

УДК 629.7.017

Р.А. Сатдинов<sup>1</sup>, Е.А. Вешкин<sup>1</sup>, В.И. Постнов<sup>1</sup>**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ  
НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА  
СТЕКЛОПЛАСТИКА МАРКИ ВПС-42П/Т-64**

DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-10-21-29

*Проведено исследование эксплуатационных свойств стеклопластика, разработанного для применения в системе кондиционирования воздуха летательных аппаратов, после воздействия ускоренных климатических факторов. Рассмотрены результаты исследований свойств стеклопластика на основе фенолформальдегидного связующего марки ВСФ-16М после воздействия теплового и тепловлажностного старения, влияния агрессивных сред, а также микологических испытаний. Исследована микротвердость полимерной матрицы в пластике в зависимости от влияния эксплуатационных факторов. Проведена оценка свойств стеклопластика на соответствие норм АП-25 (п. 831 «Вентиляция» – содержание токсичных примесей в воздухе).*

**Ключевые слова:** *стеклопластик, эксплуатационные свойства, система кондиционирования воздуха, полимерная матрица, климатические факторы, свойства.*

R.A. Satdinov<sup>1</sup>, E.A. Veshkin<sup>1</sup>, V.I. Postnov<sup>1</sup>**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATIC FACTORS  
ON THE PERFORMANCE PROPERTIES OF FIBERGLASS VPS-42P/T-64**

*The study of the operational properties of fiberglass, developed for use in the air conditioning system of aircraft, after exposure to accelerated climatic factors. The results of studies of the properties of fiberglass based on phenol-formaldehyde binder grade VSF-16M after exposure to thermal and heat-moisture aging, the influence of aggressive media, as well as mycological tests are considered. The microhardness of a polymer matrix in plastic is investigated depending on the influence of operating factors. The assessment of the properties of fiberglass for compliance with the norms of AP-25 (p. 831 «Ventilation» – the content of toxic impurities in the air).*

**Keywords:** *fiberglass, performance properties, air conditioning system, polymer matrix, climatic factors, properties.*

<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**

Современные летательные аппараты (ЛА) являются сложной конструкцией, изготовлены из разнородных металлов и неметаллических материалов. Так, в конструкциях самолетов применяются детали из алюминиевых, стальных, титановых, медных сплавов, коррозионностойких сталей и полимерных композиционных материалов (ПКМ) (стекло-, угле-, органопластики и др.) [1, 2]. Самолеты эксплуатируются в различных климатических условиях, вследствие чего подвергаются воздействию внешних (атмосферных) факторов, таких как колебания температуры, солнечная радиация, осадки,

различные газы, находящиеся в воздухе промышленных районов, морской туман и т. п. Немаловажным фактором также является то, что в ходе эксплуатации авиационной техники (АТ) могут появляться незначительные дефекты (царапины, забоины, сколы, потертости).

Данные условия способствуют возникновению коррозии металлических деталей и разрушению (или изменению) первоначальных свойств деталей из неметаллических материалов [3–5]. В ходе длительной эксплуатации самолетов в различных климатических районах наиболее подвержены коррозии стальной крепеж обшивок фюзеляжа, нижних поверхностей центроплана, крыла и стабилизатора; детали и агрегаты, расположенные в нишах шасси; детали из магниевых сплавов; трубопроводы системы кондиционирования воздуха (СКВ), гидро- и топливной системы [6]; стальные детали, имеющие нарушения лакокрасочного и гальванического покрытий. Подвержены коррозии и более ответственные детали: шток амортизатора стойки шасси, узел навески подбалочного киля, элементы конструкции в отсеке установки аккумуляторных батарей. Сильному эрозионному износу подвергаются и такие детали, как носовой конус, обтекатели антенн на передних кромках крыла, законцовки киля. Наибольшие нарушения ЛКП наблюдаются на верхней и нижней поверхностях стабилизатора, верхней части крыла, в районе люков обоих двигателей, на верхней и нижней поверхностях механизации крыла, по крепежу нижней силовой панели, в нишах стоек шасси.

Ввиду сложности конструкции АТ и насыщенности планера системами (гидравлическая и воздушная, топливная, СКВ и др.) и агрегатами задача определения зон повышенной коррозионной активности является труднорешаемой. Только в ходе продолжительной эксплуатации появляется возможность обнаружить зоны, больше всего подверженные коррозионным поражениям, и выявить наиболее уязвимые в части повреждаемости места [7]. В настоящее время также имеются задачи, связанные с освоением арктической зоны территории Российской Федерации [8–10], в которых особую актуальность приобретают проблемы разработки материалов, обладающих высокой климатической стойкостью, и обеспечения работоспособности сложных технических систем в данных условиях эксплуатации. Поэтому при производстве деталей и конструкций авиационного назначения все чаще обращают внимание на ПКМ [11, 12].

Как было отмечено ранее, существенное влияние на стойкость материалов оказывают климатические факторы (температура, влага и т. д.), которые при своем комплексном воздействии являются активаторами старения, способствуют развитию физико-химических процессов в материалах и за время эксплуатации изделий (25–30 лет) могут существенно снизить их прочностные свойства [13–16]. Особенно остро проблема сохранения свойств материалов стоит при эксплуатации техники в районах с жесткими климатическими условиями – с тропическим и морским климатом [17].

Климатические испытания изделий (материалов) являются составной частью системы контроля качества изделий техники. Испытания проводятся на всех стадиях их жизненного цикла. Проведение климатических испытаний позволяет определить пригодность материалов для изготовления изделия, проконтролировать качество получаемых материалов, оценить коррозионную стойкость металлов и сплавов, защитных покрытий, стойкость к старению и биоповреждениям неметаллических материалов, а также выявить конструктивные и технологические недостатки изделий [18].

Целью данной работы является оценка влияния климатических воздействий на эксплуатационные свойства (тропико-, влаго-, водо-, бензо- и грибостойкость, тепловой ресурс и т. д) стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 на основе фенолформальдегидного связующего, используемого для изготовления трубопроводов СКВ летательных аппаратов [19].

Важным фактором также является соблюдение норм АП-25 (п. 831 «Вентиляция» – содержание токсичных примесей в воздухе) [20]. Согласно данному пункту, содержание токсичных примесей не должно превышать следующие предельные допустимые концентрации (ПДК):

Токсичные примеси	ПДК, мг/м <sup>3</sup>
Пары топлива	300
Пары и аэрозоли синтетических масел	2
Пары и аэрозоли минеральных масел	5
Акролеин	0,2
Фенол	0,3
Формальдегид	0,5
Бензол	5
Трикрезилфосфат	0,5
Диокцилсебацинат	5
Оксиды азота	5

### Материалы и методы

Для исследования эксплуатационных свойств изготовлены стандартные образцы стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 (на основе быстротверждаемого фенолформальдегидного связующего марки ВСФ-16М и стеклянного наполнителя марки Т-64(ВМП)-78).

Пределы прочности при сжатии (ГОСТ Р 57756–2017) и статическом изгибе (ГОСТ 4648–2014) определяли как в исходном состоянии образцов, так и после следующих воздействий:

– микологическое старение (3 мес) – по ГОСТ 9.049–91. Сущность методов заключается в выдерживании материалов, зараженных спорами грибов, в условиях, оптимальных для их развития, с последующей оценкой грибостойкости по степени развития плесневых грибов и (или) по изменению характерных показателей свойств материалов;

– тепловлажностное старение (3 мес) – по ГОСТ 9.707–81. Сущность метода заключается в проведении ускоренных испытаний материалов, деталей и узлов на стойкость к старению при воздействии температуры и влажности, установлении характера кинетической зависимости изменения показателя при старении, построении кривой прогноза и определении значения показателя после заданной продолжительности хранения или продолжительности хранения до достижения заданного значения показателя;

– воздействие влаги, воды, бензина и масла (3 мес) – по ГОСТ 12020–72. Сущность методов заключается в определении изменения массы, линейных размеров, внешнего вида стандартных образцов пластмасс в ненапряженном состоянии и растрескивания их в напряженно-деформированном состоянии после выдержки в течение определенного периода времени в реагентах – жидких химических веществах, растворах твердых химических веществ и технических жидких средах (топливе, масле и т. п.);

– тепловое старение – по ГОСТ 9.715–86. Сущность метода заключается в нагревании пробы материала с заданной скоростью в воздухе, среде заданного состава или вакууме, непрерывной регистрации происходящих в материале процессов на термоаналитической кривой и определении стойкости материалов к воздействию температуры.

Наряду с определением механических свойств ПКМ, выполнили оценку свойств отвержденного пластика по толщине – определили микротвердость [21–24]. Данный метод удобен тем, что позволяет с высокой точностью проводить измерения на небольшом объеме материала. Микротвердость матрицы измеряли на поперечных шлифах с помощью микротвердомера ПМТ-3М [25], при этом нагрузка на индентор микротвердомера составляла 0,1 Н (10 г).

Для проведения данных исследований изготовили плиты стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 на основе связующего марки ВСФ-16М и стеклоткани марки Т-64. Для их изготовления синтезировали одну партию связующего и получили две партии препрега на установке УПР-4. Провели контроль их основных свойств на соответствие требованиям технических условий. Результаты исследований приведены в табл. 1 и 2.

*Таблица 1*

**Технологические свойства фенолформальдегидного связующего марки ВСФ-16М (средние значения)**

Свойства	Требования по ТУ1-595-12-1300-2012 (изм. 1)	Фактические значения свойств
Внешний вид	Однородный раствор коричневого цвета	Однородный раствор коричневого цвета
Массовая доля нелетучих веществ, %	72–85	75,0
Условная вязкость при температуре 20±1 °С (по ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм), с	20–200	93
Время желатинизации при температуре 130±2 °С, мин	1–3	3

*Таблица 2*

**Технологические свойства препрега стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 (средние значения)**

Свойства	Требования по ТУ1-595-УНТЦ-1626-2016	Фактические значения свойств для	
		партии 1	партии 2
Массовая доля летучих веществ, % (не более)	8	7,7	7,8
Массовая доля связующего, %	44±4	40,3	42,1
Массовая доля растворимой смолы, % (не менее)	90	99,3	99,2

Как видно из данных табл. 1 и 2, свойства изготовленных материалов соответствуют предъявляемым к ним требованиям.

Для анализа рассматриваемых характеристик изготовили образцы стеклопластиков прессовым методом формования с квазиизотропной укладкой слоев и провели исследование свойств как в исходном состоянии образцов, так и после воздействия на них различных сред.

### **Результаты и обсуждение**

Основными видами испытаний образцов после воздействия на них различных сред (теплового старения при температуре 80, 130 и 150 °С (100 и 500 ч); камеры тропического климата (3 мес): 8 ч – при температуре 50±2 °С и влажности 98%, 12 ч – при температуре 20±2 °С и влажности 98%, 4 ч – при температуре 20±2 °С и влажности 65%; микологического старения (3 мес); тепловлажностного старения при температуре 60 °С и влажности 85% (3 мес); влаги и воды (3 мес); топлива ТС-1 и масла ИПМ-10 (3 мес) и др.) выбрали изгиб и сжатие, которые отображают истинные напряжения в детали СКВ. Результаты исследований приведены в табл. 3–5 и на рис. 1.

Исходя из данных, представленных в табл. 3, процент сохранения свойств стеклопластика, в сравнении с исходными значениями, составляет 85–100%, что свидетельствует о работоспособности стеклопластика при воздействии на него агрессивных сред. Стеклопластик марки ВПС-42П/Т-64 является грибостойким – балл обрастания 1–2 в соответствии с 6-балльной шкалой.

Таблица 3

**Пределы прочности при сжатии и изгибе стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64  
после воздействий эксплуатационных сред (средние значения)**

Вид испытания	Значения предела прочности, МПа, при температуре, °С			
	20	80	20	80
	при сжатии		при изгибе	
Исходное состояние стеклопластика (до воздействия)	340	300	640	595
Тепловлажностное старение при температуре 60 °С и влажности 85% (3 мес)	290 (85%)	290 (96%)	550 (85%)	555 (93%)
Микологическое старение (3 мес)	335 (98%)	330 (110%)	645 (102%)	555 (93%)
Воздействие влаги (3 мес)	330 (97%)	290 (96%)	645 (101%)	520 (87%)
Воздействие воды (3 мес)	335 (98%)	275 (91%)	655 (102%)	525 (88%)
Воздействие топлива (3 мес)	360 (105%)	345 (115%)	695 (108%)	595 (100%)
Воздействие масла (3 мес)	350 (103%)	325 (108%)	680 (106%)	590 (99%)
Камера тропического климата (3 мес)	355 (104%)	290 (96%)	610 (95%)	545 (91%)

Примечание. В скобках в табл. 3–5 указан процент сохранения свойств в сравнении с исходным значением.

Таблица 4

**Предел прочности при сжатии стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64  
после воздействия температуры (средние значения)**

Вид испытания	Продолжи- тельность испытания, ч	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре, °С			
		20	80	130	150
Исходное состояние (до воздействия)	–	340	300	265	255
Тепловое старение при температуре, °С: 80	100	315 (92%)	285 (95%)	–	–
	500	370 (108%)	320 (106%)	–	–
130	100	325 (95%)	–	265 (100%)	–
	500	320 (94%)	–	290 (110%)	–
150	100	320 (94%)	–	–	255 (100%)
	500	315 (92%)	–	–	265 (104%)

Таблица 5

**Предел прочности при изгибе стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64  
после воздействия температуры (средние значения)**

Вид испытания	Продолжи- тельность испытания, ч	Предел прочности при изгибе, МПа, при температуре, °С			
		20	80	130	150
Исходное состояние (до воздействия)	–	640	595	535	490
Тепловое старение при температуре, °С: 80	100	600 (94%)	630 (105%)	–	–
	500	640 (100%)	570 (95%)	–	–
130	100	680 (106%)	–	530 (99%)	–
	500	690 (107%)	–	530 (99%)	–
150	100	700 (110%)	–	–	540 (110%)
	500	680 (106%)	–	–	515 (105%)

Исходя из данных, представленных в табл. 4 и 5, процент сохранения свойств стеклопластика, в сравнении с исходными значениями, составляет 92–100%, что объясняется снижением внутренних напряжений и стабилизацией свойств в ПКМ [26].

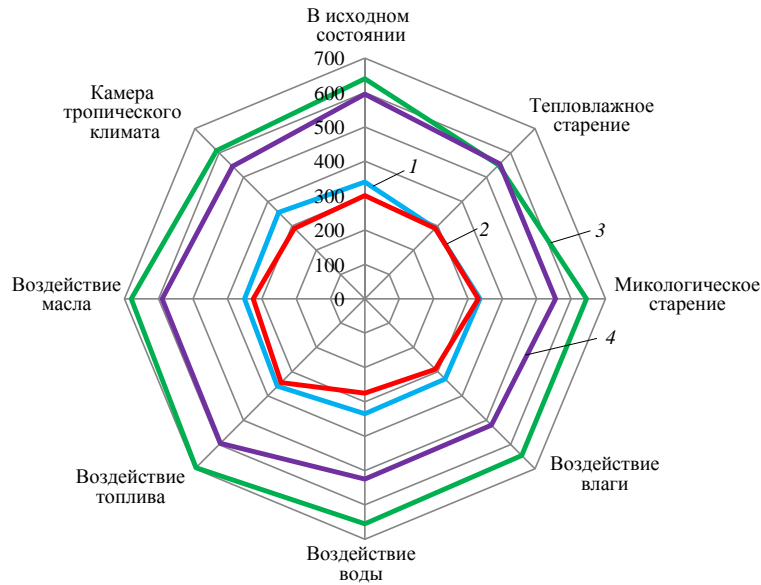


Рис. 1. Результаты исследования при температурах 20 (1, 3) и 80 °С (2, 4) предела прочности при сжатии (1, 2) и изгибе (3, 4) стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 после эксплуатационных воздействий

В связи с тем, что отверждение связующего в период формирования происходит не одновременно во всем объеме, а с некоторыми различиями во времени, проведена работа по оценке микротвердости полимерной матрицы по толщине ПКМ. Исследование проводили как в исходном состоянии, так и после воздействия некоторых факторов (температуры, влаги, влаги и температуры). Для этого одни образцы помещали в воду и проводили их кипячение в течение 1 сут (3 рабочих дня). Другие и часть прокипяченных образцов термообработывали под вакуумным мешком при конечной температуре 170 °С в течение 6 ч. После проведенных действий провели исследование микротвердости образцов [26].

Результаты, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что воздействие влаги негативно сказывается на микротвердости полимерной матрицы в пластике, однако его последующая термообработка приводит к восстановлению свойств до уровня исходных значений.

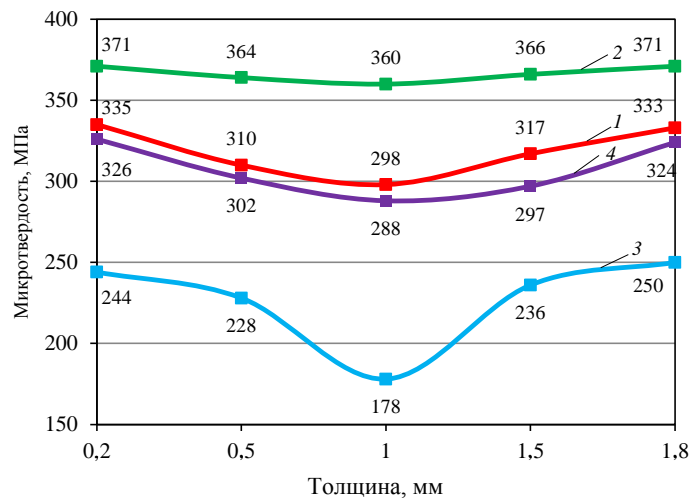


Рис. 2. Результаты исследования микротвердости по толщине образца в исходном состоянии (1) и при воздействии различных факторов: температуры (2), влаги (3), влаги и температуры (4)

При изготовлении элементов воздухопроводов СКВ необходимо применение материала, отвечающего требованиям АП-25 (FAR25), – элементы должны быть самозатухающими при испытаниях в вертикальном положении, согласно соответствующим пунктам Части 1 Приложения F [27, 28]. В связи с этим проведена оценка пожарной опасности стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 (табл. 6).

Таблица 6

**Оценка пожарной опасности стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64**

Толщина образца, мм	Максимальная скорость выделения тепла, кВт/м <sup>2</sup>	Общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин, кВт·мин/м <sup>2</sup>	Горючесть	Дымообразование
1	51	38	Трудногорающий	Слабодымящий
2	53	42	Самозатухающий	Слабодымящий
4	56	2	Самозатухающий	Слабодымящий

Результаты исследований, представленные в табл. 6, показали, что стеклопластик марки ВПС-42П/Т-64 соответствует требованиям АП-25 по горючести (Часть 1 Приложения F) [20]. Таким образом, разработанный материал является стойким к различным климатическим факторам. По результатам исследований на стеклопластик ВПС-42П/Т-64 разработано дополнение к паспорту на стеклотекстолит марки ВПС-42П. Рабочие температуры этого стеклопластика, при которых он может эксплуатироваться, установлены в диапазоне от -60 до +120 °С.

Как отмечено ранее, к содержанию вредных веществ в воздухе салона самолета предъявляются особые требования. Поэтому на основе разработанного материала изготовили заготовки патрубков элементов СКВ для ЛА, которые были переданы в Санитарную эпидемиологическую станцию для проведения необходимых исследований. Получено положительное решение.

В настоящее время на основе разработанного материала серийно производят заготовки СКВ для ЛА. Проведенные исследования разработанного материала доказывают его пригодность для изготовления элементов СКВ [29].

### Заключения

На основании проведенных исследований выявлено, что стеклопластик марки ВПС-42П/Т-64 на основе фенолформальдегидного связующего марки ВСФ-16М и стеклоткани Т-64(ВМП)-78 имеет процент сохранения свойств после воздействия внешних климатических факторов на уровне 85–100%, что свидетельствует о его работоспособности в различных эксплуатационных средах.

Установлено также (по средству измерения микротвердости полимерной матрицы), что после воздействия влаги происходит снижение механических свойств стеклопластика, однако после воздействия повышенных температур свойства возвращаются на уровень исходных значений.

На основании результатов проведенных исследований стеклопластик марки ВПС-42П/Т-64 рекомендован для изготовления заготовок патрубков для СКВ летательных аппаратов, которые соответствуют нормам АП-25 п. 831 по содержанию вредных веществ в воздухе, выделяемых при их эксплуатации.

### Библиографический список

1. ОСТ 1 90368–86. Самолеты и вертолеты. Выбор металлических материалов и покрытий для противокоррозионной защиты. 1987. 94 с. URL: <https://gostost.ru/ost-1-90368-86> (дата обращения: 22.07.2020).

2. ГОСТ 9.301–86. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования. М.: Стандартиформ, 2010. 16 с.
3. Томашев Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. 592 с.
4. Беркуштис Г.К., Кларк Г.Б. Коррозия металлов и сплавов. М.: Metallurgizdat, 1963. 314 с.
5. Михайловский Ю.Н. Атмосферная коррозия металлов и методы их защиты. М.: Metallurgia, 1989. 103 с.
6. Фомина М.А., Каримова С.А. Анализ коррозионного состояния материалов планера самолетов типа «Су» после длительных сроков эксплуатации // Коррозия: материалы, защита. 2014. №9. С. 20–24.
7. Лукьянычев Д.А., Цыганцов И.А., Хусяинов Ш.М. Создание системы сбора, учета и анализа коррозионных дефектов, возникающих при эксплуатации авиационной техники марки Су // Фундаментальные и прикладные исследования коррозии и старения материалов в климатических условиях: проблемы и перспективы: материалы II науч.-техн. конф. М., 2015. URL: <https://conf.viam.ru/sites/default/files/uploads/proceedings/696.rar> (дата обращения: 27.07.2020).
8. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу: №Пр-1969 от 18 сентября 2008 г. URL: <https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2018/05/14> (дата обращения: 22.07.2020).
9. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года: №Пр-232 от 8 февраля 2013 г. URL: <https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2018/05/14> (дата обращения: 22.07.2020).
10. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жиликов В.П., Жирнов А.Д. Изучение климатической стойкости авиационных материалов // Сб. материалов СО РАН «Пути объединения потенциала науки в интересах решения актуальных фундаментальных и прикладных проблем стратегического развития субъектов РФ». Якутск, 2003. С. 191–196.
11. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
12. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 3–9.
13. Кириллов В.Н. Исследование климатической стойкости композиционных неметаллических материалов // Сб. тезисов докладов Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные вопросы авиационного материаловедения». М.: ВИАМ, 2007. С. 133–134.
14. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. М.: Химия, 1982. 224 с.
15. Старцев О.В. Старение полимерных авиационных материалов в теплом влажном климате: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1990. 80 с.
16. Старцев В.О., Махоньков А.Ю., Котова Е.А. Механические свойства и влагостойкость ПКМ с повреждениями // Авиационные материалы и технологии. 2015. №S1. С. 49–55. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-S1-49-55.
17. Бузник В.М., Каблов Е.Н., Кошурина А.А. Материалы для сложных технических устройств арктического применения // Научно-технические проблемы освоения Арктики. М.: Наука, 2015. С. 275–285.
18. Андреева А.А. Методика проведения климатических испытаний по оценке стойкости материалов к условиям морского арктического и субарктического климатов // Коррозия, старение и биостойкость материалов в морском климате: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. М., 2016. URL: <https://conf.viam.ru/sites/default/files/uploads/proceedings/890.rar> (дата обращения: 27.07.2020).
19. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Современные полимерные материалы для изготовления элементов системы кондиционирования воздуха в летательных аппаратах // Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения: сб. докладов конф. М.: ВИАМ, 2017. С. 16.
20. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат, 2009. 267 с.

21. Курицына А.Д. Применение метода микротвердости для определения некоторых свойств полимерных материалов. Методы испытания на микротвердость. М.: Наука, 1965. 264 с.
22. Krumova M., Klingshirn C., Hauptert F., Friedrich K. Microhardness studies of functionally graded polymer composites // *Composites Science and Technology*. 2001. Vol. 61. P. 557–563.
23. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Семенычев В.В., Крашенинникова Е.В. Исследование микротвердости и склерометрических характеристик связующего УП-2227Н, отвержденного при различных режимах // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. №1 (50). С. 39–45. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-1-39-45.
24. Goyal R.K., Tiwari A.N., Negi Y.S. Microhardness of PEEK/ceramic micro- and nanocomposites: Correlation with Halpin–Tsai model // *Materials Science and Engineering A*. 2008. Vol. 491 (1–2). P. 230–236.
25. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. М.: Госстандарт СССР, 1976. 35 с.
26. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Семенычев В.В. Методология оценки изменения свойств матрицы в объеме полимерных композитов // Роль фундаментальных исследований при реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»: материалы V Всерос. науч.-техн. конф. М.: ВИАМ, 2019. С. 219–239.
27. Барботько С.Л. Развитие методов оценки пожаробезопасности материалов авиационного назначения // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 516–526. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-516-526.
28. Барботько С.Л., Кириллов В.Н., Шуркова Е.Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №3. С. 56–63.
29. Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Воздуховоды низкого давления из ПКМ в летательных аппаратах // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-техн. журн*. 2016. №8 (44). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.05.2020). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-8-8.