

## Свойства углепластиков, изготовленных из металлизированных углеродных лент

Владимир А. Нелюб<sup>1</sup> admin@emtc.ru  
Александр А. Берлин<sup>2</sup> berlin@chph.ras.ru

<sup>1</sup> Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия

<sup>2</sup> Институт химической физики им. Н.Н.Семенова Российской академии наук, ул. Косыгина, 4, г. Москва, 119991, Россия

**Аннотация.** Совершенствование технологий изготовления углепластиков является актуальной задачей, поскольку области их применения с каждым годом увеличиваются, что требует расширения комплекса их свойств, в том числе повышение теплофизических характеристик, что позволит повысить конкурентоспособность изделий. Недостаточная научно-экспериментальная база сдерживает разработку новых технологических способов регулирования функциональных свойств углепластиков. В связи с этим предлагается методика направленного регулирования тепло- и электропроводности углепластиков путем использования углеродных лент с металлическим покрытием. Приведены результаты экспериментальных исследований прочностных и теплофизических свойств углепластиков, изготовленных из углеродных лент с металлическими покрытиями и эпоксидного связующего по технологии вакуумной инфузии. Разработана технология нанесения методом магнетронного распыления на углеродные ленты металлических покрытий, определено давление плазмообразующего газа, ток разряда и время распыления. В качестве материала металлических покрытий были использованы: нержавеющая сталь, титан, медь, цинк, алюминиевый сплав и серебро. Методами структурного анализа определены значения толщин металлических покрытий, величина которых составляет 100 нм. Установлено, что при нанесении на углеродную ленту покрытий из титана, нержавеющей стали и меди имеет место повышение прочности при межслоевом сдвиге на 32, 39 и 13% соответственно. Экспериментально доказано, что металлизация углеродных лент приводит к снижению характеристик теплоемкости, к снижению величины электрического сопротивления и к повышению теплопроводности углепластиков. Наибольший эффект получен при использовании медного покрытия, которое позволило практически в 2 раза повысить теплопроводность и в 2,5 раза снизить величину электрического сопротивления. Полученные результаты использованы при создании углепластиков с функциональным комплексом свойств.

**Ключевые слова:** углеродная лента, углепластик, металлизация, прочность при межслоевом сдвиге

## Properties of carbon fiber made of metallized tapes

Vladimir A. Neliub<sup>1</sup> admin@emtc.ru  
Aleksandr A. Berlin<sup>2</sup> berlin@chph.ras.ru

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Baumanskaya 2-ya St., 5/1, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> Semenov Institute of Chemical Physics, 4 Kosygina St., 1, Moscow, 119991, Russia

**Abstract.** Technological advancement in the development of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) composites has become a priority today as their field of application is ever increasing; this task requires expanding the range of their properties, including higher thermal and physical characteristics, which allows gaining the competitive edge of products. Insufficient research and trial infrastructure is retarding development of novel technologies aimed at controlling functional properties of CFRPs. In this regard, a method has been suggested allowing directional control of CFRP thermal and electrical conductivity through the use of metal-coated carbon bands. Experimental results concerning mechanical, thermal and physical properties of CFRPs manufactured from metal-coated carbon bands and epoxy binder using vacuum infusion process have been shown. Magnetron sputtering process has been developed to deposit metal coatings on carbon bands; plasma support gas pressure, discharge current and sputtering time have been defined. Stainless steel, titanium, copper, zinc, aluminum alloy and silver have been used as metal coating materials. Metal coating thickness values have been defined using structural analysis methods, with thickness values of about 100 nm. It has been found that strength at interlaminar shear improves by 32, 39 and 13%, when titanium, stainless steel and copper, respectively, are deposited on carbon band. Research has experimentally proven that carbon band metallization results in lower heat absorption capacity, lower electrical conductivity and higher thermal conductivity of CFRPs. The maximum effect has been obtained when using copper coating, which allowed increasing thermal conductivity virtually by 2 times and decreasing electrical conductivity value by 2.5 times. The results obtained have been used in the development of CFRPs with a functional set of properties.

**Keywords:** carbon tape, carbon fiber, metallization, strength in interlayer shear.

Для цитирования

Нелюб В.А., Берлин А.А. Свойства углепластиков, изготовленных из металлизированных углеродных лент // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 303–309. doi:10.20914/2310-1202-2019-1-303-309

For citation

Neliub V.A., Berlin A.A. Properties of carbon fiber made of metallized tapes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 1. pp. 303–309. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-1-303-309

### Введение

Углепластики обладают комплексом уникальных механических и теплофизических свойств, что обеспечивает их эффективное использование в качестве конструкционных материалов [1–3]. Основными преимуществами конструкций из углепластиков являются малая масса, высокая прочность, жесткость и износостойкость, а также уникальные теплофизические и трибологические свойства [4–6].

Конструкции из углепластиков (в отличие от металлов и сплавов), как правило, изготавливают за одну технологическую операцию, что исключает наличие стыковочных швов, которые неизбежно снижают прочность конструкции.

Длительное время при производстве деталей из углепластиков использовались препреги [7, 8] и автоклавные технологии отверждения, что обеспечивало заданное качество, но существенно увеличивало стоимость. Высокая стоимость производства деталей из углепластиков во многом связана с большой энергоемкостью автоклавов. На повышение себестоимости деталей из углепластиков оказывает влияние ограниченный срок хранения препрегов и, как следствие этого, большие отходы. Одним из эффективных способов снижения себестоимости изготовления деталей из углепластиков является использование технологий прямого формования, при которых в качестве исходных материалов используются сухие, т. е. не пропитанные связующим, ткани. Ткани не имеют ограничений в сроках хранения и процесс формования из них изделий совмещен с технологической операцией пропитывания. Наибольшее распространение при формовании деталей из углепластиков получила технология вакуумной инфузии [9, 10]. Во многом благодаря технологии вакуумной инфузии с каждым годом расширяются области применения углепластиков, и сегодня нет такой отрасли промышленности, где бы они не использовались: это авиастроение, производство ракетно-космической техники, автомобилестроение, машиностроение, строительство и др. [2–4, 6].

Дальнейшее расширение областей применения углепластиков требовало повышения комплекса их свойств. Этого достигали за счет введения различных модификаторов. Наибольшее внимание в научной литературе уделено углеродным нанотрубкам и др. наноразмерным наполнителям, которые используются как в составе связующего, так и наносятся непосредственно на поверхность углеродной ткани [11, 12].

В работе рассматриваются новые технологии направленного регулирования свойств углепластиков за счет использования тканей с нанесенными на них тонкими металлическими покрытиями [13]. Основной целью металлизации является изменение физико-химических свойств поверхности углеродных тканей, что позволяет регулировать их реакционную способность, биосовместимость, теплофизические и электрофизические свойства [14].

**Цель работы** – экспериментальное исследование прочности углепластиков при межслоевом сдвиге, изготовленных с использованием углеродных лент, на поверхность которых нанесено металлическое покрытие.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследований использовались импортная FibArmTape-230/300 и отечественная (ЛУП) углеродные ленты (таблица 1).

Таблица 1.  
Свойства углеродных лент

Table 1.  
Properties of carbon tapes

Свойства Properties	Марки углеродных лент Carbon Brands	
	ЛУП ULP	FibArm Tape-230/300
Нормативная документация Normative documents	ГОСТ 28006–88	ТУ 1916–018–61664530–2013
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> Surface density, g/m <sup>2</sup>	170	230
Толщина, мм Thickness, mm	0,12	0,21
Модуль упругости, ГПа Elastic modulus	260	230
Коэффициент Пуассона Poisson's ratio	0,3	

Для нанесения на углеродные ленты металлических покрытий использовали лабораторную установку магнетронного распыления МИР-2 (таблица 2).

В качестве мишеней применяли: медь марки М1, титан ВТ1–0, нержавеющую сталь 12 х 18Н10Т, алюминиевый сплав марки АМц, цинк Ц2 и серебро 99,99. Все металлические покрытия наносили на углеродные ленты с двух сторон в толщине 100 нм.

Таблица 2.  
Технические характеристики установки  
магнетронного распыления МИР-2 и  
режимы напыления

Table 2.  
Technical characteristics of the installation  
of magnetron sputtering MIR-2 and spraying modes

Параметры Options	Показатели Indicators
Характеристики установки МАР-2 MIR-2 installation specifications	
Объем вакуумной камеры, м <sup>3</sup> Volume of the vacuum chamber, m <sup>3</sup>	0,7
Максимальный размер ткани, мм Maximum fabric size, mm	210 x 297
Количество магнетронов The number of magnetrons	2
Рабочий газ Working gas	Аргон Argon
Режимы нанесения металлических покрытий Metal Coating Modes	
Ток разряда, А Discharge current, A	2–4
Давление плазмообразующего газа, тор Plasma gas pressure	(1,4–1,8)·10 <sup>-3</sup>
Расстояние от образца до мишени, мм The distance from the sample to the target, mm	240
Время напыления, мин Spraying time, min	3

Изготовление всех углепластиков проводили после металлизации лент по технологии вакуумной инфузии. В качестве вспомогательных материалов при изготовлении вакуумного мешка использовались [10]: жертвенная ткань марки CCVM-PE90–180, распределительная сетка из материала марки «ПРО-СЕТ-200» ТУ 2291–012–30189225–2016, вакуумная трубка из полиэтилена, диаметром 8 мм, герметизирующие жгуты марки CCVM-KONTUR-15M-120С, плёнка для изготовления вакуумного мешка марки Airtechconolon. В работе использовался вакуумный насос марки Vacmobiles 20|2.

В качестве связующего использовался состав из эпоксидиановой смолы ЭД-20 и изометилтетрагидрофталевого ангидрида в качестве отвердителя. Данный состав был выбран из-за его хороших технологических свойств и низкой себестоимости [7].

Механические испытания углепластиков проводили на универсальной испытательной машине марки Zwick //Roell. Прочность при межслоевом сдвиге определяли методом «короткой балки» по ASTM D2344.

Электропроводность углепластиков, изготовленных с использованием металлизированных углеродных лент, определяли с помощью стандартного омметра на длине 100 мм. Теплофизические свойства углепластиков определяли методом дифференциально-сканирующей калориметрии на приборе DSC 204 F1 Phoenix и методом лазерной вспышки на установке LFA 457.

Моделирование кинетики процесса нагрева образцов углепластиков проводили в программе Femap NX Nastran. При моделировании определяли значения градиентов температур на поверхности и внутри углепластика в зависимости от его геометрических размеров и скорости процесса нагрева.

### Результаты и обсуждение

Перед нанесением металлических покрытий поверхность углеродных лент предварительно обрабатывали на установке плазменной активации УПМ-500 в течение 3 мин. Такая предварительная обработка позволяла удалять с поверхности углеродных лент все типы загрязнений и обеспечивала лучшее адгезионное взаимодействие между углеродной лентой и металлическим покрытием.

Качество сцепления металлического покрытия с углеродной лентой оценивалось скотч-тестом (ASTM D3359). Это удобный метод контроля адгезионной прочности между лентой и покрытием. Скотч крепили на углеродной ленте с металлическим покрытием, потом его отрывали и оценивали количество металла, которое осталось на скотче. Чем меньше его площадь, тем выше прочность сцепления металлического покрытия с углеродной лентой. Испытания методом скотч-теста проводили только на углеродной ленте FibArm Tape-230|300, что было связано с ее меньшей (по сравнению с лентой ЛУП) повреждаемостью структуры при нанесении липкой ленты.

Результаты оценки прочности сцепления металлического покрытия с углеродной лентой методом скотч-теста показали, что для всех используемых материалов металлических покрытий она практически в два раза повышается после обработки на установке плазменной активации (таблица 3). Наибольшая прочность сцепления получена при нанесении на углеродную ленту покрытий из нержавеющей стали и меди. Наименьшая прочность сцепления имеет место при использовании в качестве металлических покрытий цинка и алюминиевого сплава.

Таблица 3.  
Результаты скотч-теста

Table 3.  
Scotch Test Results

Тип металлического покрытия на углеродной ленте FibArm Tape-230 300 Type of metallic coating on carbon tape FibArm Tape-230 300	Процент снятого участка от общей площади покрытия Percent of the plot of the total area covered
Без предварительной обработки на установке плазменной активации УПМ-500 Without pre-processing on the installation of plasma activation UPM-500	
Титан   Titanium	70–80
Медь   Copper	40–60
Нержавеющая сталь Stainless steel	60–75
Цинк   Zinc	80–90
Алюминиевый сплав Aluminium alloy	80–90
Серебро   Silver	70–80
После предварительной обработки на установке плазменной активации УПМ-500 After pre-treatment on the installation of plasma activation UPM-500	
Титан   Titanium	30–40
Нержавеющая сталь Stainless steel	10–30
Медь   Copper	10–30
Цинк   Zinc	50–60
Алюминиевый сплав Aluminium alloy	40–60
Серебро   Silver	30–40

Таблица 4.  
Прочность углепластиков при межслоевом сдвиге

Table 4.  
Strength of carbon fiber at interlayer shear

Тип металлического покрытия Type of metal coating	Прочность при межслоевом сдвиге, МПа Durability at interlayer shear	
	ЛУП   ULP	FibArm Tape-230 300
Без металлического покрытия Without metallic coating	46 ± 2	49 ± 2
Титан   Titanium	61 ± 3	68 ± 3
Нержавеющая сталь марки 12x18H10T Stainless steel 12x18H10T	64 ± 3	54 ± 3
Медь   Copper	52 ± 3	69 ± 3
Серебро   Silver	47 ± 3	51 ± 3
Цинк   Zinc	44 ± 3	48 ± 3
Алюминий Aluminum	51 ± 3	47 ± 3

Оценку прочности сцепления металлического покрытия с углеродной лентой методом скотч-теста проводили сразу же после нанесения металлических покрытий (таблица 3) и после хранения металлизированных углеродных лент в течение 1,5 лет. Установлено, что величина прочности не изменяется в пределах 5%. В таблице 4 приведены значения прочности углепластиков при межслоевом сдвиге.

В результате проведенных исследований установлено, что нанесение металлических покрытий на углеродные ленты приводит к повышению прочности углепластиков при межслоевом сдвиге для всех рассмотренных типов металлических покрытий за исключением цинка (при его нанесении на углеродную ленту ЛУП) и серебра (при его нанесении на углеродную ленту FibArm Tape-230|300).

Для углеродной ленты ЛУП нанесение покрытий из титана, нержавеющей стали и меди привело к повышению прочности на 32, 39 и 13% соответственно. Для углеродной ленты FibArm Tape-230|300 наибольшее увеличение прочности (на 41%) получено при использовании медного покрытия, а наименьшее (10%) – при использовании в качестве покрытия нержавеющей стали. При нанесении титана прочность при межслоевом сдвиге повышается на 39%.

Таким образом, металлизация углеродных лент является эффективным способом регулирования адгезионной прочности углепластиков. В работе сделано предположение, что металлические покрытия на углеродной ленте будут оказывать влияние на тепло- и электропроводность углепластиков.

Для определения электрофизических свойств углепластиков использовались только углепластики, изготовленные на углеродной ленте FibArm Tape-230|300, на поверхность которой методом магнетронного распыления были нанесены металлические покрытия из меди, титана и нержавеющей стали (таблица 5). Данные типы металлических покрытий были выбраны по результатам ранее проведенных испытаний (таблица 4), поскольку они обеспечили наибольшее повышение прочности углепластика при межслоевом сдвиге.

В результате проведенных исследований установлено, что металлизация углеродных лент приводит к снижению характеристик теплоемкости, величины электрического сопротивления и к повышению теплопроводности углепластиков. Наибольший эффект получен при использовании медного покрытия, которое позволило практически в 2 раза повысить теплопроводность и в 2,5 раза снизить величину электрического сопротивления (тем самым увеличить проводимость углепластика).

Таблица 5.

Тепло- и электрофизические характеристики углепластиков на основе углеродной ленты  
FibArm Tape-230|300 и эпоксидного связующего

Table 5.

Thermal and electrophysical characteristics of carbon fiber-reinforced plastics based on carbon tape  
FibArm Tape-230 | 300 and epoxy binder

Типы металлических покрытий Types of metal coatings	Теплоемкость, Дж/(кг·К) Heat capacity, J/(kg·K)	Теплопроводность, Вт/(м·К) Heat conductivity, W/(m·K)	Электрическое сопротивление, Ом Electric resistance, Om
Без металлического покрытия Without metallic coating	1100	1,08	83
Медь   Copper	800	2,14	32
Нержавеющая сталь Stainless steel	950	1,76	48
Титан   Titanium	980	1,53	42

В работе сделано предположение, что повышение теплопроводности позволяет проводить равномерный нагрев в процессе отверждения углепластиков при больших скоростях нагрева. Все расчеты проводили для углепластиков,

изготовленных из углеродной ленты FibArm Tape-230|300 с медным покрытием. Полученные в результате моделирования значения градиентов температур приведены в таблице 6. Нагрев проводили до температуры +200 °С.

Таблица 6.

Значения градиентов температур и продолжительности процесса нагрева углепластиков

Table 6.

Values of temperature gradients and duration of the process of carbon fiber heating

Скорость нагрева, °С/мин Heating rate, °C/min	Градиент температур по высоте, °С   Temperature gradient in height, °C	
	Углеродная лента без покрытия Uncoated carbon tape	Углеродная лента с медным покрытием Copper coated carbon tape
Углепластик толщиной 10 мм   CFRP 10 mm thick		
1	0,4	0,2
3	1,6	0,6
5	2,6	1,0
7	3,7	1,4
Углепластик толщиной 20 мм   CFRP 20 mm thick		
1	2,1	0,8
3	6,2	2,4
5	10,3	4,0
7	14,3	5,6
Углепластик толщиной 40 мм   CFRP 40 mm thick		
1	8,4	3,2
3	24,8	9,6
5	41,2	16
7	57,2	22,4

Продолжительность процесса нагрева, при скорости повышения температуры 1 °С/мин до температуры 200 °С составляет 175 мин, при скорости 3 °С/мин – 58 мин, при скорости 5 °С /мин – 35 мин и 7 °С /мин – 25 мин. Таким образом, только за счет повышения скорости процесса нагрева возможно сократить продолжительность процесса отверждения на несколько часов. Однако чем выше скорость процесса нагрева, тем больше градиент температуры по высоте образца углепластика.

Анализ результатов моделирования (таблица 6) показывает, что для углепластика

толщиной 40 мм при стандартной скорости процесса нагрева, равной 3 °С/мин, значение градиента температур составляет около 25 °С, что очень много. При таких больших градиентах температур по высоте углепластика будут возникать остаточные напряжения, что в итоге приведет к снижению всех его прочностных характеристик. Если же при изготовлении углепластиков использовать углеродные ленты с покрытием из меди, то это позволит при той же самой скорости нагрева, например, 3 °С/мин, снизить значения градиентов температур более чем в 2 раза.

### Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что металлизация углеродных тканей позволяет повысить целый комплекс эксплуатационных свойств углепластиков.

Нанесение металлических покрытий из титана, нержавеющей стали и меди на углеродную ленту ЛУП приводит к повышению прочности углепластиков при межслоевом сдвиге на 32, 39 и 13% соответственно. При использовании для изготовления углепластиков углеродной ленты FibArm Tape-230/300 с металлическими покрытиями из меди и титана имеет место повышение прочности при межслоевом сдвиге на 40 %. Все остальные исследованные типы металлических покрытий, за исключением цинка, также приводят к некоторому повышению механических характеристик углепластиков, но в меньшей степени, чем покрытия из титана, меди и нержавеющей стали.

Металлизация углеродных лент позволяет регулировать теплофизические характеристики углепластиков. Экспериментально установлено, что использование углеродных лент с медным покрытием позволяет практически в 2 раза повысить теплопроводность и в 2,5 раза увеличить электрическую проводимость (за счет снижения величины электрического сопротивления). Углепластики с улучшенными тепло- и

электрофизическими характеристиками будут эффективны при изготовлении отсеков с электронным оборудованием изделий авиационной техники, корпусов распределительных щитов зданий и сооружений, в том числе элементов арктической инфраструктуры и др.

Проведенное моделирование процесса нагрева, выполненное для углепластиков, изготовленных с использованием углеродных лент с медным покрытием, показало, что при одинаковых скоростях нагрева имеет место меньшее значение градиентов температуры по толщине образца. На примере углепластика толщиной 40 мм показано, что при стандартной скорости процесса нагрева, равной 3 °С/мин, значение градиента температур составляет около 25 °С, тогда как металлизация позволяет снизить до 10 °С. Снижение значений градиентов температур по толщине деталей из углепластиков, вероятно, приведет к снижению величины остаточного напряжения и усадки, что повысит долговечность.

### Благодарности

Результаты работы получены в рамках проекта по теме «Научные исследования по разработке композиционных материалов со структурой управляемого хаоса и их применение в высокотехнологичном производстве» по заданию № 11.7291.2017/БЧ.

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный: издательский дом «Интеллект», 2010. 352 с.
- 2 Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2016. 264 с.
- 3 Гращенков Д.В. Стратегия развития неметаллических материалов, металлических композиционных материалов и теплозащиты // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 264–271.
- 4 Kharaev A.M., Oshroeva R.Z., Zaikov G.E., Bazheva R.Ch. et al. Synthesis and Properties of Halogens Containing Simple and Complex Block Copolyethers // Chemistry and Chemical Technology. 2017. V. 11. № 2. P. 162–170.
- 5 Ягубов В.С., Щегольков А.В. Саморегулируемый электронагреватель на основе эластомера, модифицированный многослойными углеродными нанотрубками // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 3. С. 341–345.
- 6 Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 349–367.
- 7 Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги; под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2017. 472 с.
- 8 Borodulin A.S., Kalinnikov A.S., Bazheva A.N., Beshtoev B.Z. Synthesis and properties of aromatic polyethersulfones // International Journal of mechanical engineering and technology. 2018. V. 9. № 13. P. 1109–1116.

- 9 Марычева А.Н., Гузева Т.А., Пье П.М., Тун Л.Х. и др. Технологии изготовления слоистых композитов // Технология металлов. 2018. № 10. С. 7–12.
- 10 Городецкий М.А., Тепишкина Е.С., Чирва П.И. Типовые проблемы при выборе вспомогательных материалов для инфузионных технологий формования изделий из стеклопластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 4. С. 60–65.
- 11 Горбаткина Ю.А., Иванова-Мумжиева В.Г. Адгезия модифицированных эпоксидов к волокнам. М.: Торус Пресс, 2018. 216 с.
- 12 Попов Г.В., Игуменова Т.И., Гудков М.А. Управление качеством и формирование комплекса свойств полимерных композитов путем модификации углеродными наноматериалами // Вестник ВГУИТ. 2012. № 3. С. 111–114.
- 13 Нелюб В.А. Оценка адгезионной прочности методом pull-out в системе связующее-элементарная нить в зависимости от типа обработки нити // Клеи. Герметики. Технологии. 2018. № 3. С. 28–32.
- 14 Берлин Е.В., Сейдман Л.А. Получение тонких пленок реактивным магнетронным распылением. М.: Техносфера, 2014. 256 с.

### REFERENCES

- 1 Bazhenov S.L., Berlin A.A., Kulkov A.A., Oshmian V.G. Polimernye kompozitsionnye materialy [Polymer composite materials]. Dolgoprudnyi, Intellect, 2010. 352 p. (in Russian).

2 Baurova N.I., Zorin V.A. Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov pri proizvodstve i remonte mashin [The use of polymer composite materials in the manufacture and repair of machines]. Moscow, Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 2016. 264 p. (in Russian).

3 Grashchenkov D.V. The development strategy of non-metallic materials, metal composite materials and thermal protection. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii* [Aviation materials and technologies]. 2017. no. 5. pp. 264–271 (in Russian).

4 Kharaev A.M., Oshroeva R.Z., Zaikov G.E., Bazheva R.Ch. et al. Synthesis and Properties of Halogens Containing Simple and Complex Block Copolyethers. *Chemistry and Chemical Technology*. 2017. vol. 11. no. 2. pp. 162–170.

5 Yagubov V.S., Schegolkov A.V. Self-regulating electric heater based on elastomer, modified with multilayer carbon nanotubes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 3. pp. 341–345. (in Russian).

6 Raskutin A.E. Russian polymer composite materials of a new generation, their development and implementation in promising developed designs. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii* [Aviation materials and technologies]. 2017. no 5. pp 394–367. (in Russian).

7 Petrova A.P., Malysheva G.V. Klei, kleeveye svyazuiushchie i kleeveye prepregi [Adhesives, adhesive binders and adhesive prepregs]. Moscow, VIAM, 2017. 472 p. (in Russian).

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Владимир А. Нелюб** к.т.н., директор, межотраслевой инженеринговый центр «Композиты России» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский Государственный Технический Университет имени Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, г. Москва, 105005, Россия, admin@emtc.ru

**Александр А. Берлин** д.х.н., академик РАН, научный руководитель, Институт химической физики, Институт химической физики имени Н.Н. Семёнова Российской Академии Наук, ул. Косыгина, д. 4, г. Москва, 119991, Россия, berlin@chph.ras.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Владимир А. Нелюб** провел весь комплекс исследований, написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Александр А. Берлин** консультация в ходе исследования

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 15.01.2019

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.02.2019

8 Borodulin A.S., Kalinnikov A.S., Bazheva A.N., Beshtoev B.Z. Synthesis and properties of aromatic polyethersulfones. *International Journal of mechanical engineering and technology*. 2018. vol. 9. no. 13. pp. 1109–1116.

9 Marycheva A.N., Guzeva T.A., Pied P.M., Tong L.Kh. et al. Manufacturing technology of layered composites. *Tekhnologiya metallov* [Metal Technology]. 2018. no. 10. pp. 7–12. (in Russian)

10 Gorodetsky M.A., Tepishkina E.S., Chirva P.I. Typical problems in the selection of auxiliary materials for infusion technology for molding articles from fiberglass. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik* [All materials. Encyclopedic reference]. 2017. no. 4. pp. 60–65 (in Russian).

11 Gorbakina Yu.A., Ivanova-Mumzhiev V.G. Adgeziia modifitsirovannykh epoksidov k voloknam [Adhesion of modified epoxides to fibers]. Moscow, Torus Press, 2018. pp. 216 (in Russian).

12 Popov G.V., Igumenova T.I., Gudkov M.A. Quality management and the formation of a complex of properties of polymer composites by modifying with carbon nanomaterials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2012. no. 3. pp. 111–114. (in Russian).

13 Nelyub V.A. Evaluation of adhesion strength by the method of pull-out in the system of binder-elementary thread, depending on the type of processing thread. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technology]. 2018. no. 3. pp. 28–32. (in Russian).

14 Berlin E.V., Seidman L.A. Poluchenie tonkikh plenok reaktivnym magnetronnym raspyleniem [Production of thin films by reactive magnetron sputtering]. Moscow, Tekhnosfera, 2014. 256 p. (in Russian).

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Vladimir A. Neliub** Cand. Sci. (Engin.), director, interindustry Engineering Center “Composites of Russia”, Bauman Moscow State Technical University, Baumanskaya 2-ya str., 5, Moscow 105005, Russia, admin@emtc.ru

**Aleksandr A. Berlin** Dr. Sci. (Chem.), academician of the Russian academy of sciences, scientific director, institute of chemical physics, Semenov Institute of Chemical Physics, 4 Kosygina str., 1, Moscow, Russia, berlin@chph.ras.ru

#### CONTRIBUTION

**Vladimir A. Neliub** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Aleksandr A. Berlin** consultation during the study

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.15.2019

ACCEPTED 2.19.2019