

УДК 678.747.2

К.С. Мишуров<sup>1</sup>, К.А. Павловский<sup>1</sup>, Э.Ш. Имаметдинов<sup>1</sup>

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКА ВКУ-27Л

DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-60-67

*Исследовано влияние климатических факторов и эксплуатационных жидкостей на свойства углепластика ВКУ-27Л на основе армирующей углеродной ткани и связующего ВСТ-1208, изготовленного методом автоклавного формования. Показано, что углепластик ВКУ-27Л имеет высокий уровень сохранения свойств (не менее 82% от исходного значения) при воздействии факторов внешней среды (тепловое и тепловлажностное старение; стойкость к воде, влаге, топливу, маслу, противообледенительной жидкости и растворителю).*

**Ключевые слова:** углепластик, углеродные волокна, автоклавное формование, полимерные композиты.

K.S. Mishurov<sup>1</sup>, K.A. Pavlovskiy<sup>1</sup>, E.S. Imametdinov<sup>1</sup>

## ENVIRONMENTAL EFFECTS ON PROPERTIES OF CFRP (CARBON FIBER REINFORCED PLASTIC) VKU-27L

*The influence of climatic factors and fluids on the properties of CFRP VKU-27L, on the basis of reinforcing carbon fabric and binder VST-1208, manufactured by autoclave molding is investigated. It is shown that the CFRP VKU-27L has a high level of property preservation (not less than 82% of the initial value) when exposed to environmental factors (thermal and hydro-thermal aging, resistance to water, moisture, fuel, oil, anti-icing fluid and solvent).*

**Keywords:** CFRP, carbon fiber, autoclave molding, polymer composites.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

### Введение

Развитие авиационной техники требует совершенствования и внедрения новейших материалов и технологий их изготовления. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) прочно завоевали место среди конструкционных материалов в авиационной промышленности [1]. Их использование взамен металлических сплавов позволяет снизить массу конструкции, повысить ресурс эксплуатации, снизить трудоемкость изготовления и материалоемкости. Уменьшение массы авиационных конструкций путем использования новых материалов позволит снизить потребление топлива и увеличить полезную нагрузку (число пассажиров и полезного груза) [2–5].

Иностранные фирмы, такие как Airbus и Boeing, проводят исследования с целью увеличения объема использования углепластиков до 60% от массы конструкции летательных аппаратов. В настоящий момент фирма Airbus – лидер по количеству применения ПКМ. В конструкции самолета А350 композиты занимают около 53% от массы планера. Российские авиастроители также стремятся увеличить объемы использования углепластиков в элементах конструкции новых изделий – ПАО «Компания «Сухой» в

самолете SSJ NG и ПАО «Корпорация «Иркут» в самолете MC-21. Решение этой проблемы вполне реально с учетом высоких механических свойств углепластиков и высокого уровня развития технологий [6, 7].

При использовании и хранении на изделия из ПКМ воздействуют температура и влажность окружающей среды. В зависимости от применения изделия из ПКМ подвергаются либо продолжительному и непрерывному воздействию температуры и влажности окружающей среды, либо кратковременным воздействиям этих факторов. Значения температуры и влажности зависят от климатической зоны и ряда других факторов, напрямую связанных с назначением изделия и, следовательно, с условиями эксплуатации. О стойкости ПКМ к совместному или последовательному воздействию температуры и влажности можно судить по изменению их эксплуатационных свойств. Испытания на стойкость полимерных материалов или изделий из них к действию температуры и влаги, которое может быть весьма разнообразным как по интенсивности, так и по продолжительности, проводятся в специальных автоматических тепловлажностных камерах [8–14].

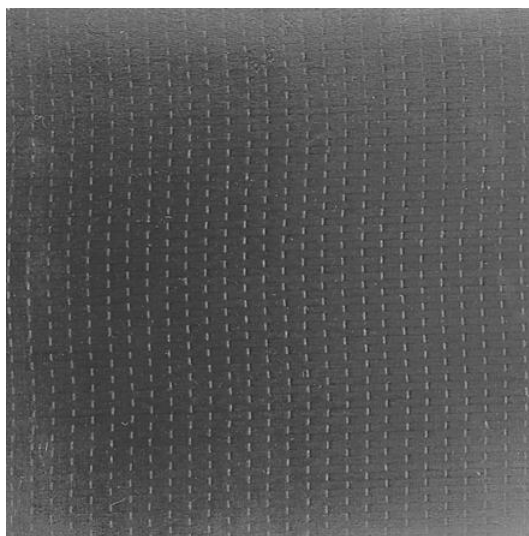
Целью данной работы является исследование стабильности свойств углепластика, полученного методом автоклавного формования, при воздействии факторов внешней среды (температуры и повышенной влажности) и эксплуатационных жидкостей (топливо, масло, противообледенительная жидкость, растворители).

Работа выполнена в рамках реализации комплексной научной проблемы 13.2. «Полимерные композиционные материалы» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [15].

#### Материалы и методы

Объектом исследования является изготовленный методом автоклавного формования конструкционный углепластик ВКУ-27Л на основе равнопрочной углеродной ткани Porcher (арт. 14535) с поверхностной плотностью  $130 \pm 5$  г/м<sup>2</sup> и связующего марки ВСТ-1208. Далее приведены физико-механические характеристики конструкционного углепластика ВКУ-27Л, изготовленного методом автоклавного формования:

Предел прочности при растяжении, МПа	1920
Модуль упругости при растяжении, ГПа	135
Предел прочности при сжатии, МПа	1380
Модуль упругости при сжатии, ГПа	130
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	80
Предел прочности при изгибе, МПа	1190



Внешний вид углепластика ВКУ-27Л

Углепластик марки ВКУ-27Л (см. рисунок) рекомендуется для изготовления конструкций гражданской авиационной техники, в том числе деталей силовых конструкций планера: крыла, центроплана, элементов механизации, звукопоглощающих конструкций двигателя. Углепластик марки ВКУ-27Л может эксплуатироваться в диапазоне температур от  $-60$  до  $+170^{\circ}\text{C}$  с кратковременным забросом температуры до  $190^{\circ}\text{C}$ . Уровень сохранения свойств углепластика ВКУ-27Л при максимальной рабочей температуре  $170^{\circ}\text{C}$  составляет: 98% – по пределу прочности при растяжении, 85% – по пределу прочности при сжатии и 74% – по пределу прочности при изгибе.

Исследование влияния внешней среды (температуры, влажности) и эксплуатационных жидкостей на свойства углепластика ВКУ-27Л проводили в указанных далее условиях.

*Тепловое старение* образцов проводили в воздушном термостате при температуре  $170^{\circ}\text{C}$ . Максимальное отклонение температуры от заданной для термостата не превышало  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ .

*Ускоренное тепловлажностное старение* углепластика исследовали в соответствии с ГОСТ 9.707–81 при температуре  $60^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности 85%. Испытания проводили в камере тепловлажностного старения Climats (Франция) с автоматическим поддержанием заданного режима испытаний; погрешность поддержания температуры составляла  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ , погрешность влажности  $\pm 3\%$ . После экспозиции в камере определяли прочность углепластика при изгибе и сдвиге.

*Влагостойкость* образцов из углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре и влажности 98%. Определяли изменение пределов прочности углепластика при изгибе и сдвиге и привес образца в результате поглощения влаги в соответствии с ГОСТ 4650–80.

*Водостойкость* образцов из углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в воде. Определяли изменение пределов прочности углепластика при изгибе и сдвиге и привес образца в результате поглощения воды в соответствии с ГОСТ 4650–80.

*Топливостойкость* образцов из углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в топливе ТС-1. Определяли изменение пределов прочности при изгибе и сдвиге и привес образца в результате сорбции топлива, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 12020–72.

*Маслостойкость* образцов из углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в масле ИПМ-10 и МС-8П. Определяли изменение пределов прочности при изгибе и сдвиге и привес образца в результате сорбции, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 12020–72.

*Стойкость к противообледенительной жидкости* образцов из углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в противообледенительной жидкости Арктика ДГ. Определяли изменение пределов прочности при изгибе и сдвиге и привес образца в результате сорбции, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 12020–72.

*Стойкость к растворителям* образцов из углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в денатурированном спирте и нефрасе. Определяли изменение пределов прочности при изгибе и сдвиге и привес образца в результате сорбции, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 12020–72.

*Механические испытания углепластиков* проводили на испытательной машине Zwick/Roel Z400 в соответствии с ASTM D 7264/D 7264M (предел прочности при изгибе) и ASTM D 2344/D 2344M (предел прочности при сдвиге).

### Результаты и обсуждение

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после выдержки в камере тепловлажностного старения при температуре 60°C и относительной влажности 85% показаны в табл. 1. Выявлено, что выдержка в вышеуказанных условиях на протяжении 90 сут влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 99% – при 20°C и 94% – при 170°C, а при сдвиге составляет 100% – при 20 и 170°C в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания.

Таблица 1

**Результаты испытаний углепластика ВКУ-27Л после экспозиции в камере тепловлажностного старения при температуре 60°C и относительной влажности 85%**

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	1170
170	830	780
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	85
170	55	55

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после теплового старения при 170°C показаны в табл. 2. Выявлено, что выдержка в вышеуказанных условиях на протяжении 2000 ч влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 98% – при 20°C и 100% – при 170°C, а при сдвиге составляет 100% – при 20 и 170°C в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания.

Таблица 2

**Результаты испытаний углепластика ВКУ-27Л после теплового старения при 170°C**

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	1160
170	830	840
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	85
170	55	55

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после испытания на водостойкость показаны в табл. 3. Выявлено, что выдержка в воде на протяжении 90 сут образцов из углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 95% – при 20°C и 98% – при 170°C, а при сдвиге составляет: 88% – при 20°C и 87% – при 170°C в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,6% от первоначального показателя.

Таблица 3

**Водостойкость образцов из углепластика ВКУ-27Л**

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	1130
170	830	815
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	70
170	55	48

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после испытания на влагостойкость показаны в табл. 4. Выявлено, что выдержка в среде с повышенной влажностью (98%) на протяжении 90 сут образцов углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 95% – при 20°С и 93% – при 170°С, а при сдвиге составляет: 100% – при 20°С и 91% – при 170°С в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,5% от первоначального показателя.

Таблица 4

**Влагостойкость образцов из углепластика ВКУ-27Л**

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	1125
170	830	775
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	85
170	55	50

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после испытания на топливостойкость показаны в табл. 5. Выявлено, что выдержка в топливе ТС-1 на протяжении 90 сут образцов углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 95% – при 20°С и 100% – при 170°С, а при сдвиге составляет: 100% – при 20°С и 91% – при 170°С в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,1% от первоначального показателя.

Таблица 5

**Топливостойкость образцов из углепластика ВКУ-27Л**

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	1130
170	830	830
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	85
170	55	50

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после испытания на маслостойкость показаны в табл. 6. Выявлено, что выдержка в масле ИПМ-10 на протяжении 90 сут образцов углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 97% – при 20°C и 96% – при 170°C, а при сдвиге составляет 100% – при 20 и 170°C в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,1% от первоначального показателя. Выявлено, что выдержка в масле МС-8П на протяжении 90 сут образцов углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 97% – при 20°C и 100% – при 170°C, а при сдвиге составляет 100% – при 20 и 170°C в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,1% от первоначального показателя.

Таблица 6

Маслостойкость образцов из углепластика ВКУ-27Л

Свойства	Значения свойств		
	в исходном состоянии	после экспозиции	
		в масле ИПМ-10	в масле МС-8П
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:			
20	1185	1145	1155
170	830	800	840
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:			
20	80	90	85
170	55	55	55

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после испытания на стойкость к противообледенительной жидкости показаны в табл. 7. Выявлено, что выдержка в противообледенительной жидкости Арктика ДГ на протяжении 90 сут образцов углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 100% – при 20°C и 99% – при 170°C, а при сдвиге составляет 100% – при 20 и 170°C в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,1% от первоначального показателя.

Таблица 7

Стойкость углепластика ВКУ-27Л к противообледенительной жидкости

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	1180
170	830	825
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	85
170	55	55

Значения механических характеристик углепластика ВКУ-27Л после испытания на стойкость к растворителям показаны в табл. 8. Выявлено, что выдержка в растворителе (денатурированный спирт) на протяжении 90 сут образцов углепластика с незакрытыми торцами влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности при изгибе составляет: 82% – при 20°С и 84% – при 170°С, а при сдвиге составляет 100% – при 20 и 170°С в сравнении с контрольными показателями при температуре испытания. Увеличение массы образца углепластика составило 0,2% от первоначального показателя.

Таблица 8

**Стойкость углепластика ВКУ-27Л к растворителю**

Свойства	Значения свойств	
	в исходном состоянии	после экспозиции в растворителе – денатурированном спирте
Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С:		
20	1185	970
170	830	700
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа, при температуре, °С:		
20	80	85
170	55	55

#### Заключения

Исследовано воздействие факторов внешней среды (температуры и влажности) и эксплуатационных жидкостей на основные свойства углепластика ВКУ-27Л, изготовленного методом автоклавного формования. Выявлено, что выдержка в камере тепловлажностного старения влияет на уровень механических характеристик – показатель сохранения прочности составляет не менее 94%, при воздействии максимальной рабочей температуры 170°С в течение 2000 ч – не менее 98%, при воздействии эксплуатационных жидкостей – не менее 82% (при испытаниях при комнатной и максимальной рабочей температуре 170°С).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
2. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
3. Гуняев Г.М., Кривонос В.В., Румянцев А.Ф., Железина Г.Ф. Полимерные композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов // Конверсия в машиностроении. 2004. №4 (65). С. 65–69.
4. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
5. Хрульков А.В., Душин М.И., Попов Ю.О., Коган Д.И. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 292–301.
6. Гуляев И.Н., Зеленина И.В., Раскутин А.Е. Углепластики на основе углеродных тканей импортного производства и российских растворных связующих // Вопросы материаловедения. 2014. №1 (77). С. 116–125.

7. Платонов А.А., Душин М.И. Конструкционный углепластик ВКУ-25 на основе однонаправленного препрега // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2015. №11. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 28.02.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-6-6.
8. 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 // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S2. С. 68–73.
9. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения // Деформация и разрушение материалов. 2011. №1. С. 34–40.
10. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. I. Механизмы старения // Деформация и разрушение материалов. 2010. №11. С. 19–27.
11. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути решения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 412–423.
12. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Кротов А.С., Кириллов В.Н. Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. II. Релаксация исходной структурной неравновесности и градиент свойств по толщине // Деформация и разрушение материалов. 2010. №12. С. 40–46.
13. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С. и др. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ // Сб. докл. IX Междунар. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012», 2012. С. 122–123.
14. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. Ч. 1. Факторы влияния (обзор) // Коррозия: материалы, защита. 2013. №12. С. 6–18.
15. 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.