

УДК 678.747.2

К.С. Мишуров<sup>1</sup>, С.И. Мишкин<sup>1</sup>**ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ  
НА СВОЙСТВА УГЛЕПЛАСТИКА ВКУ-39**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-8-8

*Исследовано влияние климатических факторов и эксплуатационных жидкостей на свойства углепластика ВКУ-39 (на основе армирующей углеродной ткани и эпоксидного связующего ВСЭ-1212), изготовленного методом автоклавного формования. Показано, что углепластик ВКУ-39 имеет высокий уровень сохранения свойств (не менее 80% от исходного значения) при воздействии факторов внешней среды (тепловое и термовлажностное старение, стойкость к камере солевого тумана, воде, влаге, топливу, маслу, противообледенительной жидкости и растворителю) и отвечает авиационным требованиям по коррозионной безопасности и горючести.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2. «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

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

*The influence of climatic factors and operating fluids on the properties of CFRP VKU-39 (on the basis of reinforcing carbon fabric and epoxy binder VSE-1212), manufactured by autoclave molding is investigated. It is shown that the CFRP VKU-39 has a high level of property preservation (not less than 80% of the initial value) when exposed to environmental factors (thermal and hydrothermal aging, resistance to the salt spray chamber, water, moisture, fuel, oil, anti-icing fluid and solvent ) and meets the aviation safety requirements for corrosion and flammability.*

*Work is executed within implementation of the complex scientific direction 13.2. «Constructional PCM» («The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period till 2030») [1].*

**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 невозможно без совершенствования и внедрения новых материалов и технологий их производства. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) прочно завоевали место среди конструкционных материалов в авиационной промышленности [2]. Их применение взамен металлических сплавов обеспечивает снижение массы конструкций, повышение эксплуатационного ресурса, снижение трудоемкости изготовления и материалоемкости. Снижение массы авиационных конструкций благодаря применению новых материалов дает возможность снизить потребление топлива, увеличить полезную нагрузку – количество пассажиров и полезного груза [3–6].

Зарубежные фирмы, такие как Airbus и Boeing, проводят исследования с целью увеличения объема применения углепластиков до 60% массы конструкции летательных аппаратов. В настоящее время фирма Airbus является лидером по объему применения

ПКМ. В конструкции самолета А-350 композиты занимают ~53% массы планера. Российские авиастроители также стремятся увеличить объемы применения углепластиков в элементах конструкции новых изделий – ПАО «Компания «Сухой» в SSJ NG и ПАО «Корпорация «Иркут» в МС-21. Решение этой задачи вполне реально, учитывая высокие механические свойства углепластиков и современный уровень развития технологий [7, 8].

При эксплуатации и хранении изделия из ПКМ подвергаются воздействию температуры и влажности окружающего воздуха. В зависимости от конкретного применения изделия из ПКМ подвергаются либо длительному и непрерывному воздействию температуры и влажности окружающего воздуха, либо кратковременным воздействиям этих факторов. Значения температуры и влажности зависят от климатической зоны и ряда других факторов, непосредственно 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 [9–15].

Цель данной работы – 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).

#### Материалы и методы

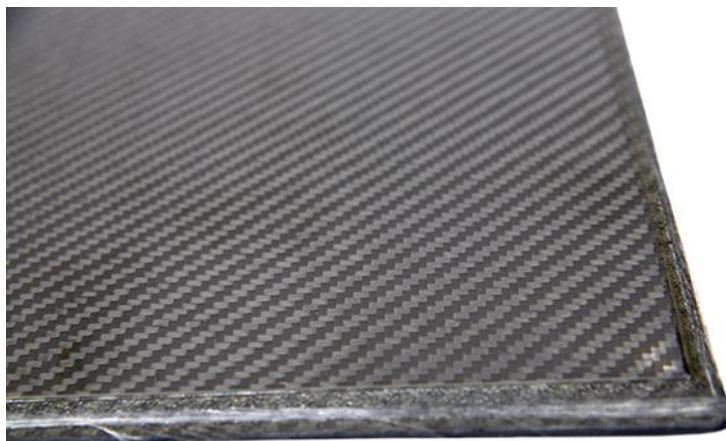
Объектом исследования является изготовленный методом автоклавного формования конструкционный углепластик ВКУ-39 на основе равнопрочной углеродной ткани Porcher (арт. 3692) с поверхностной плотностью  $200 \pm 10$  г/м<sup>2</sup> и связующего марки ВСЭ-1212. Физико-механические характеристики углепластика ВКУ-39 представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Свойства конструкционного углепластика ВКУ-39, изготовленного методом автоклавного формования**

Свойства	Значения свойств углепластика ВКУ-39
Предел прочности при растяжении, МПа	850
Модуль упругости при растяжении, ГПа	67
Предел прочности при сжатии, МПа	720
Модуль упругости при сжатии, ГПа	55
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	73
Предел прочности при сдвиге в плоскости листа, МПа	113
Модуль упругости при сдвиге в плоскости листа, ГПа	4,1
Предел прочности при изгибе, МПа	1020
Модуль упругости при изгибе, ГПа	61

Углепластик ВКУ-39 (см. рисунок) рекомендуется для изготовления конструкций гражданской авиационной техники, в том числе деталей силовых конструкций планера: крыла, центроплана, элементов механизации, звукопоглощающих конструкций двигателя. Углепластик ВКУ-39 может эксплуатироваться в диапазоне температур от -60 до +120°C с кратковременным забросом температуры до 150°C. Уровень сохранения свойств углепластика ВКУ-39 при максимальной рабочей температуре 120°C составляет: 92% – предел прочности при растяжении, 75% – предел прочности при сжатии, 76% – предел прочности при изгибе.



Внешний вид углепластика ВКУ-39

Исследование влияния внешней среды (температуры, влажности) и эксплуатационных жидкостей на свойства углепластика ВКУ-39 проводили в указанных далее условиях.

**Тепловое старение** проводили в воздушном термостате при температуре 150°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°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.

**Климатическое старение** углепластика проводили в камере солевого тумана, позволяющей создать следующий режим испытаний: водность 2–3 г/м<sup>3</sup>, дисперсность 15 мкм, температура 35°C. После экспозиции в камере определяли прочность при изгибе и сдвиге.

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

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

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

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

**Стойкость к противообледенительной жидкости** образцов углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в противообледенительной жидкости Арктика ДГ. Определяли изменение предела прочности при

изгибе и сдвиге и привес образца в результате сорбции, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 12020–72.

**Стойкость к растворителям** образцов углепластика исследовали после выдержки в течение 90 сут при комнатной температуре в денатурированном спирте и нефрасе. Определяли изменение предела 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/Roell 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

В табл. 2 представлены результаты испытаний углепластика ВКУ-39 после экспозиции в камере тепловлажностного старения при температуре 60°C и относительной влажности 85%. Установлено, что после экспозиции в этих условиях в течение 90 сут уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 99% при 20°C и 96% при 120°C, при сдвиге составляет 100% при 20°C и 95% при 120°C в сравнении с исходными значениями при указанных температурах.

Таблица 2

**Свойства углепластика ВКУ-39 после экспозиции в камере тепловлажностного старения при температуре 60°C и относительной влажности 85%**

Свойства	Температура испытания, °C	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	990
	120	760	730
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	73
	120	46	44

В табл. 3 представлены результаты испытаний углепластика ВКУ-39 после экспозиции в камере солевого тумана. Установлено, что после экспозиции в этих условиях в течение 90 сут уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе и сдвиге составляет 100% при 20 и 120°C в сравнении с исходными значениями при указанных температурах.

Таблица 3

**Свойства углепластика ВКУ-39 после экспозиции в камере солевого тумана**

Свойства	Температура испытания, °C	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1045
	120	760	770
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	94
	120	46	64

Результаты испытаний углепластика ВКУ-39 после теплового старения при 120°C представлены в табл. 4. Установлено, что после теплового старения в течение 2000 ч уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе и сдвиге составляет 100% при 20 и 120°C в сравнении с исходными значениями при указанных температурах.

Таблица 4

**Свойства углепластика ВКУ-39 после теплового старения  
при максимальной рабочей температуре 150°С**

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1070
	120	760	830
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	78
	120	46	44

В табл. 5 представлены результаты исследования водостойкости углепластика ВКУ-39. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в воде уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20°С и 92% при 120°С, при сдвиге составляет 100% при 20°С и 86% при 120°С в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Количество поглощенной углепластиком влаги не превышает 0,3% от исходной массы образца.

Таблица 5

**Водостойкость образцов углепластика ВКУ-39**

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1000
	120	760	700
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	74
	120	46	40

В табл. 6 представлены результаты исследования влагостойкости углепластика ВКУ-39. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в среде с повышенной влажностью (98%) уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20°С и 92% при 120°С, при сдвиге составляет 95% при 20°С и 80% при 120°С в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Количество поглощенной углепластиком влаги не превышает 0,3% от исходной массы образца.

Таблица 6

**Влагостойкость образцов углепластика ВКУ-39**

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1000
	120	760	700
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	70
	120	46	37

В табл. 7 представлены результаты исследования топливостойкости углепластика ВКУ-39. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в топливе ТС-1 уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20 и 120°С, при сдвиге составляет 100% при 20°С и 93% при 120°С в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Привес образцов углепластиков при выдержке их в эксплуатационных жидкостях не превышает 0,05% от исходной массы образца.

Таблица 7

**Топливостойкость образцов углепластика ВКУ-39**

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1020
	120	760	770
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	74
	120	46	43

В табл. 8 представлены результаты исследования маслостойкости углепластика ВКУ-39. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в масле ИПМ-10 уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20 и 120°С, при сдвиге составляет 100% при 20°С и 93% при 120°С в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Привес образцов углепластиков при выдержке их в эксплуатационных жидкостях не превышает 0,06% от исходной массы образца. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в масле МС-8П уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20°С и 98% при 120°С, при сдвиге составляет 98% при 20°С и 100% при 120°С в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Привес образцов углепластиков при выдержке их в эксплуатационных жидкостях не превышает 0,05% от исходной массы образца.

Таблица 8

**Маслостойкость образцов углепластика ВКУ-39**

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции в масле	
			ИПМ-10	МС-8П
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1040	1010
	120	760	780	770
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	73	72
	120	46	43	43

В табл. 9 представлены результаты исследования стойкости углепластика ВКУ-39 к противообледенительной жидкости. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в противообледенительной жидкости Арктика ДГ уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20 и 120°С, при сдвиге составляет 100% при 20°С и 97% при 120°С в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Привес образцов углепластиков при выдержке их в эксплуатационных жидкостях не превышает 0,09% от исходной массы образца.

Таблица 9

**Стойкость углепластика ВКУ-39 к противообледенительной жидкости**

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	1020
	120	760	770
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	74
	120	46	45

В табл. 10 представлены результаты исследования стойкости углепластика ВКУ-39 к растворителям. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в растворителе (денатурированный спирт) уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 97% при 20°C и 92% при 120°C, при сдвиге составляет 100% при 20 и 120°C в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Привес образцов углепластиков при выдержке их в эксплуатационной жидкости не превышает 0,06% от исходной массы образца. После выдержки в течение 90 сут образцов углепластика с незащищенными торцами в растворителе нефрас уровень сохранения прочности углепластика ВКУ-39 при изгибе составляет 100% при 20°C и 98% при 120°C, при сдвиге составляет 100% при 20 и 120°C в сравнении с исходными значениями при указанных температурах. Привес образцов углепластиков при выдержке их в эксплуатационной жидкости не превышает 0,04% от исходной массы образца.

Таблица 10

Стойкость углепластика ВКУ-39 к растворителям

Свойства	Температура испытания, °С	Исходное значение	Фактическое значение после экспозиции в растворителе	
			денатурированный спирт	нефрас
Предел прочности при изгибе, МПа	20	1000	970	1000
	120	760	700	750
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	20	73	75	73
	120	46	46	46

### Заключения

Проведены исследования по влиянию факторов внешней среды (температуры, влажности) и эксплуатационных жидкостей на стабильность свойств углепластика ВКУ-39, изготовленного методом автоклавного формования. Показано, что уровень сохранения свойств углепластика ВКУ-39 после экспозиции в камерах тепловлажностного старения и солевого тумана составляет не менее 95%, при воздействии эксплуатационных жидкостей – не менее 80% (при испытаниях при комнатной и максимальной рабочей температуре 120°C).

### ЛИТЕРАТУРА

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.
2. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
3. 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.
4. 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.
5. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
6. 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.

7. 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.
8. 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: 29.04.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-6-6.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ // Сб. докл. IX Международ. науч. конф. по гидроавиации. «Гидроавиасалон-2012» 2012. С. 122–123.
15. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М., Панин С.В. Коррозионная агрессивность при морской атмосфере. Ч. 1. Факторы влияния (обзор) // Коррозия: материалы, защита. 2013. №12. С. 6–18.