

Научная статья

УДК 678.747.2

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-6-86-95

## ПРОЧНОСТЬ УГЛЕПЛАСТИКОВ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

А.Ю. Исаев<sup>1</sup>, П.М. Путилина<sup>1</sup>, А.И. Старков<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Произведена оценка воздействия эксплуатационных факторов на физико-механические характеристики углепластиков на основе клеевых препрегов разработки НИИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Показано, как изменяется прочность при растяжении, сжатии и статическом изгибе после действия повышенных температур у углепластиков с различными формами углеродных наполнителей. Рассмотрены свойства углеродных жгутовых наполнителей и их возможное влияние на изменение значений характеристик углепластиков после климатических экспозиций.

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, углеродное волокно, углепластик, клеевой препрег, климатические испытания

**Для цитирования:** Исаев А.Ю., Путилина П.М., Старков А.И. Прочность углепластиков после воздействия эксплуатационных факторов // Труды ВИАМ. 2026. № 6 (160). С. 86–95. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-6-86-95.

Scientific article

## STRENGTH OF CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS AFTER EXPOSURE TO OPERATIONAL FACTORS

A.Yu. Isaev<sup>1</sup>, P.M. Putilina<sup>1</sup>, A.I. Starkov<sup>1</sup>

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

**Abstract.** An assessment was made of the impact of operational factors on the physical and mechanical properties of carbon fiber reinforced plastics (CFRPs) based on adhesive prepregs developed by the Kurchatov Institute – VIAM. The changes in tensile strength, compressive strength and flexural strength after exposure to elevated temperatures were demonstrated for CFRPs with various forms of carbon fillers. The properties of carbon fiber reinforcements and their potential impact on changes in CFRP performance after climatic exposure were examined.

**Keywords:** polymer composite, carbon fiber, CFRP, adhesive prepreg, climatic tests

**For citation:** Isaev A.Yu., Putilina P.M., Starkov A.I. Strength of carbon fiber reinforced plastics after exposure to operational factors. *Trudy VIAM*, 2026, no. 6 (160), pp. 86–95. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-6-86-95.

### Введение

Применение полимерных композиционных материалов (ПКМ), в частности углепластиков, в современных летательных аппаратах увеличивается с каждым годом, и требования к таким материалам только возрастают. Основные преимущества, которыми

обладают углепластики, – низкая плотность и, как следствие, сниженная масса конструкции, высокая прочность и др. [1–9].

В области авиастроения особенно актуально изучение надежности узлов из ПКМ в условиях комплексного воздействия эксплуатационных факторов. Необходимо оценивать пригодность и долговечность материалов, применяемых при создании деталей, поломка которых может негативно отразиться на безопасности. Это требование содержится в авиационных нормах АП-25 п. 25.603(с) [10] и подразумевает учет воздействия окружающих условий во время эксплуатации изделий [11].

Особенно жесткие требования предъявляются к конструкционным углепластикам, которые обеспечивают живучесть воздушного судна. Помимо знакопеременных нагрузок, на протяжении всего жизненного цикла летательных аппаратов (25–30 лет) [12] в периоды полетов и стоянок они подвержены климатическим нагрузкам, таким как температура, относительная влажность воздуха, атмосферные осадки, солнечная радиация и циклическое изменение температуры окружающего воздуха, а также воздействию прочих условий окружающей среды, особенно в странах с тропическим и морским климатом [13]. При совокупном воздействии эти факторы инициируют процессы старения и способствуют химическим изменениям в полимерах, что в конечном итоге может привести к снижению прочности материалов за время работы изделий в течение 25–30 лет [14].

Климатические факторы, основные из которых – температура и влажность, оказывают значительное влияние на долговечность, механические и эксплуатационные характеристики ПКМ. Повышение температуры вызывает снижение прочности и жесткости, увеличение эластичности и деформации ползучести. Низкая температура, наоборот, повышает хрупкость и снижает ударопрочность. Контакт ПКМ с водой и влажностью приводит к набуханию матрицы, ухудшению адгезии между матрицей и армирующим волокном, увеличению массы материала и снижению прочностных характеристик. Осуществление климатических испытаний помогает оценить соответствие материалов требованиям производства изделий и обеспечить контроль за их характеристиками [9, 15, 16].

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработан ряд углепластиков на основе тканых и высокопрочных углеродных жгутовых наполнителей как российского производства, так и производства стран Европы и КНР. Представляет интерес проведение оценки изменения свойств различных марок углепластиков разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ после воздействия эксплуатационных факторов. В данной работе представлены результаты исследования физико-механических свойств семи марок ПКМ на основе однонаправленного углеродного волокна после воздействия повышенной температуры.

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

### Материалы и методы

Свойства углепластиков зависят от свойств наполнителя и связующего, входящих в их состав.

*Наполнитель для углепластиков* может выпускаться в виде различных тканых или нетканых структур, одна из наиболее распространенных – углеродный жгут. Жгуты представляют собой пучки, состоящие из большого (1000 и более) количества элементарных непрерывных моноволокон. Другая популярная форма наполнителя – ленты, которые состоят из нитей основы – жгутов, уложенных рядом и связанных в поперечном направлении малопрочным утком. Для таких однонаправленных наполнителей

практически исключены перегибы волокон в продольном направлении, что является их преимуществом перед тканями. Распространены также однонаправленные ткани, в которых переплетенный уток используется только для технологической связи жгутов между собой [17]. Некоторые свойства жгутов, лент и тканей, используемых в данном исследовании, приведены далее.

Отличительная особенность марок лент ЭЛУР-П – низкая линейная плотность, которая позволяет получать углепластики с толщиной монослоя 0,08–0,13 мм. В углеродной ткани фирмы Porcher (арт. 14535) с поверхностной плотностью 135 г/м<sup>2</sup> углеродные нити основы, составляющие 97,5 % ткани, переплетены стеклянным утком. Углеродная ткань арт. Ст-11088 представляет собой аналог ткани фирмы Porcher (арт. 14535). Углеродные жгуты марок УВ49S-12К и УМТ49S-12К получены из полиакрилонитрильного прекурсора (ПАН-прекурсор) и имеют стандартный модуль упругости, а также повышенную прочность. Линейная плотность у жгута марки УВ49S-12К составляет 800 текс, у жгута марки УМТ49S-12К – 760 текс.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработан ассортимент *эпоксидных клеевых связующих* расплавленного типа с регулируемыми характеристиками: вязкоупругими, прочностными, деформационными и температурными, под общей маркой ВСК-14, которые используются в качестве полимерных матриц при создании углепластиков [18–20]. Свойства связующих представлены в таблице.

**Прочностные характеристики клеевых соединений, выполненных клеевыми связующими (склеиваемый материал – алюминиевый сплав Д16-АТ Ан.Окс.хром)**

Связующее	Предел прочности при сдвиге, МПа (не менее), при температуре испытания, °С			Температура отверждения, °С
	20	80	150	
ВСК-14-1	19,6	19,6	–	125
ВСК-14-2м	19,6	–	19,6	175
ВСК-14-3	14,7	–	14,7	175

Клеевые связующие представляют собой однородную пластическую массу, их характерной особенностью является низкое содержание летучих продуктов – не более 2,0 % (по массе). Температура стеклования связующих составляет от 140 до 205 °С в зависимости от состава [21].

Клеевые связующие обладают рядом преимуществ перед другими связующими из-за их способности формировать пленку. Использование таких связующих дает возможность получать препреги стабильного качества, сочетающие как вязкоупругие характеристики традиционных связующих, так и адгезионные свойства, характерные для клеев. Это позволяет отказаться от применения пленочного клея при создании конструкций, в том числе сотовых.

Углепластики на основе клеевых препрегов обладают улучшенными характеристиками сопротивления усталости, долговечностью и сохранением высокой прочности после воздействия различных факторов окружающей среды. Процессы, связанные с использованием клеевых препрегов в промышленном производстве, характеризуются высокой степенью повторяемости и минимальным количеством контрольных действий [22].

Изучение ПКМ на основе клеевых препрегов началось в 1990-х гг. Первоначально был разработан углепластик на основе клеевого препрега марки КМКУ-1.80, пригодный для использования при температуре 80 °С. Применение различных клеевых связующих с отличающимся составом и характеристиками в сочетании с разнообразными наполнителями из углеродного волокна позволило расширить ассортимент ПКМ,

произведенных из клеевых препрегов [23, 24]. Разработаны следующие марки препрегов: КМКУ-2м.120 с рабочей температурой 120 °С, КМКУ-3м.150 с рабочей температурой 150 °С [11].

Для исследования использовали углепластики с однонаправленной углеродной лентой ЭЛУР-П-А в качестве наполнителя:

- КМКУ-1.80.Э0,1 на основе эпоксидного клеевого связующего ВСК-14-1 с рабочей температурой 80 °С;
- КМКУ-2м.120.Э0,1 на основе эпоксидного клеевого связующего ВСК-14-2м с рабочей температурой 120 °С;
- ВКУ-17КЭ0,1 на основе эпоксидного клеевого связующего ВСК-14-3 с рабочей температурой 150 °С (клеевой препрег КМКУ-3.150.Э0,1).

Использовали также другие углепластики на основе связующего ВСК-14-3 с жгутовыми наполнителями с количеством филаментов 12000 (номинал 12К):

- ВКУ-30К.Р14535 – клеевые препреги КМКУ-3м.150.Р14535 на основе однонаправленных углеродных тканей Porcher (арт. 14535) и арт. Ст-11088;
- ВКУ-30К.УВ49(S) – клеевой препрег КМКУ-3м.150.УВ49 на основе углеродного жгута УВ49S-12К;
- ВКУ-30К.УМТ49 – клеевой препрег КМКУ-3м.150.УМТ49 на основе углеродного жгута УМТ49S-12К.

Проведена экспозиция образцов углепластиков на термическое старение при максимальных рабочих температурах в течение 500 и 1000 ч.

Для исследования влияния воздействия повышенной температуры на физико-механические характеристики углепластиков проведены испытания при комнатной температуре (до и после климатических экспозиций), а также при максимальной рабочей температуре – определены пределы прочности при растяжении (ГОСТ 25.601–80), сжатии (ГОСТ 25.602–82) и статическом изгибе (ГОСТ 4648–71, ГОСТ 25.604–82).

### Результаты и обсуждение

Исследование свойств углепластиков проводили на образцах, изготовленных из клеевых препрегов автоклавным методом формования с конечными температурами отверждения 125 и 175 °С.

На рис. 1 представлены диаграммы, показывающие уровень сохранения свойств для углепластиков на основе углеродной ленты ЭЛУР-П-А и клеевых связующих марок ВСК-14-1, ВСК-14-2м и ВСК-14-3 со схемами армирования  $[0^\circ]$  и  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$  при растяжении, сжатии и статическом изгибе, при максимальных рабочих температурах 80, 120 и 150 °С соответственно.

Видно, что уровень сохранения прочности углепластиков относительно исходных значений с использованием углеродной ленты ЭЛУР-П-А при растяжении со схемой армирования  $[0^\circ]$  составляет  $79,5 \pm 1,5$  %, со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$ :  $79,5 \pm 4,5$  %; при сжатии со схемой армирования  $[0^\circ]$ :  $70,0 \pm 3,0$  %, со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$ :  $73,0 \pm 3,0$  %; при изгибе со схемой армирования  $[0^\circ]$ :  $86,0 \pm 4,0$  %, со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$ :  $79,5 \pm 0,5$  %. Высокий уровень сохранения прочностных показателей при рабочей температуре, а также небольшой разброс значений свойств в интервале рабочих температур свидетельствуют о стабильности свойств материала, а изменение матрицы позволяет получать углепластики с прогнозируемым уровнем свойств при рабочих температурах 80, 120 и 150 °С.

На рис. 2 представлены диаграммы, показывающие уровень сохранения свойств для углепластиков на основе связующего ВСК-14-3 и наполнителей на основе тканей Porcher (арт. 14535), арт. Ст-11088 и жгутов УВ-12К и УМТ49S-12К со схемами армирования  $[0^\circ]$  и  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$  при испытаниях при максимальной рабочей температуре 150 °С.

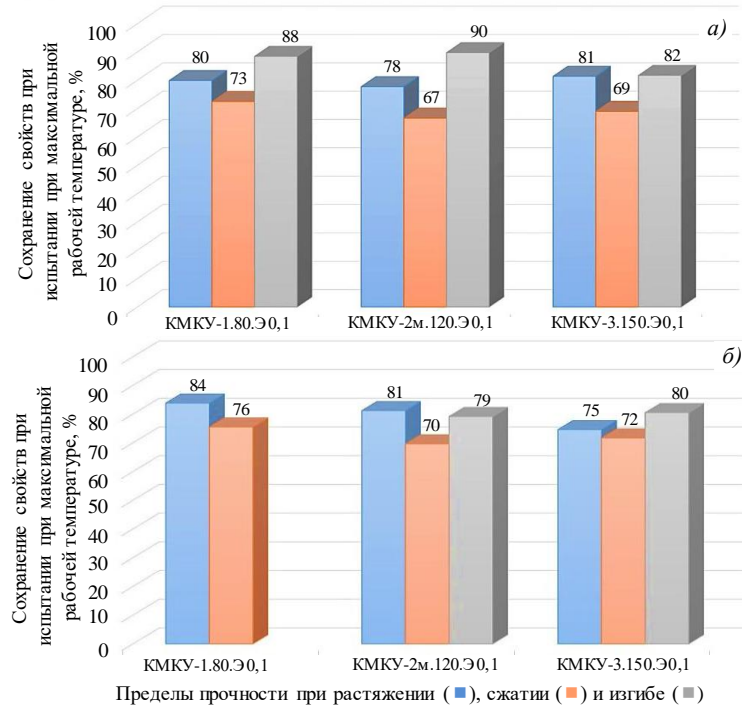


Рис. 1. Сохранение свойств для углепластиков на основе наполнителя ЭЛУР-П-А со схемой армирования [0°] (а) и [0°/90°/±45°] (б) при максимальных рабочих температурах (для углепластика КМКУ-1.80.Э0,1 нет данных по пределу прочности при изгибе для схемы армирования [0°/90°/±45°])

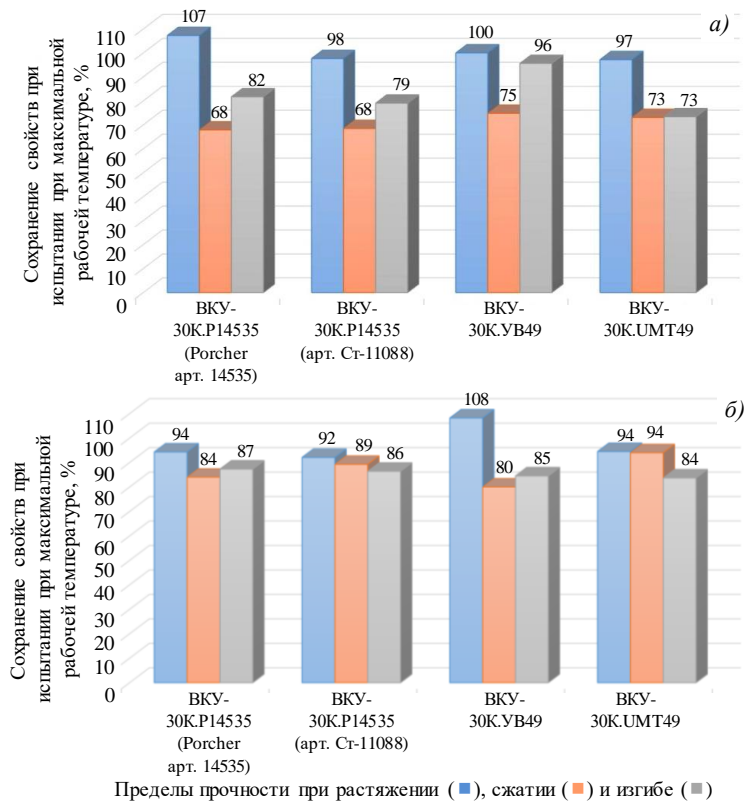


Рис. 2. Сохранение свойств для углепластиков общей марки ВКУ-30К на основе связующего ВСК-14-3 и наполнителей номиналом 12К со схемами армирования [0°] (а) и [0°/90°/±45°] (б) при максимальной рабочей температуре 150 °С

Видно, что уровень сохранения прочности углепластиков относительно исходных значений общей марки ВКУ-30К на основе углеродных наполнителей из углеродного жгута номиналом 12К при растяжении со схемой армирования  $[0^\circ]$  составляет  $98,5 \pm 1,5$  %, со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$ :  $96,0 \pm 4,0$  %; при сжатии со схемой армирования  $[0^\circ]$ :  $71,5 \pm 3,5$  %, со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$ :  $87,5 \pm 7,0$  %; при изгибе со схемой армирования  $[0^\circ]$ :  $84,5 \pm 11,5$  %, со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$ :  $85,5 \pm 1,5$  %. Следует отметить снижение прочности при сжатии у углепластиков общей марки ВКУ-30К на основе тканых наполнителей (арт. 14535 и Ст-11088) со схемой армирования  $[0^\circ]$ , которое, вероятно, вызвано наличием точной нити в составе наполнителя.

Для определения устойчивости углепластика марки ВКУ-30К на основе углеродных наполнителей из углеродного жгута номиналом 12К к воздействию внешних факторов проведен анализ изменения прочности образцов из углепластика с незащищенными торцами со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$  при изгибе (по ГОСТ 25.604–82) и сжатии (по ГОСТ 25.602–80) после теплового старения при максимальной рабочей температуре. Экспозиция с незащищенными торцами позволяет в лабораторных условиях имитировать локальное разрушение ПКМ и определить уровень прочности образца из ПКМ при экспозиции в заданных условиях [11, 14]. Результаты испытаний прочностных характеристик материалов после воздействия перечисленных внешних факторов в сравнении с исходными средними значениями приведены на рис. 3. Представлен уровень сохранения свойств углепластиков на основе связующего ВСК-14-3 и наполнителей номиналом 12К после климатической экспозиции – термического старения при температуре  $150^\circ\text{C}$  в течение 500 и 1000 ч.

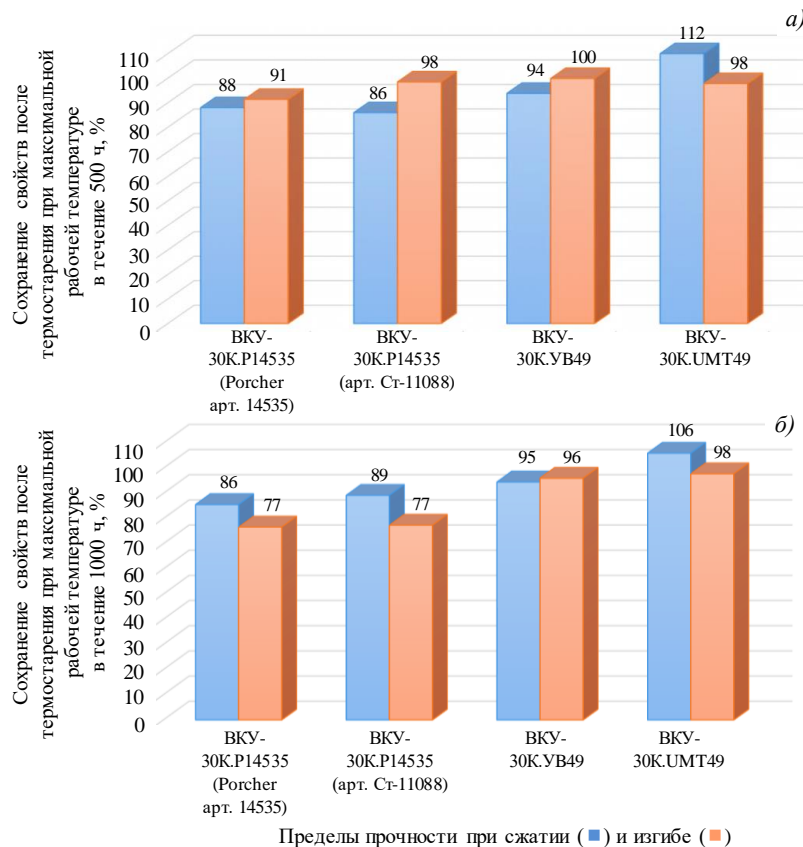


Рис. 3. Сохранение свойств для углепластиков общей марки ВКУ-30К на основе связующего ВСК-14-3 и наполнителей номиналом 12К после термического старения при температуре  $150^\circ\text{C}$  в течение 500 (а) и 1000 ч (б)

Видно, что уровень сохранения прочности углепластиков на основе углеродных наполнителей из углеродного жгута номиналом 12К общей марки ВКУ-30К относительно исходных значений при сжатии со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$  после термического старения при температуре 150 °С в течение 500 ч составляет  $93,0 \pm 7,0$  %, в течение 1000 ч:  $93,0 \pm 7,0$  %; при изгибе со схемой армирования  $[0^\circ/90^\circ/\pm 45^\circ]$  после термического старения при температуре 150 °С в течение 500 ч:  $95,5 \pm 2,5$  %, в течение 1000 ч:  $87,5 \pm 11,5$  %.

Наибольшее уменьшение значений прочности при изгибе – на 23 % у углепластиков с однонаправленными тканями Porcher (арт. 14535) и арт. Ст-11088 после экспозиции 1000 ч, которое, вероятно, вызвано наличием уточной нити в составе наполнителя. Свойства углепластиков с жгутовыми наполнителями после термического старения остаются почти неизменными.

### Заключения

Проведен анализ свойств разработанных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ углепластиков на основе клеевых препрегов с рабочими температурами 80, 120 и 150 °С.

Углепластики на основе углеродной ленты ЭЛУР-П-А и клеевых связующих марок ВСК-14-1, ВСК-14-2м и ВСК-14-3 отличаются высокими эксплуатационными характеристиками. Эти материалы сохраняют прочностные показатели при рабочих температурах, что свидетельствует о стабильности свойств в процессе теплового старения.

Одним из ключевых факторов, влияющих на поведение углепластиков, является тип связующего. Изменение матрицы связующего без замены углеродного наполнителя позволяет варьировать свойства материала – например, повышать термостойкость, сохраняя при этом механические характеристики. Это дает возможность создавать конструкции с предсказуемыми и стабильными свойствами под воздействием различных температур.

Таким образом, комплексный подбор связующего в углепластике на основе углеродной ленты ЭЛУР-П-А является эффективным инструментом для получения материалов с необходимыми техническими характеристиками и стабильными эксплуатационными свойствами.

Представленные данные показывают, что применение современных углеродных наполнителей номиналом 12К без изменения матрицы приводит к увеличению прочностных свойств материала во всем диапазоне рабочих температур. Следует особо подчеркнуть, что образцы, в которых применен углеродный наполнитель без уточной нити и с однонаправленной укладкой, показывают лучшее сохранение упруго-прочностных характеристик. При этом необходимо понимать, что в реальных изделиях углеродный наполнитель всегда укладывается анизотропно, что существенно влияет на конечные свойства. Несмотря на это, приведенная информация является важной и ее необходимо учитывать разработчикам при создании новых образцов изделий или модернизации имеющихся.

Кроме того, низкая вариативность свойств подтверждает однородность и качество производства. Такой подход обеспечивает долговечность изделий и позволяет широко применять данные материалы в авиации, машиностроении и других сферах, где важна высокая прочность и устойчивость к механическим воздействиям при высоких температурах.

### Список источников

1. Славин А.В., Донецкий К.И., Хрульков А.В. Перспективы применения полимерных композиционных материалов в авиационных конструкциях в 2025–2035 гг. (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 11 (117). С. 81–92. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-81-92.

2. Малаховский С.С., Панафидникова А.Н., Костромина Н.В., Осипчик В.С. Углепластики в современном мире: их свойства и применения // *Успехи в химии и химической технологии*. 2019. Т. XXXIII. № 6. С. 62–64.
3. Коган Д.И., Чурсова Л.В., Панина Н.Н. и др. Перспективные полимерные материалы для конструкционных композиционных изделий с энергоэффективным режимом формования // *Пластические массы*. 2020. № 3–4. С. 52–54.
4. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // *Металлы Евразии*. 2015. № 1. С. 36–39.
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). С. 122–144. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.08.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
6. Начаркина А.В., Валуева М.И., Зеленина И.В., Шошева А.Л. Высокотемпературные углепластики на основе бисмалеинимидных связующих // *Авиационные материалы и технологии*. 2024. № 4 (77). С. 43–61. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.08.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-43-61.
7. Вольнов О.И., Дудукин Д.О. Стеклопластик. История развития, технология производства, формообразование деталей и современное применение // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. 2014. № 5 (107). С. 400–404.
8. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Абрамов П.А. Пути повышения качества деталей из ПКМ при вакуумном формовании // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. № 4 (3). С. 831–838.
9. Старцев В.О. Климатическая стойкость полимерных композиционных материалов и защитных покрытий в умеренно-теплом климате: дис. ... д-ра техн. наук. М., 2018. 297 с.
10. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат, 2009. 267 с.
11. Старков А.И. Полимерные композиционные материалы пониженной горючести на основе клеевых препрегов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2025. 135 с.
12. Шершак П.В., Яковлев Н.О., Шокин Г.И., Куцевич К.Е., Попкова Е.А. Метод оценки и факторы, влияющие на качество склеивания обшивки с сотовым наполнителем в конструкциях пола и интерьера воздушных судов // *Авиационные материалы и технологии*. 2020. № 2 (59). С. 81–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-81-88.
13. Галиновский А.Л., Кравченко И.Н., Величко С.А. и др. Влияние климатических факторов на свойства и характеристики углепластиков // *Новые огнеупоры*. 2022. № 4. С. 40–46.
14. 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. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.08.2025).
15. Иванов М.С., Морозова В.С., Павлюкович Н.Г. Влияние эксплуатационных факторов на свойства углепластика на основе полиэфирэфиркетона // *Авиационные материалы и технологии*. 2024. № 2 (75). С. 99–108. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-2-99-108.
16. Старцев В.О., Валевин Е.О., Гуляев А.И. Влияние старения поверхности полимерных композиционных материалов на их механические свойства // *Труды ВИАМ*. 2020. № 8 (90). С. 64–76. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 11.08.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-64-76.
17. Мийченко И.П. Наполнители для полимерных материалов: учеб. пособие. М.: МАТИ, 2010. 196 с.
18. Тростянская Е.Б., Михайлин Ю.А., Кулик С.Г., Степанова М.А. Связующие на основе эпоксидных смол: учеб. пособие. М.: МАТИ, 1990. 65 с.
19. Панина Н.Н., Ким М.А., Гуревич Я.М. и др. Связующие для безавтоклавного формования изделий из полимерных композиционных материалов // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2013. № 10. С. 18–27.

20. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / под ред. Е.Н. Каблова. М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2021. С. 363.
21. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учеб. пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
22. Куцевич К.Е. Клеевые препреги и углекомпозиаты на их основе: дис. ... канд. техн. наук. М., 2014. 101 с.
23. Авиационные материалы: справочник в 13 т. / под ред. Е.Н. Каблова. 7-е изд., перераб. и доп. М.: ВИАМ, 2019. Т. 10: Клеи, герметики, резины, гидрожидкости, ч. 1: Клеи, клеевые препреги. 276 с.
24. Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Сереженков А.А., Куцевич К.Е. Основные свойства и назначение ПКМ на основе клеевых препрегов // Тез. докл. XIX Междунар. науч.-технич. конф. «Конструкции и технология получения изделий из неметаллических материалов». Обнинск, 2010. С. 11–12.

### References

1. Slavin A.V., Donetskiy K.I., Khrulkov A.V. Prospects for the use of polymer composite materials in aircraft structures in 2025–2035 (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 11 (117), pp. 81–92. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 25, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-81-92.
2. Malakhovsky S.S., Panafidnikova A.N., Kostromina N.V., Osipchik V.S. Carbon fiber reinforced plastics in the modern world: their properties and applications. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2019, vol. XXXIII, no. 6, pp. 62–64.
3. Kogan D.I., Chursova L.V., Panina N.N. et al. Promising polymeric materials for structural composite products with an energy-efficient molding mode. *Plasticheskiye massy*, 2020, no. 3–4, pp. 52–54.
4. Kablov E.N. Composites: Today and Tomorrow. *Metally Evrazii*, 2015, no. 1, pp. 36–39.
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), pp. 122–144. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: August 04, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
6. Nacharkina A.V., Valueva M.I., Zelenina I.V., Shosheva A.L. High-temperature carbon fiber reinforced plastics based on bismaleinimide binders. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 4 (77), pp. 43–61. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: August 04, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-43-61.
7. Volnov O.I., Dudukin D.O. Fiberglass. History of Development, Production Technology, Forming of Parts and Modern Application. *Trudy NGTU im. R.E. Alekseyeva*, 2014, no. 5 (107), pp. 400–404.
8. Veshkin E.A., Postnov V.I., Abramov P.A. Ways to Improve the Quality of Polymeric Composite Parts during Vacuum Forming. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 4 (3), pp. 831–838.
9. Startsev V.O. *Climatic Resistance of Polymer Composite Materials and Protective Coatings in a Moderately Warm Climate*: thesis, Dr Sc. (Tech.). Moscow, 2018, 297 p.
10. *Airworthiness Standards for Transport Category Aircraft: AP-25*: approved by the Resolution of the 28th Session of the Aviation and Airspace Use Council on 11.12.2008. 3rd ed. with amendments 1–6. Moscow: Aviaizdat, 2009, 267 p.
11. Starkov A.I. *Low-flammability Polymer Composite Materials Based on Adhesive Prepregs*: thesis, Cand. of Sc. (Tech.). Moscow, 2025, 135 p.
12. Shershak P.V., Yakovlev N.O., Shokin G.I., Kutsevich K.E., Popkova E.A. Evaluation method and factors influencing the bonding quality between face and honey-comb cores in floor and interior aircraft panels. *Aviacionnye materialy i tekhnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 81–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-81-88.

13. Galinovsky A.L., Kravchenko I.N., Velichko S.A. et al. Influence of climatic factors on the properties and characteristics of carbon fiber reinforced plastics. *Novye ogneupory*, 2022, no. 4, pp. 40–46.
14. Efimov V.A., Shvedkova A.K., Korenkova T.G., Kirillov V.N. Research of polymeric constructional materials at influence of climatic factors and loadings in laboratory and natural conditions. *Trudy VIAM*, 2013, no. 1, paper no. 05. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 04, 2025).
15. Ivanov M.S., Morozova V.S., Pavlukovich N.G. The influence of operational factors on the properties of carbon fiber based on polyetheretherketone. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 2 (75), pp. 99–108. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 28, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-2-99-108.
16. Startsev V.O., Valevin E.O., Gulyaev A.I. The influence of polymer composite materials' surface weathering on its mechanical properties. *Trudy VIAM*, 2020, no. 8 (90), pp. 64–76. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 11, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-8-64-76.
17. Miychenko I.P. *Fillers for polymeric materials*: tutorial. Moscow: MATI, 2010, 196 p.
18. Trostyanskaya E.B., Mikhailin Yu.A., Kulik S.G., Stepanova M.A. *Binders based on epoxy resins*: tutorial. Moscow: MATI, 1990, 65 p.
19. Panina N.N., Kim M.A., Gurevich Ya.M. et al. Binders for out-of-autoclave molding of products from polymer composite materials. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2013, no. 10, pp. 18–27.
20. Mukhametov R.R., Petrova A.P. *Thermosetting Binders for Polymer Composite Materials*: textbook. Ed. E.N. Kablov. Moscow: NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, 2021, p. 363.
21. Petrova A.P., Malysheva G.V. *Adhesives, Adhesive Binders, and Adhesive Prepregs*: textbook. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2017, 472 p.
22. Kutsevich K.E. *Adhesive Prepregs and Carbon Composites Based on Them*: thesis, Cand. Sc. (Tech.). Moscow, 2014, 101 p.
23. *Aviation Materials*: Handbook in 13 vols. Ed. by E.N. Kablov. 7th ed., rev. and add. Moscow: VIAM, 2019, vol. 10: Adhesives, Sealants, Rubbers, Hydraulic Fluids, part 1: Adhesives, Adhesive Prepregs, 276 p.
24. Dementeva L.A., Lukina N.F., Serezhenkov A.A., Kutsevich K.E. Basic Properties and Purpose of Polymeric Composites Based on Adhesive Prepregs. *Abstract of the XIX Int. Sci. and Tech. Conf. «Designs and Technology of Manufacturing Products from Non-Metallic Materials»*. Obninsk, 2010, pp. 11–12.

#### Информация об авторах

**Исаев Алексей Юрьевич**, заместитель начальника лаборатории по науке, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Путилина Полина Максимовна**, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Старков Алексей Игоревич**, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

#### Information about the authors

**Aleksey Yu. Isaev**, Deputy Head of Laboratory of Science, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Polina M. Putilina**, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Aleksey I. Starkov**, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 19.11.2025; получена после доработки 12.02.2026; одобрена и принята к публикации после рецензирования 12.03.2026  
The article was submitted 19.11.2025; received in revised form 12.02.2026; approved and accepted for publication after reviewing 12.03.2026.