

Научная статья

УДК 678.8:699.81

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-123-133

К ВОПРОСУ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОГНЕСТОЙКИХ И ОГНЕНЕПРОНИЦАЕМЫХ КАПОТОВ МОТОГОНДОЛ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ВЕРТОЛЕТНОЙ ТЕХНИКИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ Часть 1

А.А. Баранников¹, Е.А. Вешкин¹, Р.С. Савицкий¹, А.В. Славин¹

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

Аннотация. Представлены опубликованные за последние 10 лет результаты разработки материалов для применения в составе конструкции капота мотогондолы силовой установки вертолетной техники из полимерных композиционных материалов. В рамках импортозамещения рассмотрен вопрос замены углеродного армирующего наполнителя с номинальной поверхностной плотностью 200 г/м² марки Porcher (Франция) на российский аналог. Исследованы отечественные углеродные наполнители на основе углеродных волокон производства КНР и РФ. Изучен углепластик на основе ткани, выбранной по результатам сравнительных испытаний. Показано соответствие материала заданным требованиям разработчика. Результаты подтверждают возможность применения нового углепластика в перспективных вертолетах типа Ми-171А3, Ми-38 или Ансат.

Ключевые слова: вертолетная техника, полимерные композиционные материалы, углепластик, вакуумная инфузия, огнестойкость, импортозамещение

Для цитирования: Баранников А.А., Вешкин Е.А., Савицкий Р.С., Славин А.В. К вопросу изготовления огнестойких и огнестойких капотов мотогондол силовой установки вертолетной техники из полимерных композиционных материалов. Часть 1 // Труды ВИАМ. 2025. № 8 (150). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-123-133.

Scientific article

ON THE QUESTION OF MANUFACTURING FIRE-RESISTANT AND FIRE-PROOF HOODS OF HELICOPTER POWER PLANT ENGINE NACHOLDS FROM POLYMER COMPOSITE MATERIALS Part 1

A.A. Barannikov¹, E.A. Veshkin¹, R.S. Savitsky¹, A.V. Slavin¹

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 article presents the results of the work over the past 10 years on the development of materials for use in the design of the engine nacelle of the power plant of a helicopter made of PCM. As part of import substitution, the issue of replacing the carbon reinforcing filler with a nominal surface density of 200 g/m² of the Porcher brand (made in France) with a local analogue is considered. Domestic carbon fillers based on carbon fibers produced in China and the Russian Federation are studied. Studies of carbon fiber on the selected fabric are conducted based on the results of comparative tests. The material is shown to meet the specified

requirements of the developer. The results confirm possible prospect of using the new carbon fiber in promising helicopters such as the Mi-171A3, Mi-38 or Ansat.

Keywords: helicopter technology, polymer composite materials, carbon fiber, vacuum infusion, fire resistance, import substitution

For citation: Barannikov A.A., Veshkin E.A., Savitsky R.S., Slavin A.V. On the question of manufacturing fire-resistant and fire-proof hoods of helicopter power plant engine nacells from polymer composite materials. Part 1. *Trudy VIAM*, 2025, no. 8 (150), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-8-123-133.

Введение

Широкое применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях авиационной техники – общемировая тенденция [1–6]. Использование ПКМ позволяет улучшить массовые, прочностные и эксплуатационные характеристики конструкций, снизить трудоемкость их изготовления, повысить экономическую эффективность авиационной техники в целом.

В настоящее время вертолетостроение является одной из важнейших отечественных отраслей промышленности, где доля применения ПКМ составляет до 60 % [7] (рис. 1).

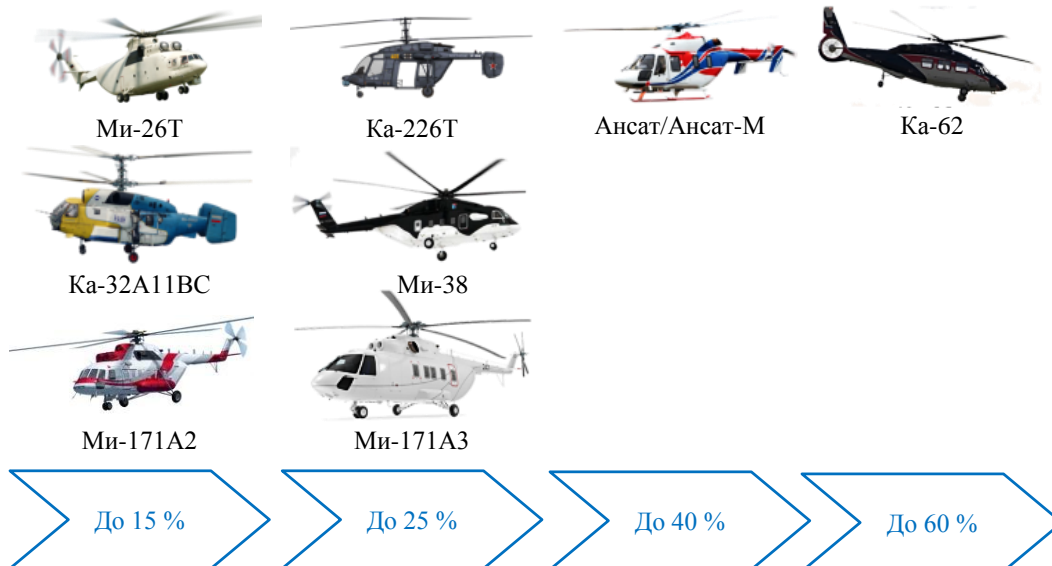


Рис. 1. Доля полимерных композиционных материалов в конструкциях отечественной вертолетной техники гражданского назначения

В соответствии с дорожной картой холдинга «Вертолеты России», проводится большая работа по переводу агрегатов, изготавливаемых из металлических материалов, на агрегаты из ПКМ. К таким агрегатам относятся лопасти и втулка несущего винта, рулевого винта и фенестрона, корпус главного промежуточного и хвостового редукторов, капоты двигателей, обтекатели и др. [8].

В настоящее время большинство перечисленных агрегатов уже изготавливают из ПКМ. Из оставшихся конструкций наибольший интерес конструкторов холдинга вызывают капоты мотогондолы силовой установки, причем изготавливаться они должны безавтоклавным способом.

К решению данного вопроса конструкторы холдинга подходили не единожды. Более 10 лет назад для перспективного скоростного вертолета конструкторы сформировали технические требования к материалу и способу переработки:

Технология переработки	Безавтоклавная
Предел прочности при растяжении (ГОСТ 25.601–80), МПа (не менее), при температуре, °С:	
20	850
200	750
Предел прочности при сжатии (ГОСТ 25.602–80), МПа (не менее), при температуре, °С:	
20	650
200	550
Температура стеклования (ГОСТ 57739–2017), °С (не менее)	250
Объемная доля пор (МИ 1.2.018–2010), %	<2
Рабочая температура, °С	От –60 до +200
Огнестойкость и огнепроницаемость (СТО 1-595-20-532–2017 (метод А))	Соответствие АП-29

В рамках научно-исследовательской работы (НИР) в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в 2012–2015 гг. разработан углепластик на основе равнопрочного углеродного армирующего наполнителя с номинальной поверхностной плотностью 200 г/м² марки Rogcher (Франция) и инфузионного полициануратного связующего, соответствующего указанным техническим требованиям [9–13]. В качестве перспективной безавтоклавной технологии переработки выбрана пропитка под вакуумом (вакуумная инфузия). Прорабатывался вопрос о применении данного материала в конструкции вертолета Ка-226Т (рис. 2, а). Однако вследствие введения санкций и ухода производителя углеродной ткани марки Rogcher с российского рынка внедрение данного материала и технологии его переработки в конструкции вертолетной техники приостановлено. Все попытки заменить импортную ткань на имеющиеся тогда наполнители отечественного производства с достижением заданных технических требований не увенчались успехом.

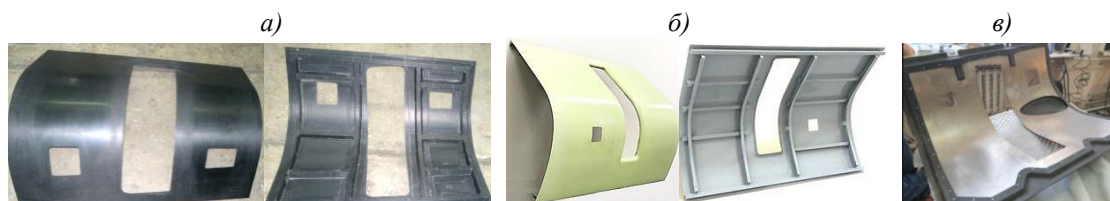


Рис. 2. Прототипы капота мотогондолы, изготовленного из углепластика (а), алюмокомпозитного класса СИАЛ (б) и по гибридной схеме (в), для вертолета Ка-226Т

Параллельно разработке углепластика в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ проводили еще одну НИР, по результатам которой капот изготавливался вакуум-автоклавным способом из алюмокомпозитного класса СИАЛ (рис. 2, б). Конструкция капота представляла собой обшивку из двух внешних монолитных слоев из алюминий-литиевого сплава 1441-Т11 и одной прослойки стеклопластика, состоящей из трех монослоев клееного препрега, выложенных в направлении [0/90/0]. Для соединения элементов проема с обшивкой капота использовали метод сращивания с помощью семислойной композиции, состоящей из четырех металлических листов и трех прослоек стеклопластика, каждая из которых сформирована аналогично прослойке в обшивке капота. В качестве ребер жесткости внутреннего набора применяли гнутые профили из тонкого листа из алюминий-литиевого сплава 1441-Т11, которые укладывали

в соответствии с чертежом детали и крепили к обшивке с помощью клеевого препрега. Однако данная технология и материал также не нашли применения в конструкции вертолета Ка-226Т. В основном это связано с тем, что конструкция из алюмокомпозитов класса СИАЛ уступала аналогичной конструкции из углепластика на основе углеродной ткани марки Porcher и инфузионного полициануратного связующего по массе в 1,5 раза, трудоемкости изготовления – в 10 раз. Кроме того, формование данного материала осуществляется только с применением автоклава [14–16].

Для обеспечения поставки вертолетов Ка-226Т специалистами Инжинирингового центра «КАИ-композит» в 2018–2019 гг. реализована гибридная схема конструкции капота мотогондолы (рис. 2, в), представляющая собой трехслойную панель, состоящую из внутренней обшивки (титановый сплав), гофрового наполнителя и внешней обшивки (высокотемпературный углепластик). Углепластик изготавливали из препрега на основе бисмалеимидного связующего и равнопрочной углеродной ткани (КНР) с поверхностной плотностью 200 г/м^2 вакуум-автоклавным способом. Сборку осуществляли посредством применения клеезаклепочного соединения [17]. По данной технологии, в соответствии с решением конструкторов, изготовлена только одна партия вертолетов. В настоящее время капоты, как и другие изделия холдинга, по-прежнему изготавливают из титановых сплавов.

Когда компания Umatex организовала производство отечественного углеродного волокна нового поколения, стало возможным изготавливать углеродные ткани не хуже импортных аналогов, в том числе ткани Porcher. Стало возможным вернуться к вопросу реализации безавтоклавной технологии изготовления капота мотогондолы силовой установки вертолетной техники из углепластика, но уже с использованием отечественного углеродного наполнителя.

Совместно со специалистами АО «НЦВ Миль и Камов» и НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в 2022 г. инициирована НИР с целью импортозамещения углеродного наполнителя марки Porcher, проведения общей квалификации углепластика на основе отечественного наполнителя и изготовления конструктивно-подобного образца капота мотогондолы силовой установки перспективной вертолетной техники типа Ми-171А3, Ми-38, Ансат и др.

Научная публикация, содержащая результаты данной работы, будет состоять из нескольких частей. Первая часть посвящена выбору отечественного углеродного наполнителя с номинальной поверхностной плотностью 200 г/м^2 , отработке технологии изготовления углепластика на его основе и инфузионного полициануратного связующего, результатам исследования характеристик углепластика на соответствие техническим требованиям по сравнению с углепластиком на основе ткани Porcher. Во второй части научной публикации будут проанализированы характеристики углепластика, полученные в ходе общей квалификации. В третьей части будут представлены технологические особенности изготовления конструктивно-подобного образца капота мотогондолы силовой установки вертолетной техники типа Ми-171А3, Ми-38 или Ансат.

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Конструкционные ПКМ» [18].

Материалы и методы

Отечественный углеродный наполнитель выбирали из представленных на российском рынке углеродных тканей саржевого переплетения (2/2) с номинальной плотностью 200 г/м^2 , количеством нитей (основа/уток) 50/50, количеством филаментов 3К (табл. 1). В табл. 2 приведены их сравнительные характеристики.

Таблица 1

Исследованные углеродные ткани

Условный номер ткани	Углеродная ткань	Углеродное волокно	Производитель ткани
1	Арт. 22502 (ТУ 23.99.14-020-73047899–2021)	Производства ООО «Итекма»	ООО «Итекма»
2	Арт. 22502 UMT42S-3K-EP (ТУ 23.99.14-020-73047899–2021)	UMT42S-3K-EP	ООО «Итекма»
3	На основе углеродного волокна производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ	Производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ	НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ
4	На основе углеродного волокна UMT42S-3K-EP	UMT42S-3K-EP	НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ
5	АСМ С200Т арт. Сва-12123 UMT42S-3K-EP (ТУ 23.99.14-10861664530–2013)	UMT42S-3K-EP	Umatex

Таблица 2

Сравнительные характеристики тканей

Показатель	Значения показателей для ткани				
	1	2	3	4	5
Предел прочности при растяжении, ГПа	4,0	4,2	4,0	4,2	4,2
Модуль упругости при растяжении, ГПа	230	260	230	260	260
Поверхностная плотность, г/м ²	200±20	200±20	200±10	200±5	200±20

Наполнитель выбирали путем сравнительного анализа результатов исследования смачиваемости нитей из указанных тканей, физико-механических испытаний и термоанализа образцов, вырезанных из плит, изготовленных методом пропитки под вакуумом инфузионным полициануратным связующим.

Смачиваемость нитей исследовали методом Вашбуна [19] на процессорном тензиометре. С целью определения соответствия материала техническим требованиям с помощью универсальной разрывной машины выполняли испытания физико-механических характеристик углепластика. Температуру стеклования ПКМ определяли с помощью динамического механического анализатора. Определены также объемная доля пор и плотность углепластика по ГОСТ 15139–69. Толщину монослоя определяли путем измерения микрометром толщины углепластика, значение которой делили на количество слоев.

Для проведения исследований произведена партия связующего. Проведены испытания этой партии на соответствие требованиям нормативной документации, выполнены исследования поверхностного натяжения и реологических показателей связующего. Поверхностное натяжение определяли методом пластины Вильгельми на процессорном тензиометре. Проведен сравнительный анализ показателей партий связующего, вновь изготовленной и полученной при проведении НИР в 2012–2015 гг.

Плиты из углепластика изготавливали безавтоклавным методом. С целью обеспечения однообразного изготовления плит заготовки, представляющие собой 10 слоев сухого армирующего наполнителя, укладывали под единый вакуумный мешок с учетом схемы сборки технологического пакета и материалов для его формирования. Единообразность изготовления образцов углепластика также соблюдена, механическую обработку выполняли с помощью фрезерного станка с числовым программным управлением.

Технологию изготовления углепластика на основе выбранного наполнителя обрабатывали путем корректировки режима пропитки с учетом реологических свойств связующего и влияния, оказываемого наполнителем.

Результаты и обсуждение

Изготовленная партия инфузионного полициануратного связующего исследована на соответствие нормативной документации. В табл. 3 представлено сравнение свойств партий связующего, изготовленных ранее и в рамках данной работы.

Таблица 3

Сравнительные характеристики инфузионного полициануратного связующего

Показатель	Значения показателей для связующего					
	в соответствии с нормативной документацией	год изготовления				
		2014	2015	2016	2024	2025
Время желатинизации при повышенной температуре, мин	50–100	50	65	85	97	98
Температура стеклования отвержденного связующего по методу термомеханического анализа, °С	Не менее 220	249	249	234	232	233

Из результатов, представленных в табл. 3, можно сделать вывод, что показатели связующего соответствуют требованиям нормативной документации. Однако, учитывая тот факт, что качество основного компонента (компаунд ПК-14) в течение 8 лет изменилось, реакционная способность связующего незначительно снизилась. Данные показатели необходимо учесть в дальнейшем при отработке технологии изготовления углепластика и корректировке температурно-временных параметров режима пропитки.

Качество основного компонента также повлияло на реологические свойства связующего. На рис. 3 представлены зависимости кажущейся вязкости от температуры выдержки.

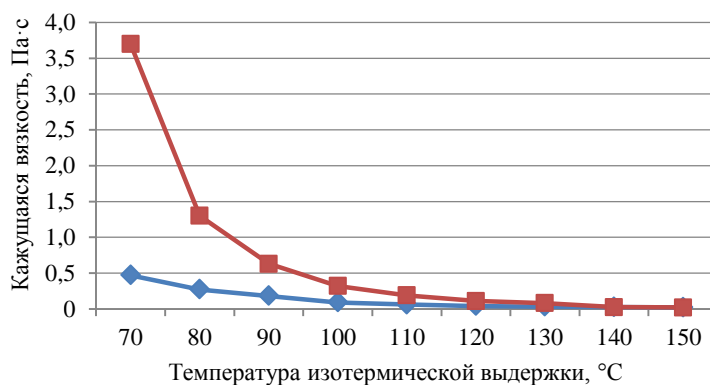


Рис. 3. Зависимости кажущейся вязкости партий инфузионного полициануратного связующего, изготовленных в 2016 (♦) и 2025 г. (■), от температуры изотермической выдержки

Партии связующего, изготовленные в 2025 г., имеют более высокую кажущуюся вязкость. Это свидетельствует о том, что процесс пропитки при температуре от 80 до 90 °С будет затруднен и требует доработки.

Учитывая изложенное, необходимо скорректировать режим: увеличить температуру пропитки технологического пакета с 80–90 до 110–130 °С.

С целью подтверждения правильности выбора температуры исследованы зависимости поверхностного натяжения инфузионного полициануратного связующего от температуры и смачиваемость волокон из изученных углеродных тканей в сравнении с волокном из импортного аналога (табл. 4) [19]. Поверхностное натяжение партий инфузионного полициануратного связующего, изготовленных в 2025 г., составило 48,69; 40,62 и 33,81 мН/м при температуре 110, 120 и 130 °С соответственно.

Таблица 4

Краевой угол смачивания (КУС) углеродного волокна

Условный номер ткани	Показатель	Значения показателей при температуре исследования, °С		
		110	120	130
1	КУС	<u>86,02–88,24</u> 87,64	<u>78,06–88,89</u> 83,63	<u>63,87–72,36</u> 68,88
	R^2	0,992904	0,982640	0,988831
2	КУС	<u>87,25–88,47</u> 87,94	<u>74,02–85,14</u> 80,85	<u>63,64–77,24</u> 71,28
	R^2	0,988922	0,975430	0,993796
3	КУС	<u>68,54–80,56</u> 75,13	<u>61,93–72,70</u> 66,30	<u>45,69–56,70</u> 49,76
	R^2	0,98531	0,98911	0,98800
4	КУС	<u>68,54–80,56</u> 75,13	<u>61,93–72,70</u> 66,30	<u>42,11–67,52</u> 58,25
	R^2	0,98149	0,990057	0,984059
5	КУС	<u>76,47–88,27</u> 84,95	<u>64,43–72,82</u> 69,52	<u>69,87–76,10</u> 73,4
	R^2	0,983826	0,992908	0,981242
Porcher	КУС	<u>45,65–60,47</u> 54,35	<u>52,29–60,72</u> 54,67	<u>38,54–49,07</u> 44,37

Примечание. В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение. R^2 – коэффициент корреляции.

Лучшее взаимодействие на границе раздела фаз отмечено для углеродной ткани 4 на основе углеродного волокна UMT42S-3K-EP при температуре 130 °С. При этом значения краевого угла смачивания данной ткани и ткани Porcher находятся на одном уровне.

С целью выбора ткани изготовлены плиты из углепластика, из которых вырезаны образцы. Результаты сравнительных испытаний образцов представлены в табл. 5.

Из результатов испытаний видно, что все изготовленные образцы по механическим показателям (за исключением образца на основе ткани 4) и объемной доле пор не соответствуют техническим требованиям. При этом температура стеклования данного образца меньше, чем у образцов на основе ткани 1, 2 и 5. Толщина монослоя плит для всех образцов варьировала от 0,230 до 0,236 мм. С учетом предложенной корректировки температуры пропитки изготовлены плиты и образцы из них (табл. 6).

Исходя из полученных результатов, можно сделать выбор в пользу углеродной ткани на основе углеродного волокна UMT42S-3K-EP производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Толщина монослоя плит для всех образцов варьировала и составила ~0,21 мм. Результаты также свидетельствуют о целесообразности корректировки режима формования углепластика.

Таблица 5

**Свойства образцов из углепластика на основе отечественных тканей
и инфузионного полициануратного связующего**

Образцы из углепластика на основе ткани	Прочность при 20 °С, МПа		Плотность, г/см ³	Температура стеклования, °С	Объемная доля пор, %
	при растяжении	при сжатии			
1	$\frac{704-775}{748}$	$\frac{515-680}{580}$	1,516	274,6	7,8
2	$\frac{784-859}{835}$	$\frac{465-630}{549}$	1,502	266,5	8,3
3	$\frac{788-898}{850}$	$\frac{425-634}{556}$	1,508	233,0	8,1
4	$\frac{805-925}{879}$	$\frac{555-780}{664}$	1,518	256,5	7,1
5	$\frac{700-795}{746}$	$\frac{505-680}{568}$	1,502	270,8	8,1

Примечание. В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

Таблица 6

**Свойства образцов из углепластика на основе отечественных тканей и инфузионного
полициануратного связующего, изготовленных по скорректированному режиму**

Образцы из углепластика на основе ткани	Прочность при 20 °С, МПа		Плотность, г/см ³	Температура стеклования, °С	Объемная доля пор, %
	при растяжении	при сжатии			
1	$\frac{850-930}{900}$	$\frac{760-800}{780}$	1,50	260	<2
2	$\frac{850-920}{890}$	$\frac{700-800}{760}$	1,51	270	
3	$\frac{850-900}{880}$	$\frac{690-800}{750}$	1,50	253	
4	$\frac{900-950}{930}$	$\frac{790-825}{805}$	1,54	263	
5	$\frac{890-930}{910}$	$\frac{750-825}{790}$	1,50	268	

Примечание. В числителе указан диапазон значений, в знаменателе – среднее значение.

С учетом результатов обработки режима пропитки изготовлены плиты, из которых вырезаны образцы толщиной 1, 2 и 4 мм. Проведены испытания при температуре 1100 °С на соответствие образцов АП-29. При продолжительности испытаний 5 мин все изученные материалы классифицированы как огнестойкие, 15 мин – огнепроницаемые. Сквозное прогорание материалов отсутствовало.

Дополнительно определена горючесть образцов в течение 60 с по ГОСТ Р 57924–2017 (табл. 7).

Таблица 7

**Горючесть образцов из углепластика на основе отечественных тканей
и инфузионного полициануратного связующего**

Толщина образца, мм	Продолжительность остаточного горения, с	Длина обуглившейся части, мм	Категория горючести
1,0	0	28	Трудногорающий
2,0	4	27	Самозатухающий
4,0	0	4	Трудногорающий

Примечание. Горение капель отсутствует.

Заключения

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

В РФ производится углеродная ткань, по своим характеристикам не уступающая углеродной ткани Porcher.

Разработана и отработана технология изготовления методом вакуумной инфузии углепластика на основе инфузионного полициануратного связующего и тканого наполнителя на основе углеродного волокна UMT42S-3K-EP производства НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, которому присвоена марка. Полученный материал по своим характеристикам не уступает аналогу из углепластика на основе углеродной ткани Porcher, огнестоек, огнепроницаем и трудногораем.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
2. Каблов Е.Н. Становление отечественного космического материаловедения // Вестник РФФИ. 2017. № 3. С. 97–105.
3. Каблов Е.Н. ВИАМ: материалы нового поколения для ПД-14 // Крылья Родины. 2019. № 7–8. С. 54–58.
4. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 231–242.
5. 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: 14.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
6. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
7. Башаров Е.А., Вагин А.Ю. Анализ применения композиционных материалов в конструкции планеров вертолетов // Труды МАИ. 2017. № 92. С. 1–33.
8. Технологии в вертолетостроении. URL: https://aviatp.ru/files/aviaevents13-16/Helirusssia-2013/1_Makareykin.pdf (дата обращения: 14.06.2025).
9. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Постнова М.В., Баранников А.А. Опыт применения вакуум-инфузионных технологий в производстве конструкций из ПКМ // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 4 (3). С. 344–350.
10. Меркулова Ю.И., Мухаметов Р.Р., Долгова Е.В., Ахмадиева К.Р. Полициануратное связующее для получения композитов пропиткой под давлением // Труды ВИАМ. 2016. № 11 (47). Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.06.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-11-5-5.
11. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. Расплавные связующие для перспективных методов изготовления ПКМ нового поколения // Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 260–265.
12. Бабин А.Н. Связующие для полимерных композиционных материалов нового поколения // Труды ВИАМ. 2013. № 4. Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.06.2025).
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: 14.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
14. Антипов В.В., Самохвалов С.В., Нефедова Ю.Н., Сидельников В.В., Сомов А.В. Особенности изготовления сложноконтурных деталей из металлополимерного композиционного материала // Труды ВИАМ. 2023. № 12 (130). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.06.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-12-63-73.

15. Антипов В.В., Сомов А.В., Сидельников В.В., Нефедова Ю.Н., Огурцов П.С., Соловьев В.А. Технологические особенности формообразования огнестойкого легкого слоистого материала для изготовления капота двигателя вертолета // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 3 (72). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 14.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-90-100.
16. Дуонова В.А., Кутырев А.Е., Серебренникова Н.Ю., Вдовин А.И., Сомов А.В. Исследование воздействия агрессивных факторов внешней среды на развитие коррозионных поражений на образцах слоистого металлокерамического материала класса СИАЛ // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 4 (65). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 14.06.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-81-90.
17. Разработка конструкции, технологических процессов, технологической документации и изготовление опытных образцов мотогондолы, фонаря кабины пилотов и элементов конструкции планера вертолета Ка-226Т для ВВС Индии. URL: <http://kai-composite.ru/index.php/raboty/11-works/26-ka226t> (дата обращения: 14.06.2025).
18. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
19. Practical Contact Angle Measurement (5). Custom-made models: from contact angle to surface free energy. URL: https://warwick.ac.uk/fac/cross_fac/sciencecity/programmes/internal/themes/am2/booking/dropshapeanalyser/practical_contact_angle_measurement_5.pdf (дата обращения: 14.06.2025).

References

1. Kablov E.N. New generation materials and digital technologies for their processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
2. Kablov E.N. Formation of domestic space materials science. *Vestnik RFFI*, 2017, no. 3, pp. 97–105.
3. Kablov E.N. VIAM: new generation materials for PD-14. *Krylya Rodiny*, 2019, no. 7–8, pp. 54–58.
4. Grashhenkov D.V., Chursova L.V. Strategy of development of composite and functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 231–242.
5. 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: June 14, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
6. Raskutin A.E. Russian polymer composite materials of new generation, their exploitation and implementation in advanced developed constructions. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
7. Basharov E.A., Vagin A.Yu. Analysis of the use of composite materials in the design of helicopter airframes. *Trudy MAI*, 2017, no. 92, pp. 1–33.
8. *Technologies in helicopter engineering*. Available at: https://aviatp.ru/files/aviaevents13-16/Helirusia-2013/1_Makareykin.pdf (accessed: June 14, 2025).
9. Veshkin E.A., Postnov V.I., Postnova M.V., Barannikov A.A. Experience in the application of vacuum infusion technologies in the production of PCM structures. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2018, vol. 20, no. 4 (3), pp. 344–350.
10. Merkulova Yu.I., Muhametov R.R., Dolgova E.V., Ahmadiyeva K.R. Polycyanurates binding for composites production by impregnation under pressure. *Trudy VIAM*, 2016, no. 11 (47), paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 14, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-11-5-5.
11. Muhametov R.R., Ahmadiyeva K.R., Kim M.A., Babin A.N. Melt binding for perspective methods of production of PCM of new generation. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 260–265.
12. Babin A.N. Binding for polymeric composite materials of new generation. *Trudy VIAM*, 2013, no. 4, paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 14, 2025).

13. Tkachuk A.I., Donetsky 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: June 14, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-22-33.
14. Antipov V.V., Samohvalov S.V., Nefedova Yu.N., Sidelnikov V.V., Somov A.V. Features of manufacturing complex contour parts from metal-polymer composite material. *Trudy VIAM*, 2023, no. 12 (130), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 14, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-12-63-73.
15. Antipov V.V., Somov A.V., Sidelnikov V.V., Nefedova Yu.N., Ogurtsov P.S., Soloviev V.A. Technological features of shaping fire-resistant light laminated material for helicopter engine hood manufacturing. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 3 (72), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 14, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-3-90-100.
16. Duyunova V.A., Kuttyrev A.E., Serebrennikova N.Yu., Vdovin A.I., Somov A.V. Examination of the impact of aggressive environmental factors on the development of corrosion damage on samples of laminated glass-reinforced plastic of SIAL class. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 14, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-81-90.
17. *Development of design, technological processes, technological documentation and production of prototypes of the engine nacelle, cockpit canopy and structural elements of the Ka-226T helicopter airframe for the Indian Air Force*. Available at: <http://kai-composite.ru/index.php/raboty/11-works/26-ka226t> (accessed: June 14, 2025).
18. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
19. *Practical Contact Angle Measurement (5). Custom-made models: from contact angle to surface free energy*. Available at: https://warwick.ac.uk/fac/cross_fac/sciencecity/programmes/internal/themes/am2/booking/dropshapeanalyser/practical_contact_angle_measurement_5.pdf (accessed: June 14, 2025).

Информация об авторах

Баранников Александр Александрович, начальник лаборатории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Вешкин Евгений Алексеевич, начальник УНТЦ, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Савицкий Руслан Сергеевич, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Славин Андрей Вячеславович, начальник Научно-исследовательского отделения, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alexander A. Barannikov, Head of Laboratory, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Evgeniy A. Veshkin, Head of USTC, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ruslan S. Savitsky, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Andrey V. Slavin, Head of Scientific-Research Bureau, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 24.07.2025; одобрена и принята к публикации 04.08.2025.
The article was submitted 24.07.2025; approved and accepted for publication 04.08.2025.