

УДК 678.8

*М.С. Иванов¹, Е.А. Вешкин¹, Р.А. Сатдинов¹, И.Н. Донских¹***НОВЫЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ТКАНЕПЛЕНОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ
ДЛЯ ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДОВ
СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-4-57-66

Проведен анализ информационных источников в области материалов, применяемых для изготовления гибких трубопроводов системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов. В результате сформулированы требования и разработан новый отечественный тканепленочный материал марки ВРТ-12 на основе стеклоткани Э1-100 с двухсторонним фторполимерным покрытием – для изготовления гибких трубопроводов системы кондиционирования воздуха летательных аппаратов. Материал имеет массу 1 м² не более 275 г, отвечает требованиям АП-25 по горючести, выдерживает избыточное давление не менее 0,01 МПа и может эксплуатироваться в интервале температур от -60 до +80°С.

Ключевые слова: *гибкие трубопроводы системы кондиционирования воздуха, тканепленочный материал, горючесть, герметичность, аналог.*

M.S. Ivanov¹, E.A. Veshkin¹, R.A. Satdinov¹, I.N. Donskih¹**NEW DOMESTIC COATED TEXTILE MATERIAL
FOR FLEXIBLE AIR CONDITIONING DUCTS
OF FLIGHT VEHICLES**

The analysis of information sources in area of the materials applied to manufacturing of flexible air conditioning ducts of flight vehicles is carried out. Requirements are as a result formulated and the new domestic coated textile material is developed for manufacturing of flexible air conditioning ducts of flight vehicles of the VRT-12 brand on the basis of E1-100 fiber glass textile with bilateral fluoropolymer covering. Research of its properties is conducted. The material has the weight of 1 m² no more than 275 g, meets the requirements AP-25 of flammability, maintains excess pressure of 0,01 MPa and can be maintained in the range of temperatures from -60 to +80°С.

Keywords: flexible air conditioning ducts, coated textile material, flammability, tightness, analogue.

¹Федеральное 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

В настоящее время в РФ предусмотрено создание нового семейства ближне-среднемагистральных самолетов, а одной из важнейших задач при проектировании пассажирских самолетов является создание системы кондиционирования воздуха (СКВ) [1]. С момента повсеместного внедрения СКВ в авиационной технике, с середины 1960-х годов, основные ее элементы изготавливали преимущественно из металлов.

Однако в настоящее время для оптимизации весовой эффективности все большее число элементов конструкции планера и систем самолетов изготавливается из полимерных композиционных материалов (ПКМ) [2]. Среди приоритетных стратегических направлений развития материалов и технологий существенная роль отведена разработке ПКМ [3–5].

Общая длина трубопроводов СКВ на пассажирских самолетах более 300 м, а масса 500–600 кг, что составляет не менее 40% массы всей системы. Трубопроводы СКВ в зависимости от рабочей температуры изготавливают из титанового сплава ОТ4, стали X18Н9Т, алюминиевых сплавов АМг или АМц или из ПКМ. В современных самолетах элементы СКВ с рабочей температурой до 200°C изготавливают из ПКМ, так как применение ПКМ позволяет снизить массу элемента по сравнению с алюминием на 20–30% [2, 3]. Трубопроводы СКВ состоят из жестких элементов (тройники, трубы, патрубки) и гибких трубопроводов, которые применяют для соединения жестких элементов в местах изгибов и для подключения индивидуальных систем обдува, что позволяет экономить полезное пространство внутри фюзеляжа, – как показано на рис. 1.



Рис. 1. Трубопроводы системы кондиционирования воздуха самолета Boeing 737

Жесткие элементы изготавливают из стеклопластиков, гибкие – из герметичной оболочки в виде рукава и поддерживающего его каркаса – как показано на рис. 2. При этом оболочка изготовлена из тканепленочного материала (ТПМ), а каркас в виде спирали выполнен из металла или полимера [6]. Тканепленочные материалы представляют собой ПКМ, в которых матрица из эластомера армирована материалом в виде ткани, поэтому ТПМ обладают комплексными свойствами силовой основы и эластичного покрытия, а именно – высокой прочностью, гибкостью и герметичностью [7].

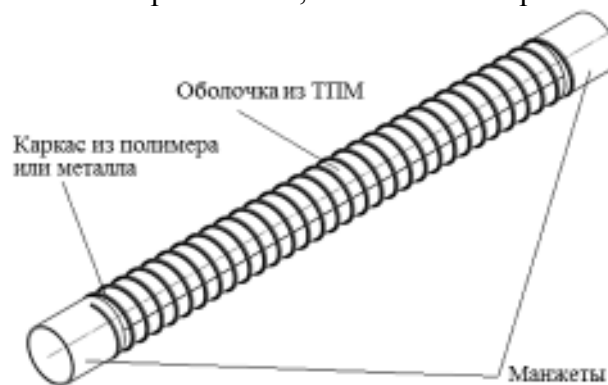


Рис. 2. Схема элемента гибкого трубопровода системы кондиционирования воздуха

Анализ доступной в сети Интернет информации показал, что гибкие трубопроводы СКВ производят такие компании, как BWT Senior Aerospace (Англия), HBD/Thermoid Inc. (США), Flexco Composite (США), Flexfab (США), Technifab (США). В РФ ТПМ для СКВ производят: ОКБ «Аэрокосмические системы», АО «НИИРП» и ООО «Химпродукт» [8–13].

Результаты анализа представлены в табл. 1. Установлено, что для изготовления гибких трубопроводов СКВ летательных аппаратов (ЛА) применяют ТПМ на основе нейлоновой ткани или стеклоткани с односторонним или двухсторонним полимерным покрытием из полиуретанового, силиконового или неопренового (хлоропренового) каучуков. Компания Technifab (США) производит воздухопроводы СКВ из закрытоячеистой пены на основе поливинилидендифторида (ПВДФ) торговой марки ZOTEK® F PVDF Foam [11]. Следует отметить, что фторполимеры являются наиболее перспективными с точки зрения пожаробезопасности. Как показано в статье [14], декоративный материал «Полиплекс» на основе стеклоткани Э-1/1-100 с односторонним фторполимерным покрытием соответствует требованиям АП-25, FAR-25 и CS-25 по пожаробезопасным свойствам (горючесть, дымообразование и тепловыделение) и является трудногорящим.

В АО «НИИРП» производят прорезиненную невулканизованную ткань 51-3Т-111 по ТУ Заг10-198–87 для изготовления гибких труб облегченной конструкции СКВ для самолета Ту-204 [12]. Недостатками этого ТПМ являются большая масса, низкая морозостойкость, необходимость вулканизации для изготовления из нее воздухопровода и малый срок службы, поэтому данный материал не нашел широкого применения в конструкции СКВ для современных ЛА.

Таблица 1

Сравнение свойств тканепленочных материалов для гибких трубопроводов системы кондиционирования воздуха

Свойства	Значения свойств для			
	российского аналога		зарубежного аналога	
	ткани 51-3Т-111, АО «НИИРП»; ТУ Заг10-198–87 [12]	материала ТСС, ООО «Химпродукт»; ТУ8729-007-99176106–2016 [13]	типа U62, Senior Aerospace BWT [8]	типа CAT, HBD/Thermoid Inc. [9]
Основа	Стеклоткань Э3-100	Стеклоткань	Нейлон	Стеклоткань
Покрытие	Полихлоропреновый каучук	Силикон	Полиуретан	Неопрен
Масса 1 м ² , г	425±25	500–570	–	–
Диапазон рабочих температур, °С	-30÷+80	–	-55÷+100	-53÷+177
Разрывная нагрузка (основа/уток), Н	736/687	1400/1137	–	–
Горючесть	Соответствие требованиям противопожарных норм для материалов внутренней отделки самолета			
Герметичность	Материал должен быть герметичен при давлении не менее 0,01 МПа			

В результате проведенного анализа сформированы требования к ТПМ для изготовления гибких трубопроводов СКВ для ЛА. Материал должен отвечать следующему комплексу характеристик:

- иметь минимально возможную массу 1 м² и высокую надежность при эксплуатации – разрывная нагрузка полоски размером 50×200 мм (по основе/утку) не менее 500 Н;
- соответствовать требованиям авиационных правил по пожаробезопасности АП-25 [15];

- быть герметичным при давлении не менее 0,01 МПа;
- сохранять свои свойства в диапазоне температур от -60 до +80°С;
- быть технологичным – покрытие материала должно обеспечивать возможность изготовления и ремонта рукава трубопровода методом сварки;
- быть устойчивым к различным эксплуатационным факторам;
- иметь низкое влагопоглощение [16].

Если в настоящее время в зарубежной авиационной технике стало уже нормой изготовление гибких трубопроводов СКВ самолетов из ПКМ, то в РФ их внедрение откладывается. Поэтому для создания новых отечественных гибких трубопроводов из ПКМ для СКВ в ЛА взамен зарубежных требуется разработка нового ТПМ, отвечающего современным требованиям [17]. Данная работа представляет большой научный интерес и является актуальной, так как без создания подобных материалов (ввиду возможного применения санкций со стороны США к предприятиям авиационной отрасли РФ) под угрозой срыва находится создание парка отечественной современной пассажирской авиационной техники.

Важно отметить, что разработка танепленочных 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

В связи с жесткими требованиями, предъявляемыми к пожаробезопасности, ТПМ должен изготавливаться преимущественно из негорючих материалов. Основа материала должна сочетать следующий комплекс свойств: низкая масса, негорючесть, инертность. Стеклоткани, благодаря своей структуре, обладают рядом уникальных свойств, таких как гибкость, высокая прочность при низкой массе, устойчивость к воздействию воды и агрессивных сред, жаропрочность и негорючесть, а также имеют отличные диэлектрические и теплоизоляционные качества и экологически безопасны [17].

С учетом доступности и оптимального комплекса механических и физических свойств в качестве основы для изготовления ТПМ опробованы отечественные электроизоляционные стеклоткани марок: Э1-100, Э2-80, Э2/1-80 и Э3/1-100 по ГОСТ 19907–2015. Физико-механические свойства стеклотканей представлены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства стеклотканей

Стеклоткань	Поверхностная плотность, г/м ²	Плотность нитей на 1 см (основа/уток)	Разрывная нагрузка (основа/уток), Н	Относительное удлинение до разрыва (основа/уток), %
Э1-100	112	20/20	890/657	4/3,5
Э2-80	100	20/20	760/713	3,7/3,3
Э2/1-80	85	20/16	771/726	5,2/3,8
Э3/1-100	108	16/16,5	723/670	5,7/4,9

Полимерное покрытие материала должно сочетать следующий комплекс свойств: негорючесть, герметичность, инертность, и обеспечивать возможность сваривания материала. Для обеспечения данных свойств в качестве компонентов полимерного покрытия опробовали полимерные композиции на основе фторкаучуков СКФ-32 или СКФ-264В/5 и кремнийорганического каучука Лестосил-СМ.

Фторкаучуки обладают высокой термостойкостью, стойкостью к агрессивным средам, повышенными механическими, антиадгезионными и другими свойствами,

а также способностью сохранять эти свойства в широком диапазоне рабочих температур и давлений [14].

В качестве наполнителя для фторкаучуков использовали оксид титана (IV). Наполнитель обеспечивает технологичность изготовления полимерной композиции и, кроме того, выполняет функцию пигмента, придавая материалу белый цвет [19].

Кремнийорганические каучуки характеризуются высокой теплостойкостью до 250°C, бензостойкостью, топливостойкостью, хорошей гидрофобностью и экологичностью [20]. Однако кремнийорганический каучук Лестосил-СМ является горючим, поэтому для снижения его горючести применяли галогенсодержащие антипирены. Однако при введении антипирена в Лестосил-СМ композиция приобретает резкий специфический запах, который не исчезает после удаления растворителя. В этой связи данную композицию исключили из дальнейших исследований, так как она оказалась непригодной для изготовления ТПМ для трубопроводов СКВ в ЛА по санитарно-гигиеническим аспектам.

Изготовление ТПМ проводили по технологии прямого послойного нанесения раствора полимерной композиции на текстильную основу при помощи ракельного ножа (шпредиговое). Процесс изготовления материала выглядит следующим образом:

- вальцевание компонентов полимерной композиции;
- растворение вальцованной смеси;
- послойное нанесение раствора полимерной композиции на стеклоткань с последующей сушкой каждого слоя на машине для нанесения.

Испытания образцов проводили по следующим методикам определения:

- массы 1 м² ТПМ – по ГОСТ 17073–71;
- разрывной нагрузки и удлинения при разрыве ТПМ – по ГОСТ 17316–71 (размер рабочего участка 50×200 мм);
- горючести – по АП-25 п. 853в, Приложение F, Часть I;
- влагопоглощения – по ГОСТ 8971–78;
- прочность при расслаивании – по ГОСТ 6768–75.

Оценку степени герметичности материала проводили по специально разработанному СТО 1-595-20-581–2018 на установке по определению пожаробезопасности материалов спасательных надувных трапов. Метод по оценке степени герметичности основан на воздействии заданного избыточного давления, создаваемого внутри герметичного цилиндра, в качестве лицевой стенки которого используется исследуемый образец материала, и определении времени, в течение которого снижение избыточного давления внутри испытательного модуля не превышает допустимое значение [21].

Результаты и обсуждение

С учетом предъявляемых требований во ФГУП «ВИАМ» разработан ТПМ для изготовления гибких трубопроводов СКВ для ЛА.

На первом этапе разработки материала выбрана ткань основы для ТПМ. Анализ результатов исследования разрывной нагрузки и относительного удлинения стеклотканей, представленных в табл. 2, показывает, что ТПМ на основе этих тканей будет иметь разрывную нагрузку выше, чем у иностранных аналогов; при этом поверхностная плотность этих тканей позволит обеспечить требуемую массу 1 м² разрабатываемого ТПМ – не более 300 г.

На втором этапе работы в целях выбора полимерного покрытия разрабатываемого ТПМ изготовлены и исследованы экспериментальные полимерные композиции на основе фторкаучука СКФ-264В/5 или СКФ-32 с различным содержанием фторполимера и наполнителя TiO₂.

Для выбора состава ТПМ изготовлены экспериментальные образцы и проведено исследование их основных свойств. Нанесение выбранных для исследований полимерных композиций на образцы стеклотканей (табл. 2) проводили в лабораторных условиях ручным способом по описанному ранее методу с применением шпателя. Нанесение каждого слоя полимерной композиции производили поочередно на лицевую и изнаночную сторону стеклотканей. Для удаления растворителя проводили сушку образцов в термошкафу в диапазоне температур от 80 до 110°C, продолжительность сушки 1–2 мин. Количество слоев и привес от одного слоя покрытия подбирали таким образом, чтобы обеспечить массу 1 м² изготовленных образцов ТПМ – не более 300 г.

В результате установлена зависимость герметичности ТПМ от плотности укладки нитей в стеклотканях и соотношения компонентов в рецептурах полимерных композиций на основе фторкаучуков. Исследования показали, что экспериментальные образцы ТПМ на основе чистого фторкаучука СКФ-264В/5 не герметичны из-за низкой герметичности чистого каучука, а также плохой совместимости каучука и фторполимера. Ткани Э2/1-80 и Э3/1-100 характеризуются разреженной структурой – меньшей плотностью нитей на 1 см, по сравнению с тканями Э1-100 и Э2-80, поэтому образцы ТПМ на их основе не соответствовали требованиям по герметичности.

При дальнейших исследованиях образцы ТПМ изготавливали на основе стеклотканей Э1-100 и Э2-80. Обнаружено влияние величины содержания TiO₂ и соотношения фторкаучука и фторполимера в полимерном покрытии на герметичность ТПМ. При высоком содержании TiO₂ и фторкаучука образцы ТПМ не сохраняли герметичность; при низком содержании TiO₂ – ТПМ не технологичен, так как имеет повышенную липкость. В результате исследований выбрана оптимальная полимерная композиция для формирования покрытия, разрабатываемого ТПМ.

Изготовлены образцы ТПМ на основе стеклотканей Э1-100 и Э2-80 с покрытием на основе фторкаучука СКФ-32 и проведены исследования степени герметичности, массы 1 м², толщины, физико-механических свойств и горючести – результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Свойства образцов из тканепленочного материала на основе стеклотканей Э1-100 и Э2-80 с полимерным покрытием на основе фторкаучука СКФ-32

Тканепленочный материал	Масса 1 м ² , г	Толщина, мм	Степень герметичности, %, при давлении 0,02 МПа*	Разрывная нагрузка, Н		Удлинение при разрыве, %		Горючесть по АП-25, Приложение F, Часть 1
				по основе	по утку	по основе	по утку	
Стеклоткань Э1-100	280	0,17	97	932	583	5,9	5,8	Трудногорящий
Стеклоткань Э2-80	272	0,15	94	864	653	3,6	3,2	

* Продолжительность испытания 15 мин.

Исследование показало соответствие свойств образцов ТПМ предъявляемым требованиям по массе, прочности, горючести и герметичности.

Однако в дальнейшем при входном контроле стеклоткани Э2-80 обнаружены следующие дефекты – неравномерность структуры из-за наличия нитей другой линейной плотности по утку и раздвижка нитей утка, которые могут оказать негативное влияние на прочность и герметичность материала при его серийном производстве. В результате проведенных исследований в качестве оптимального варианта выбран состав ТПМ на основе стеклоткани Э1-100.

На следующем этапе работы для проведения расширенных исследований и отработки воспроизводимости процесса на производственном оборудовании изготовлены три партии ТПМ на основе стеклоткани Э1-100 с двухсторонним наполненным фторполимерным покрытием белого цвета гладкой фактуры. Ширина материала составляла 90 см. Разработанному материалу присвоена марка ВРТ-12, его внешний вид представлен на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид тканепленочного материала марки ВРТ-12

Результаты испытаний прочностных свойств ТПМ при непосредственном воздействии температур -60 , $+20$, $+80$ и $+105^{\circ}\text{C}$ представлены на рис. 4. Из приведенных данных видно, что хотя с увеличением температуры испытания происходит снижение значений прочности материала, однако они находятся на высоком уровне и соответствуют предъявляемым требованиям. Изменение температуры не влияет на относительное удлинение ТПМ.

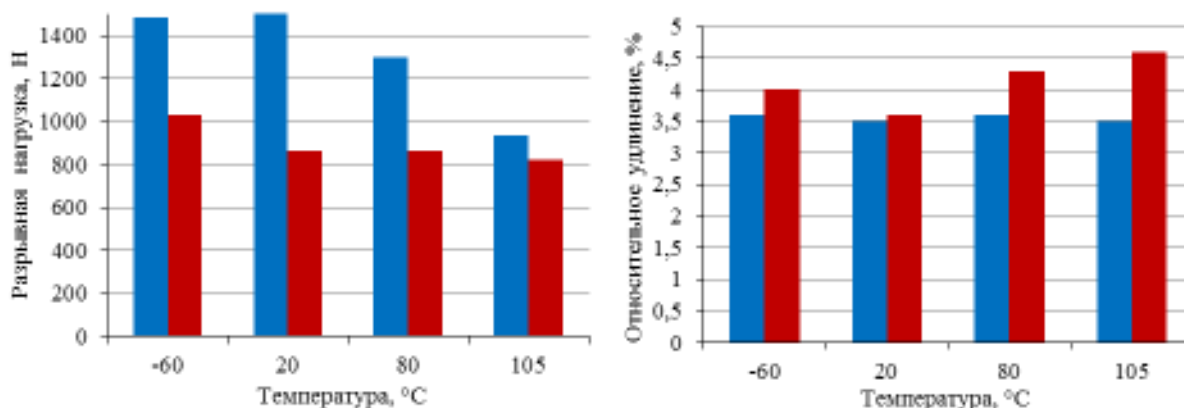


Рис. 4. Механические свойства тканепленочного материала марки ВРТ-12 по основе (■) и утку (■) при температурах от -60 до $+105^{\circ}\text{C}$

Исследование гигроскопичности материала в течение 24 ч показало, что разработанный материал обладает низким влагопоглощением: $0,3\%$ за 24 ч.

Основные свойства ТПМ марки ВРТ-12 в сравнении с российским аналогом представлены в табл. 4.

Из представленных данных видно, что свойства, полученные при испытаниях ТПМ марки ВРТ-12, удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Материал ВРТ-12 на 65% легче российского аналога – ткани прорезиненной невулканизированной 51-3Т-111, и превосходит аналог по разрывной нагрузке: по основе – на 51%, по утку – на 20%.

Таблица 4

Основные свойства тканепленочного материала ВРТ-12 в сравнении с аналогом

Свойства	Значения свойств для	
	тканепленочного материала ВРТ-12	российского аналога – ткани 51-3Т-111
Масса 1 м ² , г	258	425±25
Разрывная нагрузка (основа/уток) при 20°С, Н	1507/864	736/687
Удлинение при разрыве (основа/уток) при 20°С, %	3,5/3,6	–
Горючесть	Трудногорающий (по АП-25, Приложение F, Часть I)	Огнестойкое резиновое покрытие
Степень герметичности	Сохранение избыточного давления 0,02 МПа в течение 15 мин – не менее 97%	Герметична при давлении 0,01 МПа
Гигроскопичность, %, в течение 24 ч при φ=98%	0,3	–

Одной из технологических особенностей процесса изготовления гибкого рукава трубопровода СКВ является образование соединения в виде шва. Для сокращения трудоемкости и материалоемкости при создании соединения в виде шва предложен метод термосваривания ТПМ. В этой связи проведено исследование способности покрытия ТПМ к свариванию. Методом термосваривания в прессе получены образцы для исследования прочности сварного шва на отрыв и на сдвиг при нахлесте шва 20 мм и размерах рабочих участков образцов 25×100 мм. Исследование показало (табл. 5), что механизм расслоения образцов является адгезионным. Тканепленочный материал марки ВРТ-12 превосходит аналог – ткань 51-3Т-111 – по прочности при расслоении в ~4 раза.

Таблица 5

Адгезионные свойства тканепленочного материала ВРТ-12

Свойства	Требования по ТЗ	Значение свойств для	
		тканепленочного материала ВРТ-12	российского аналога – ткани 51-3Т-111
Прочность сварного шва при отрыве, Н/мм	Полимерное покрытие должно обеспечивать возможность сваривания материала	0,4–0,6	0,1 (прочность клеевого шва)
Прочность сварного шва при сдвиге, Н		707 (разрушение по материалу)	–

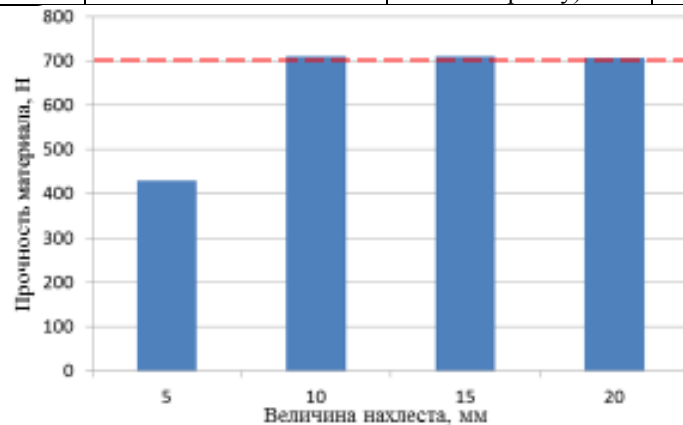


Рис. 5. Зависимость прочности сварного шва тканепленочного материала от величины нахлеста

Прочность сварного шва при сдвиге при величине нахлеста шва >10 мм больше прочности материала, при испытании происходит разрушение образца по материалу (рис. 5), поэтому полимерное покрытие обеспечило возможность термосваривания материала.

Заключения

Проведен анализ научно-технических информационных источников в области ТПМ, применяемых для изготовления гибких трубопроводов СКВ для ЛА. В результате сформулированы требования к разрабатываемому отечественному ТПМ.

Проведенные исследования по разработке ТПМ для изготовления гибких трубопроводов СКВ показали, что наилучший комплекс свойств имеет ТПМ, изготовленный на основе стеклоткани Э1-100 с двухсторонним наполненным фторполимерным покрытием. Материалу присвоена марка ВРТ-12.

Исследование основных свойств опытных партий материала ВРТ-12 показало соответствие предъявляемым требованиям: по горючести соответствует требованиям АП-25, Приложение F, Часть I; выдерживает избыточное давление 0,02 МПа; имеет низкое влагопоглощение 0,3% за 24 ч. Тканепленочный материал на 40% легче российского аналога – ткани прорезиненной невулканизованной 51-3Т-111, и превосходит аналог по разрывной нагрузке: по основе – на 51%, по утку – на 20%.

Полимерное покрытие ТПМ обеспечивает возможность термосваривания материала.

На основе полученных результатов материал рекомендован к опробованию в конструкции гибких трубопроводов СКВ для ЛА.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Воздуховоды низкого давления из ПКМ в летательных аппаратах // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №8 (44). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.02.2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-8-8.
2. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 3–9.
3. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С. 36–39.
4. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
5. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
6. 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. докл. конф. М.: ВИАМ, 2017. С. 16.
7. Ветрова Л.Е., Ионова В.Ф., Таскаева П.В., Титаренко А.Т., Шпаков В.П. Ткани с эластомерным покрытием для мягких оболочных конструкций. М.: Весь Сергиев Посад, 2012. 304 с.
8. Ultra-lightweight air distribution & insulation systems. URL: <http://www.senioraerospacebw.co.uk> (дата обращения: 15.02.2019).
9. Aeroduct. URL: <http://www.hbdthermoid.com> (дата обращения: 15.02.2019).
10. Herber Aircraft – a Flexfab Distributor. URL: <http://www.herberaircraft.com> (дата обращения: 15.02.2019).
11. High performance foam solutions for specialist markets worldwide. URL: <http://www.zotefoams.com> (дата обращения: 15.02.2019).
12. Прорезиненные ткани. URL: <http://www.niirp.com> (дата обращения: 15.02.2019).
13. Стеклоткани с силиконовым покрытием. URL: <http://www.chemproduct.ru> (дата обращения: 15.02.2019).

14. Нестерова Т.А., Барботько С.Л., Николаева М.Ф., Гертер Ю.А. Многослойный защитно-декоративный материал для декорирования деталей в салонах самолетов и вертолетов // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал. 2013. №8. Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.02.2019).
15. 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.
16. Каблов Е.Н., Старцев В.О., Иноземцев А.А. Влагонасыщение 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.
17. Иванов М.С., Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Донских И.Н. Тканепленочный материал для изготовления гибких элементов системы кондиционирования воздуха в летательных аппаратах // Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения: сб. докл. конф. ВИАМ: Москва, 2018. С. 147.
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.
19. Платонов М.М., Нестерова Т.А., Назаров И.А., Бейдер Э.Я. Пожаробезопасный материал на текстильной основе с полиуретановым покрытием для надувной оболочки спасательного трапа // Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 50–54.
20. Венедиктова М.А., Наумов И.С., Чайкун А.М., Елисеев О.А. Современные тенденции в области фторсилоксановых и силоксановых каучуков и резин на их основе (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2014. №S3. С. 17–24. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-s3-17-24.
21. Нестерова Т.А., Платонов М.М., Назаров И.А., Барботько С.Л. Исследования по разработке нового материала для баллонета пневматического трапа для аварийного покидания кабины вертолета // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журнал. 2016. №12 (48). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 15.02.2019) DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-7-7.