

Научная статья

УДК 620.193.8:678.747.2

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-69-80

## СВОЙСТВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УГЛЕПЛАСТИКОВ ПОСЛЕ ИСПЫТАНИЙ НА ГРИБОСТОЙКОСТЬ

М.И. Валуева<sup>1</sup>, И.В. Зеленина<sup>1</sup>, А.В. Начаркина<sup>1</sup>, Ю.С. Горяшник<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.** Представлены результаты изменения свойств высокотемпературного углепластика ВКУ-61 авиационного назначения после испытаний на грибостойкость, полученные с применением различных методов испытаний. Сохранение прочности при статическом изгибе составляет 79–92 % независимо от метода испытания на грибостойкость. Для сравнения приведены данные по грибостойкости углепластиков на основе полимерных связующих различной химической природы. Приведены результаты сохранения механических свойств рассмотренных углепластиков после 3 мес экспозиции в тепловлажностных условиях, в том числе и после воздействия плесневых грибов.

**Ключевые слова:** полимерные композиционные материалы, углепластики, авиационная техника, грибостойкость, воздействие плесневых грибов, связующие

**Для цитирования:** Валуева М.И., Зеленина И.В., Начаркина А.В., Горяшник Ю.С. Свойства высокотемпературных углепластиков после испытаний на грибостойкость // Труды ВИАМ. 2022. № 11 (117). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-69-80.

Scientific article

## PROPERTIES OF HIGH-TEMPERATURE CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS AFTER TESTS FOR FUNGUS RESISTANCE

M.I. Valueva<sup>1</sup>, I.V. Zelenina<sup>1</sup>, A.V. Nacharkina<sup>1</sup>, Yu.S. Goryashnik<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.** The article presents the results of changes in the properties of high-temperature carbon fiber reinforced plastic VKU-61 for aviation purposes after testing for fungus resistance, obtained using various test methods. The retention of strength in static bending is 79–92 %, regardless of the method of testing for fungus resistance. For comparison, data on the fungus resistance of carbon plastics based on polymer binders of various chemical nature are given. The results of preservation of the mechanical properties of the considered carbon plastics after 3 months of exposure to heat and humidity conditions, including after exposure to mold fungi, are presented.

**Keywords:** polymer composite materials, carbon fiber reinforced plastics, aircraft products, mushroom resistance, exposure to fungi, binders

**For citation:** Valueva M.I., Zelenina I.V., Nacharkina A.V., Goryashnik Yu.S. Properties of high-temperature carbon fiber reinforced plastics after tests for fungus resistance. *Trudy VIAM*, 2022, no. 11 (117), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-11-69-80.

### Введение

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ), в частности углепластики, широко применяются в конструкциях изделий авиационной и другой современной техники [1–8]. Перспективным направлением работ является в том числе разработка и исследование высокотемпературных ПКМ на основе термостойких полимерных связующих, предназначенных для применения в составе теплонагруженных элементов деталей [9–15].

В процессе эксплуатации материалов в конструкции они подвергаются воздействию различных внешних факторов, в связи с чем необходимо проведение исследований, направленных на оценку влияния данных факторов на свойства материала [14–16].

Среди внешних факторов воздействия наиболее существенное влияние на ПКМ, в частности на углепластики, оказывают вода/влажность и температура [17, 18]. Тепло и влажность являются благоприятными условиями для развития различных микроорганизмов, в том числе и плесневых грибов. Изучение микробиологической стойкости материалов при воздействии плесневых грибов – одно из важных направлений исследований [19–25].

Развитие микроорганизмов может происходить из-за внешних загрязнений материала или за счет его компонентов, при этом благоприятная внешняя среда (повышенная влажность и температура) будет способствовать развитию микроорганизмов. К числу возможных последствий биоповреждений, вызванных деятельностью микроорганизмов, относятся: потеря чувствительности радиоэлектронных устройств, изменение электрических параметров электронных устройств, нарушение светопропускания и отражения оптических приборов, нарушение режима работы топливных систем, изменение свойств и уменьшение сроков службы материалов [26–28].

В данной работе представлены результаты изменения свойств высокотемпературного углепластика марки ВКУ-61 на основе полиимидного связующего на рабочую температуру до 320 °С, оцениваемые после проведения испытаний на стойкость к плесневым грибам в соответствии с ГОСТ 9.049–91 (методы 1–3). Для сравнения приведены данные по грибостойкости некоторых других углепластиков, разработанных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, на основе термостойких термореактивных связующих различной химической природы: полициануратного, бисмалеинимидного, полиимидного, фталонитрильного, а также непрерывных углеродных армирующих наполнителей в виде лент и тканей.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексного научного направления 13. «Полимерные композиционные материалы (ПКМ)» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].

### Материалы и методы

Основным объектом, исследуемым в данной работе, является углепластик марки ВКУ-61 с укладкой слоев  $[0]_{12}$  с рабочей температурой до 320 °С. Для сравнения рассмотрены также другие высокотемпературные углепластики на основе однонаправленных и равнопрочных углеродных наполнителей и термореактивных полимерных связующих различной химической природы с рабочей температурой до 350 °С.

Перечень рассматриваемых в данной работе углепластиков, разработанных и исследованных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, а также методы и параметры проведения испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Исследуемые углепластики

Углепластик, схема армирования	Состав углепластика		Рабочая темпера- тура, °С	Метод и параметры испытаний
	марка связующего (тип связующего)	наполнитель		
ВКУ-39, [0] <sub>n</sub>	ВСЭ-1212 (эпоксидное)	Ткань углеродная Porcher (арт. 3692)	120	ГОСТ 9.049–91 (метод 2), температура $T = 29 \pm 2$ °С, влажность $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы
ВКУ-42 с пла- кирующим слоем органо- пластика, [0] <sub>n</sub>	ВСТ-32 (полициануратное)	Ткань углеродная Porcher (арт. 4750)	200	ГОСТ 9.049–91 (метод 2), $T = 29 \pm 2$ °С, $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы
КМУ-8, [0] <sub>n</sub>	ПАИС-104 (бисмалеинимидное)	Лента углеродная Элур-П	250	ОСТ 1 90264–77, $T = 29 \pm 2$ °С, $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы
БМИ-3/3692*, [0] <sub>n</sub>	БМИ-3 (бисмалеинимидное)	Ткань углеродная Porcher (арт. 3692)	250 (кратко- временно)	ГОСТ 9.049–91 (метод 2), $T = 29 \pm 2$ °С, $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы
КМУ-2ЛП, [0] <sub>n</sub>	СП-97 (полиимидное)	Лента углеродная ЛУ-П	280	ОСТ 1 90264–77, $T = 29 \pm 2$ °С, $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы
ВКУ-61, [0] <sub>n</sub>	ВС-51 (полиимидное)	Ткань углеродная ВТКУ-2.200	До 320	ГОСТ 9.049–91 (методы 1–3), $T = 29 \pm 2$ °С, $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы
ВКУ-38ЖН, [0] <sub>n</sub>	ВСН-31 (фталонитрильное)	Высокомодульный жгут ЖГВ-430-12К или лента УТОВ- 300-200 из жгута ЖГВ-430-12К	300–350	ГОСТ 9.049-91 (метод 2), $T = 29 \pm 2$ °С, $\phi$ – не менее 90 % + плесневые грибы

\* Разработка АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина».

Испытания образцов углепластиков ранних разработок проводились в соответствии с отраслевой документацией (КМУ-2ЛП и КМУ-8 – по ОСТ 1 90264–77) [29]. Испытания на устойчивость к воздействию плесневых грибов углепластиков, разработанных после 1991 г., проводились в соответствии с ГОСТ 9.049–91 (метод 2) [30, 31]. Испытание углепластика марки ВКУ-61 на воздействие плесневых грибов проводилось в соответствии с ГОСТ 9.049–91 по методам 1–3 (рис. 1), выбираемых в зависимости от предполагаемых возможных воздействий на материал в процессе его эксплуатации. Для сравнения в аналогичных температурно-влажностных условиях были выдержаны контрольные образцы углепластиков (без добавления спор грибов). Продолжительность испытаний углепластиков, перечисленных в табл. 1, составляла 3 мес.

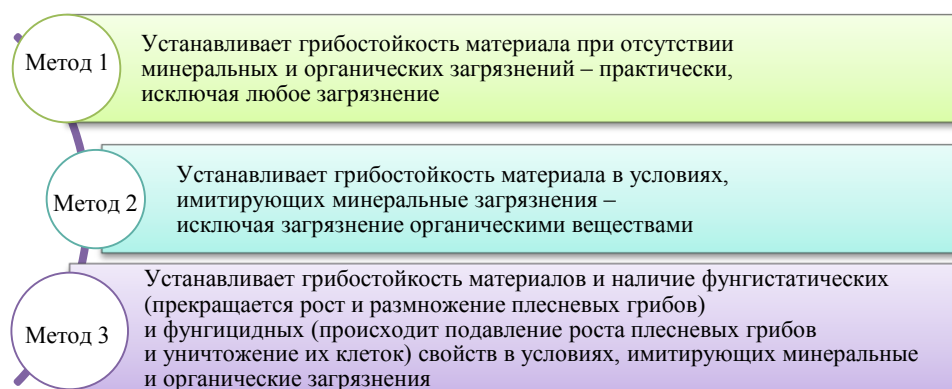


Рис. 1. Методы испытаний на грибостойкость

После окончания испытаний проводили оценку степени развития плесневых грибов в соответствии с 6-балльной шкалой ГОСТ 9.048–89, приведенной в табл. 2.

Таблица 2

## Шкала оценки грибостойкости по интенсивности развития грибов [30]

Балл	Характеристика балла
0	Под микроскопом прорастания спор и конидий не обнаружено
1	Под микроскопом видны проросшие споры и незначительно развитый мицелий
2	Под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение
3	Невооруженным глазом мицелий и (или) спороношение едва видны, но отчетливо видны под микроскопом
4	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих <25 % испытываемой поверхности
5	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих >25 % испытываемой поверхности

Оценку степени развития плесневых грибов проводили, исследуя поверхность образцов под микроскопом Leica M165FC при увеличении  $\times(56-60)$ .

Для оценки влияния плесневых грибов на свойства углепластиков проводится определение прочности либо при изгибе, либо при межслойном сдвиге, либо при сжатии. Для углепластика ВКУ-61 определяли прочность и модуль упругости при статическом изгибе по ГОСТ Р 56805–2015 на испытательной машине LFM-100. Нормативная документация на другие виды испытаний приведена далее.

## Результаты и обсуждение

Для новой разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ – полиимидного углепластика марки ВКУ-61 с диапазоном рабочих температур от  $-60$  до  $+320$  °С – проведено комплексное исследование грибостойкости по ГОСТ 9.049–91 с применением трех методов.

Образцы углепластика ВКУ-61 очищали от углеродной пыли, образующейся при нарезке образцов, и обезжиривали. На поверхность части образцов были нанесены загрязнения, предусматриваемые методами 2 (минеральные загрязнения) и 3 (минеральные и органические загрязнения). Для испытания применялись следующие виды грибов: *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus oryzae*, *Penicillium funiculosum*, *Penicillium cyclopium*, *Penicillium chrysogenum*, *Trichoderma viride*, *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces varioti*. Поверхность образцов, как с нанесенными загрязнениями, так и без них, обрабатывали суспензией спор грибов путем равномерного распределения ее с помощью пульверизатора, не допуская слияния капель. Поверхность контрольных образцов, предназначенных для проведения испытаний под воздействием влаги и температуры, обработке не подвергали. Образцы выдерживали в испытательной камере при температуре  $29 \pm 2$  °С и относительной влажности  $>90$  %, продолжительность испытаний с момента установления режима составляла 84 сут.

После окончания испытаний проводили оценку степени развития плесневых грибов в соответствии с 6-балльной шкалой ГОСТ 9.048–89 – путем внешнего осмотра невооруженным глазом и под микроскопом.

Балльная оценка степени развития плесневых грибов на углепластике ВКУ-61 дана в соответствии с 6-балльной шкалой ГОСТ 9.048–89, результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

## Оценка развития плесневых грибов на углепластике марки ВКУ-61

Метод испытаний	Степень развития плесневых грибов, балл	Результаты осмотра
1	2	Под микроскопом виден развитый мицелий, возможно спороношение
2	3	Невооруженным глазом мицелий и спороношение едва видны, но отлично видны под микроскопом
3	5	Невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, покрывающих >25% испытываемой поверхности
Контроль (без добавления грибов)	0	Под микроскопом прорастания спор и конидий не обнаружено

Видно, что степень развития плесневых грибов различна в зависимости от применяемого метода исследований. По результатам исследований углепластик ВКУ-61 можно классифицировать как содержащий питательные вещества, способствующие лишь незначительному развитию грибов и с отсутствующим фунгицидным эффектом.

На рис. 2 приведены фотографии поверхности образцов углепластика ВКУ-61 в исходном состоянии и после проведения исследований для оценки грибостойкости. Видно, что экспозиция в условиях тепловлажностного воздействия контрольных образцов (без добавления спор грибов) не приводит к каким-либо видимым изменениям поверхности углепластика (рис. 2, б). На поверхности образцов углепластика, обработанных суспензией спор грибов, видны развитый мицелий и спороношение, причем на образцах, загрязненных по методу 3, обрастание грибами значительно больше и составляет 5 баллов.

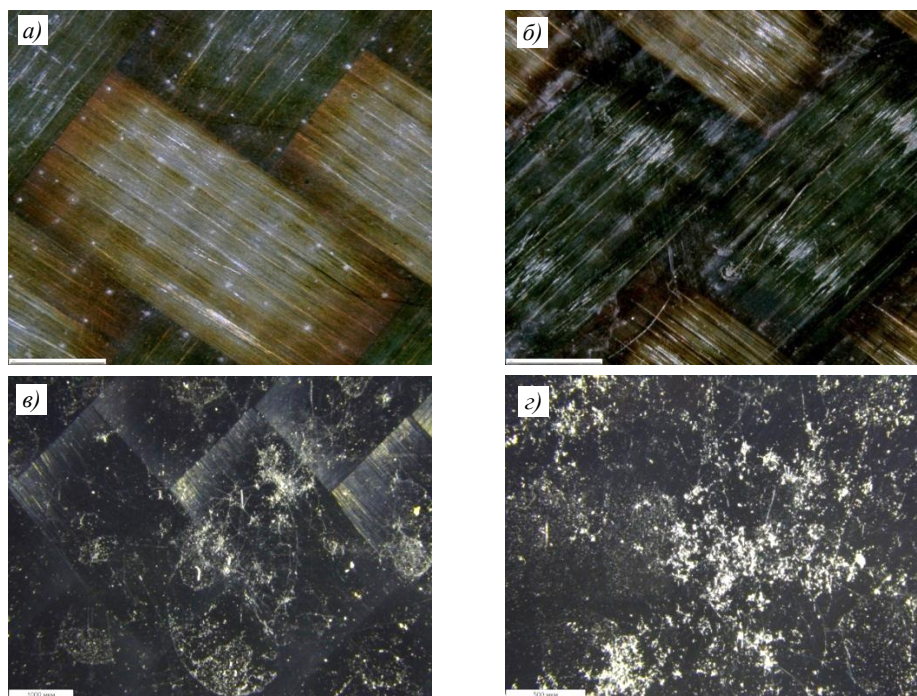


Рис. 2. Фотографии поверхности образцов из углепластика ВКУ-61 после проведения исследований для оценки грибостойкости: а – в исходном состоянии; б – контрольный (без добавления грибов); в – испытанный по методу 1 (степень развития плесневых грибов 2 балла); г – испытанный по методу 3 (степень развития плесневых грибов 5 баллов)

Свойства углепластика марки ВКУ-61 после воздействия плесневых грибов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Свойства углепластика марки ВКУ-61 после воздействия плесневых грибов

Свойства по ГОСТ Р 56805–2015	Температура испытания, °С	В исходном состоянии	После испытаний по методу			
			Без добавления спор грибов (контрольные образцы)	1	2	3
Прочность при изгибе, МПа	23±3	656	569	573	521	564
	320	613	545	564	487	505
Модуль упругости при изгибе, ГПа	23±3	55	55	55	55	55
	320	55	53	53	54	54

На рис. 3 приведены данные относительного сохранения прочности образцов углепластика ВКУ-61, испытанных после воздействия плесневых грибов (за 100 % приняты значения для углепластика в исходном состоянии).

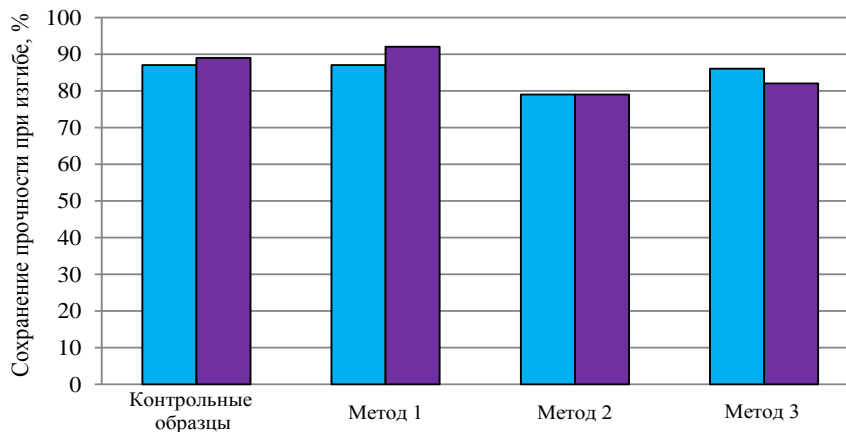


Рис. 3. Сохранение прочности при изгибе при температуре испытания 23±3 (■) и 320 °С (■) для углепластика ВКУ-61 после воздействия плесневых грибов

Из данных табл. 4 и рис. 3 видно, что сохранение прочности при изгибе углепластика марки ВКУ-61 после 3 мес экспозиции при влажности >90 % и температуре 29±2 °С (контрольные образцы без добавления грибов) составило 87 % при температуре испытаний 23±3 °С, а при температуре испытаний 320 °С: 89 % (по отношению к исходным значениям прочности). Такое же высокое сохранение свойств углепластика наблюдается и на образцах, зараженных плесневыми грибами. Сохранение прочности при изгибе после 1 и 3 методов испытаний составляет при температуре испытаний 23±3 °С соответственно 86 и 87 %, а при температуре испытаний 320 °С: 82 и 92 %. Наименьший процент сохранения прочности при изгибе при двух температурах испытаний (79 %) показали образцы углепластика, испытанные по методу 2. Модуль упругости при изгибе во всех случаях остается практически без изменений. Таким образом, видно, что наличие плесневых грибов на поверхности углепластика практически не влияет на прочность углепластика марки ВКУ-61 на основе полиимидного связующего.

Для сравнения приведены данные по грибостойкости других терmostойких углепластиков (на рабочие температуры от 200 до 350 °С), разработанных в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. В табл. 5 представлены результаты испытаний углепластиков на основе терmostойких терморезактивных полимерных связующих различной химической природы (полициануратного, бисмалеинимидного, полиимидного и фталонитрильного) и для сравнения с ними – углепластика на основе эпоксидного связующего.

Таблица 5

## Результаты испытаний углепластиков после воздействия плесневых грибов

Материал	Обраста- ние гри- бами, балл	Свойства (нормативная документация на испытания)	Темпера- тура ис- пытания, °С	Среднее значение свойств		
				в исход- ном со- стоянии	после экспозиции при	
					влаж- ности	влажности + плес- невые грибы
ВКУ-39	1	Прочность при изгибе, МПа (ASTM D 7264/D 7264M)	23±3	1000	960	990
			120	760	680	720
		Прочность при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D 2344/D 2344M)	23±3	73	74	72
			120	46	41	40
ВКУ-42 с лакиру- ющим сло- ем органи- пластика	0	Предел прочности при сжатии, МПа (ГОСТ 25.602–80)	23±3	630	600	610
			200	475	155	210
КМУ-8	1	Прочность при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	23±3	1127	1097	1078
БМИ-3/3692	0–1	Прочность при изгибе, МПа (ASTM D 7264/ D 7264M)	23±3	1070	1160	1060
			250	450	380	300
		Прочность при межслойном сдвиге, МПа (ASTM D 2344/D 2344M)	23±3	68	73	78
КМУ-2ЛП	1	Прочность при изгибе, МПа (ГОСТ 25.604–82)	23±3	1089	1080	1080
			300	785	780	769
ВКУ-38ЖН	2	Прочность при межслойном сдвиге, МПа (РД 50-675-88)	23±3	45	45	43
			350	31	24	26

Оценку грибостойкости проводили в условиях, имитирующих минеральные загрязнения (метод 2) в течение 3 мес. Температурно-влажностные параметры проведения испытаний приведены в табл. 1.

Из данных табл. 5 видно, что углепластики на основе термореактивных связующих различной химической природы можно отнести либо к материалам, не являющимся питательной средой для грибов и грибоустойчивыми при наличии минеральных загрязнений (углепластик ВКУ-42), либо к материалам, содержащим питательные вещества, способствующие лишь незначительному развитию грибов.

На рис. 4 приведены данные относительного сохранения прочности образцов углепластиков, которые указаны в табл. 5, испытанных после микологического воздействия (за 100 % приняты значения прочности для углепластиков в исходном состоянии).

Из приведенных данных (табл. 5, рис. 4) видно, что сохранение прочности для рассматриваемых углепластиков (ВКУ-39, ВКУ-42, ВКУ-8, КМУ-2ЛП, БМИ-3/3692, ВКУ-38ЖН) при температуре испытаний 23±3 °С после 3 мес экспозиции в тепловлажностных условиях составляет 95–100 %. После экспозиции перечисленных углепластиков в аналогичных тепловлажностных условиях, в том числе и после воздействия плесневых грибов, сохранение прочности остается на том же уровне 95–99 %.

При проведении испытаний экспонированных углепластиков при повышенной температуре наблюдается снижение сохранения свойств (в %), зависящее как от вида испытаний, так и от природы углепластика. Сохранение прочности при изгибе при рабочей температуре углепластиков после 3 мес экспозиции в тепловлажностных условиях, в том числе и после воздействия плесневых грибов, также достаточно велико и составляет 79–98 %, за исключением углепластика БМИ-3/3692 (сохранение прочности 66–84 %). Более чувствительны к повышенной температуре эти значения при межслойном сдвиге (рис. 4, б): сохранение прочности при рабочей температуре для углепластика ВКУ-39 составляет 87–89 %, для углепластика ВКУ-38ЖН: 77–83 %.

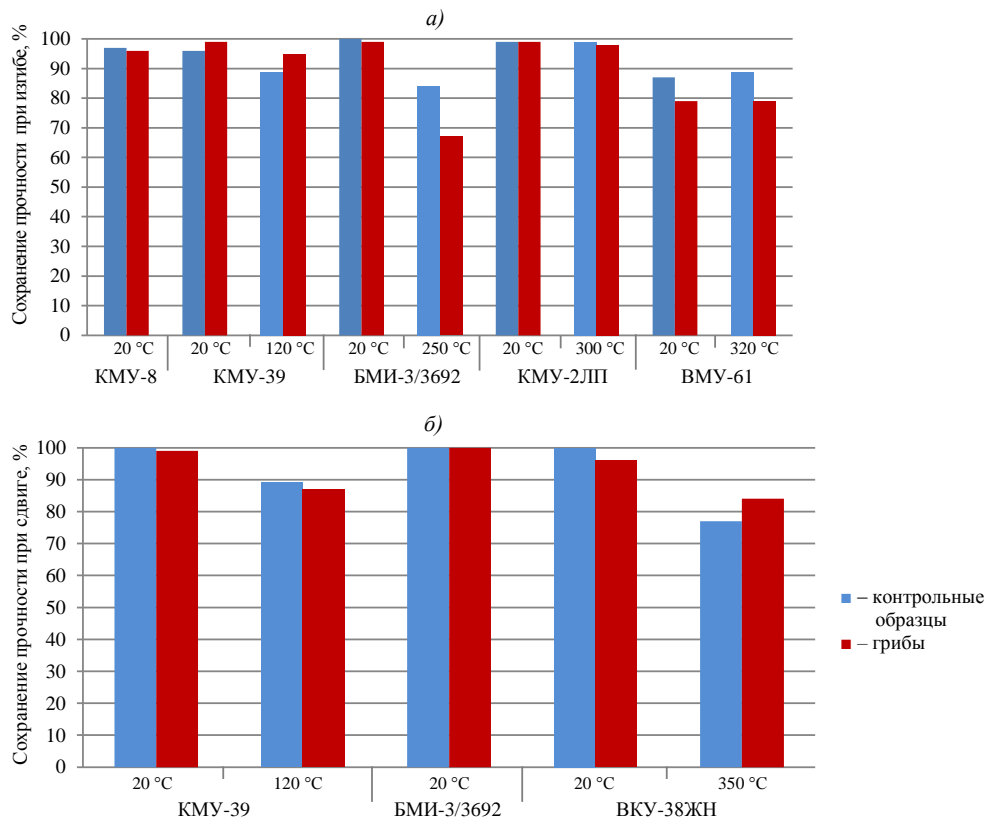


Рис. 4. Сохранение прочности при изгибе (а) и межслойном сдвиге (б) при различных температурах углепластиков на основе связующих различных классов после воздействия плесневых грибов

Еще меньшее сохранение прочности при сжатии после 3 мес экспозиции в тепловлажностных условиях, в том числе и после воздействия плесневых грибов, наблюдается при повышенной температуре у углепластика ВКУ-42 с лакирующим слоем органопластика: 33 % (контрольные образцы) и 44 % (влаги + плесневые грибы). Это связано со сравнительно низкой устойчивостью полициануратных связующих к воздействию влаги при повышенной температуре [32–34].

Наличие плесневых грибов на поверхности материалов практически не влияет на прочностные свойства углепластиков, что подтверждается одинаковым уровнем сохранения значений прочностных характеристик. Кроме того, в связи с тем, что ПКМ в конструкциях изделий применяются, как правило, с нанесенными лакокрасочными или иными защитными покрытиями, представляет интерес проведение микробиологических исследований ПКМ с данными покрытиями, а также исследований грибостойкости перспективных ПКМ для других сфер применения (космическая отрасль, судостроение и др.) с учетом возможных различий в методиках испытаний и специфических требований к материалам.

### Заключения

В данной статье обобщены результаты экспериментальных исследований углепластиков, полученных на основе полимерных связующих различной химической природы, с максимальными рабочими температурами от 200 до 350 °С, после воздействия плесневых грибов. Показано, что сохранение механических свойств рассмотренных углепластиков составляет 79–100 % от исходных значений (в зависимости от вида испытаний), что является высоким показателем.

Показано, что степень развития плесневых грибов различна в зависимости от применяемого метода оценки. Следует также отметить, что на грибостойкость материала может оказывать влияние подготовка поверхности (очистка от загрязнений) исследуемого образца, нанесенные лакокрасочные или иные защитные покрытия.

Актуальным является продолжение исследований перспективных ПКМ, применяемых в различных отраслях промышленности.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность ведущему научному сотруднику НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ А.И. Гуляеву.

### Список источников

1. 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.
2. Kablov E.N., Startsev V.O. The influence of internal stresses on the aging of polymer composite materials: a review // *Mechanics of Composite Materials*. 2021. Vol. 57. No. 5. P. 565–576.
3. Сидорина А.И. Мультиаксиальные углеродные ткани в изделиях авиационной техники (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 3 (64). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 11.04.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-3-105-116.
4. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2021. 528 с.
5. Гуняева А.Г., Сидорина А.И., Курносов А.О., Клименко О.Н. Полимерные композиционные материалы нового поколения на основе связующего ВСЭ-1212 и наполнителей, альтернативных наполнителям фирм Porcher Ind. и Toho Tenax // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 3 (52). С. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
6. Евдокимов А.А., Раскутин А.Е., Мишкин С.И., Михалдыкин Е.С. Арочные мосты с применением углепластиковых арочных элементов // *Конструкции из композиционных материалов*. 2019. № 2. С. 22–29.
7. Вешкин Е.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.
8. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. и др. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / под ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
9. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия, 2006. 624 с.
10. Михайлин Ю.А. Тепло-, термо- и огнестойкость полимерных материалов. СПб.: Научные основы и технологии, 2011. 416 с.
11. Раскутин А.Е. Термостойкие углепластики для конструкций авиационной техники, эксплуатирующихся при температурах до 400 °С: дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. 166 с.
12. Валуева М.И., Зеленина И.В., Ахмадиева К.Р., Жаринов М.А., Хасков М.А. Разработки ФГУП «ВИАМ» в области высокотемпературных углепластиков: направления и перспективы // *Материалы IV Всерос. конф. «Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»*. М.: ВИАМ, 2018. С. 71–76.
13. Способ получения расплавных полиимидных связующих полимеризационного типа: пат. 2666734 Рос. Федерация. № 2017135540; заявл. 05.10.17; опубл. 12.09.18.
14. Валева Е.О., Зеленина И.В., Мараховский П.С., Гуляев А.И., Бухаров С.В. Исследование влияния тепловлажностного воздействия на фталонитрильную матрицу // *Материаловедение*. 2015. № 9. С. 15–19.

15. Валуева М.И., Зеленина И.В., Начаркина А.В., Лонский С.Л. Влияние термовлажностного воздействия на структуру и свойства полиимидного углепластика // Вопросы материаловедения. 2022. № 2 (110). С. 90–101. DOI: 10.22349/1994-6716-2022-110-2-90-101.
16. Николаев Е.В., Славин А.В., Старцев В.О., Лаптев А.Б. Современные подходы к оценке воздействия внешних факторов на материалы и сложные технические системы (к 120-летию Г.В. Акимова) // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 12.05.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-117-130.
17. Старцев В.О. Климатическая стойкость полимерных композиционных материалов и защитных покрытий в умеренно-теплом климате: дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВИАМ, 2018. 308 с.
18. Валева Е.О. Влияние тепловлажностного воздействия на свойства термостойких полимерных композиционных материалов на основе фталонитрильной матрицы: дис. ... канд. техн. наук. М.: МАИ, 2018. 130 с.
19. Каневская И.Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. Л.: Наука, 1984. 232 с.
20. Бочарова Б.В., Герасименко А.А., Коровина И.А. Биостойкость материалов. Стойкость к воздействию грибов. М.: Наука, 1986. 210 с.
21. Злочевская И.В. Экологические группы грибов, повреждающих материалы, и их особенности // Биологические науки. 1987. № 8. С. 81–87.
22. Лагаускас А.Ю., Микульскене А.И., Шляужене Д.Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов. М.: Наука, 1987. С. 258–259.
23. Alshehrei F. Biodegradation of synthetic and natural plastic by microorganisms // Journal of Applied & Environmental Microbiology. 2017. Vol. 5. No. 1. P. 8–19.
24. Shah A.A., Hasan F., Nameed A., Ahmed S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review // Biotechnology Advances. 2008. Vol. 26. P. 246–265.
25. Кривушина А.А., Бобырева Т.В., Яковенко Т.В., Николаев Е.В. Методы хранения микроорганизмов-деструкторов в коллекции ФГУП «ВИАМ» (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 89–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-89-94.
26. Кривушина А.А., Горяшник Ю.С. Способы защиты материалов и изделий от микробиологического поражения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 2 (47). С. 80–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-80-86.
27. Кривушина А.А., Бобырева Т.В., Горяшник Ю.С., Бухарев Г.М. Изучение микроорганизмов-деструкторов функциональных полимерных материалов в условиях имитации тропического климата // Труды ВИАМ. 2019. № 7 (79). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 12.05.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-76-83.
28. Кривушина А.А., Терехов И.В., Москвитина К.Н., Мальшева С.Ф., Куимов В.А. Исследование эффективности новых фунгицидных соединений на основе модифицированного полисепта для защиты полимерных материалов от микробиологических повреждений // Труды ВИАМ. 2021. № 12 (106). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 12.05.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-107-116.
29. ОСТ 1 90264–77. Неметаллические авиационные материалы. Метод лабораторных испытаний на устойчивость к воздействию плесневых грибов. М.: Типография МАП, 1978. 14 с.
30. ГОСТ 9.048–89. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. М.: Изд-во стандартов, 1994. 23 с.
31. ГОСТ 9.049–91. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные и их компоненты. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. М.: Изд-во стандартов, 1992. 15 с.
32. Мухаметов Р.Р., Шимкин А.А., Долгова Е.В., Меркулова Ю.И. Полифункциональные циановые эфиры для изготовления композиционных материалов // Журнал прикладной химии. 2014. Т. 87. № 12. С. 1836–1840.
33. Долгова Е.В., Мухаметов Р.Р. Полициануратное связующее для сферопластов // Журнал прикладной химии. 2014. Т. 87. № 8. С. 1188–1192.
34. Перов Н.С., Старцев В.О., Чуцкова Е.Ю., Гуляев А.И., Абрамов Д.В. Свойства углепластика на основе полициануратного связующего после экспозиции в различных естественных и искусственных средах // Материаловедение. 2017. № 2. С. 3–9.

## References

1. 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.
2. Kablov E.N., Startsev V.O. The influence of internal stresses on the aging of polymer composite materials: a review. *Mechanics of Composite Materials*, 2021, vol. 57, no. 5, pp. 565–576.
3. Sidorina A.I. Multiaxial carbon fabrics in the products of aviation technology (review). *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 3 (64), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 11, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-3-105-116.
4. Mukhametov R.R., Petrova A.P. *Thermoreactive binders for polymer composite materials*: textbook. Ed. E.N. Kablov. M.: NIC "Kurchatov Institute" – VIAM, 2021, 528 p.
5. Gunyaeva A.G., Sidorina A.I., Kurnosov A.O., Klimenko O.N. Polymeric composite materials of new generation on the basis of binder VSE-1212 and the filling agents alternative to ones of Porcher Ind. and Toho Tenax. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 3 (52), pp. 18–26. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-18-26.
6. Evdokimov A.A., Raskutin A.E., Mishkin S.I., Mikhaldykin E.S. Arkal bridges with the use of carbon fiber arched elements. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*, 2019, no. 2, pp. 22–29.
7. Veshkin E.A. The experience of using vacuum-infusion technologies in the production of structures from the PKM. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2018, vol. 20, no. 4 (3), pp. 344–350.
8. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S. et al. *Polymer composite materials: structure, properties, technology*: textbook. Ed. A.A. Berlin. St. Petersburg: Professiya, 2008, 560 p.
9. Mikhailin Yu.A. *Heat-resistant polymers and polymeric materials*. St. Petersburg: Professiya, 2006, 624 p.
10. Mikhailin Yu.A. *Heat, heat and fire resistance of polymeric materials*. St. Petersburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2011, 416 p.
11. Raskutin A.E. *Heat-resistant carbon fiber for the structures of aviation equipment operated at temperatures up to 400 °C*: thesis, Cand. Sc. (Tech.). Moscow, 2007, 166 p.
12. Valueva M.I., Zelenina I.V., Akhmadieva K.R., Zharinov M.A., Khaskov M.A. Development of the FSUE "VIAM" in the field of high-temperature carbon fiber: directions and prospects. *Materials of the IV All-Rus. Conf. "The role of fundamental research in the implementation of "Strategic directions for the development of materials and technologies for their processing for the period until 2030"*. Moscow: VIAM, 2018, pp. 71–76.
13. *A way to obtain melting polyimide binders of a polymerization type*: pat. 2666734 Rus. Federation, no. 2017135540; filed 05.10.17; publ. 12.09.18.
14. Valevin E.O., Zelenina I.V., Marakhovsky P.S., Gulyaev A.I., Bukharov S.V. Study of the influence of thermal effects on the flutalonitrile matrix. *Materialovedenie*, 2015, no. 9, pp. 15–19.
15. Valueva M.I., Zelenina I.V., Stararkina A.V., Lonsky S.L. The impact of thermal effect on the structure and properties of polyimide carbon fiber. *Voprosy materialovedeniya*, 2022, no. 2 (110), pp. 90–101. DOI: 10.22349/1994-6716-2022-110-2-90-101.
16. Nikolaev E.V., Slavin A.V., Startsev V.O., Laptev A.B. Modern approaches to assessing the impact of external factors on materials and complex technical systems (to the 120th anniversary of G.V. Akimov). *Trudy VIAM*, 2021, no. 9 (103), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 12, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-117-130.
17. Startsev V.O. *The climatic resistance of polymer composite materials and protective coatings in a moderate-terribly climate*: thesis, Dr. Sc. (Tech.). Moscow: VIAM, 2018, 308 p.
18. Valevin E.O. *The effect of thermal effects on the properties of thermal-resistant polymer composite materials based on the flutalonitrile matrix*: thesis, Cand. Sc. (Tech.). Moscow: MAI, 2018, 130 p.
19. Kanevskaya I.G. *Biological damage to industrial materials*. Leningrad: Nauka, 1984, 232 p.
20. Bocharova B.V., Gerasimenko A.A., Korovina I.A. *Bio resistance of materials. Resistance to mushrooms*. Moscow: Nauka, 1986, 210 p.
21. Zlochevskaya I.V. Ecological groups of mushrooms that damage materials and their features. *Biologicheskiye nauki*, 1987, no. 8, pp. 81–87.

22. Lagauskas A.Yu., Mikulskene A.I., Shlyaugene D.Yu. *The catalog of micromycetes – dietary supplements of polymeric materials*. Moscow: Nauka, 1987, pp. 258–259.
23. Alshehrei F. Biodegradation of synthetic and natural plastic by microorganisms. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 8–19.
24. Shah A.A., Hasan F., Hameed A., Ahmed S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. *Biotechnology Advances*, 2008, vol. 26, pp. 246–265.
25. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Yakovenko T.V., Nikolaev E.V. Methods of microorganisms- destructors storage in FSUE «VIAM» collection (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 89–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-89-94.
26. Krivushina A.A., Goryashnik Yu.S. Ways of protection of materials and products from microbiological damage (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 2 (47), pp. 80–86. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-80-86.
27. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Goryashnik Yu.S., Bukharev G.M. Study of microorganisms the destructors of functional polymeric materials exposed under conditions of tropical climate simulation. *Trudy VIAM*, 2019, no. 7 (79), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 12, 2022). DOI: 10.18577/2307-60460-2019-0-7-76-83.
28. Krivushina A.A., Terekhov I.V., Moskvitina K.N., Malysheva S.F., Kuimov V.A. Efficiency of new fungicide compounds based on modified polysept for protection of polymer materials against biodeterioration. *Trudy VIAM*, 2021, no. 12 (106), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: May 12, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-107-116.
29. Industry Standard 1 90264–77. *Non-metallic aviation materials. The method of laboratory tests on resistance to molds*. Moscow: Printing house MAP, 1978, 14 p.
30. State Standard 9.048–89. *A unified system of protection against corrosion and aging. Technical products. Methods of laboratory tests on resistance to mold mushrooms*. Moscow: Publishing House of Standards, 1994, 23 p.
31. State Standard 9.049–91. *A unified system of protection against corrosion and aging. The materials are polymer and their components. Methods of laboratory tests on resistance to mold mushrooms*. Moscow: Publishing House of Standards, 1992, 15 p.
32. Mukhametov R.R., Shimkin A.A., Dolgova E.V., Merkulova Yu.I. Polyfunctional cyane ethers for the manufacture of composite materials. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2014, vol. 87, no. 12, pp. 1836–1840.
33. Dolgova E.V., Mukhametov R.R. Polisianurate binder for spheroplasts. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2014, vol. 87, no. 8, pp. 1188–1192.
34. Perov N.S., Startsev V.O., Chutskova E.Yu., Golyaev A.I., Abramov D.V. Properties of carbon fiber based on a polycynurate binder after the exposition in various natural and artificial environments. *Materialovedenie*, 2017, no. 2, pp. 3–9.

**Информация об авторах**

**Валуева Мария Игоревна**, старший научный сотрудник, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Зеленина Ирина Викторовна**, ведущий инженер-технолог, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Начаркина Анастасия Витальевна**, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Горяшник Юлия Сергеевна**, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Information about the authors**

**Maria I. Valueva**, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Irina V. Zelenina**, Leading Engineer-technologist, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Anastasia V. Nacharkina**, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Yulia S. Goryashnik**, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 03.08.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 05.08.2022.

The article was submitted 03.08.2022; approved and accepted for publication after reviewing 05.08.2022.