

УДК 678.83

Г.Ф. Железина<sup>1</sup>, И.Н. Гуляев<sup>1</sup>, Н.А. Соловьева<sup>1</sup>

## АРАМИДНЫЕ ОРГАНОПЛАСТИКИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-368-378

*Рассмотрены свойства новых арамидных органических пластмасс с повышенными механическими и эксплуатационными характеристиками: ВКО-19Л – для герметичных, стойких к поглощению влаги и эрозионным воздействиям обшивок вертолетов; ВКО-20 – для конструкций, обеспечивающих защиту от механического удара и ударных волн высокой интенсивности. Органические пластмассы необходимы для обеспечения эрозионной стойкости элементов авиационных конструкций в условиях повышенной запыленности, в частности при изготовлении пылезащитного устройства перспективного вертолетного двигателя. Показана возможность дальнейшего совершенствования свойств органических пластмасс (водопоглощение – не более 1,5%) благодаря использованию новых арамидных волокон типа Русар НТ с целью обеспечения стабильности характеристик конструктивных элементов вертолетов и самолетов при эксплуатации во всепогодных условиях и морском климате.*

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

**Ключевые слова:** арамидные волокна, органический пластик, слоистые полимерные композиционные материалы.

G.F. Zhelezina, I.N. Gulyaev, N.A. Solovyova

### Aramide organic plastics of new generation for aviation designs

*The article describes the properties of the new aramid organic plastics with improved mechanical and operational characteristics: VKO-19L – for waterproof and resistant to moisture absorption, erosion impacts of sheathings of helicopters; VKO-20 – for structures that provide protection against mechanical shock and high-intensity waves. It is necessary to use organic plastics to ensure erosion resistant of aircraft elements structures in dusty conditions, including in the manufacture of dustproof device for perspective helicopter engine. It is shown the possibility of further improvement of the properties of organic plastics (water absorption – no more than 1,5%) due to the use of new Rusal NT aramid fiber type*

<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

*in order to ensure the stability of the operation characteristics of structural members of helicopters and aircrafts in all weather conditions and maritime climate.*

*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:** *aramid fibers, organic plastics, layered polymer composites.*

## Введение

Конструкционные органопластики, армированные арамидными волокнами, – самые легкие полимерные композиционные материалы (ПКМ), разработанные во ФГУП «ВИАМ» [2–4]. Роль и место органопластиков в авиационной технике определяется рядом особенностей, обусловленных структурой и химической природой армирующих полимерных волокон [5, 6]. Благодаря арамидным волокнам, которым, как известно, свойственен чрезвычайно энергоемкий характер разрушения [7], органопластики обладают высокой стойкостью к повреждениям и способностью сохранять высокую прочность и ресурс после механических ударов различных типов и степени интенсивности. Типичные конструкции из органопластиков – легкие стойкие к удару и эрозии обшивки планера вертолетов, обшивки хвостовых секций несущих винтов вертолетов, обшивки зализов и носков крыла самолетов, ударостойкие защитные экраны и т. д. [8].

Недостатком арамидных органопластиков считается повышенное по сравнению с угле- и стеклопластиковыми влапоглощение, поскольку армирующие арамидные волокна в отличие от стеклянных и углеродных волокон способны поглощать воду. В жесткоцепных макромолекулах арамидных полимеров присутствуют химические группы, способные адсорбировать молекулы воды. Поглощению воды способствует также и надмолекулярная структура арамидных волокон, для которой характерно наличие высокоупорядоченных структурных элементов – фибрилл, чередующихся с менее упорядоченными межфибриллярными областями, через дефекты которых вода может проникать вглубь волокна [9, 10].

Определенные успехи в снижении влапоглощения органопластиков (на 30–50%) достигнуты в период 2000–2010 гг. при разработке органопластиков второго поколения (Органит 12Т-Рус, Органит 16Т-Рус, Органит 18Т-Рус, ВКО-2ТБ) на основе российских арамидных волокон Русар (в настоящее время торговая марка Руслан) взамен волокон СВМ [11]. Тем не менее проблема повышения влагостойкости органопластиков остается постоянно актуальной в связи с необходимостью эксплуатации современной авиации в различных климатических условиях, включая теплый влажный климат и морские условия.

В период 2010–2015 гг. продолжались работы, направленные на повышение механических и эксплуатационных характеристик арамидных органопластиков, результатом которых явилась разработка органопластика ВКО-19Л для герметичных стойких к воздействию внешних факторов обшивок, конструкционного органопластика ВКО-20 для ударостойких и защитных конструкций, а также органопластика для защиты от эрозии деталей из ПКМ.

### **Конструкционный органопластик ВКО-19Л для герметичных обшивок**

Герметичность – одно из основных требований, предъявляемых к обшивкам вертолетов Ка-50, Ка-62, Ми-28Н и др. При отсутствии герметичности возможно накопление воды в деталях, их весовой дисбаланс и другие отрицательные последствия [12, 13]. Для решения этой проблемы разработан конструкционный герметичный органопластик ВКО-19Л.

В качестве связующего в составе герметичного органопластика ВКО-19Л использовали пленочный эпоксиполисульфоновый клей ВК-36РТ, поскольку применение типовых растворных связующих не позволяет обеспечить герметичность тонких обшивок (0,4–0,5 мм) из-за пористости, возникающей в процессе формования при удалении остатков растворителя. Воздухопроницаемость обшивок из органопластика ВКО-19Л при толщине до  $0,44 \pm 4$  мм имеет нулевое значение благодаря отсутствию растворителя и наличию в связующем высокомолекулярного компонента – полисульфона (табл. 1). Воздухопроницаемость органопластиков определяли с помощью вакуумной камеры путем замера падения разряжения воздуха; расчет проводили по формуле  $B=K(1-P_{cp})$ , где  $B$  – воздухопроницаемость, л/(ч·м<sup>2</sup>);  $K$  – коэффициент, учитывающий параметры прибора;  $P_{cp}$  – среднее арифметическое значение давления по вакуумметру, кгс/см<sup>2</sup>.

Органопластик ВКО-19Л, армированный тканью из волокна Руслан, более устойчив к поглощению влаги, чем Органит 11ТЛ на основе волокна СВМ, применяемый в настоящее время для изготовления обшивок хвостовых секций несущего винта вертолетов Ми-28Н и Ми-38. Водопоглощение органопластика ВКО-19Л составляет не более 2% (за 90 сут), что в 2 раза меньше, чем у органопластика Органит 11ТЛ. Органопластик ВКО-19Л имеет повышенную прочность, устойчив к ударным воздействиям и климатическим факторам (табл. 2 и 3).

Таблица 1

**Воздухопроницаемость тонколистовых обшивок (0,44–0,45 мм)  
из органопластиков**

Органопластик	Связующее	Продолжительность испытания, ч	Воздухопроницаемость, л/(ч·м <sup>2</sup> )
Органит 7Т	5-211-БН	120	130
Органит 16Т-Рус	ВС-2526К	240	145
Органит 18Т-Рус	ЭНФБ-2М	160	150
Органит 11ТЛ	ВК-36РТ	360	12
ВКО-19Л	ВК-36РТ	360	0

Таблица 2

**Свойства органопластиков ВКО-19Л и Органит 11ТЛ**

Свойства	Значения свойств органопластика марки	
	ВКО-19Л	Органит 11ТЛ
Толщина монослоя, мм	0,11	0,11
Влагопоглощение за 90 сут, %	1,63	3,1
Предел прочности при растяжении, МПа	750	670
Модуль упругости при растяжении, ГПа	32,0	30,0
Предел прочности при изгибе, МПа	510	510
Удельная ударная вязкость при изгибе, кДж/м <sup>2</sup>	250	147
Предел прочности при межслойном сдвиге, МПа	45	36
Длительная прочность при растяжении на базе 500 ч, МПа	540	380
Предел прочности при растяжении после выдержки 3 мес в камере тропического климата, МПа	495	–
Прочность при расслаивании, кН/м	8,4	6,8

Применение органопластика ВКО-19Л для изготовления тонкослойных обшивок взамен Органита 11ТЛ, а также взамен органопластиков на основе растворных связующих позволит увеличить эксплуатационную надежность трехслойных сотовых панелей лопастей несущего винта, фюзеляжа и других конструктивных элементов вертолетов и самолетов при эксплуатации в жестких климатических условиях.

Таблица 3

**Влияние климатических факторов на свойства органопластиков**

Условия экспозиции	ВКО-19Л		Органит 11ТЛ	
	Предел прочности, МПа			
	при растяжении	при изгибе	при растяжении	при изгибе
В исходном состоянии	750	510	670	510
В тропической камере* (3 мес)	625	500	520	400
При естественном старении в умеренно теплом климате в течение 1 года (г. Геленджик)	670	500	490	360

\* Режим тропической камеры: 8 ч при 50°С и φ=100% + 12 ч при 20±5°С и φ=100% + 8 ч при 20±5°С и φ=65%.

## Конструкционный баллистически стойкий органопластик ВКО-20 для ударостойких конструкций

Стойкость к ударным воздействиям конструкций из ПКМ – необходимое условие для обеспечения эксплуатации современной авиационной техники [14–16]. Летательные аппараты при взлете и посадке могут подвергаться ударам твердых частиц песка, мелких камней, поднимающихся с взлетно-посадочных полос, возможно столкновение с птицами. В нештатных условиях возможны поражения конструкций осколками взрывных устройств и разрушенных механизмов.

Органопластик ВКО-20 (табл. 4) разработан для изготовления элементов конструкций с повышенными требованиями к ударной и баллистической стойкости и может использоваться как самостоятельно, так и для защиты элементов конструкций, выполненных из углепластиков.

Таблица 4

Свойства конструкционного органопластика ВКО-20

Свойства	Значения свойств
Стойкость к баллистическому воздействию (пуля калибра .44 Магнум, масса 15,6 г, скорость 436 м/с)	Отсутствие сквозных повреждений (при массе 5,5 кг/м <sup>2</sup> )
Поверхностная плотность препрега, г/м <sup>2</sup>	295±15
Плотность органопластика, кг/м <sup>3</sup>	1020–1100
Предел прочности при растяжении, МПа	676
Модуль упругости при растяжении, ГПа	8,1
Предел прочности при статическом изгибе, МПа	41
Прочность при отслаивании, кН/м	1,53
Горючесть	Самозатухающий при толщине 5 мм
Дымообразование	Среднедымящий при толщине 5 мм

Благодаря органопластику ВКО-20 решена проблема предотвращения разрушения деталей кожуха шасси вертолета Ка-52 при воздействии ударных волн высокой интенсивности. В качестве полуфабрикатов для изготовления деталей использовали препреги органопластика ВКО-20 с односторонним и двухсторонним нанесением связующего. Препреги органопластика ВКО-20 обладают длительной живучестью, высокой технологичностью и позволяют изготавливать детали сложной геометрической формы методом автоклавного формования. Для защиты деталей из органопластика ВКО-20 от внешних воздействий используются типовые лакокрасочные покрытия (рис. 1).

### Органопластики для защиты от эрозии конструкций из углепластика

Проблема повышения эрозионной стойкости элементов авиационных конструкций связана с необходимостью эксплуатации современных вертолетов в экстремальных климатических условиях, в условиях природных и техногенных катастроф, повышенной запыленности. Для

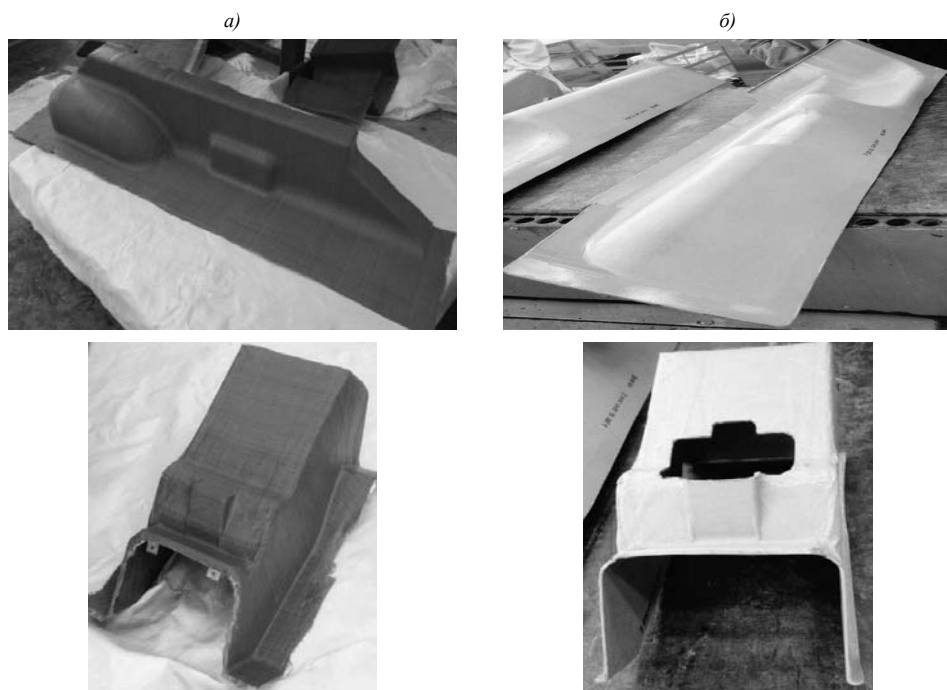


Рис. 1. Детали кожуха шасси вертолета из органопластика ВКО-20 после формования (а) и нанесения лакокрасочного покрытия (б)

того чтобы обеспечить работоспособность вертолетов в условиях запыленности окружающей среды используются пылезащитные устройства, которые устанавливаются перед входным устройством вертолетного двигателя для очистки воздуха от твердых частиц, способных вызывать повреждение двигателя.

Для современного  $\lambda$ -образного пылезащитного устройства (ПЗУ) перспективного вертолетного двигателя разработан углепластик ВКУ-42 с плакирующим слоем органопластика (табл. 5). Плакирующий слой органопластика в сочетании с лакокрасочным покрытием обеспечивает защиту поверхностей внутренних каналов ПЗУ от эрозионного воздействия потока пыли и песка. В составе плакирующего слоя органопластика использовали ткань на основе волокна Руслан и полициануратное связующее, обеспечивающее возможность эксплуатации при температуре до 200°С.

Таблица 5

**Свойства углепластика ВКУ-42 с лакирующим слоем органопластика**

Свойства	Значения свойств
Рабочая температура, °С	От -60 до +200
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,51–1,53
Предел прочности при растяжении, МПа	875
Модуль упругости при растяжении, ГПа	64
Остаточная прочность при сжатии после удара, МПа	245
Удельная ударная вязкость при изгибе, кДж/м <sup>2</sup>	144

Элементы ПЗУ (корпус, разделитель, улитка и др.), выполненные из ПКМ, имеют сложную геометрическую форму и изготавливаются совместным формованием препрегов угле- и органопластиков методом автоклавного формования (рис. 2).

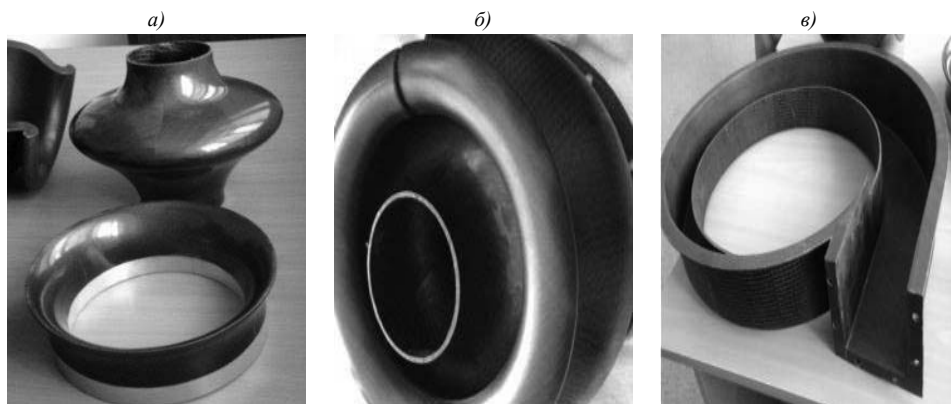


Рис. 2. Элементы пылезащитного устройства из полимерных композиционных материалов:

*а* – нижняя стенка и разделитель; *б* – корпус; *в* – нижняя часть улитки

Эффективность ПЗУ λ-образного типа из углепластика с лакирующим слоем органопластика по степени очистки от пыли находится на уровне лучших зарубежных λ-образных ПЗУ и выше на 20%, чем у ПЗУ грибового типа, применяемых в настоящее время на российских вертолетах.

**Перспективные органопластики на основе арамидных волокон третьего поколения Русар НТ**

Один из путей дальнейшего повышения механических и эксплуатационных характеристик органопластиков – это совершенствование арамидных волокон. В 2010–2012 гг. группой ученых под руководством И.В. Тихонова разработаны арамидные волокна третьего поколения Русар НТ на основе новых мономеров: хлор-парафенилендиамин (С1-п-ФДА) и хлор-диаминобензанилида (С1-ДАБА). Эти мономеры

использовали при синтезе арамидных волокон Русар НТ в сочетании с ранее применяемым мономером диаминобензимидазолом (мономер М-2) для частичной замены последнего. Применение новых мономеров позволило уменьшить в волокнообразующем полимере количество активных групп, способных адсорбировать молекулы воды. Для изготовления арамидных волокон Русар НТ применен сухо-мокрый способ формования, который также способствовал уменьшению склонности волокон к поглощению влаги за счет снижения их дефектности.

По уровню свойств арамидные волокна Русар НТ не уступают зарубежным аналогам и превосходят российские серийные волокна СВМ и Русар, выпускаемые предприятием ОАО «Каменскволокно», по модулю упругости и пределу прочности при растяжении (табл. 6).

Таблица 6

**Свойства арамидных волокон российского и зарубежного производства**

Марка нити (производитель)	Предел прочности нити в микропластике*, МПа	Модуль упругости, ГПа
Русар НТ (ООО НПП «Термотекс»)	6000–6500	165–175
СВМ (ОАО «Каменскволокно»)	3800–4000	110–120
Руслан (ОАО «Каменскволокно»)	4500–5200	125–155
Кевлар (США)	3800–4200	140–160
Тварон (Япония, Голландия)	3800	125–135

\* Прочность арамидной нити в микропластике приблизительно соответствует прочности элементарного волокна; для нитей Кевлар и Тварон приведены значения предела прочности при растяжении элементарных волокон.

Таблица 7

**Влагопоглощение арамидных нитей**

Арамидная нить	Влагопоглощение, %, при 20°C и выдержке в различных условиях				
	φ=65% в течение 60 сут	φ=98% в течение, сут			
		7	14	30	60
Русар НТ	0,6	0,9	1,2	1,37	1,5
СВМ	3,1	4,7	6,1	7,3	8,8
Русар	1,5	2,5	3,7	4,5	5,6

На рис. 3 представлены кривые влагопоглощения образцов опытного органопластика на основе волокна Русар НТ в сравнении с серийными органопластиковыми Органит 18Т (на основе волокна СВМ) и Органит 18Т-Рус (на основе волокна Руслан). По сравнению с серийными органопластиковыми опытный органопластик на основе волокна Русар НТ более устойчив к поглощению влаги, его равновесное водопоглощение составляет ~1% (табл. 7).



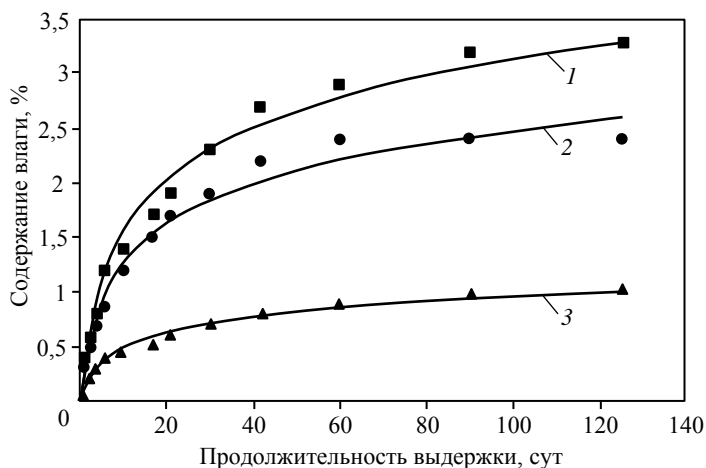


Рис. 3. Влагопоглощение при 70°С и влажности  $\varphi=98\%$  органопластиков Органит 18Т (1), Органит 18Т-Рус (2) и на основе волокна Русар НТ (3)

Следует отметить, что волокна Русар НТ являются «нейтральными» непосредственно после изготовления в отличие от серийных арамидных волокон СВМ и Русар, которые имеют кислую реакцию водной вытяжки (рН – 2,7–3,5). Для устранения коррозионной активности волокон СВМ и Русар применяют дополнительную производственную операцию по нейтрализации, которая снижает их механические характеристики на 10–15%.

Благодаря нейтральности арамидных волокон Русар НТ, органопластик на их основе также имеет нейтральную реакцию водной вытяжки и не представляет коррозионной опасности по отношению к металлическим сплавам (табл. 8).

Таблица 8

**Показатели коррозионной активности органопластика на основе арамидного волокна Русар НТ**

Показатели	Значения показателей	
	по нормам (ГОСТ 9.902)	для органопластика
рН водной вытяжки	6,0–8,5	6,89
Массовая доля ионов хлора, %	Не более 0,02	Н/о*
Массовая доля сульфат-ионов, %	Не более 0,05	Н/о

\* Не определяли.

Таким образом, новые арамидные волокна Русар НТ отвечают основным требованиям, предъявляемым к армирующим волокнам авиационных органопластиков, имеют более совершенную, с точки зрения влагостойкости, химическую и надмолекулярную структуру, чем серийные волокна СВМ и Русар, и перспективны для применения в составе авиационных органопластиков.

## Заключение

Разработанные органопластики: ВКО-19Л – для герметичных тонкослойных обшивок, ВКО-20 – для ударостойких и защитных конструкций, органопластик для эрозионной защиты – позволяют существенно повысить надежность элементов конструкций из ПКМ при воздействии факторов внешней среды, ударных и эрозионных воздействиях. Применение органопластика ВКО-19Л на основе пленочного связующего взамен типовых органопластиков на основе растворных связующих позволит обеспечить стабильность характеристик конструктивных элементов вертолетов и самолетов при эксплуатации во всепогодных условиях, включая морской климат.

Разработка конструкционных органопластиков следующего поколения будет базироваться на использовании в составе органопластиков новых арамидных волокон типа Русар НТ, безрастворных связующих, современных технологий изготовления пре-прегов и изделий.

## 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. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. Современные материалы – основа инновационной модернизации России // Металлы Евразии. 2012. №3. С. 10–15.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
4. Каблов Е.Н. Контроль качества материалов – гарантия безопасности эксплуатации авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2001. №1. С. 3–8.
5. 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.
6. Железина Г.Ф. Конструкционные и функциональные органопластики нового поколения // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №4. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.10.2016).
7. Шульдешова П.М., Деев И.С., Железина Г.Ф. Особенности разрушения арамидных волокон СВМ и конструкционных органопластиков на их основе // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №2.

- Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 25.10.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-2-11-11.
8. Железина Г.Ф. Особенности разрушения органопластиков при ударных воздействиях // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 272–277.
  9. Tikhonov I.V., Tokarev A.V., Shorin S.V. et al. Russian aramid fibres: past–present–future // *Fibre Chemistry*. 2013. No. 5. P. 1–8.
  10. Li C.-S., Zhan M.-S., Huag X.-C., Zhou H., Li Y. Hydrothermal aging mechanisms of aramid fibers via synchrotron small-angle X-ray scattering and dynamic thermal mechanical analysis // *Journal of Applied Polymer Science*. 2013. Vol. 128. No. 2. P. 1291–1296.
  11. Железина Г.Ф., Войнов С.И., Черных Т.Е., Черных К.Ю. Новые арамидные волокна Русар НТ для армирования конструкционных органопластиков // *Вопросы материаловедения*. 2015. №1 (81). С. 60–72.
  12. Железина Г.Ф., Шульдешова П.М. Конструкционные органопластики на основе пленочных клеев // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2014. №2. С. 9–14.
  13. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Влияние атмосферных условий и запыленности среды на свойства конструкционных органопластиков // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №1. С. 64–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-1-64-68.
  14. Кучеровский А.И., Шульдешова П.М., Железина Г.Ф., Гуляев И.Н. Разработка системы защиты сетчатой конструкции фюзеляжа от негативных воздействий внешних факторов // *Все материалы. Энциклопедический справочник*. 2016. №9. С. 29–35.
  15. Шульдешова П.М., Железина Г.Ф. Арамидный слоисто-тканый материал для защиты от баллистических и ударных воздействий // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2014. №9. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-6-6.
  16. Железина Г.Ф., Соловьева Н.А., Орлова Л.Г., Войнов С.И. Баллистически стойкие арамидные слоисто-тканые композиты для авиационных конструкций // *Все материалы. Энциклопедический справочник. Композиционные материалы*. 2012. №12. С. 23–26.