

Научная статья

УДК 629.7.023.22

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-10-63-73

ПКМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕРЬЕРА ВЕРТОЛЕТНОЙ ТЕХНИКИ

Е.Д. Колпачков¹, М.И. Вавилова¹, Е.А. Серкова¹, Э.Ю. Долгов¹, В.В. Антипов¹

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

Аннотация. Приведены результаты разработки и исследования стеклопластика конструкционного назначения для изготовления элементов конструкции интерьера вертолетной техники. Проведен сравнительный анализ с ранее разработанными и применяемыми материалами, в том числе с зарубежным аналогом. Показано, что разработанные материалы удовлетворяют современным требованиям по пожаробезопасности, а за счет использования эпоксидного расплавленного связующего обеспечивают повышенную технологичность и достижение высокого уровня упруго-прочностных характеристик. Продемонстрирована принципиальная возможность доведения материала до уровня удовлетворения требований в части пожаробезопасности, предъявляемых к материалам интерьера самолетов транспортной категории.

Ключевые слова: расплавленное эпоксидное связующее, полимерные композиционные материалы, стеклопластики, интерьерные материалы, трехслойные сотовые панели, интерьеры авиационной техники

Для цитирования: Колпачков Е.Д., Вавилова М.И., Серкова Е.А., Долгов Э.Ю., Антипов В.В. ПКМ нового поколения на основе стеклянных наполнителей для изготовления элементов интерьера вертолетной техники // Труды ВИАМ. 2024. № 10 (140). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-10-63-73.

Scientific article

NEW GENERATION PCM BASED ON GLASS FILLERS FOR THE MANUFACTURING OF INTERIOR ELEMENTS OF HELICOPTER EQUIPMENT

E.D. Kolpachkov¹, M.I. Vavilova¹, E.A. Serkova¹, E.Yu. Dolgov¹, V.V. Antipov¹

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

Abstract. The results of the development and research of fiberglass for structural purposes for the manufacture of interior design elements of helicopters are presented. A comparative analysis was carried out with previously developed and used materials, including a foreign analogue. It is shown that the developed materials meet modern requirements for fire safety, and due to the use of an epoxy melt binder they provide increased manufacturability and achieve a high level of elastic and strength characteristics. The possibility of improving the developed material to meet the requirements in terms of fire safety imposed on the interior materials of aircraft of the transport category is shown.

Keywords: melt epoxy binder, polymer composite materials, fiberglass, interior materials, three-layer honeycomb panels, interiors of aviation equipment

For citation: Kolpachkov E.D., Vavilova M.I., Serkova E.A., Dolgov E.Yu., Antipov V.V. New generation PCM based on glass fillers for the manufacturing of interior elements of helicopter equipment. *Trudy VIAM*, 2024, no. 10 (140), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-10-63-73.

Введение

Обеспечение постоянного роста комплекса тактико-технических характеристик (ТТХ) изделий авиационной техники невозможно только за счет конструкторских решений, во многом существенный рост эксплуатационных показателей летательных аппаратов зависит от материалов, на основе которых изготавливаются их конструкции. Поэтому только постоянное развитие материаловедения может обеспечивать возможность непрерывного совершенствования авиации и ракетостроения.

Помимо роста ТТХ авиационной техники одним из первоочередных является вопрос их безопасной эксплуатации, в особенности если это касается пассажирских перевозок. Применительно к интерьерным материалам самолетов транспортной категории требования и нормы по пожаробезопасности значительно усовершенствованы и в настоящее время оформлены в виде Норм летной годности – Часть 25 (НЛГ-25) (рис. 1).



Рис. 1. Требования Норм летной годности (НЛГ) к интерьерным материалам в конструкциях самолетов и вертолетной техники

С учетом представленных требований НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ к середине 2010-х гг. обеспечивал рынок полным перечнем полимерных композиционных материалов (ПКМ) для изготовления элементов конструкций интерьера любого летательного аппарата в соответствии с предъявляемыми требованиями по пожаробезопасности. Для гражданских легких самолетов, а также вертолетов всех категорий использовался негорючий стеклотекстолит марки СТ-69Н-14, который обеспечивал высокий уровень физико-механических свойств. Однако данный материал изготавливали на основе растворного связующего ЭДТ-69Н, что снижало контроль и безопасность при производстве препрега-полуфабриката, а также не позволяло обеспечить высокий уровень эксплуатационных характеристик из-за наличия в образцах ПКМ воздушных включений [1–15].

Для самолетов транспортной категории, подчиняющихся требованиям НЛГ-25 (ранее АП-25), разработаны фенолформальдегидные связующие и ПКМ на их основе. Из наиболее активно применяемых – стеклотекстолит марки ВПС-39П на основе связующего РС-Н, из которого получали образцы ПКМ, характеризующиеся как самозатухающие, с низким выделением дыма и тепла, что позволяло применять его для изготовления элементов интерьера самолетов Ил-96, Ту-204/214 и др. Однако в связи с тем, что связующее РС-Н являлось растворным, стеклотекстолит на его основе характеризовался низким уровнем стабильности характеристик и безопасности при производстве препрега, а из-за фенолформальдегидной природы связующего материал имел существенно более низкие физико-механические характеристики, в том числе в составе трехслойных конструкций интерьера.

В результате к 2022 г. отечественная авиационная отрасль имела интерьерные ПКМ, которые обеспечивали требования по пожаробезопасности, но отставали в части технологичности и уровня реализуемой прочности. В связи с этим, а также по запросам предприятий-разработчиков вертолетной техники в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработан современный комплекс материалов, необходимых для изготовления элементов вертолетной техники, к которой предъявляются требования по горючести в рамках НЛГ-29 и дымообразованию в рамках НЛГ-25. Для обеспечения требований по технологичности и уровню реализации прочности используемых наполнителей определен тип разрабатываемого связующего – расплавное эпоксидное. Требования к разрабатываемым ПКМ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к разрабатываемым материалам

Пожаробезопасность		Тип связующего
Горючесть	Дымообразование	
Соответствие требованиям НЛГ-29	Соответствие требованиям НЛГ-25	Расплавное эпоксидное

Тем не менее при разработке новых интерьерных материалов для вертолетной техники, прорабатывался вопрос доведения разрабатываемого комплекса материалов для применения в интерьерах самолетов транспортной категории.

В данной работе представлены результаты исследования нового расплавного эпоксидного связующего и свойства полученных стеклопластиков в части физико-механических характеристик и характеристик пожаробезопасности. Показаны также результаты исследования возможности доработки материала до соответствия требованиям НЛГ-25 по всем характеристикам пожаробезопасности.

Материалы и методы

В качестве исследуемых материалов использовали стеклопластики на основе двух композиций расплавного эпоксидного связующего и стеклянной ткани Т-10-14.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии по ГОСТ Р 55135–2012 определена температура стеклования.

Массовые доли летучих веществ и связующего в стеклопластике определены по ГОСТ 22456–77 и ГОСТ Р 56682–2015 соответственно.

Значения предела прочности и модуля упругости при растяжении получены по ГОСТ Р 56785–2015 при температуре 23 °С.

Определены характеристики пожаробезопасности стеклопластиков: горючесть – по ГОСТ 57924–2017, дымообразование – по ГОСТ 24632–81, тепловыделение – по НЛГ-25 (Приложение F, Часть IV).

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

Для материалов, применяемых в интерьерах вертолетной техники, на первом этапе получены экспериментальные образцы связующего и определена температура их стеклования, °С:

Композиция 1	117
Композиция 2	125

После совмещения экспериментальных композиций 1 и 2 связующего и стекляннй ткани Т-10-14 методом контактного формования, изготовлены экспериментальные образцы стеклопластиков (методом прессования) и исследован комплекс их свойств (табл. 3).

Таблица 2

Свойства стеклопластиков

Свойства	Значения свойств* для		
	композиции 1 + Т-10-14	композиции 2 + Т-10-14	стеклотекстолита СТ-69Н
Содержание связующего, % (по массе)	$\frac{26,4-26,6}{26,4}$	$\frac{29,9-32,2}{30,1}$	35±2
Предел прочности при растяжении по основе при температуре 23 °С, МПа	$\frac{628-656}{645}$	$\frac{584-719}{681}$	629
Модуль упругости при растяжении, ГПа	$\frac{30-32}{31}$	$\frac{30-32}{31,2}$	–

* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

По результатам определения прочностных показателей установлено, что образцы стеклопластиков на основе экспериментальных композиций связующего имеют схожий уровень предела прочности при растяжении по сравнению со стеклотекстолитом марки СТ-69Н.

На следующем этапе проводили исследование горючести и дымообразования полученных стеклопластиков. Результаты испытаний стеклопластиков на основе экспериментальных композиций связующего приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Характеристики горючести стеклопластиков на основе экспериментальных композиций связующего и ткани Т-10-14

Материал	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции в пламени горелки, с	Продолжительность остаточного горения (тления), с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с	Классификация
Требования по НЛГ	–	60	Не более 15	Не более 152	Не более 3	Самозатухающий
Композиция 1 + Т-10-14	1,9–2,0	60	Не более 9	Не более 53	Нет	
Композиция 2 + Т-10-14	1,9–2,0	60	Не более 11	Не более 65	Нет	

Таблица 4

**Характеристики дымообразования стеклопластиков
на основе экспериментальных композиций связующего и ткани Т-10-14**

Материал	Толщина образца, мм	Удельная оптическая плотность дыма D_4^*
Требования по НЛГ	–	Не более 200
Композиция 1 + Т-10-14	1,9–2,0	$\frac{158-196}{177}$
Композиция 2 + Т-10-14	1,9–2,0	$\frac{147-194}{170,4}$

* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

По результатам проведенных исследований характеристик пожаробезопасности установлено, что образцы стеклопластиков на основе экспериментальных композиций связующего обеспечивают соответствие требованиям НЛГ-29 и НЛГ-25 по дымообразованию. Однако на основе разброса значений предела прочности при растяжении, а также на основе результатов определения горючести принято решение – для дальнейших исследований использовать состав композиции 1.

С учетом выбранного состава разработана нормативная документация на изготовление и поставку связующего и препрега стеклопластика. Так, разработанному эпоксидному расплавному связующему присвоена марка ВС-77, а препрегу стеклопластика на его основе – ВПС-76, поставка которого осуществляется по ТУ 13.96.14-162-07545412–2024.

Для обеспечения широкого диапазона допустимых технологий переработки стеклопластика марки ВПС-76 определены реологические характеристики связующего в препреге и теплофизические характеристики препрега и выбраны технологические параметры формования стеклопластика методами вакуум-печного и вакуум-автоклавного формования, а также методом прямого прессования. Результаты исследования физических и прочностных характеристик, а также характеристик пожаробезопасности стеклопластика марки ВПС-76 представлены в табл. 5–7.

Таблица 5

**Физические и прочностные характеристики стеклопластика марки ВПС-76,
изготовленного по различным технологиям формования**

Свойства	Значения свойств* для стеклопластика, полученного		
	прямым прессованием	формованием	
		вакуум-печным	вакуум-автоклавным
Плотность стеклопластика, г/см ³	1,93	1,89	1,98
Содержание связующего, % (по массе)	27,3	29,7	29,4
Толщина монослоя, мм	0,22	0,23	0,22
Предел прочности при растяжении при температуре 23±2 °С, МПа (укладка 0°)	$\frac{730-760}{740}$	$\frac{639-765}{706}$	$\frac{717-753}{731}$
Модуль упругости при растяжении при температуре 23±2 °С, ГПа (укладка 0°)	$\frac{33,0-34,5}{33,7}$	$\frac{31,0-32,3}{31,5}$	$\frac{32,3-33,2}{32,8}$
Предел прочности при сжатии при температуре 23±2 °С, МПа (укладка 0°)	$\frac{455-600}{515}$	$\frac{430-580}{520}$	$\frac{455-520}{488}$
Предел прочности при межслойном сдвиге при температуре 23±2 °С, МПа (укладка 0°)	$\frac{61-72}{67}$	$\frac{66-68}{66}$	$\frac{77-80}{78}$
Температура стеклования, °С	139	122	123

* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

**Характеристики горючести стеклопластика
марки ВПС-76, изготовленного по различным технологиям формования**

Технология формования	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции в пламени горелки, с	Продолжительность остаточного горения (тления), с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с	Классификация материала
Требования по НЛГ	–	60	Не более 15	Не более 152	Не более 3	Самозатухающий
Прямое прессование	1,9–2,0	60	Не более 10	Не более 86	–	
Вакуум-печное						
Вакуум-автоклавное						

**Характеристики дымообразования стеклопластика
марки ВПС-76, изготовленного по различным технологиям формования**

Технология формования	Толщина образца, мм	Удельная оптическая плотность дыма D_4
Требования по НЛГ	–	Не более 200
Прямое прессование	1,9–2,0	Не более 148
Вакуум-печное		
Вакуум-автоклавное		

По результатам, представленным в табл. 5–7, можно сделать вывод, что разработанный стеклопластик марки ВПС-76 перерабатывается по основным препреговым технологиям с обеспечением одинакового уровня свойств и отвечает требованиям НЛГ-29 по горючести и НЛГ-25 по дымообразованию.

На следующем этапе методом прямого прессования изготовлены трехслойные сотовые панели на основе препрега стеклопластика марки ВПС-76 и полимерного сотового наполнителя ПСП-1-2,5, в том числе с заделкой торцов сферопластиком марки ВПЗ-26, за единый цикл (рис. 2) и проведены испытания на горючесть и дымообразование, результаты которых приведены в табл. 8 и 9.



Рис. 2. Трехслойные сотовые панели на основе экспериментальной композиции связующего

Таблица 8

**Характеристики горючести трехслойных сотовых панелей
на основе экспериментальной композиции связующего**

Образец материала ВПС-76/ ПСП-1-2,5	Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции в пламени горелки, с	Продолжительность остаточного горения (тления), с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с	Классификация материала
Требования по НЛГ	–	60	Не более 15	Не более 152	Не более 3	Самозатухающий
Без заделки торцов	15,69	60	Не более 15	Не более 75	Нет	
С заделкой торцов сферопластиком	15,46	60	Не более 6	Не более 98	Нет	

Таблица 9

**Характеристики дымообразования трехслойных сотовых панелей
на основе экспериментальной композиции связующего**

Образец материала ВПС-76/ ПСП-1-2,5	Толщина образца, мм	Режим испытания	Удельная оптическая плотность дыма D_4^*
Требования по НЛГ	–	–	Не более 200
Без заделки торцов	15,69	Горение	<u>141–183</u> 162
		Пиролиз (тление)	141
С заделкой торцов сферопластиком	15,46	Горение	<u>364–365</u> 364,5
		Пиролиз (тление)	169

* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

Трехслойные сотовые панели на основе композиции 1 (как с заделанными торцами, так и без заделки торцов сферопластиком) по горючести соответствуют требованиям НЛГ-29. Полученные трехслойные сотовые панели по классификации относятся к самозатухающим. По дымообразованию такие панели без заделки торцов имеют удельную оптическую плотность дыма не более 200: при горении 162, а при пиролизе 141. Образцы с заделанными торцами при пиролизе соответствуют требованиям НЛГ-25, их удельная оптическая плотность дыма при пиролизе составляет 169, а при горении 365, что не соответствует требованиям НЛГ-25. Следует отметить, что на практике трехслойные сотовые панели с заделанными торцами при испытаниях на пожаробезопасность не применяются. Данные испытания панелей с заделанными торцами проведены для определения максимальных показателей по дымообразованию и получения сравнительных характеристик.

С учетом полученных результатов, полностью отвечающих изначальным требованиям к разрабатываемому материалу, рассмотрена возможность доработки стеклопластика марки ВПС-76 с целью доведения уровня его характеристик до полного соответствия требованиям НЛГ-25 в части пожаробезопасности. Из научно-технических литературных данных известно, что ПКМ на основе эпоксидных связующих не способны обеспечивать тепловыделение в пределах, допускаемых авиационными регуляторами по всему миру, будь то FAR-25 или НЛГ-25, а именно: общее количество выделяющегося тепла – не более 65 (кВт·мин)/м² и пик тепловыделения – не более 65 кВт/м². В связи с этим наибольшее распространение как в РФ, так и за рубежом получили

материалы на основе фенолформальдегидных связующих. Однако уровень реализации прочности наполнителя и комплекс эксплуатационных свойств ПКМ, а также технологичность полуфабриката на эпоксидных связующих будут всегда превышать по аналогичным показателям материалы на основе фенолформальдегидных связующих.

С использованием разработанных материалов и минеральной добавки получены экспериментальные образцы стеклопластика марки ВПС-76 и исследованы их характеристики пожарной безопасности (табл. 10).

Таблица 10

Характеристики пожарной безопасности экспериментального стеклопластика марки ВПС-76, изготовленного с применением минеральной добавки, в сравнении с материалами-аналогами

Свойства	Норма для характеристики	Значения свойств* для материала				
		ВПС-76 с минеральной добавкой (2 мм)	ВПС-76 (2 мм)	ВПС-39П (0,9 мм)	HexPly 260 (~1 мм)	
Горючесть						
Продолжительность экспозиции в пламени горелки, с	60	60	60	60	–	
Продолжительность остаточного горения (тления), с	Не более 15	Не более 8	Не более 10	2	–	
Длина обугливания, мм	Не более 152	Не более 53	Не более 86	54	–	
Продолжительность горения капель, с	Не более 3	Нет	Нет	Нет	–	
Классификация материала	Самозатухающий				–	
Дымообразование						
Удельная оптическая плотность дыма D_4	Не более 200	Горение	$\frac{45-81}{63}$	Не более 148	6	–
		Пиролиз	26		0	–
Тепловыделение						
Общее количество тепла $(\text{кВт}\cdot\text{мин})/\text{м}^2$	Не более 65	$\frac{13-57}{34}$	$\frac{92-105}{95}$	$\frac{16-37}{26}$	35	
Пик тепловыделения, $\text{кВт}/\text{м}^2$	Не более 65	$\frac{40-72}{52}$	$\frac{74-90}{84}$	$\frac{27-54}{40}$	43	
* В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.						
Примечание. В скобках дана толщина образца.						

Полученные результаты демонстрируют возможность доработки состава препрегов на основе эпоксидного расплавленного связующего ВС-77 (в частности препрега стеклопластика марки ВПС-76) для их дальнейшего применения в интерьерах самолетов транспортной категории.

Заключения

По результатам проведенных исследований разработан состав препрега стеклопластика марки ВПС-76. Отработаны основные технологические параметры переработки разработанного препрега и исследован комплекс характеристик стеклопластика, изготовленного по различным технологиям.

Показано, что разработанный стеклопластик марки ВПС-76 способен перерабатываться по всем основным промышленным технологиям с обеспечением единого уровня физических и прочностных характеристик, а также характеристик пожаробезопасности.

На основе разработанных материалов изготовлены трехслойные сотовые панели и исследован уровень их характеристик пожаробезопасности. Показано, что разработанные материалы позволяют изготавливать интерьерные конструкции для вертолетной техники, к которым предъявляются требования по горючести (НЛГ-29) и дымообразованию (НЛГ-25).

Исследована возможность доработки составов разработанных материалов с целью полного соответствия требованиям НЛГ-25 по характеристикам пожаробезопасности. Показано, что при использовании минеральной добавки стеклопластик на основе эпоксидного расплавленного связующего способен обеспечить (помимо горючести и дымообразования) требования по тепловыделению.

Список источников

1. Алдошин С.М., Бадамшина Э.Р., Каблов Е.Н. Полимерные нанокompозиты – новое поколение полимерных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками // Тез. докл. I Междунар. форума по нанотехнологиям «Роснанотех 08». М., 2008. С. 385–387.
2. Каблов Е.Н., Семенова Л.В., Петрова Г.Н., Ларионов С.А., Перфилова Д.Н. Полимерные композиционные материалы на термопластичной матрице // Известия высших учебных заведений. Сер.: Химия и химическая технология. 2016. Т. 59. № 10. С. 61–71.
3. Баранников А.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. К вопросу производства панелей пола из ПКМ для летательных аппаратов (обзорная статья) // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. № 4-2. С. 198–213.
4. Начаркина А.В., Зеленина И.В., Валуева М.И., Барботько С.Л. Пожаробезопасность высокотемпературных углепластиков авиационного назначения (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 7 (113). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-134-150.
5. Курносое А.О., Соколов И.И., Мельников Д.А., Топунова Т.Э. Пожаробезопасные стеклопластики для интерьера пассажирских самолетов (обзор) // Труды ВИАМ. 2015. № 11. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-7-7.
6. Серкова Е.А., Застрогина О.Б., Барботько С.Л. Исследование возможности использования новых экологически безопасных фосфорорганических антипиренов в составе связующих для пожаробезопасных материалов интерьера // Труды ВИАМ. 2019. № 2 (74). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-24-34.
7. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Баранников А.А. Современные материалы для салона самолета // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
8. Стрельников С.В., Петухов В.И., Постнов В.И., Швеи Н.И. Новые решения в технологии изготовления препрегов для панелей интерьера // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. № 4-2. С. 498–507.
9. Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И. Оценка воздействий климатических факторов на эксплуатационные свойства стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 // Труды ВИАМ. 2020. № 10 (92). Ст. 03. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-21-29.

10. Барботько С.Л., Кириллов В.Н., Шуркова Е.Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № 3. С. 56–63.
11. Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А. Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 2 (71). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
12. Сорокин А.Е., Иванов М.С., Сагомонова В.А. Термопластичные полимерные композиционные материалы на основе полиэфирэфиркетонов различных производителей // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 1 (66). Ст. 04. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-41-50.
13. Ткачук А.И., Донецкий К.И., Терехов И.В., Караваев Р.Ю. Применение терморепактивных связующих для изготовления полимерных композиционных материалов методами безавтоклавного формования // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (62). Ст. 03. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
14. Имамединов Э.Ш., Валуева М.И. Перспективные материалы: обзор работ в области сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Часть 1 // *Авиационные материалы и технологии*. 2024. № 3. Ст. 06. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.08.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-3-69-80.
15. Имамединов Э.Ш., Валуева М.И. Композиционные материалы для поршневых двигателей (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 3 (60). С. 19–28. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-19-28.

References

1. Aldoshin S.M., Badamshina E.R., Kablov E.N. Polymer nanocomposites – a new generation of polymer materials with improved performance characteristics. *Reports of the 1st International Forum on Nanotechnology «Rosnanotech 08»*. Moscow, 2008, pp. 385–387.
2. Kablov E.N., Semenova L.V., Petrova G.N., Larionov S.A., Perfilova D.N. Polymer composite materials on a thermoplastic matrix. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Ser.: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2016, vol. 59, no. 10, pp. 61–71.
3. Barannikov A.A., Veshkin E.A., Postnov V.I., Strelnikov S.V. On the issue of production of floor panels from polymer composite materials for aircraft (review article). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, no. 4-2, pp. 198–213.
4. Nacharkina A.V., Zelenina I.V., Valueva M.I., Barbotko S.L. Fire safety of high-temperature carbon fiber reinforced plastics for aviation purposes (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 7 (113), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-7-134-150.
5. Kurnosov A.O., Sokolov I.I., Melnikov D.A., Topunova T.E. Fireproof fiberglass for interior of passenger aircraft (review). *Trudy VIAM*, 2015, no. 11, paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-7-7.
6. Serkova E.A., Zastrogina O.B., Barbotko S.L. Study of the possibility of use of new environmentally friendly organophosphorus flame retardants in the composition of binders for interior fire safety materials. *Trudy VIAM*, 2019, no. 2 (74), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-2-24-34.
7. Veshkin E.A., Satdinov R.A., Barannikov A.A. Modern materials for the aircraft cabin. *Trudy VIAM*, 2021, no. 9 (103), paper no. 04. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
8. Strelnikov S.V., Petukhov V.I., Postnov V.I., Shvets N.I. New solutions in the technology of manufacturing prepregs for interior panels. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*, 2011, no. 4-2, pp. 498–507.
9. Satdinov R.A., Veshkin E.A., Postnov V.I. Assessment of the impact of climatic factors on the performance properties of fiberglass VPS-42P/T-64. *Trudy VIAM*, 2020, no. 10 (92), paper no. 03. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-21-29.

10. Barbotko S.L., Kirillov V.N., Shurkova E.N. Fire safety evolution for polymer composites of aeronautical application. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 3, pp. 56–63.
11. Startsev V.O., Antipov V.V., Slavin A.V., Gorbovets M.A. Modern domestic polymer composite materials for aviation industry (review). *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
12. Sorokin A.E., Ivanov M.S., Sagomonova V.A. Thermoplastic polymer composite materials based on polyetheretherketones of various manufacturers. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 04. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-41-50.
13. Tkachuk A.I., Donetskyy K.I., Terekhov I.V., Karavaev R.Yu. The use of thermosetting matrices for the manufacture of polymer composite materials by the non-autoclave molding methods. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 03. Available at: <https://www.journal.viam.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
14. Imametdinov E.Sh., Valueva M.I. Promising materials: overview of works in the field of ultrahigh molecular weight polyethylene. Part 1. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 1 (74), paper no. 00. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: August 29, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-3-69-80.
15. Imametdinov E.S., Valueva M.I. Composites for piston engines (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 3 (60), pp. 19–28. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-3-19-28.

Информация об авторах

Колпачков Егор Дмитриевич, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Вавилова Мария Ивановна, заместитель начальника лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Серкова Евгения Алексеевна, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Долгов Эдуард Юрьевич, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Антипов Владислав Валерьевич, заместитель генерального директора по науке, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Egor D. Kolpachkov, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Maria I. Vavilova, Deputy Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

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

Eduard Yu. Dolgov, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Vladislav V. Antipov, Deputy Director General for Science, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 06.09.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 12.09.2024.
The article was submitted 06.09.2024; approved and accepted for publication after reviewing 12.09.2024.