятий по огнезащите для строительных сооружений состоит не в ликвидации пожара, а в ограничении его распространения, а также уменьшении влияния на устойчивость конструкции. Поэтому необходимо решить следующие задачи: предупредить распространение огня и продуктов горения, что позволяет провести безопасную эвакуацию, а также увеличить эксплуатационную стойкость конструкции [10, 11].

Для защиты конструктивных элементов при пожаре разработаны следующие способы: применение пассивной негорючей изоляции и отражающих экранов, а также пропитка негорючими составами и нанесение специальных полимерных огнезащитных покрытий (ОЗП) с изменяющимися в процессе горения толщиной и плотностью, что позволяет исключить перегрев конструкции.

В настоящее время среди большого разнообразия огнезащитных материалов наилучшими свойствами обладают покрытия вспенивающегося типа – интумесцентные покрытия, которые технологичны, наносятся тонким слоем, не выделяют токсичных продуктов при воздействии температуры пламени и имеют высокие огнезащитные свойства. В стандартных условиях эксплуатации интумесцентные ОЗП по внешнему виду похожи на обычные лакокрасочные покрытия и выполняют аналогичные функции. В процессе воздействия пламени толщина слоя ОЗП и объем нанесенного покрытия возрастают в несколько раз с образованием твердого коксового слоя с небольшой плотностью и низким коэффициентом теплопроводности. Слой кокса выполняет функцию физического барьера, который защищает поверхность при воздействии тепла от огня, снижая теплопередачу [12–23].

В данной работе проведены комплексные исследования возможности применения вспучивающейся огнезащитной пасты для защиты конструктивных элементов быстровозводимого мостового сооружения, построенного с использованием ПКМ нового поколения на основе стеклянных и углеродных армирующих волокнистых наполнителей.

Материалы и методы

В качестве ОЗП для конструктивных элементов быстровозводимого мостового сооружения выбрана огнезащитная паста марки ВЗО-9х (ТУ 1-595-28-908–2019), предназначенная для защиты от воздействия пламени с температурой 1100 ± 50 °С поверхностей, подвергающихся механической нагрузке, а также небольшим деформациям (не более 2–3 %) и работающих в интервале температур от –60 до +120 °С в среде с кратковременным контактом топлива и масла.

Паста представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из полуфабриката пасты (лаковый раствор хлорсульфированного полиэтилена) и смеси порошкообразных наполнителей, а также отвердителя и функциональных добавок.

Огнезащитную пасту ВЗО-9х наносили на плиты из ПКМ: углепластика ВКУ-51 (разработанного для изготовления арочного элемента) с применением углеродной преформы, изготовленной из углеродного жгута марки Panex 35 номиналом 48К, и стеклопластика ВПС-58 (разработанного для изготовления профилированного настила) на основе стеклоткани ORTEX 560. Оба вида ПКМ изготавливали способом вакуумной инфузии с применением эпоксивинилэфирного связующего ВСВ-43, отверждаемого при комнатной температуре. Толщина изготовленных подложек из ПКМ составляла 2,5 мм.

Огнезащитную пасту ВЗО-9х наносили на образцы из стеклопластика ВПС-58 и углепластика ВКУ-51 послойно с помощью краскопульта и шпателя в несколько слоев, но не более 1 мм пасты за один слой. Окончательная толщина слоя ОЗП составляла $2,7 \pm 0,25$ мм, общее время отверждения на подложке 72 ч.

В качестве финишного покрытия использовали фторполиуретановую эмаль ВЭ-69, предназначенную к применению в системах лакокрасочных покрытий для антикоррозионной защиты конструкций из алюминиевых, магниевых сплавов и сталей, а также для защиты от атмосферного воздействия ПКМ. Эмаль представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из полуфабриката и отвердителя, может наноситься методом безвоздушного распыления и кистью. Эмаль ВЭ-69 наносили на образцы из стеклопластика ВПС-58 и углепластика ВКУ-51 послойно с помощью краскопульта. Количество наносимых слоев – три, окончательная толщина слоя лакокрасочного покрытия 0,45 мм, общее время отверждения покрытия на подложке 72 ч.

Для исследования свойств огнезащитной пасты применяли следующие методы определения:

– кратности изменения объема – коэффициента вспенивания. Вспенивание покрытия проводили в термошкафу (муфеле) с выдержкой образца при температуре 600 °С в течение 15 мин. Коэффициент вспенивания определяли как отношение толщины вспененного слоя h к исходной толщине покрытия h_0 :

$$K = h / h_0;$$

– горючести огнезащитного материала в воздушной среде (Авиационный стандарт пожарной безопасности материалов АП-25, Приложение F, Часть I; ОСТ 1 90094–79). Распространяется на все декоративно-отделочные и конструкционные полимерные материалы, применяемые в авиационной технике [24, 25];

– теплопроводности (по ГОСТ Р 57943–2017). Измерение теплопроводности экспериментальных образцов огнезащитного материала проводили импульсным методом в диапазоне температур от –60 до +150 °С в среде аргона (расход газа 70 мл/мин).

– прогораемости (в соответствии с СТО 1-595-20-532–2017). Метод заключается в определении температуры на необогреваемой поверхности образца при воздействии пламени с температурой 1100±50 °С.

Определяли также следующие характеристики ОЗП:

- предел прочности при равномерном отрыве – по ГОСТ 14760–69;
- предел прочности при разрыве – по ГОСТ 21751–76;
- группу горючести – по ГОСТ 30244–94;
- группу воспламеняемости – по ГОСТ 30402–96;
- группу распространения пламени – по ГОСТ Р 51032–97;
- коэффициент дымообразования – по ГОСТ 12.1.044–89.

Результаты и обсуждение

В процессе нанесения ОЗП проводили визуальную оценку совместимости пасты с материалами подложки. При нанесении пасты на подложку не обнаружено непромазанных областей, а также (отслоения) покрытия и несмачиваемости поверхности. Паста наносилась равномерно и хорошо совмещалась с поверхностью без отдира и срыва, что свидетельствует о высокой адгезии пасты к поверхности подложки с образованием качественной системы ПКМ–ОЗП. Основные свойства огнезащитной пасты ВЗО-9х представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные свойства огнезащитной пасты ВЗО-9х

Свойства	Значения свойств
Внешний вид и цвет полуфабриката пасты	Однородная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета
Внешний вид и цвет отвержденной пасты	Сплошное покрытие без вздутий, трещин и отслоений серого цвета (оттенок не нормируется)
Жизнеспособность пасты после смешения компонентов, мин	Не менее 60
Плотность огнезащитной пасты, г/см ³	1,05±0,10
Коэффициент вспенивания	Не менее 7

Для оценки стойкости адгезионного взаимодействия системы ПКМ–ОЗП проведены исследования физико-механических и адгезионных свойств огнезащитной пасты до и после воздействия эксплуатационных факторов. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические и адгезионные свойства огнезащитной пасты ВЗО-9х

Свойства	Значения свойств
Предел прочности при разрыве, МПа:	
– в исходном состоянии	2,4
– после термоциклирования (15 циклов при температуре $-60\pm+60$ °С)	2,3
– после тепловлажностных испытаний в течение 1 мес при температуре 60 °С и влажности 85 %	1,5
Предел прочности при равномерном отрыве от подложки из стеклопластика ВПС-58, МПа	0,38
Предел прочности при равномерном отрыве от подложки из углепластика ВКУ-51, МПа	0,42
Коэффициент вспенивания:	
– в исходном состоянии	9
– после термоциклирования (15 циклов при температуре $-60\pm+60$ °С)	9
– после тепловлажностных испытаний в течение 1 мес при температуре 60 °С и влажности 85 %	9

По результатам испытаний установлено, что длительное воздействие влаги негативно влияет на механические свойства огнезащитной пасты ВЗО-9х, но не воздействует на ее эксплуатационные свойства, что подтверждается неизменными значениями коэффициента вспенивания. Однако в связи со спецификой эксплуатации строительного объекта во избежание отслаивания огнезащитной пасты необходимо дополнительно наносить лакокрасочное покрытие. По результатам определения адгезионной прочности выявлено, что отрыв имеет когезионный характер, отслоений от поверхности ПКМ не происходит, что подтверждается наблюдениями в процессе нанесения огнезащитной пасты. Ввиду того, что углепластик ВКУ-51 обладает лучшими физико-механическими характеристиками по сравнению со стеклопластиком ВПС-58, когезионный механизм разрушения образцов при отрыве может являться причиной более высоких значений на образцах, изготовленных с применением углепластиковой подложки, по сравнению с образцами с подложкой из стеклопластика.

В связи с особенностями эксплуатации мостового сооружения – близость воды, высокая вероятность попадания горюче-смазочных материалов – проведены исследования на стойкость огнезащитной пасты к воздействию агрессивных сред с финишным лакокрасочным покрытием и без него. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

Стойкость огнезащитного покрытия ВЗО-9х к воздействию агрессивных сред

Агрессивная среда	Наличие ЛКП	Изменение массы, %, при выдержке, сут		
		1	10	30
Влага	Без ЛКП	0,46	2,47	3,95
	С ЛКП	0,26	1,23	2,49
Вода	Без ЛКП	4,17	6,29	8,96
	С ЛКП	2,68	4,18	6,48
Масло МС-8П	Без ЛКП	6,72	8,60	13,59
	С ЛКП	3,73	5,28	7,40

Примечание. В качестве лакокрасочного покрытия (ЛКП) применялась эмаль ВЭ-69.

По результатам испытаний установлено, что нанесение лакокрасочного покрытия в среднем на 59 % снижает набухание огнезащитной пасты, что подтверждает эффективность выбранного покрытия и способствует увеличению срока безремонтной эксплуатации системы ПКМ–ОЗП.

В данной работе проведены также сравнительные исследования огнезащитной эффективности покрытия на основе пасты ВЗО-9х как на стандартной подложке из алюминиевого сплава Д16-АТ, так и на подложках из ПКМ – стеклопластика ВПС-58 и углепластика ВКУ-51. Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты испытаний на стойкость к воздействию пламени с температурой 1100±50 °С в течение 5 и 15 мин

Материал подложки	Продолжительность испытания, мин	Температура на тыльной поверхности образца, °С	Сквозное прогорание
Сплав Д16-АТ	5	167	Отсутствует
	15	193	–«–
Стеклопластик ВПС-58 в исходном состоянии	5	148	–«–
	15	304	Возгорание на 11 мин
Стеклопластик ВПС-58 после теплового ресурса 500 ч при температуре 100 °С	5	177	Отсутствует
	15	209	–«–
Углепластик ВКУ-51 в исходном состоянии	5	142	–«–
	15	359	Возгорание на 11 мин
Углепластик ВКУ-51 после теплового ресурса 500 ч при температуре 100 °С	5	190	Отсутствует
	15	215	–«–

Установлено, что при одностороннем высокотемпературном воздействии ОЗП не обеспечило защиту конструктивного элемента на 11 мин, так как температура на тыльной стороне конструктивного слоя составляла 300–360 °С и произошло возгорание материала подложки (углепластика и стеклопластика). Подложка из углепластика имеет более высокую теплопроводность, в результате чего тепло аккумулируется на границе раздела ПКМ–ОЗП, поэтому достигается температура возгорания углепластика. Установлено также, что дополнительное выдерживание ОЗП на подложке из стеклопластика при воздействии температуры 100 °С в течение 500 ч приводит к снижению температуры на тыльной стороне подложки и, как следствие, к отсутствию сквозного прогара исследуемого образца. Следует отметить, что условия проведения эксперимента рассчитаны на авиационные материалы, эксплуатируемые в более жестких и экстремальных условиях, чем строительные конструкции.

Установлено, что при воздействии пламени горелки на образец в течение 60 с продолжительность остаточного горения составляет 0 с, длина обугливания 33–35 мм, продолжительность горения капель 0 с. По результатам испытаний материал ВЗО-9х признан трудногорящим по принятой классификации АП-25, Приложение F, Часть 1; ОСТ 1 90094–79 (табл. 5).

Таблица 5

Результаты определения горючести

Толщина, мм	Время экспозиции, с	Время остаточного горения (тления), с	Длина прогорания, мм	Время горения капель, с	Классификация
		среднее значение			
3	60	0	11	Нет	Трудногорящий

В связи с тем, что указанные ПКМ разработаны для использования в строительных конструкциях – в частности, в конструкции автомобильного арочного моста, на базе ФГБУ ВНИИПО МЧС России проведены исследования огнезащитных свойств систем с покрытием ВЗО-9х на стеклопластике ВПС-58 и углепластике ВКУ-51 по методикам, применяемым в строительстве. Результаты испытаний представлены в табл. 6. Внешний вид образца после испытаний представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид образца огнезащитной пасты ВЗО-9х после испытаний

Таблица 6

Результаты испытаний на пожарную опасность систем стеклопластика ВПС-58 и углепластика ВКУ-51 с огнезащитной пастой ВЗО-9х

Показатель	Материал подложки	Значения показателей
Группа горючести	ВПС-58	Г1
	ВКУ-51	
Воспламеняемость	ВПС-58	В2
	ВКУ-51	
Группа распространения пламени	ВПС-58	РП1
	ВКУ-51	
Коэффициент дымообразования	ВПС-58	Умеренная дымообразующая способность
	ВКУ-51	

По результатам проведенных испытаний установлено, что огнезащитная паста ВЗО-9х удовлетворяет требованиям строительных стандартов и может быть применена в составе конструкции быстровозводимого мостового сооружения.

Заключения

Исследована возможность применения вспенивающейся огнезащитной пасты ВЗО-9х для защиты конструктивных элементов быстровозводимого мостового сооружения, построенного с использованием ПКМ нового поколения на основе стеклянных и углеродных армирующих волокнистых наполнителей.

Результаты исследований показали, что огнезащитная паста имеет хорошую адгезию к ПКМ и не требует специальной подготовки поверхности, однако для использования при длительном контакте с водой и маслом необходимо дополнительное нанесение лакокрасочного покрытия.

Исследование огнезащитной эффективности показало, что в соответствии со строительными методиками огнезащитная паста удовлетворяет требованиям по защите конструктивных элементов из ПКМ.

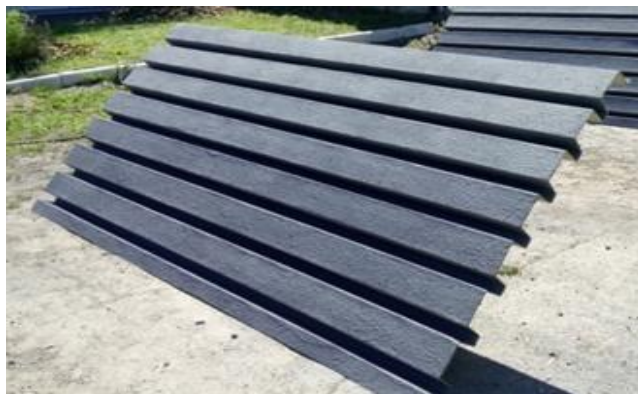


Рис. 2. Элемент профильного настила из стеклопластика ВПС-58 с нанесенной огнезащитной пастой ВЗО-9х

На основании данных проведенных исследований изготовлены строительные конструкции – углепластиковые арочные элементы и листы стеклопластикового профилированного настила, на которые нанесена огнезащитная паста ВЗО-9х. Данные конструкции использованы при строительстве первого в РФ автомобильного моста с двумя полосами движения и пешеходными тротуарами, возведенного с использованием несущих конструкций из ПКМ. Внешний вид элемента конструкции с нанесенным на нее ОЗП представлен на рис. 2.

Библиографический список

1. Дориомедов М.С. Российский и мировой рынок полимерных композитов (обзор) // Труды ВИАМ. 2020. № 6–7 (89). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.06.2021) DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
2. Раскутин А.Е. Стратегия развития полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 344–348. DOI: 10.18544/2071-9140-2017-0-S-344-348.
3. Власенко Ф.С., Раскутин А.Е. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях // Труды ВИАМ. 2013. № 8. Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.02.2021).
4. Евдокимов А.А., Имаметдинов Э.Ш., Малаховский С.С. Усиление строительных конструкций из бетона системой внешнего армирования из углепластика // Труды ВИАМ. 2020. № 10 (92). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.02.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-73-80.
5. Rachel J. Deploying carbon-fiber-reinforced polymer composites in precast, prestressed concrete bridges // PCI Journal. 2012. Vol. 57. Is. 2. P. 41.
6. Lightweight fiber reinforced polymer composite modular panel: pat. 6591567 US; filed 10.12.01; publ. 15.07.03.
7. Мишкин С.И., Раскутин А.Е., Евдокимов А.А., Гуляев И.Н. Технологии и основные этапы строительства первого в России арочного моста из композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2017. № 6 (54). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.06.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
8. Кочура С.М., Постнов В.И. Перспективные оптоволоконные датчики и их применение (обзор) // Труды ВИАМ. 2019. № 5 (77). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.02.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-52-61.
9. Курлапов Д.В. Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 4. С. 41–43.
10. Романенков И.Г., Левитес Ф.А. Огнезащита строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1991. 320 с.

11. Недвига Е.С. Способы защиты строительных конструкций от огневого воздействия // Молодой ученый. 2015. № 24 (104). С. 160–163. URL: <https://moluch.ru/archive/104/24562> (дата обращения: 06.07.2021).
12. Габдулин Р.Ш. Эффективные способы огнезащиты строительных конструкций // Безопасность. 2011. № 1. С. 48–49.
13. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 388–392. DOI: 10.18544/2071-9140-2017-0-S-388-392.
14. Елисеев О.А., Наумов И.С., Смирнов Д.Н., Брык Я.А. Резины, герметики и огне-теплозащитные материалы // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 437–451. DOI: 10.18544/2071-9140-2017-0-S-437-451.
15. 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: 10.18544/2071-9140-2015-0-1-3-33.
16. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
17. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // Наука и жизнь. 2010. № 4. С. 2–7.
18. Краснов Л.Л., Кирина З.В. Материалы, обеспечивающие надежность работы конструктивных элементов в условиях пожара // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 10. С. 48–52.
19. Павлович А.В., Владенков В.В., Изюмский В.Н., Кильчицкая С.Л. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия // Лакокрасочная промышленность. 2012. № 5. С. 22–27.
20. Полимерные материалы пониженной горючести: материалы IV Междунар. конф. Волгоград: ВолгГТУ, 2000. 196 с.
21. Нефедов Н.И., Семенова Л.В., Кузнецова В.А., Веренинова Н.П. Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждения // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 393–404. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-393-404.
22. Крашенинникова М.В. Огнезащитные вспучивающиеся материалы на основе органорастворимых пленкообразователей // Лакокрасочные материалы. 2006. № 12. С. 14–16.
23. Барботько С.Л. Развитие методов оценки пожаробезопасности материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 516–526. DOI: 10.18544/2071-9140-2017-0-S-516-526.
24. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат, 2009. 267 с.
25. 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.