

Научная статья

УДК 678.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-4-118-127

## ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ТКАНЕПЛЕНОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ВОЗДУХОВОДОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

М.С. Иванов<sup>1</sup>, Н.Г. Павлюкович<sup>1</sup>, И.Н. Донских<sup>1</sup>, В.С. Морозова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

**Аннотация.** В рамках общей квалификации разработанного в НИИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ тканепленочного материала марки ВРТ-12 для изготовления герметичной оболочки гибких воздухопроводов системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов проведены исследования характеристик пожаробезопасности и влияния на свойства материала эксплуатационных факторов. Установлено соответствие материала авиационным правилам по горючести, дымообразованию и выделению токсичных газов. Подтверждена устойчивость к воздействию температур от –60 до +80 °С, повышенной влажности, плесневых грибов и агрессивных жидкостей.

**Ключевые слова:** воздухопроводы низкого давления, система кондиционирования воздуха, тканепленочный материал, ресурсные испытания, старение материала, климатические факторы, эксплуатационные факторы

**Для цитирования:** Иванов М.С., Павлюкович Н.Г., Донских И.Н., Морозова В.С. Влияние эксплуатационных факторов на свойства тканепленочного материала для воздухопроводов низкого давления системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов // Труды ВИАМ. 2023. № 4 (122). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-4-118-127.

Scientific article

## INFLUENCE OF OPERATIONAL FACTORS ON THE PROPERTIES OF FABRIC-FILM MATERIAL FOR LOW-PRESSURE AIR DUCTS OF THE AIR CONDITIONING SYSTEM OF AIRCRAFT

M.S. Ivanov<sup>1</sup>, N.G. Pavlukovich<sup>1</sup>, I.N. Donskih<sup>1</sup>, V.S. Morozova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** Within the framework of the general qualification of the VRT-12 brand coated textile material developed by the «Kurchatov Institute» – VIAM for the manufacture of a sealed shell of flexible air ducts of the air conditioning system of aircraft, studies of fire safety characteristics and the influence of operational factors on the properties of the material were carried out. Compliance of the material with aviation regulations on flammability, smoke formation and release of toxic gases has been established. Resistance to temperatures from –60 to +80 °C, high humidity, mold fungi and aggressive liquids has been confirmed.

**Keywords:** low pressure air ducts, air conditioning system, coated textile material, resource tests, material aging, climatic factors, operational factors

**For citation:** Ivanov M.S., Pavlukovich N.G., Donskih I.N., Morozova V.S. Influence of operational factors on the properties of fabric-film material for low-pressure air ducts of the air conditioning system of aircraft. *Trudy VIAM*, 2023, no. 4 (122), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-4-118-127.

## Введение

Современное авиастроение уже немислимо без использования полимерных композиционных материалов (ПКМ). Различные виды ПКМ применяются в самых разных конструкциях и системах летательных аппаратов, обеспечивая не только существенное уменьшение массы планера, но и повышение ресурса его узлов и систем, снижение затрат на производство и эксплуатацию самолетов. В конструкциях некоторых современных летательных аппаратов объем использования ПКМ достигает >50 %.

Одной из основных систем жизнеобеспечения воздушного судна является система кондиционирования воздуха (СКВ). Она предназначена для поддержания давления и температуры воздуха в гермокабине летательного аппарата на уровне, необходимом для нормальной жизнедеятельности экипажа и пассажиров. Рабочее давление в воздухопроводах СКВ не превышает значения 10 кПа [1]. В последнее время как за рубежом, так в России особенно активно разрабатываются новые ПКМ, пригодные для изготовления гибких воздухопроводов в составе СКВ воздушных судов [2–4].

Тканепленочные материалы (ТПМ) – один из видов ПКМ, в которых полимерная матрица армирована текстильным (тканым) материалом. Такие материалы обладают аддитивными свойствами структурообразующей армирующей основы и эластичного полимерного покрытия. Тканепленочные композиционные материалы отличает высокая прочность при растяжении, хорошая изгибаемость и герметичность, что обуславливает постоянный научно-практический интерес к разработке подобных материалов [5–7].

Согласно научно-техническим литературным данным, композиционный материал для изготовления гибких воздухопроводов СКВ летательных аппаратов должен иметь следующие характеристики [8]:

- массу 1 м<sup>2</sup> – не более 300 г;
- разрывную нагрузку полосы размером 50×200 мм по основе – не менее 500 Н, по утку – не менее 400 Н;
- пожаробезопасность в соответствии с требованиями авиационных правил по пожаробезопасности АП-25 [9,10];
- сохранение герметичности при давлении не менее 0,01 МПа;
- возможность эксплуатации в диапазоне температур от –60 до +80 °С;
- влагостойкость [11];
- высокий эксплуатационный ресурс (сохраняемость свойств под воздействием эксплуатационных и климатических факторов).

Авиационная техника должна быть максимально безопасна при эксплуатации. Поэтому к материалам, используемым в конструкциях и системах летательных аппаратов, предъявляются жесткие требования по пожаробезопасности и сохраняемости их свойств в эксплуатационный период. Полимерная составляющая композиционных материалов может быть особенно подвержена влиянию различных эксплуатационных и климатических факторов – например таких, как тепловое старение, циклический перепад температур, повышенная влажность, микологическое воздействие, воздействие агрессивных сред и т. д. Такие воздействия могут существенно изменять первоначальные характеристики композиционного материала, поэтому особое внимание уделяется исследованиям изменения свойств материалов после воздействия различных эксплуатационных факторов [12–16]. Учет влияния климатических факторов на характеристики материалов отражен в Авиационных правилах [17]. Вид и режим климатического воздействия (или его имитации), а также

исследуемые показатели свойств (характеристики) после климатического старения определяют в зависимости от области применения материала.

Согласно ГОСТ Р 70165–2022 «Воздуховоды низкого давления системы кондиционирования воздушных судов. Методы ресурсных испытаний», к материалам, используемым при изготовлении воздуховодов, предъявляется ряд требований, которые регламентируют необходимую устойчивость материала к воздействию различных эксплуатационных факторов внешней среды – прежде всего таких, как повышенная и пониженная температуры, влажность, агрессивные среды, плесневые грибы.

Разработка новых тканепленочных материалов входит в «Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» в рамках реализации комплексной научной проблемы 17.6. «Тканепленочные материалы» [18].

### Материалы и методы

Цель данной работы – определение влияния эксплуатационных и климатических факторов на свойства разработанного в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ тканепленочного материала марки ВРТ-12, предназначенного для изготовления герметичной оболочки гибких воздуховодов СКВ летательных аппаратов.

Разработанный ТПМ марки ВРТ-12 на основе отечественной электроизоляционной стеклоткани Э1-100 (ГОСТ 19907–2015) с двухсторонним наполненным фторполимерным покрытием белого цвета гладкой фактуры изготовлен по технологии прямого послойного нанесения раствора полимерной композиции на текстильную основу при помощи ракельного ножа (шпредингование).

Для проведения исследований на промышленном оборудовании изготовлены три партии ТПМ марки ВРТ-12 по ТУ 1-595-9-1792–2019. Внешний вид полученного материала представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид тканепленочного материала марки ВРТ-12

У изготовленных партий ТПМ марки ВРТ-12 определены следующие характеристики:

- масса  $1 \text{ м}^2$  – по ГОСТ 17073–71;
- разрывная нагрузка и удлинение при разрыве по основе/утку при температурах  $-60, 20, 80$  и  $105 \text{ °C}$  – по ГОСТ 17316–71;
- сопротивление раздиранию по основе/утку при  $20 \text{ °C}$  – по ГОСТ 17074–71;
- степень герметичности – по СТО 1-595-20-581–2018;

– морозостойкость в статических условиях при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  – по ГОСТ 5162–49 (метод 1).

Исследованы также пожаробезопасные свойства:

– горючесть, дымообразование и тепловыделение – по АП-25;

– концентрация токсичных газов – по ММ 1.595-20-441–2012.

Проведены испытания материала в условиях, имитирующих влияние эксплуатационных факторов: тепловое старение; циклический перепад температур; воздействие агрессивных сред, повышенной влажности и микологической среды.

– *Тепловое старение* проводили по СТП 1-595-11-101–83 двумя способами: при температуре  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1000 ч; при температуре  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 500 ч.

– *Циклический перепад температур* осуществляли по ГОСТ 30630.2.1–2013 и ГОСТ 9.707–81 в диапазоне температур от  $-60$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (8 циклов) с режимом цикла: выдержка при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч; выдержка при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 15 мин; выдержка при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 ч; выдержка при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 15 мин.

– *Экспозицию в тропической камере* проводили в течение 1 и 3 мес по СТП 1-595-20-100–2002. Суточный тропический цикл: при температуре  $50\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и влажности  $98\pm 2\%$  в течение 8 ч; при температуре  $20\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и влажности  $98\pm 2\%$  в течение 12 ч; при температуре  $50\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и влажности  $50\pm 10\%$  в течение 4 ч.

– *Микологическое воздействие* (воздействие плесневых грибов) проводили в течение 3 мес по ГОСТ 9.049–91;

– *Воздействие агрессивных сред* осуществляли обливом топлива ТС-1 и масла ИПМ-10 в течение 7 сут по ГОСТ 12020–2018. Экспозиция в камере солевого (морского) тумана (КСТ) проведена по ГОСТ 9.719–94 при температуре  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 7 сут.

После воздействия эксплуатационных факторов определены следующие характеристики материала марки ВРТ-12:

– разрывная нагрузка и удлинение при разрыве – по ГОСТ 17316–71;

– сопротивление раздиранию – по ГОСТ 17074–71;

– сохранение герметичности – по СТО 1-595-20-581–2018.

Температура испытания образцов после всех воздействий составляла  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

### Результаты и обсуждение

В рамках общей квалификации проведены исследования пожаробезопасных свойств ТПМ марки ВРТ-12. Полученные данные приведены в табл. 1.

Установлено, что по горючести ТПМ марки ВРТ-12 отвечает требованиям АП-25, Приложение F, Часть 1; по дымообразованию соответствует требованиям АП-25, Приложение F, Часть V, п. 853(d); по тепловыделению соответствует требованиям АП-25, Приложение F, Часть IV, п. 853(d). При его горении токсичные газы выделяются в концентрациях в несколько десятков раз меньше, чем допустимо по стандарту АІТМ 3.0005 для самолетов Airbus. Таким образом, материал марки ВРТ-12 испытан по АП-25 и является пожаробезопасным, трудногорящим, среднедымящим материалом, практически не выделяющим при горении токсичные газы.

Проведены исследования прочностных свойств ТПМ при непосредственном воздействии в течение 15 мин повышенных и пониженной температур:  $-60$ ,  $20$ ,  $80$  и  $105^{\circ}\text{C}$ . Средние значения полученных свойств приведены в табл. 2.

Таблица 1

## Пожаробезопасные свойства тканепленочного материала марки ВРТ-12

Показатели	Допустимые значения (не более)	Значения показателей
Толщина, мм	–	0,15
Горючесть*: – классификация (группа) – время остаточного горения, с – длина прогорания, мм	Трудногорающий (1) 15 203	0 43
Дымообразование: – классификация (группа) – D <sub>2</sub> (горение/пиролиз) – D <sub>4</sub> (горение/пиролиз) – D <sub>max</sub> (горение/пиролиз)	Среднедымящий (3) – 200 –	17/2 20/13 23/26
Тепловыделение: – максимальная интенсивность тепловыделения (пик), кВт/м <sup>2</sup> – общее количество выделившегося тепла за 2 мин, (кВт·мин)/м <sup>2</sup>	65 65	19 7
Концентрация токсичных газов, ppm – при горении: CO <sub>2</sub> , % CO, мг/м <sup>3</sup> HCl HF H <sub>2</sub> S+SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub> HCN – при пиролизе: CO <sub>2</sub> , % CO, мг/м <sup>3</sup> HCl HF H <sub>2</sub> S+SO <sub>2</sub> NO <sub>x</sub> HCN	– 1153 150 100 100 100 150 – 1153 150 100 100 100 150	0,3 183 2,4 10,2 0,7 4,0 0,7 0,1 77 1,2 4,0 0,0 0,3 0,3

\* Ориентация образца – вертикально, время экспозиции 12 с.

Таблица 2

## Зависимость механических свойств тканепленочного материала марки ВРТ-12 от температуры

Свойства		Значения свойств при температуре, °С			
		–60	20	80	105
Разрывная нагрузка (образец размером 50×200 мм), Н	по основе	1480	1510	1297	933
	по утку	1031	864	861	819
Удлинение при разрыве, %	по основе	3,6	3,6	3,6	3,5
	по утку	3,9	3,7	4,2	4,6

Результаты испытаний прочностных свойств ТПМ марки ВРТ-12 при непосредственном воздействии температур подтверждают возможность эксплуатации данного материала в интервале температур от –60 до +80 °С без существенной потери прочностных характеристик, при температуре 105 °С сохранение разрывной нагрузки по основе/утку составляет соответственно 61 и 95 %. Благодаря армирующему каркасу из стеклоткани изменение температуры практически не влияет на относительное удлинение разработанного ТПМ.

Материал марки ВРТ-12 морозостоек. Установлено, что при температуре –60 °С при сдавливании образца сложенного петлей на полимерном покрытии не образуется трещин.

Для подтверждения стабильности характеристик материала ВРТ-12 при эксплуатации проведена экспозиция образцов ТПМ в условиях, имитирующих тепловое старение, циклический перепад температур, воздействие агрессивных сред, повышенной влажности и микологической среды (грибостойкость).

Средние значения полученных показателей по результатам исследования физико-механических свойств и степени герметичности образцов ТПМ марки ВРТ-12 после воздействия эксплуатационных факторов представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Влияние эксплуатационных факторов на свойства  
тканепленочного материала марки ВРТ-12**

Фактор воздействия	Соппротивление раздиранию, Н		Разрывная нагрузка, Н		Удлинение при разрыве, %		Степень герметичности, %, при $P_{изб} = 20$ кПа и продолжительности испытания 900 с
	по основе	по утку	по основе	по утку	по основе	по утку	
В исходном состоянии	9,0	16,0	1510	864	3,6	3,7	99
После теплового ресурса при температуре: 80 °С в течение 1000 ч 105 °С в течение 500 ч	6,7	12,7	1503	741	3,4	3,3	98
	8,2	15,1	1284	1049	3,9	4,1	92
После испытания в тропической камере в течение, мес: 1 3	6,4	9,2	1069	790	2,3	2,4	99
	6,0	9,0	958	708	2,6	2,8	98
После циклического перепада температур	–		1405	848	3,0	2,7	98
После воздействия в течение 3 мес: влажности 98 % микологической среды	–		1175	759	3,1	3,3	99
	–		1299	934	3,3	3,3	99
После воздействия в течение 7 сут: топлива ТС-1 масла ИПМ-10	–		1457	1004	3,5	3,4	99
	–		1484	998	3,3	3,0	97
После экспозиции в камере солевого тумана в течение 7 сут	–		643	750	1,8	1,8	–

Одним из основных требований, предъявляемых к материалам для изготовления оболочки воздухопроводов СКВ летательных аппаратов, является их высокая герметичность, сохраняющаяся при эксплуатации. Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о высокой сохраняемости степени герметичности разработанного материала ВРТ-12. После испытаний, имитирующих тепловое старение при 80 °С в течение 1000 ч, а также 3 мес в тропической камере и после 8 циклов перепада температур от –60 до +80 °С, герметичность материала снизилась всего на 1 % – с 99 до 98 %. В то же время воздействие на материал повышенной (98 %) влажности, микологической среды и топлива ТС-1 не оказали зафиксированного изменения в степени герметичности разработанного ТПМ.

Анализ результатов испытаний ТПМ марки ВРТ-12 показал, что прочностные характеристики разработанного материала до и после теплового воздействия при температуре 80 °С изменились менее чем на 15 %. Это свидетельствует о высокой термостабильности разработанного ТПМ и подтверждает возможность его эксплуатации при указанной температуре. Высокие тепло- и морозостойкость разработанного ТПМ подтверждаются проведенными испытаниями на циклический перепад температур – от –60 до +80 °С. После 8 циклов прочность ТПМ марки ВРТ-12 снизилась на 7 %.

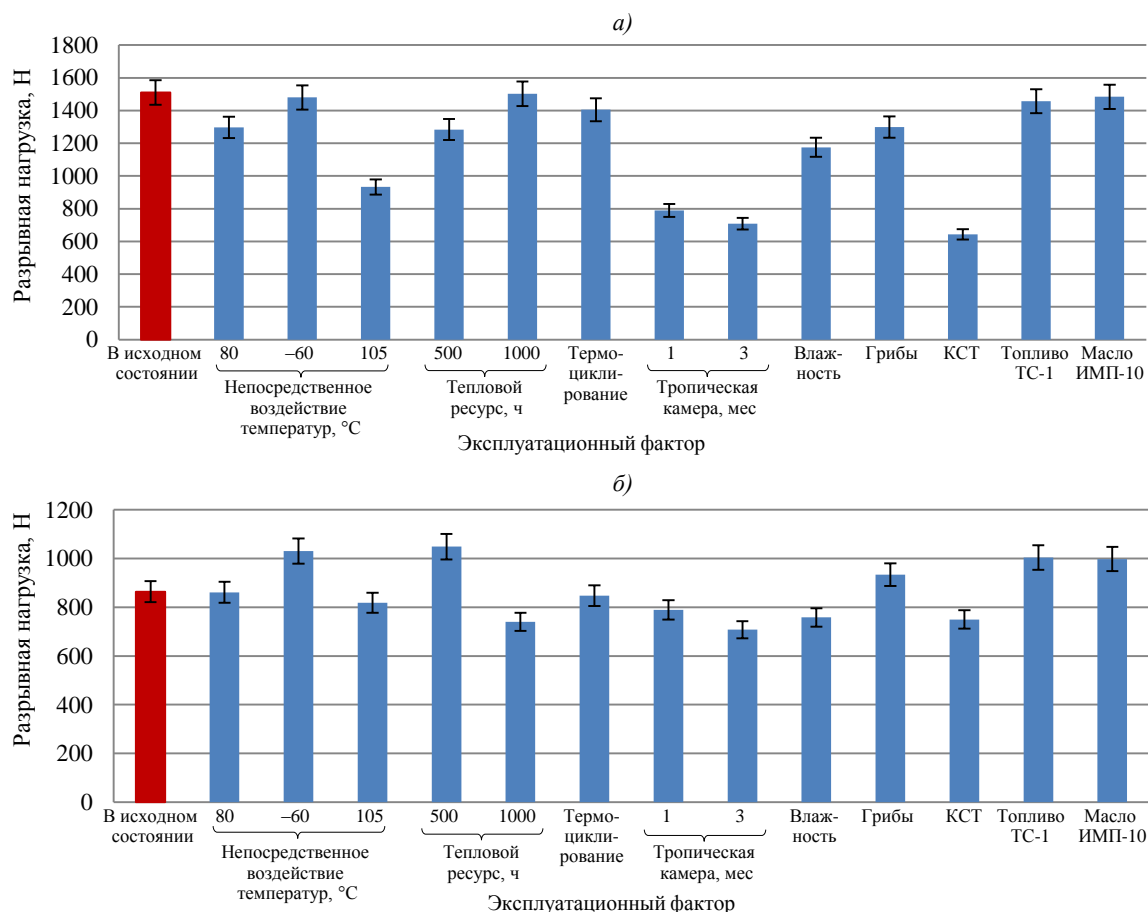


Рис. 2. Разрывная нагрузка при растяжении по основе (а) и утку(б) материала ВРТ-12 до и после воздействия эксплуатационных факторов

По результатам микологического воздействия (плесневых грибов в течение 3 мес) установлено, что ТПМ марки ВРТ-12 грибостоек – степень развития плесневых грибов 1 балл. Воздействие не оказало значимого влияния на разрывную нагрузку разработанного материала. Прочность материала ВРТ-12 после микологического воздействия снизилась менее чем на 15 %.

Материал ВРТ-12 является масло- и бензостойким – воздействие топлива и масла в течение 7 сут не оказало влияния на прочностные характеристики испытанных образцов (зафиксировано уменьшение не более чем на 3,5 %).

На рис. 2 приведены диаграммы, иллюстрирующие изменение разрывной нагрузки ТПМ марки ВРТ-12 в исходном состоянии и после воздействия различных эксплуатационных факторов, а также при повышенных и пониженной температурах.

Видно, что снижение свойств по основе ТПМ превышает снижение свойств по утку, особенно после экспозиции в тропической камере и камере солевого тумана – на 22 и 44 % соответственно. Для изготовления гибкой оболочки воздуховода ТПМ вырезают под углом 45 градусов, при этом деформация ТПМ возрастает до 250 %. Следовательно, в готовой конструкции воздуховода материал ВРТ-12 будет работать аддитивно (и по основе, и по утку), поэтому такое снижение свойств по основе не окажет ощутимого влияния на свойства конструкции.

Таким образом, результаты исследования свойств материала ВРТ-12 после проведения испытаний, имитирующих влияние различных эксплуатационных факторов, подтверждают высокую стабильность разработанного материала.

### Заключения

В рамках общей квалификации проведено исследование комплекса свойств тканепленочного материала марки ВРТ-12, разработанного в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ и предназначенного для изготовления герметичной оболочки гибких воздуховодов СКВ летательных аппаратов.

Установлено, что разработанный ТПМ соответствует требованиям АП-25 по горючести и дымообразованию, при его горении токсичные газы выделяются в концентрациях на несколько порядков ниже допустимых по стандарту АІТМ 3.0005 для самолетов Airbus.

Определено влияние эксплуатационных факторов на свойства тканепленочного материала марки ВРТ-12.

Установлено, что на степень герметичности и прочность разработанного материала не оказали существенного влияния ни имитация теплового старения, ни экспозиция в тропической камере, ни циклические перепады температур от –60 до +80 °С, ни воздействие микологической среды или топлива/масла.

Подтверждена высокая стабильность характеристик разработанного ТПМ марки ВРТ-12 и сохраняемость его свойств при эксплуатационно-климатических испытаниях, а следовательно, перспективность применения для изготовления трубопроводов СКВ летательных аппаратов.

### Список источников

1. Воронин Г.И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах. М.: Машиностроение. 1973. 443 с.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
3. Кравченко А.Г., Шилова А.К., Тамба-Тамба В.П., Озерский А.И. Обзор основных агрегатов систем кондиционирования воздуха летательных аппаратов // Техника. Технологии. Инженерия. 2017. № 3. С. 24–27. URL: <https://moluch.ru/th/8/archive/62/2532/> (дата обращения: 01.12.2022).
4. Савин С.П. Применение современных полимерных композиционных материалов в конструкции планера // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 4 (2). С. 686–693.
5. Платонов М.М., Назаров И.А., Нестерова Т.А. Тканепленочные материалы для надувных авиационных средств спасения // Новости материаловедения. Наука и техника. 2013. № 2. Ст. 6. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 01.12.2022).
6. Левант М.Г., Пономарев П.А. Создание отечественных материалов для изготовления оболочек воздухоплавательных комплексов // Полет. 2008. № 12. С. 57–60.
7. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4 (65). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
8. Иванов М.С., Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Донских И.Н. Новый отечественный тканепленочный материал для гибких трубопроводов системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов // Труды ВИАМ. 2019. № 4 (76). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-57-66.
9. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25. 5-е изд., с поправками 1–8. М.: Авииздат, 2015. 278 с.
10. 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.

11. Каблов Е.Н., Старцев В.О., Иноземцев А.А. Влагоднасыщение конструктивно-подобных элементов из полимерных композиционных материалов в открытых климатических условиях с наложением термоциклов // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 2 (47). С. 56–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-56-68.
12. Каблов Е.Н. Ключевая проблема – материалы // *Тенденции и ориентиры инновационного развития России*. М.: ВИАМ, 2015. С. 458–464.
13. Каблов Е.Н. Создание национальной сети климатических станций – необходимое условие надежности и ресурса авиационной техники // *Крылья Родины*. 2010. № 8. С. 3–6.
14. Лаптев А.Б., Павлов М.Р., Новиков А.А., Славин А.В. Современные тенденции развития испытаний материалов на стойкость к климатическим факторам (обзор). Часть 1. Испытания новых материалов // *Труды ВИАМ*. 2021. № 1 (95). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 01.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-1-114-122.
15. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2018. № 2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
16. Курс М.Г., Николаев Е.В., Абрамов Д.В. Натурно-ускоренные испытания металлических и неметаллических материалов: ключевые факторы и специализированные стенды // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 1 (54). С. 66–73. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-1-66-73.
17. Нормы летной годности гражданских легких самолетов: АП-23. 4-е изд., с поправками 1–5. М.: Авиаиздат, 2014. 207 с.
18. 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.

#### References

1. Voronin G.I. *Air conditioning systems on aircraft*. Moscow: Mashinostroenie., 1973, 443 p.
2. Kablov E.N. Materials and chemical technologies for aviation equipment. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 6, pp. 520–530.
3. Kravchenko A.G., Shilova A.K., Tamba-Tamba V.P., Ozersky A.I. Overview of the main units of air conditioning systems for aircraft. *Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya*, 2017, no. 3, pp. 24–27. Available at: <https://moluch.ru/th/8/archive/62/2532/> (accessed: December 01, 2022).
4. Savin S.P. The use of modern polymeric composite materials in airframe construction. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 14, no. 4 (2), pp. 686–693.
5. Platonov M.M., Nazarov I.A., Nesterova T.A. Tissue-film materials for inflatable air rescue equipment. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2013, no. 2, art. 6. Available at: <http://www.materialsnews.ru> (accessed: December 01, 2022).
6. Levant M.G., Ponomarev P.A. Creation of domestic materials for the manufacture of shells for aeronautical complexes. *Polet*, 2008, no. 12, pp. 57–60.
7. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-4-70-80.
8. Ivanov M.S., Veshkin E.A., Satdinov R.A., Donskikh I.N. New domestic coated textile material for flexible air conditioning ducts of flight vehicles. *Trudy VIAM*, 2019, no. 4 (76), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-57-66.
9. *Aviation regulations. Airworthiness standards for transport category aircraft: AP-25*. 5th ed., rev. 1–8. Moscow: Aviaizdat, 2015, 278 p.

10. Barbotko S.L. Development of the fire safety test methods for aviation materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 516–526. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-516-526.
11. Kablov E.N., Startsev V.O., Inozemtsev A.A. The moisture absorption of structurally similar samples from polymer composite materials in open climatic conditions with application of thermal spikes. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 2 (47), pp. 56–68. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-2-56-68.
12. Kablov E.N. The key problem is materials. *Trends and guidelines for Russia's innovative development*. Moscow: VIAM, 2015, pp. 458–464.
13. Kablov E.N. Creation of a national network of climatic stations is a necessary condition for the reliability and resource of aviation equipment. *Krylya Rodiny*, 2010, no. 8, pp. 3–6.
14. Laptev A.B., Pavlov M.R., Novikov A.A., Slavin A.V. Current trends in the development of testing materials for resistance to climate factors (review). Part 1. Testing of new materials. *Trudy VIAM*, 2021, no. 1 (95), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 01, 2022). DOI: 10.18577 / 2307-6046-2021-0-1-114-122.
15. Kablov E.N., Startsev V.O. Systematical analysis of the climatic influence on mechanical properties of the polymer composite materials based on domestic and foreign sources (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2018, no. 2 (51), pp. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
16. Kurs M.G., Nikolayev E.V., Abramov D.V. Full-scale and accelerated tests of metallic and nonmetallic materials: key factors and specialized stands. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 1 (54), pp. 66–73. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-1-66-73.
17. *Aviation regulations. Airworthiness standards for civil light aircraft: AP-23*. 4th ed., rev. 1–5. Moscow: Aviaizdat, 2014, 207 p.
18. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

#### Информация об авторах

**Иванов Михаил Сергеевич**, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Павлюкович Надежда Геннадьевна**, ведущий инженер, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Донских Ирина Николаевна**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Морозова Вероника Сергеевна**, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

#### Information about the authors

**Mikhail S. Ivanov**, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Nadezhda G. Pavlukovich**, Leading Engineer, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Irina N. Donskih**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Veronika S. Morozova**, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

Статья поступила в редакцию 16.12.2022; одобрена и принята к публикации после рецензирования 13.02.2023.

The article was submitted 16.12.2022; approved and accepted for publication after reviewing 13.02.2023.