



УДК 678.747.2:536.46

DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-12-12

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ  
ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПКМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ  
КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

Н.С. Скрылёв

О.С. Вольный

Д.В. Абрамов

Е.Н. Шуркова

**Июль 2014**

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

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

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

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

*Н.С. Скрылёв<sup>1</sup>, О.С. Вольный<sup>1</sup>, Д.В. Абрамов<sup>1</sup>, Е.Н. Шуркова<sup>1</sup>*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПКМ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ\***

*Исследовано влияние тепловлажностных факторов климатического старения на изменение характеристик пожаробезопасности наиболее распространенных видов полимерных композиционных материалов. Показано, что после воздействия повышенной температуры и влажности, в зависимости от химической природы полимерной матрицы, могут существенно измениться как характеристики дымообразования, так и тепловыделения при горении, причем изменение интенсивности выделения тепла может происходить как в сторону уменьшения, так и увеличения.*

**Ключевые слова:** *стеклопластик, пожарная безопасность, горючесть, дымообразование, тепловыделение, тепловлажностное старение, факторы климата.*

*N.S. Skrylyov, O.S. Volnyj, D.V. Abramov, E.N. Shurkova*

## **RESEARCH THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND HUMIDITY FACTORS ON CHANGE OF FIRE SAFETY CHARACTERISTICS FOR POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS WHICH ARE SUBJECT TO CLIMATIC AGING**

*The influence of climatic aging factors (temperature and humidity) on change of characteristics of fire safety for standard representatives of polymeric composite materials is investigated. It is shown that after exposure at elevated temperature and humidity, depending on the chemical nature of polymeric matrix, characteristics of smoke density and heat release can considerably variation, and change of characteristics can occur as towards improvement, and deterioration.*

**Keywords:** *fiberglass, fire safety, flammability, smoke density, heat release, heat and humidity aging, climate factors.*

---

<sup>1</sup> Федеральное 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

\* Работа выполнялась под научным руководством С.Л. Барботько; консультации по проблемам климатического старения полимерных материалов и обоснованию режимов проведения климатических испытаний осуществляла А.К. Шведкова; помощь в выборе и изготовлении образцов для исследований оказывал В.И. Постнов.

В настоящее время постепенно расширяется область использования полимеров. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) все больше используются в качестве конструкционных, а различные элементы, изготовленные из этих материалов, выполняют свои функции не только во внутренних помещениях, но и на открытом воздухе. В процессе хранения и эксплуатации изделия подвергаются воздействию различных факторов: повышенных и пониженных температур, повышенной влажности, солнечной радиации, – в результате чего происходит изменение их свойств [1–4]. Для обеспечения высокого уровня научно-технических разработок и конкурентоспособности новых материалов необходимо решить множество различных задач, в том числе по удовлетворительной климатической стойкости создаваемых материалов [5].

В связи с этим, важной проблемой, решаемой разработчиками материалов, является оценка стабильности свойств полимерных материалов и выполненных из них конструктивных элементов в условиях воздействия климатических и эксплуатационных факторов. Как правило, оценка сохраняемости свойств материалов производится по наиболее важной составляющей конструкционных материалов – прочностным характеристикам [6]. Однако не менее существенными являются и другие, функциональные характеристики, обеспечивающие работоспособность и безопасность изготовленного элемента конструкции. Одной из таких составляющих и являются показатели пожаробезопасности [7]. Необходимость оценки пожаробезопасности ПКМ, предназначенных для использования во внешнем контуре авиационной техники, неоднократно отмечалась, например, в работах [8–10].

Оценка влияния факторов климата на характеристики пожаробезопасности наиболее часто проводится для изделий, выполненных из огнезащитной древесины [11], а в случае синтетических полимерных материалов – для электрокабелей [12]; для других изделий, выполненных из полимеров, оценка влияния климатического воздействия на пожаробезопасность, как правило, не выполняется. В работе [13] показано, что длительная эксплуатация конструкции из ПКП в составе изделия (по механическим свойствам для сухих образцов) может быть смоделирована с использованием только теплового воздействия. Проведенные исследования [14] показали, что после ограниченного по интенсивности теплового воздействия, не приводящего к существенной термоокислительной деструкции полимерной составляющей, ухудшения пожаробезопасности не происходит. Более того, для некоторых полимеров наблюдается улучшение некоторых характеристик пожаробезопасности, наиболее вероятно вызванное дополнительной

сшивкой полимерной матрицы в процессе термического воздействия и удалением остатков низкомолекулярных горючих полупродуктов синтеза.

Согласно нормативной документации [15], при проведении лабораторных испытаний по воздействию факторов климата не рекомендуется ограничиваться только одним параметром, необходимо проведение комплексного воздействия. В данной работе продолжены исследования, начатые в работе [14], по влиянию факторов климата на характеристики пожаробезопасности в части оценки влияния тепловлажностного старения. Учитывая, что перепады температур для увлажненных образцов могут оказать существенно большее влияние на изменение структуры материала, в данной работе также были проведены исследования по влиянию термоциклирования (в совокупности с тепловлажностным старением) на изменение характеристик пожаробезопасности.

### **Материалы и методы испытаний**

Для проведения исследований изготовлены образцы стеклопластиков на основе четырех типов полимерных связующих – полиэфирной и фенольной смол, а также эпоксидной смолы холодного и горячего отверждения. Подробная характеристика образцов приведена в работе [14]. Поскольку на характеристики пожаробезопасности влияет не только химический состав материала, но и его толщина, содержание связующего и структура [15–17], поэтому для уменьшения разброса получаемых при выполнении испытаний данных использовались образцы, вырезанные из панелей, изготовленных в одной технологической партии.

Воздействие тепловлажностных факторов климата проводили по двум методикам.

*Тепловлажностное воздействие, имитирующее тропический климат* [18]. Образцы помещались в специальную климатическую камеру, в которой в течение суток задавался регламентированный переменный тепловлажностный режим:

Температура, °С	Относительная влажность, %	Продолжительность экспозиции, ч
50±5	98±2	8
20±5	98±2	12
20±5	50±10	4

Таким образом, одни сутки испытания имитируют одни сутки экспозиции в условиях тропической зоны. Общая продолжительность экспозиции образцов составляла 90 сут.

*Тепловлажностное воздействие с наличием перепадов температур (теповлажностное старение + термоциклирование)*. Испытания проводили с учетом рекомендаций, приведенных в нормативной литературе [19, 20]. Образцы помещали в климатиче-

скую камеру «тепла–влаги» марки Excal 7723-НА (фирма Climats, Франция), обеспечивающую экспозицию образцов при температуре +60°C и относительной влажности 85%. Общая продолжительность экспозиции составляла 90 сут. В течение срока экспозиции с заданной периодичностью образцы переносили в камеру холода марки Excal 2221-ТА и подвергали воздействию отрицательных температур (-60°C в течение 2 ч), после чего образцы возвращали в тепловлажностную камеру. За время экспозиции было выполнено 10 циклов воздействия отрицательных температур.

По изменению массы исходных образцов в процессе воздействия тепловлажностных факторов климата было рассчитано влагопоглощение.

Оценка характеристик пожаробезопасности проводилась по показателям горючести, дымообразования и тепловыделения при горении согласно требованиям авиационных норм [21], подробное описание методик испытания приведено в работе [22].

Изменение влажности образцов неоднозначно сказывается на характеристиках пожаробезопасности – повышение влажности материала может привести к уменьшению продолжительности остаточного горения и длины прогорания, снижению интенсивности выделения тепла (т. е. пожаробезопасность по характеристикам горючести и тепловыделения улучшится), но одновременно обеспечит увлечение дымообразующей способности. В то же время воздействие влаги может вызвать изменение химической структуры полимера, что приведет к уменьшению его термостойкости, и, соответственно, к ухудшению показателей пожаробезопасности по характеристикам горючести и тепловыделения. Следовательно, для всесторонней оценки влияния факторов климата на характеристики пожаробезопасности необходимо подвергать испытаниям как влажные образцы, так и высушенные после тепловлажностных воздействий.

Сушка образцов производилась в термостатах при температуре +110°C до постоянной массы, но не менее 24 ч.

Исходя из возможного влияния фактора влажности, испытания на горючесть и тепловыделение проводили как для увлажненных, так и высушенных образцов; испытания на дымообразование – только для увлажненных образцов.

### **Полученные результаты и их обсуждение**

Влагопоглощение образцов зависело от вида полимерной матрицы, условий экспонирования, а также формы и размеров образцов. На рис.1 приведены усредненные графики изменения массы образцов (среднее значение для 9 образцов, предназначенных для определения горючести, дымообразования и тепловыделения).

Полученные сводные результаты испытаний приведены в таблице. Там же приведены данные по влагопоглощению образцов. Влагопоглощение рассчитывалось как относительное (по сравнению с исходным материалом) увеличение массы после экспозиции в тепловлажностных камерах в течение 3 мес. На рис. 1 представлены графики относительного изменения массы образцов за счет влагопоглощения в течение 3 мес экспозиции в климатических камерах. Видно, что за выбранный период (3 мес) образцы практически достигли предельного влагонасыщения в заданных условиях экспозиции. Несмотря на то, что по сравнению с камерой искусственного тропического климата, в тепловлажностной камере поддерживался более жесткий режим по температуре и относительной влажности, за счет наличия циклов с отрицательной температурой, общее влагосодержание образцов было существенно ниже: в ~1,5 раза – для стеклопластиков на полиэфирном, фенольном и эпоксидном связующем горячего отверждения; в 8 раз – для стеклопластика на эпоксидном связующем холодного отверждения.

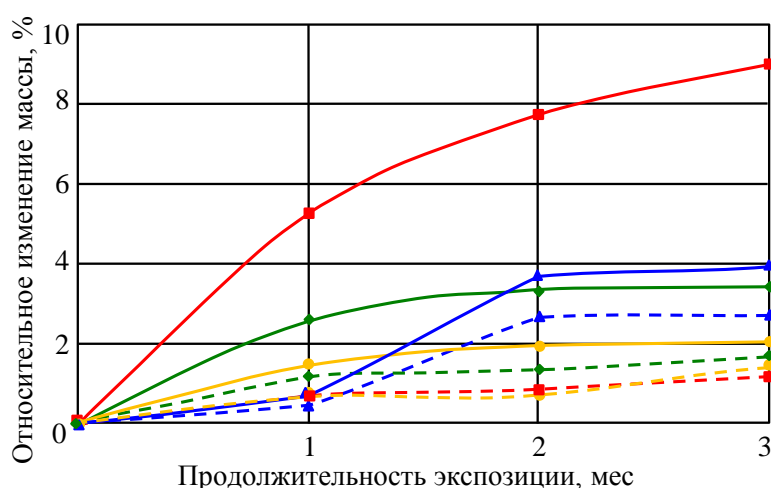


Рисунок 1. Относительное изменение массы (влагопоглощение) при экспозиции в климатических камерах (— тропическая; - - - тепловлажностная+термоциклирование) образцов из стеклопластиков на основе связующих: полиэфирного (▲), эпоксидного холодного (■) и горячего (●) отверждения, фенольного (◆)

Из данных таблицы следует, что воздействие повышенной температуры и влажности, в том числе с наличием минусовых перепадов температур, для исследованных образцов стеклопластиков практически не сказывается на характеристиках горючести, за исключением стеклопластика на основе полиэфирного связующего. Этот стеклопластик, согласно классификации [23], относится к категории «сгорающие», так как после воздействия инициирующего воспламенения распространяет пламя по всей длине образца и имеет продолжительность остаточного (самостоятельного) горения >15 с. По-

сле воздействия повышенной температуры и влажности для высушенных образцов существенно снижается продолжительность остаточного горения (до 1–3 с), хотя в процессе испытания на горючесть при экспонировании образца в пламени лабораторной газовой горелки огонь все так же распространяется по всей поверхности материала. Для остальных испытанных материалов после всех видов использованного климатического воздействия не зафиксировано статистически значимого различия в продолжительности остаточного горения.

### Влияние тепловлажностного старения на характеристики\* пожарной опасности образцов стеклопластиков на различных полимерных матрицах

Тип связующего	Условия испытания	W, %	Дымообразование			Тепловыделение		Горючесть	
			$D_2$	$D_4$	$D_{max}$	$HRR_{max}$ , кВт/м <sup>2</sup>	$THR_2$ , (кВт·мин)/м <sup>2</sup>	$\tau_{ост}$ , с	$l_{пр}$ , мм
Полиэфирное	В исходном состоянии	–	170/14	172/44	176/127	–/212	–/156	–/23	–/ПВД**
	Тепловлажностное старение+термоциклирование	2,74	129/9	130/30	130/100	199/208	153/157	17/ПВД	3/ПВД
	Тропическая камера	3,93	125/13	160/39	162/111	165/203	113/152	17/ПВД	1/ПВД
Эпоксидное холодного отверждения	В исходном состоянии	–	177/63	184/177	187/260	–/225	–/170	–/48	–/ПВД
	Тепловлажностное старение+термоциклирование	1,19	153/45	164/105	165/197	193/263	161/190	8/ПВД	12/ПВД
	Тропическая камера	9,03	149/59	177/174	168/250	167/262	171/212	4/ПВД	10/ПВД
Эпоксидное горячего отверждения	В исходном состоянии	–	206/46	194/110	210/147	–/123	–/74	–/0	–/110
	Тепловлажностное старение+термоциклирование	1,47	125/37	266/112	270/158	99/134	76/73	0/0	105/110
	Тропическая камера	2,05	246/38	252/96	252/135	127/141	78/81	0/0	90/70
Фенольное	В исходном состоянии	–	6/3	20/11	36/13	–/41	–/32	–/0	–/13
	Тепловлажностное старение+термоциклирование	2,31	5/2	12/12	23/24	68/96	67/73	0/0	15/25
	Тропическая камера	3,43	8/1	20/6	30/28	–/71	–/72	0/0	10/26

\* W – относительное изменение массы (влагопоглощение) за 3 мес экспонирования образцов в указанных условиях;  $D_2$ ,  $D_4$ ,  $D_{max}$  – оптическая плотность дыма (по ГОСТ 24632 – безразмерная величина) через 2 и 4 мин и максимальная (в числителе приведены данные в режиме горения, в знаменателе – в режиме пиролиза);  $HRR_{max}$  – максимальная интенсивность выделения тепла (пик) и  $THR_2$  – общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин испытания (в числителе приведены данные для влажных образцов, в знаменателе – для высушенных);  $\tau_{ост}$  – продолжительность остаточного самостоятельного горения и  $l_{пр}$  – длина прогорания (в числителе приведены данные для влажных образцов, в знаменателе – для высушенных).

\*\* ПВД – распространение пламени по всей длине образца (150 мм).

На диаграммах приведено сопоставление изменения относительной оптической плотности дыма через 4 мин от начала испытания (рис. 2) и максимальной интенсивности выделения тепла (рис. 3) после воздействия тепловлажностных факторов климата. Для сравнения приведены данные по характеристикам пожаробезопасности, полученным для исследованных образцов после теплового старения [14].

Образцы стеклопластиков, подвергнутые испытаниям на дымообразование (см. рис. 2), за исключением ПКМ на эпоксидном связующем горячего отверждения, имели значения оптической плотности дыма за 4 мин в режиме горения не выше, чем для исходных образцов материалов. Для образцов из стеклопластика на основе эпоксидного связующего горячего отверждения после тепловлажностного старения (по сравнению с исходным материалом) зафиксировано повышение дымообразования на ~30%. Для всех испытанных образцов из ПКМ после климатической камеры с воздействием повышен-

ной влажности (по сравнению с образцами, подвергнутыми тепловому старению) было зафиксировано повышение дымообразующей способности.

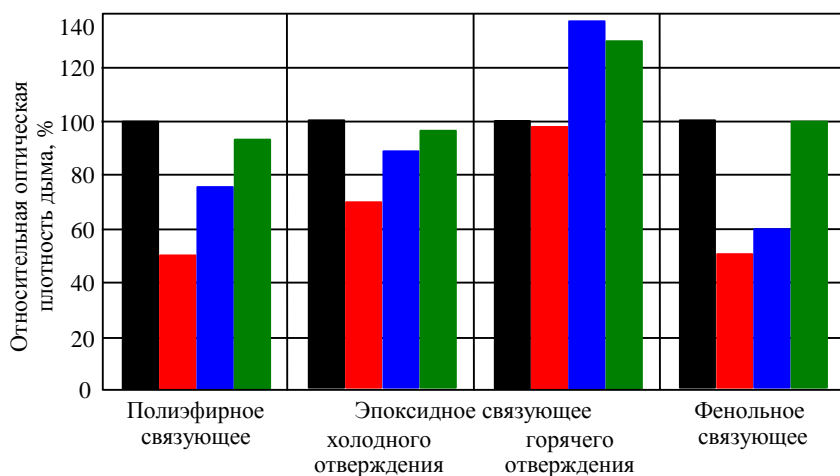


Рисунок 2. Относительное изменение оптической плотности дыма образцов из стеклопластиков в исходном состоянии (■) и после воздействия факторов, имитирующих климатические и тепловые условия эксплуатации:

■ – тепловое старение; ■ – тепловлажностное старение+термоциклирование; ■ – тропическая камера

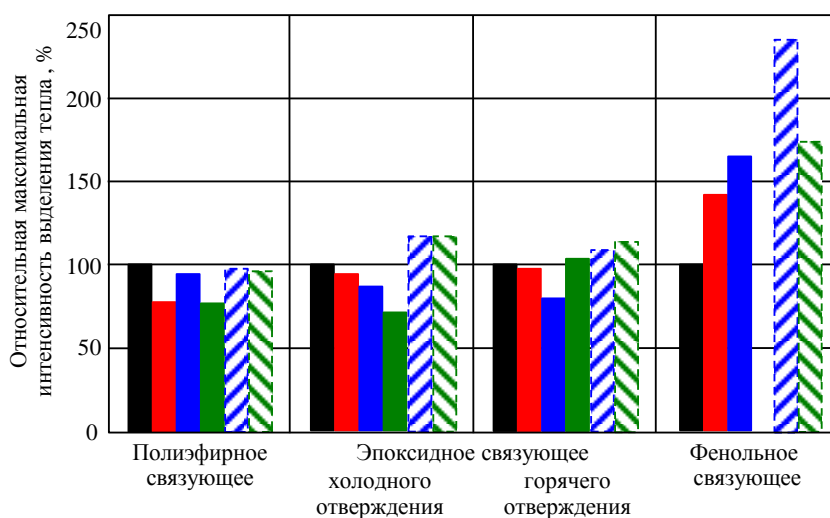


Рисунок 3. Относительное изменение максимальной интенсивности выделения тепла при горении образцов из стеклопластиков в исходном состоянии (■) и после воздействия факторов, имитирующих климатические и тепловые условия эксплуатации:

■ – тепловое старение; ■ – тепловлажностное старение+термоциклирование; ■ – тропическая камера (сплошная заливка – влажные образцы, штриховая – высушенные)

Как правило, дымообразование образцов после экспозиции в камере тропиков выше, чем после выдерживания в тепловлажностной камере с термоциклированием, что может быть объяснено наличием более высокого влагосодержания в образцах. Но ста-

статистически достоверное различие между влиянием камеры тропиков и тепловлажностного воздействия с наличием термоциклирования выявлено только для стеклопластика на основе фенольного связующего.

Данные по характеристикам тепловыделения при горении приведены в таблице и на рис. 3. Для стеклопластиков на основе полиэфирного и эпоксидных связующих (по сравнению с исходными образцами) зафиксировано некоторое снижение максимальной интенсивности выделения тепла после воздействия тепловлажностных факторов. После высушивания образцов, подвергнутых тепловлажностному старению, наблюдается увеличение максимальной интенсивности тепловыделения, причем величина пика может превышать аналогичные значения для исходных образцов.

Наиболее существенное влияние климатических факторов наблюдается на характеристики тепловыделения для стеклопластика на основе фенольного связующего. Для данного типа материала было зафиксировано увеличение максимальной интенсивности выделения тепла уже для образцов после теплового старения. После воздействия факторов тепла и повышенной влажности максимальная интенсивность тепловыделения еще увеличилась, а удаление влаги из образцов, подвергнутых тепловлажностному старению, привело к дальнейшему возрастанию интенсивности тепловыделения.

Известно [24], что под действием влаги происходит снижение температуры стеклования. Видимо влага, вызывая пластификацию полимерной матрицы, а иногда и деструкцию отдельных химических связей в цепи полимерной матрицы, приводит к снижению термостойкости полимера. Причем в ряде случаев происходит необратимое изменение химической структуры полимера, и удаление влаги не приводит к восстановлению характеристик до исходного уровня. На основании полученных результатов установлено, что это изменение свойств для полимерных материалов касается не только физико-механических характеристик, но и показателей пожарной безопасности.

В ходе выполнения данной работы зафиксировано существенное влияние тепловлажностного старения на характеристики пожаробезопасности. Величина и направление изменения свойств зависит как от вида полимерной матрицы, типа воздействия, так и от определяемой характеристики пожаробезопасности.

Наиболее чувствительными к воздействию факторов тепла и влаги оказались характеристики дымообразования и тепловыделения.

Из испытанных видов стеклопластиков наибольшей чувствительностью к факторам климата обладал ПКМ на основе фенольной матрицы (по тепловыделению) и ПКМ на основе эпоксидной смолы горячего отверждения (по дымообразованию).

Образцы ПКМ в условиях тропической камеры (по сравнению с экспозицией в тепловлажностной камере с наложением термоциклов) имели большее влагопоглощение. Вследствие этого, как правило, увлажненные образцы после камеры тропиков имели более высокое дымообразование и меньшую интенсивность выделения тепла. Для образцов стеклопластиков на основе эпоксидного связующего горячего отверждения зафиксирована инверсия результатов – тепловыделение образцов после камеры тропиков выше, а дымообразование ниже, чем для образцов после тепловлажностного старения с наложением термоциклов; однако, с учетом статистической обработки результатов, различие между этими двумя видами воздействия для данного материала незначительно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. 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 натуральных условиях //Труды ВИАМ. 2013. №1. Ст. 05 (viam-works.ru).
2. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапиров Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ //Авиационная промышленность. 2009. №4. С. 36–46.
3. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ /В сб. докл. IX Международ. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». 2012. С. 122–123.
4. 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.
5. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
6. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства ПКМ //Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С. 41–45.
7. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 431–439.

8. Барботько С.Л., Нагаев А.С. К вопросу об обеспечении пожарной безопасности внешнего контура самолетов /В сб. докладов VIII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Часть II. М.: ЦАГИ. 2010. С. 107–110.
9. Барботько С.Л., Шуркова Е.Н. О пожарной безопасности материалов, используемых для изготовления внешнего контура самолетов //Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. №10. С. 19–24.
10. Барботько С.Л., Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Скрылёв Н.С. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 56–59.
11. ГОСТ 16363–98. Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств.
12. The Impact of Thermal Aging on the Flammability of Electric Cables. Prepared by S.P. Nowlen //NUREG/CR-5619 SAND90-2121 Sandia National Laboratories. 1991. 44 p. <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0625/ML062510133.pdf>.
13. Tian W., Hodgkin J. Long-Term Aging in a Commercial Aerospace Composite Sample: Chemical and Physical Changes //Journal of Applied Polymer Science. 2010. V. 115. P. 2981–2985.
14. Скрылёв Н.С., Вольный О.С., Постнов В.И., Барботько С.Л. Исследование влияния тепловых факторов климата на изменение характеристик пожаробезопасности полимерных композиционных материалов //Труды ВИАМ. 2013. №9. Ст. 05 (viam-works.ru).
15. Barbotko S.L. Ways of providing fire safety of aviation materials //Russian Journal of General Chemistry. 2011. Т. 81. №5. С. 1068–1074.
16. Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 27–30.
17. Composite materials handbook. V.1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials, MIL-HDBK-17-1F. 2002. 586 p.
18. СТП 1-595-20-100–2002. Метод определения тропикоустойчивости в лабораторных условиях.
19. ГОСТ 9.719–94. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы испытаний на старение при воздействии влажного тепла, водяного и соляного тумана.

20. ГОСТ 9.707–81. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение.
21. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. 3-е изд. ОАО Авиаиздат. 2009. 274 с.
22. Барботько С.Л., Кириллов В.Н., Шуркова Е.Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения //Авиационная промышленность. 2013. №2. С. 55–58.
23. ОСТ 1 90094–79. Полимерные материалы. Метод определения горючести декоративно-отделочных и конструкционных полимерных материалов.
24. Кириллов В.Н., Ефимов В.А., Шведкова А.К., Алексашин В.Н., Зуев А.В., Николаев Е.В. Исследование влияния климатических факторов и механического нагружения на структуру и механические свойства углепластика КМУ-11ТР /В сб. докл. VIII науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон-2010». Часть II. М.: ЦАГИ. 2010. С. 111–115.

#### REFERENCES LIST

1. Efimov V.A., Shvedkova A.K., Koren'kova T.G., Kirillov V.N. Issledovanie polimernyh konstrukcionnyh materialov pri vozdejstvii klimaticeskikh faktorov i nagruzok v laboratornyh i naturnyh uslovijah [Investigation of polymeric structural materials under the influence of climatic factors and stress in laboratory and field conditions] //Trudy VIAM. 2013. №1. St. 05 (viam-works.ru).
2. Kablov E.N., Kirillov V.N., Zhirnov A.D., Starcev O.V., Vapirova Ju.M. Centry dlja klimaticeskikh ispytanij aviacionnyh PKM [Centers for climatic test aircraft RMB] //Aviacionnaja promyshlennost'. 2009. №4. S. 36–46.
3. Kablov E.N., Grashhenkov D.V., Erasov V.S., Anchevskij I.Je., Il'in V.V., Val'ter R.S. Stend dlja ispytaniya na klimaticheskoj stancii GCKI krupnogabaritnyh konstrukcij iz PKM [Stand for testing climate station GTSKI large structures of PCM] /V sb. dokl. IX Mezhdunarod. nauch. konf. po gidroaviacii «Gidroaviasalon–2012». 2012. S. 122–123.
4. Kirillov V.N., Efimov V.A., Barbot'ko S.L., Nikolaev E.V. Metodicheskie osobennosti provedeniya i obrabotki rezul'tatov klimaticeskikh ispytanij polimernyh kompozicionnyh materialov [Methodological features and processing of results of environmental tests of polymeric composite materials] //Plasticheskie massy. 2013. №1. S. 37–41.
5. Kablov E.N. Strategicheskie napravleniya razvitija materialov i tehnologij ih pererabotki na period do 2030 goda [Strategic directions of development of materials and technolo-

- gies to process them for the period up to 2030] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 7–17.
6. Kirillov V.N., Efimov V.A., Shvedkova A.K., Nikolaev E.V. Issledovanie vlijanija klimaticeskikh faktorov i mehanicheskogo nagruzhenija na strukturu i mehanicheskie svojstva PKM [Investigation of the influence of climatic factors and mechanical loading on the structure and mechanical properties of the PCM] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2011. №4. S. 41–45.
  7. Barbot'ko S.L. Pozharobezopasnost' aviacionnyh materialov [Fire safety of aircraft materials] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №S. S. 431–439.
  8. Barbot'ko S.L., Nagaev A.S. K voprosu ob obespechenii pozharnoj bezopasnosti vneshnego kontura samoletov [On the issue of fire safety outer contour aircraft] /V sb. dokladov VIII nauch. konf. po gidroaviacii «Gidroaviasalon-2010». Chast' II. M.: CAGI. 2010. S. 107–110.
  9. Barbot'ko S.L., Shurkova E.N. O pozharnoj bezopasnosti materialov, ispol'zuemyh dlja izgotovlenija vneshnego kontura samoletov [On fire safety of materials used for the manufacture of the outer contour aircraft] //Pozharovzryvobezopasnost'. 2011. T. 20. №10. S. 19–24.
  10. Barbot'ko S.L., Shurkova E.N., Vol'nyj O.S., Skryljov N.S. Ocenka pozharnoj bezopasnosti polimernyh kompozicionnyh materialov dlja vneshnego kontura aviacionnoj tehniki [Evaluation of fire safety of polymeric composite materials for the outer contour aircraft] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2013. №1. S. 56–59.
  11. GOST 16363–98. Sredstva ogneshhitnye dlja drevesiny. Metody opredelenija ogneshhitnyh svojstv [Tools retardants for wood. Methods for determination of flame retardant properties].
  12. The Impact of Thermal Aging on the Flammability of Electric Cables. Prepared by S.P. Nowlen //NUREG/CR-5619 SAND90-2121 Sandia National Laboratories. 1991. 44 p. <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML0625/ML062510133.pdf>.
  13. Tian W., Hodgkin J. Long-Term Aging in a Commercial Aerospace Composite Sample: Chemical and Physical Changes //Journal of Applied Polymer Science. 2010. V. 115. P. 2981–2985.
  14. Skryljov N.S., Vol'nyj O.S., Postnov V.I., Barbot'ko S.L. Issledovanie vlijanija teplovyh faktorov klimata na izmenenie harakteristik pozharobezopasnosti polimernyh kompozicionnyh materialov [Investigation of influence of thermal factors on climate change in the characteristics of fire safety of polymeric composite materials] //Trudy VIAM. 2013. №9. St. 05 (viam-works.ru).

15. Barbotko S.L. Ways of providing fire safety of aviation materials //Russian Journal of General Chemistry. 2011. T. 81. №5. S. 1068–1074.
16. Shurkova E.N., Vol'nyj O.S., Izotova T.F., Barbot'ko S.L. Issledovanie vozmozhnosti snizhenija teplovydelenija pri gorenii kompozicionnogo materiala putem izmenenija ego struktury [Feasibility study for reducing the combustion heat of the composite material by modifying its structure] //Aviacionnye materialy i tehnologii. 2012. №1. S. 27–30.
17. Composite materials handbook. V.1. Polymer matrix composites guidelines for characterization of structural materials, MIL-HDBK-17-1F. 2002. 586 p.
18. STP 1-595-20-100–2002. Metod opredelenija tropikoustojchivosti v laboratornyh uslovijah [Method for determination of tropic in the laboratory].
19. GOST 9.719–94. Edinaja sistema zashhity ot korrozii i starenija. Materialy polimernye. Metody ispytanij na starenie pri vozdejstvii vlazhnogo tepla, vodjanogo i soljanogo tuma [Unified system of corrosion and aging. Polymeric materials. Methods of test for aging when exposed to damp heat, water and salt fog].
20. GOST 9.707–81. Edinaja sistema zashhity ot korrozii i starenija. Materialy polimernye. Metody uskorenyh ispytanij na klimaticheskoe starenie [Unified system of corrosion and aging. Polymeric materials. Methods for accelerated aging tests on climatic].
21. Aviacionnye pravila. Glava 25. Normy letnoj godnosti samoletov transportnoj kategorii [Aviation Regulations. Chapter 25. Airworthiness standards transport category airplanes]. 3-e izd. OAO Aviaizdat. 2009. 274 s.
22. Barbot'ko S.L., Kirillov V.N., Shurkova E.N. Ocenka pozharnoj bezopasnosti polimernyh kompozicionnyh materialov aviacionnogo naznachenija [Evaluation of fire safety of polymeric composite materials aviation applications] //Aviacionnaja promyshlennost'. 2013. №2. S. 55–58.
23. OST 1 90094–79. Polimernye materialy. Metod opredelenija gorjuchesti dekorativno-otdelochnyh i konstrukcionnyh polimernyh materialov [Polymeric materials. Method for determining the flammability of decorative finishing and engineering plastics].
24. Kirillov V.N., Efimov V.A., Shvedkova A.K., Aleksashin V.N., Zuev A.V., Nikolaev E.V. Issledovanie vlijanija klimaticheskikh faktorov i mehanicheskogo nagruzhenija na strukturu i mehanicheskie svojstva ugleplastika KMU-11TR [Investigation of the influence of climatic factors and mechanical loading on the structure and mechanical properties of CFRP CMU-11TR] /V sb. dokl. VIII nauch. konf. po gidroaviacii «Gidroaviasalon-2010». Chast' II. M.: CAGI. 2010. S. 111–115.