

Д. т. н. **А. Л. Галиновский**¹, д. т. н. **И. Н. Кравченко**^{2, 3} (✉),
д. т. н. **С. А. Величко**⁴, к. т. н. **В. В. Пирогов**⁵, **К. А. Терновских**¹,
С. Н. Цыпышева¹, **Цзя Чжэньюань**¹

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)», Москва, Россия

² ФГБУН «Институт машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук» (ИМАШ РАН), Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», Москва, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева», г. Саранск, Россия

⁵ ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», Москва, Россия

УДК 685.34.037:678.019.32

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕПЛАСТИКОВ

Приведены результаты ускоренных испытаний, касающиеся влияния климатических факторов на эксплуатационно-технические параметры и характеристики углепластиков. Основное внимание отводится термовлажностным испытаниям, тепловому старению, совместному периодическому изменению температуры и влажности, а также испытаниям с погружением в воду для проверки их физико-механических свойств и повышения качества. Результаты проведенных испытаний позволили установить, насколько и в какую сторону изменяются прочностные характеристики исследуемых материалов в сравнении с исходными.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы (ПКМ), углепластики, ускоренные климатические испытания, термовлажностные испытания, тепловое старение, механические параметры углепластиков.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ), в частности углепластики, являются наиболее перспективным классом материалов, используемым во многих отраслях [1–4]. Основными преимуществами, которыми обладают углепластики, являются низкая плотность и, как следствие, низкая масса конструкции, высокая прочность и др. [5–7]. Не случайно эти материалы используются и запланированы для внедрения в международную программу «Артемида» (Artemis), на всех аппаратах и ракетносителях, включая корабль Orion, космическую станцию Gateway

на орбите Луны, лунные спускаемые аппараты и даже скафандры астронавтов. Усовершенствованные композиционные материалы, так или иначе, будут применяться в строительстве всех компонентов программы. Эти же тенденции отмечаются и в области самолето- и вертолетостроения, причем для них особенно актуальным является изучение надежности узлов, изготовленных с использованием композиционных материалов в условиях комплексного воздействия климатических факторов.

Для наиболее успешной реализации потенциала композитов, входящих в состав конструкций, необходимо изучить влияние климатических факторов, которым подвергаются изделия как при эксплуатации, так и при хранении. В процессе эксплуатации изделия могут подвергаться таким видам климатического воздействия, как температура, относительная влажность воздуха, атмосферные осадки, солнечная радиация, циклическое изменение температуры окружающего воздуха и др. [8–10].



И. Н. Кравченко
E-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

Действие этих факторов за весь жизненный цикл изделия (25–30 лет) может существенно ухудшить его прочностные характеристики. Для определения темпов и характера климатического старения материалов применяют натурные и ускоренные испытания. Несмотря на большую достоверность этих испытаний, их применение не всегда целесообразно, поскольку экспозиции могут длиться десятилетиями [11]. Поэтому актуальной проблемой является проведение ускоренных испытаний, позволяющих за относительно небольшой интервал времени получить достоверную информацию о состоянии материала в результате воздействия на него разных климатических факторов. Такой подход в науке в настоящее время является преобладающим.

Цель настоящих исследований заключается в оценке результатов ускоренных испытаний влияния климатических факторов на изделия аэрокосмической техники из ПКМ. В настоящее время в научной литературе описана совокупность климатических испытаний [12–15], среди которых основное внимание отводится термовлажностным испытаниям, тепловому старению, совместному периодическому изменению температуры и влажности, а также испытаниям с погружением в воду. В настоящей статье рассмотрены особенности проведения этих видов испытаний углепластиков в климатических камерах с акцентом на полученные результаты, их систематизацию и анализ имеющейся научно-технической информации. Основные прочностные характеристики некоторых видов углепластиков приведены в табл. 1.

Таблица 1. Прочностные характеристики углепластиков

Материал	Предел прочности, МПа		
	при изгибе	при сдвиге	при сжатии
ЭЛУР-П + ВСЭ-20	920	64	–
Зарубежный углепластик* ¹	–	–	490
ВКУ-27л	1450	–	862
ВКУ-38ЖН	–	40	670
ВКУ-38ТР	670	39	–
ВКУ-35	1000	–	550
Углепластик Cytac Cysom 977-2A	1400	80	–
C400P+R2940* ²	707	–	–
ВКУ-39	640	95	810
ВСЭ-1212+3К	1317	87	1185
ВСЭ-1212+12К	1320	87	1190
ВСЭ-1212+24К	1335	87	1212

*¹ На основе однонаправленного углеволокна фирмы Toho Co. и полифениленсульфидного связующего фирмы Ticona.

*² Углепластик на основе углеволокна марки C400P и связующего марки R2940.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Существуют различные виды климатических испытаний материалов, проведение которых регламентировано комплексом отечественных и зарубежных стандартов. Наиболее важными климатическими факторами, значительно влияющими на эксплуатационно-технические параметры углепластика, являются температура и влажность. По результатам тепловлажностных испытаний — совместного влияния постоянной температуры и влажности [16] — можно выявлять нарушения технологического процесса, дефекты в материале и устранять их появление в изделиях. Кроме того, с их помощью можно оценить долговечность конструкции в агрессивных климатических условиях, а также подобрать оптимальную рецептуру для повышения устойчивости материала к воздействию окружающей среды.

Для оценки восприимчивости механических характеристик разных видов углепластиков проводили тепловлажностные испытания при температуре $t = 60^\circ\text{C}$ и влажности $\varphi = 85\%$ в течение 1, 2 и 3 мес (30, 60 и 90 сут) в свободном состоянии и в условиях, имитирующих нагрузку при трехточечном статическом изгибе, составляющую 50 % разрушающей. Аналогичные исследования описаны в публикациях [17–19], в которых показано, что долговечность изделий из ПКМ при комбинированном воздействии климатических факторов и эксплуатационных нагрузок зависит от степени нагружения.

Результаты проведенных экспериментов показали, что при совместном воздействии климатических факторов и нагрузки происходят небольшое повышение температуры стеклования (11,6 %) и сужение ее диапазона (12,4 %), в то время как без нагрузки эти параметры изменяются в сторону 14,8 % и 17,3 % соответственно.

Предел прочности при межслойном сдвиге ПКМ также изменяется незначительно после механических испытаний при $t = 20^\circ\text{C}$. Однако такие же испытания при 300 и 330 °C приводят к большим потерям исходных показателей механических свойств. Например, предел прочности при межслойном сдвиге композита марки ВКУ-38ЖН снизился на 23 и 26 % при экспозиции 1 и 2 мес соответственно, однако этот же параметр материала ВКУ-38ТР при тех же условиях испытания практически не изменился.

Предел прочности при сжатии ПКМ после испытаний при 20 °C также не претерпел заметного снижения, что указывает на стойкость ПКМ к воздействию влаги при повышенных температурах. Однако этот показатель материала ВКУ-35 при экспозиции 3 мес сильно ухудшился (на 33 %), в то время как при 300 и 330 °C у материала ВКУ-38ЖН изменился незначительно

— примерно на 17 %. Результаты проведенных экспериментов позволили установить (табл. 2), насколько и в какую сторону изменились прочностные характеристики материала в сравнении с исходными.

ТЕПЛОВОЕ СТАРЕНИЕ

Немаловажной задачей является исследование стойкости материалов к воздействию высоких температур, действующих продолжительное время. Процессы, проходящие в материале при этом, могут вызвать ухудшение их эксплуатационных свойств и привести к увеличению количества дефектов. Для устранения этих изменений и улучшения технических характеристик изделия проводят ускоренные климатические испытания по имитации теплового старения [20].

Исследования по тепловому старению включали проведение серии опытов. В первой серии опытов было реализовано два режима: старение при 160 и 180 °С при экспозиции 500 ч (ГОСТ 9.024–74), во второй — углепластик подвергли длительному тепловому старению при 120 °С при экспозиции 10000 ч (СТП 1-595-11-101–83 и ММ1.595-20-461–2015 [21]).

В результате теплового старения при 160 и 180 °С снижение предела прочности при сжатии составило 17 и 7 % соответственно. Это указывает на то, что при более высоких температурах

протекает более активная релаксация внутренних напряжений, в то время как этот показатель материала ВКУ-39 уменьшился на 24 % по окончании эксперимента. Старение материала ВКУ-35 при максимальной рабочей температуре 150 °С снизило его предел прочности при сжатии почти на 20 %, как после испытаний при +20 и +150 °С.

Анализ проведенных исследований позволил установить (табл. 3), что при тепловом старении предел прочности при изгибе практически не изменяется. Кроме того, предел прочности при межслойном сдвиге при 120 °С выше (или равен), чем при 20 °С, из-за возникновения в материале при повышенной температуре дополнительных процессов релаксации внутренних напряжений.

КОМБИНИРОВАННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

Поскольку в условиях эксплуатации авиа- и аэрокосмической техники изменяются, как правило, одновременно и температура, и влажность, необходимо проводить климатические испытания с совокупным варьированием этих двух параметров [12, 22].

Старение углепластика ВКУ-27л в условиях тропического климата с имитацией суточного цикла осуществлялось в течение 1–2 мес по сле-

Таблица 2. Изменение механических параметров разных углепластиков после термовлажностных испытаний

Материал	Экспозиция, сут	Предел прочности, МПа		
		при изгибе	при сдвиге	при сжатии
Режим испытаний: $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 85\%$				
ЭЛУР-П + ВСЭ-20	60	↓ 1 %	↓ 4,7 %	Нет данных
Зарубежный углепластик	30	Нет данных		↓ 6 %
ВКУ-27л	60	↑ 13,4 %	Нет данных	↑ 5,6 %
ВКУ-38ЖН	30	Нет данных	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 5 %	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 3 %
			$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 23 %	$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 14 %
	60		$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 5 %	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 7 %
			$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 26 %	$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 17 %
ВКУ-38ТР	30	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↑ 4 %	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↑ 5 %	Нет данных
		$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 16 %	$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, 0	
	60	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 0	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↑ 3 %	
		$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 22 %	$t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 4 %	
ВКУ-35	90	Нет данных		$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 19 %
				$t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 33 %
Режим испытаний: $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 85\%$				
Cytec Cycom 977-2А	30	↓ 9 %	↓ 20 %	Нет данных
Режим испытаний: $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\varphi = 65\%$				
C400Р + R2940	12	↓ 6,4 %	Нет данных	

Таблица 3. Изменение механических характеристик углепластиков после теплового старения

Показатель	Зарубежный углепластик		ВКУ-39		ВКУ-35	
Режим:						
температура	t = 160 °С	t = 180 °С	t = 120 °С		t = 150 °С	
экспозиция, ч	500	500	2000	6000	10000	2000
Предел прочности при сжатии	↓ 17 %	↓ 7 %	t = 20 °С, ↑ 16,8 %	↑ 14,8 %	↓ 10 %	t = 20 °С, ↓ 17,9 %
			t = 120 °С, ↑ 6,3 %	↑ 4,2 %	↓ 23,9 %	t = 150 °С, ↓ 20,5 %

Таблица 4. Изменение механических параметров углепластиков после климатических испытаний с совместным варьированием температуры и влажности

Показатель	ВКУ-27л		ВКУ-35						C400P + + R2940
Экспозиция, сут	30	60	30	60	90	30	60	90	30
Температура	+ 20 °С		+20 °С			+150 °С			+20 °С
Предел прочности:									
при изгибе	↑ 2 %	↑ 13 %	↓ 12 %	↓ 14 %	↓ 12 %	↓ 12,5 %	↓ 23 %	↓ 21 %	↓ 14,5 %
при сжатии	↓ 3 %	↓ 8 %	—	—	—	—	—	—	—

дующей схеме: 8 ч при $t = +50\text{ °С}$ и $\phi = 98\%$; 12 ч при $t = +20\text{ °С}$ и $\phi = 98\%$; 4 ч при $t = +20\text{ °С}$ и $\phi = 60\%$. Предел прочности при изгибе после испытаний в условиях климатического климата увеличился на 2 % при экспозиции 1 мес и на 13 % при экспозиции 2 мес. В свою очередь, предел прочности при сжатии снизился на 3 и 8 % соответственно.

Образцы материала ВКУ-35 также подвергались климатическому старению в условиях тропического климата. Старение проходило на протяжении 1, 2 и 3 мес при следующих режимах: 8 ч при $t = (50 \pm 5)\text{ °С}$ и $\phi = 100\%$; 12 ч при $t = (+20 \pm 5)\text{ °С}$ и $\phi = 100\%$; 8 ч при $t = (+20 \pm 5)\text{ °С}$ и $\phi = 65\%$. В противоположность предыдущим результатам предел прочности при изгибе после такого же режима теплового нагружения значительно уменьшился. Причем в большей степени он снизился при экспозиции 60 сут: на 14 % после механических испытаний при $+20\text{ °С}$ и на 23 % при $+150\text{ °С}$. При экспозиции 30 сут прочность снизилась на 12 % (при $+20\text{ °С}$) и на 12,5 % (при $+150\text{ °С}$), а после 90 сут на 12 % (при $+20\text{ °С}$) и на 21 % (при $+150\text{ °С}$).

Комбинированное воздействие температуры и влажности приводит к потерям предела прочности при изгибе на 14,5 % и модуля сдвига на 15,8 %. При этом в обоих случаях снижается динамический модуль упругости. Температура стеклования остается примерно такой же, как и у образца до испытания, а воспринимаемая ударная нагрузка и связанные с ней деформации уменьшаются.

Результаты изменения прочностных характеристик материалов при проведении климатических испытаний приведены в табл. 4.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ С ПОГРУЖЕНИЕМ В ВОДУ

Ракетная техника может быть предназначена для эксплуатации в самых разных условиях. Так, важной задачей стало создание материалов, обладающих стойкостью к длительному воздействию воды, влиянию атмосферных осадков и способностью сохранять свои эксплуатационные характеристики [23]. Для проверки сохранения этих характеристик углепластика проводятся эксперименты с экспозицией образцов в воде в соответствии с ГОСТ 4650–2014.

По результатам проведенных исследований установлено, что углепластик характеризуется достаточно высоким уровнем сохранения прочности при сжатии. Так, при экспозиции в воде 24 ч и 30 сут предел прочности при сжатии снизился на 9 % в обоих случаях. Это указывает на то, что основное ухудшение свойств углепластик претерпевает в первые 24 ч. При экспозиции ВКУ-38ЖН в воде 78 сут эта характеристика практически не изменяется при всех температурах испытаний (17 %), как и у ВКУ-35 при 20 °С . Однако при 150 °С этот параметр углепластика ВКУ-35 резко ухудшается (на 25,6 %, табл. 5).

Анализ полученных данных об изменении механических свойств углепластиков ВКУ-38ЖН и ВКУ-38ТР позволил установить, что их характеристики (предел прочности при изгибе и при межслоевом сдвиге) после механических испытаний при 20 °С либо не изменяются, либо уменьшаются незначительно (на 9 %). Механические испытания углепластика ВКУ-38ТР при 300 и 330 °С привели к большим потерям прочности при изгибе (на 31 %). Остальные характеристики изменились незначительно, кроме предела прочности при межслоевом сдвиге, который снизился на 10–13 % как у углепластика ВКУ-38ЖН, так и у ВКУ-38ТР.

Для климатических испытаний был выбран материал ВКУ-35, изготовленный методом пропитки под давлением [24], на основе равнопрочной углеродной ткани российского производства и модифицированного эпоксидного связующего марки ВСЭ-17. Этот материал предназначен для эксплуатации при температурах от -60 до $+150\text{ °С}$. Уровень сохранения предела прочности при растяжении при максимальной рабочей температуре 150 °С составляет 100 %, при сжатии 81 %, при изгибе 89 %.

Обобщенные результаты ускоренных исследований по влиянию внешней среды на свойства углепластиков приведены в табл. 6 (механические испытания при $+20\text{ °С}$, результат заносился при самой длительной экспозиции). При этом следует отметить, что в табл. 6 имеется достаточное количество незаполненных граф. Это означает, что влияние климатических факторов на прочностные свойства углепластиков по-прежнему мало изучено и требуются дополнительные исследования.

Таблица 5. Изменение предела прочности при сжатии углепластиков после климатических испытаний с погружением в воду

Показатель	Зарубежный углепластик		ВКУ-38ЖН	ВКУ-35
Экспозиция	24 ч	30 сут	78 сут	90 сут
Предел прочности при сжатии	↓ 9 %	↓ 9 %	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↑ 3 % $t = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 2 % $t = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 7 %	$t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 3,8 % $t = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$, ↓ 25,6 %

Таблица 6. Сравнение механических характеристик углепластиков по результатам климатических испытаний*

Вид испытания	ЭЛУР-П + + ВСЭ-20	Зарубеж- ный	ВКУ-27л	ВКУ- 38ЖН	ВКУ-38ТР	ВКУ-35	Cytec Cycrom 977-2A	C400P +R2940	ВКУ-39	ВСЭ-1212 + + 3К (+ 12К и + 24К)
<i>Предел прочности при изгибе</i>										
Тепловлажност- ные	↘	—	↑	—	—	—	↘	↘	—	—
Термоциклиро- вание	—	↘	↘	—	—	—	—	—	↗	=
Варьирование Т и ф	—	—	↑	—	—	↓	—	↓	—	—
<i>Предел прочности при сжатии</i>										
Тепловлажност- ные	—	↘	↗	↘	—	↓	—	—	—	—
Термоциклиро- вание	—	↘	↘	—	—	—	—	—	↗	=
Тепловое ста- рение	—	↘	—	—	—	↓	—	—	↓	—
Варьирование Т и ф	—	—	↘	—	—	—	—	—	—	—
Погружение в воду	—	↘	—	↗	—	↘	—	—	—	—
<i>Предел прочности при сдвиге</i>										
Тепловлажност- ные	—	—	—	—	—	—	↓	—	—	—
*↗ — незначительное улучшение механической характеристики (до 10 %); = — механическая характеристика не изме- нилась; ↘ — незначительное ухудшение механической характеристики (до 10 %); — — нет данных; ↓ — существенное ухудшение механической характеристики (<10 %); ↑ — существенное улучшение механической характеристики (>10 %).										

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы.

1. В наибольшей степени предел прочности при сжатии после термоциклирования снизился у углепластика на полифениленсульфидном связующем и после 100 циклов термонагружения у ВКУ-27л. В остальных случаях предел прочности при сжатии уменьшился незначительно либо возрос. Предел прочности при изгибе после термоциклического нагружения углепластиков либо практически не изменился, либо повысился.

2. Проведение тепловлажностных испытаний при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 85\text{ \%}$ привело к снижению предела прочности при сжатии и изгибе. Очевидно, эти данные требуют дополнительного изучения, проверки и выявления причин, вызывающих увеличение прочности образцов. В результате эксперимента с тепловлажностным старением при $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 85\text{ \%}$ предел прочности при изгибе уменьшился значительно при сравнении с остальными работами. При

$t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 65\text{ \%}$ эта же характеристика снизилась, но в меньшей степени, чем при $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 85\text{ \%}$.

3. После теплового старения наблюдалось как увеличение предела прочности при сжатии (углепластик ВКУ-39 при экспозиции 2000 и 6000 ч), так и его уменьшение (углепластики ВКУ-35, фирмы Ticona и ВКУ-39 при экспозиции 10000 ч), причем довольно значительное. Комбинированное воздействие температуры и влажности во всех исследованиях привело к ухудшению прочностных свойств. Предел прочности при сжатии после выдержки в воде в основном снижается, но незначительно увеличивается после механических испытаний при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при 300 и $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшается (см. табл. 4).

4. В связи с тем что тепловлажностные испытания проводились при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 85\text{ \%}$, а также определялись пределы прочности при изгибе образцов при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, появляется возможность сравнить эти марки углепластиков. Исходные значения предела прочности при изгибе

углепластиков: на основе эпоксидного связующего ВСЭ-20, армированного углеродной лентой ЭЛУР-П, 920 МПа; ВКУ-38ТР 670 МПа; ВКУ-27л 1450 МПа, после климатических испытаний — соответственно 911, 680 и 1645 МПа. Следует отметить, что предел прочности при изгибе углепластика ВКУ-27л в отличие от углепластиков ВКУ-38ТР и ВСЭ-20+ЭЛУР-П, у которых он практически не изменился, после тепловлажностных испытаний повысился на 195 МПа.

Библиографический список

1. **Гуляев, И. Н.** Углепластики на основе углеродных тканей импортного производства и российских растворных связующих / И. Н. Гуляев, И. В. Зеленина, А. Е. Раскутин // Вопросы материаловедения. — 2014. — № 1 (77). — С. 116–125.
2. **Галиновский, А. Л.** Новые методы и технологии обработки углепластиков / А. Л. Галиновский, Цзя Чжэньюань, С. Н. Цыпышева [и др.] // Справочник. Инженерный журнал с приложением. — 2021. — № 8 (293). — С. 10–19.
3. **Раскутин, А. Е.** Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях / А. Е. Раскутин // Авиационные материалы и технологии. — 2017. — № 5. — С. 349–367.
4. **Галиновский, А. Л.** Технологии обработки композиционных материалов изделий аэрокосмической техники : учебник / А. Л. Галиновский, И. Н. Кравченко, С. А. Величко [и др.] ; под ред. А. Л. Галиновского. — М. : КНОРУС, 2022. — 204 с.
5. **Гуляев, И. Н.** Исследование влияния повышенной температуры и влажности на свойства термостойких углепластиков / И. Н. Гуляев, И. В. Зеленина, Е. О. Валева, А. К. Шведкова // Конструкции из композиционных материалов. — 2015. — № 3. — С. 55–60.
6. **Сорокин, А. Е.** Влияние климатических факторов на свойства углепластика на полифениленсульфидном связующем / А. Е. Сорокин, Э. Я. Бейдер, Д. Н. Перфилова // Труды ВИАМ. — 2015. — № 1. — С. 53–59.
7. **Антюфеева, Н. В.** Исследование возможности использования углепластиков в условиях арктического климата / Н. В. Антюфеева, В. М. Алексахин, М. Р. Павлов, Ю. В. Столянков // Авиационные материалы и технологии. — 2016. — № 4 (45). — С. 86–94.
8. **Каблов, Е. Н.** Климатическое старение композиционных материалов авиационного назначения. III. Значимые факторы старения / Е. Н. Каблов, О. В. Старцев, А. С. Кротов, В. Н. Кириллов // Деформация и разрушение материалов. — 2011. — № 1. — С. 34–40.
9. **Ефимов, В. А.** Исследование полимерных конструкционных материалов при воздействии климатических факторов и нагрузок в лабораторных и натурных условиях / В. А. Ефимов, А. К. Шведкова, Т. Г. Коренькова, В. Н. Кириллов // Труды ВИАМ. — 2013. — № 1. — С. 68–73.
10. **Каблов, Е. Н.** Климатическое старение полимерных композиционных материалов авиационного назначения. 1. Оценка влияния значимых факторов воздействия / Е. Н. Каблов, В. О. Старцев // Деформация и разрушение материалов. — 2019. — № 12. — С. 7–16.
11. **Перов, Н. С.** О необходимости учета эволюции структуры полимерных композиционных материалов с микрогетерогенной матрицей при прогнозировании срока их службы / Н. С. Перов, А. И. Гуляев // Авиационные материалы и технологии. — 2017. — № 1 (46). — С. 75–85.
12. **Ефимов, В. А.** Методические вопросы проведения натурных климатических испытаний полимерных композиционных материалов / В. А. Ефимов, В. Н. Кириллов, О. А. Добрянская [и др.] // Авиационные материалы и технологии. — 2010. — № 4 (17). — С. 25–31.
13. **Laraib, A. Khan.** Hydrothermal degradation of 977-2A carbon/epoxy composite laminates cured in autoclave and Quickstep / Laraib A. Khan, Alan Nesbitt, Richard J. Day // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. — 2010. — Vol. 41, № 8. — P. 942–953.
14. **Николаев, Е. В.** Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 1. Исследование влияния сорбированной влаги на эпоксидную матрицу и углепластик на ее основе / Е. В. Николаев, С. Л. Барботько, Н. П. Андреева, М. Р. Павлов // Труды ВИАМ. — 2015. — № 12. — С. 86–99.
15. **Николаев, Е. В.** Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 4. Натурные климатические испытания полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы / Е. В. Николаев, С. Л. Барботько, Н. П. Андреева [и др.] // Труды ВИАМ. — 2016. — № 6 (42). — С. 93–108.
16. **Валева, Е. О.** Роль тепловлажностных испытаний при разработке новых полимерных композиционных материалов / Е. О. Валева, А. К. Шведкова, С. В. Бухаров // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2016. — Т. 82, № 2. — С. 28–32.
17. **Булманис, В. Н.** Работоспособность конструкций из полимерных композитов при воздействии статических нагрузок и климатических факторов / В. Н. Булманис, В. А. Ярцев, В. В. Кривонос // Механика композиционных материалов. — 1987. — № 5. — С. 915–920.
18. **Roylance, D.** Weathering of fiber-reinforced epoxy composites / D. Roylance, M. Roylance // Polym. Eng. and Sci. — 1978. — Vol. 18, № 4. — P. 249–254.
19. **Helbling, C.** Durability assessment of combined environmental exposure and bending / C. Helbling, V. M. Karbhari // Proc. of 7th Int. Symp. on Fiber Reinforced Polym. Reinf. Concrete Structures (FRPRCS-7), 2005. — P. 1397–1418.
20. **Старцев, В. О.** Влияние старения поверхности полимерных композиционных материалов на их механические свойства / В. О. Старцев, Е. О. Валева, А. И. Гуляев // Труды ВИАМ. — 2020. — № 8 (90). — С. 64–76.
21. **Николаев, Е. В.** Комплексное исследование воздействия климатических и эксплуатационных факторов на новое поколение эпоксидного связующего и полимерных композиционных материалов на его основе. Часть 3. Расчет энергии активации и теплового ресурса полимерных композиционных материалов на основе эпоксидной матрицы / Е. В. Николаев, С. Л. Барботько, Н. П. Андреева [и др.] // Труды ВИАМ. — 2016. — № 5 (41). — С. 100–112.

22. **Mouzakis, D. E.** Damage assessment of carbon fiber reinforced composites under accelerated aging and validation via stochastic model-based analysis / *D. E. Mouzakis, D. Dimogianopoulos, S. Zaoutos* // *International Journal of Damage Mechanics*. — 2014. — Vol. 23, № 5. — P. 702–726.

23. **Старцев, В. О.** Оценка стабильности авиационных углепластиков к атмосферным осадкам / *В. О. Старцев, Е. О. Валевин, А. М. Варданян, А. А. Нечаев* // *Материалы и технологии нового поколения для перспективных изделий авиационной и космической техники*

: материалы V Всероссийской научно-технической конференции. — М. : ВИАМ, 2021. — С. 60–72.

24. **Войнов, С. И.** Влияние внешней среды на свойства углепластика, полученного методом пропитки под давлением (RTM) / *С. И. Войнов, Г. Ф. Железина, Н. А. Соловьева, Г. А. Ямищикова* // *Труды ВИАМ*. — 2015. — № 2. — С. 36–43. ■

Получено 03.12.21

© А. Л. Галиновский, И. Н. Кравченко,
С. А. Величко, В. В. Пирогов, К. А. Терновских,
С. Н. Цыпышева, Цзя Чжэньюань, 2022 г.

Юрий Михайлович Мосин

11.09.1949–13.02.2022

13 февраля 2022 г. скончался к. т. н. Юрий Михайлович Мосин, изобретатель, известный специалист в области керамики и огнеупоров, доцент кафедры химической технологии керамики и огнеупоров РХТУ имени Д. И. Менделеева. Область научных интересов Юрия Михайловича — методы формования керамики и огнеупоров: пластическое формование, экструзия, протяжка.

Юрий Михайлович много работал со студентами-дипломниками, аспирантами — будущими специалистами в области керамики и огнеупоров. Им совместно с соавторами (Захаров А. И., Беляков А. В., Софинский П. И.) было издано учебно-методическое пособие по курсу «Оборудование керамических и огнеупорных заводов и основы проектирования» (2001 г.), которое являлось в те годы настольной книгой для студентов-дипломников. В пособии приведены расчеты материального баланса и количества основного и вспомогательного оборудования, описаны устройства и работа типового оборудования, а также расчет основных размеров формообразующей оснастки. Юрий Иванович является соавтором учебных пособий «Реологические свойства керамических масс» (1983 г.) и «Практикум по технологии керамики» (2004 г.), а также многочисленных патентов, касающихся способов изготовления керамических изделий, защитных покрытий, и статей, опубликованных во многих научных журналах, в том числе и в журнале «Новые огнеупоры».



Много лет Юрий Михайлович был деканом вечернего факультета РХТУ имени Д. И. Менделеева, и многие поколения химиков-технологов прошли через его руки. Кроме того, Юрий Иванович активно сотрудничал со многими предприятиями по производству огнеупоров и строительной керамики.

Поколения керамиков и огнеупорщиков будут учиться по статьям и учебникам, в написании которых принимал участие Юрий Михайлович.

Коллектив кафедры «Химическая технология керамики и огнеупоров» РХТУ имени Д. И. Менделеева, друзья и коллеги

