

УДК 678.8

*Е.А. Вешкин<sup>1</sup>, Р.А. Сатдинов<sup>1</sup>, В.И. Постнов<sup>1</sup>, С.В. Стрельников<sup>1</sup>***СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ  
СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА  
В ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-12-6-6

*Проведен анализ импортных материалов для изготовления воздуховодов систем кондиционирования воздуха (СКВ) и на его основании определены основные минимальные требования к разрабатываемым российским материалам. Выбраны составы полимерных композиционных материалов (ПКМ) для гибких и жестких элементов СКВ, исследованы и отработаны технологические параметры изготовления стеклопластика для жестких элементов СКВ. Разработан новый отечественный стеклопластик для изготовления жестких элементов воздуховодов СКВ. Проведено исследование его свойств.*

**Ключевые слова:** *воздуховоды СКВ из ПКМ, стеклопластик, свойства, аналог, препрег, ПКМ.*

*The analysis of imported materials for the manufacture of air conditioning ducts has been carried out and, based on it, the basic minimum requirements for the Russian materials being developed are determined. Compositions for flexible and rigid SCR elements were selected, and technological parameters for the manufacture of GRP for rigid SCR elements were investigated and worked out. A new domestic glass fiber reinforced plastic for the manufacture of rigid elements of air ducts SKV was developed. The study of its properties is carried out.*

**Keywords:** *air ducts SCR from PCM, fiberglass, properties, analog, prepreg, glassfiber composite.*

---

<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**

Одними из наиболее важных задач в развитии аэрокосмической техники являются снижение массы и увеличение эксплуатационного ресурса летательных аппаратов (ЛА) – для обеспечения эффективности и надежности их использования в коммерческих целях. Значительного прогресса в этом направлении удалось добиться благодаря широкому применению полимерных композиционных материалов (ПКМ) взамен металлов в конструкциях аэрокосмической техники, что обусловлено их уникальными свойствами, такими как низкая объемная плотность, химическая и коррозионная стойкость, высокая удельная прочность, возможность создания крупногабаритных пространственно-сложных конструкций, способствующих снижению количества и массы соединительных элементов и др.

В этой связи для создания перспективных ЛА не обойтись без разработки новых и совершенствования уже разработанных ПКМ, при этом разрабатываемые технологии для их переработки должны основываться на замкнутых процессах, когда отходы или минимальны и безопасны, или вовсе отсутствуют [1]. Для этого важнейшим стратегическим направлением в нашей стране должна стать отечественная наука [2, 3].

В настоящее время в РФ создаются новейшие региональные и ближне-среднемагистральные пассажирские самолеты, а также запланировано создание широкофюзеляжного пассажирского самолета. Однако для обеспечения их конкурентоспособности на внутреннем и мировом рынках необходимо применение в их конструкциях современных материалов. Не является исключением и конструкция системы кондиционирования воздуха (СКВ) – бортовая система жизнеобеспечения. Она обеспечивает параметры давления, влажности, температуры и состава воздуха во всем диапазоне режима полета, необходимые для поддержания жизнедеятельности экипажа и пассажиров (при полетах в различных климатических условиях) [4, 5]. Как все современные системы, СКВ является сложной в проектировании системой из-за необходимости получения минимальной массы, компактного размещения, надежности и максимального комфорта для пассажиров и членов экипажа, в том числе и по создаваемому шуму. В связи с вышеизложенным, материалы для проектирования данной системы должны отвечать следующим современным требованиям:

- обеспечивать требования по пожарным характеристикам (АП-25 или FAR25);
- иметь минимально возможную массу и высокую надежность при эксплуатации в течение всего технического ресурса самолета;
- отвечать требованиям по герметичности (ОСТ1 00128–74);
- обеспечивать технологичность и серийность;
- обеспечивать стабильность свойств от партии к партии.

При этом технологии переработки материалов в изделия должны быть трудо-, энерго- и ресурсосберегающими в соответствии с мировым трендом, направленным на экономичное производство.

Учитывая прогнозы мирового рынка, которые показывают увеличение спроса на пассажирские ЛА, можно сделать вывод о росте объемов поставок СКВ авиационным предприятиям, в том числе и российским [6, 7]. Мировыми лидерами по производству элементов СКВ являются такие компании, как BWT Senior Aerospace (Англия), Flexco Composite (США), Flexfab (США) и Technifab (США), ОКБ «Аэрокосмические системы» (РФ).

В современных пассажирских ЛА длина воздуховодов СКВ может достигать >100 м, а масса 500–600 кг. При этом СКВ для ЛА состоит в основном из жестких сложнопрофилированных воздуховодов (тройники, трубы, патрубки и т. п.) и гибких рукавов для их соединения (рис. 1), что позволяет сэкономить полезное пространство внутри фюзеляжа.

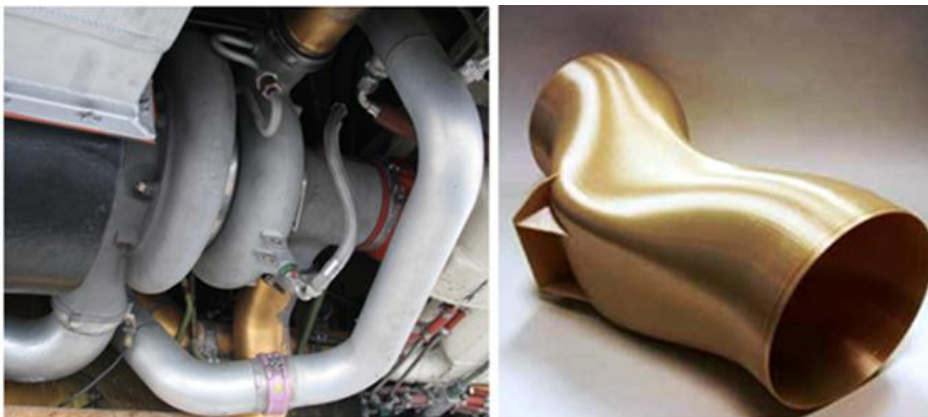


Рис. 1. Виды воздуховодов систем кондиционирования воздуха для летательных аппаратов

В РФ в настоящее время элементы СКВ для ЛА изготавливают из алюминиевых сплавов или с применением импортных или ранее разработанных отечественных полимерных материалов. Однако из-за большой трудоемкости изготовления и энергозатратности процесса, потребности снижения массы и коррозионной активности металлических элементов, а также ограничения применения импортных полимерных материалов, связанных с действием санкций, разработчики отечественной авиационной техники ведут поиск российских материалов с низкой плотностью, которые будут обеспечивать необходимые прочностные и эксплуатационные характеристики, удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к конструкции СКВ. В этой связи разработка современных ПКМ для системы кондиционирования воздуха ЛА, ввиду специфики их изготовления, является актуальной задачей, которая позволит уменьшить время и энергозатраты при изготовлении сложнопрофильных воздуховодов и решить проблему импортозамещения [8, 9].

Следует отметить, что попытка внедрения ПКМ при изготовлении воздуховодов СКВ для ЛА в нашей стране предпринималась в конце восьмидесятых годов прошлого столетия. Однако разработанные тогда ПКМ не отвечают современным требованиям по пожаробезопасным характеристикам и имеют большую трудоемкость и энергоемкость изготовления.

В этой связи целью данной работы являются анализ зарубежных полуфабрикатов и ПКМ из них, используемых для изготовления жестких и гибких воздуховодов СКВ для ЛА, формирование основных требований к ним и разработка отечественного аналога материала для жестких элементов СКВ.

Данная работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2. «Разработка стеклопластика на основе ткани с низкой поверхностной плотностью и пожаробезопасного быстроотверждаемого связующего ВСФ-16М» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [10].

### Материалы и методы

Измерение вязкости полимерного связующего в зависимости от температуры нагрева и продолжительности выдержки осуществляли по ГОСТ 25276–82 с применением ротационного вискозиметра Брукфильда САР 2000+Н.

Для проведения термогравиметрического анализа применяли приборы Derivatograf Q-1000 компании MOM и STA 449 F3 фирмы Netzsch.

Определение реакционной способности термореактивных связующих методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) проводили на приборе DSC-204 F1 фирмы Netzsch.

Определение температуры стеклования матрицы в пластике проводили методом ДМА на приборе DMA 242E фирмы Netzsch.

Определение предела прочности и модуля упругости при растяжении стеклопластиков проводили в соответствии с ГОСТ 11262–80 на испытательной машине Zwick/Roell Z050.

Предел прочности при сжатии стеклопластиков определяли в соответствии с ГОСТ 4651–2014.

Определение предела прочности образцов стеклопластика при статическом изгибе осуществляли в соответствии с ГОСТ 4648–2014.

Определение предела прочности образцов стеклопластиков при межслойном сдвиге осуществляли по ГОСТ 32659–2014 и РД 50-675–88.

Определение объемной плотности ( $\rho_{пл}$ ) проводили по ГОСТ 15139–69.

### Результаты и обсуждение

Как отмечалось ранее, мировая тенденция изготовления СКВ для современных ЛА подразумевает применение в ее конструкции жестких патрубков и коробов, а также гибких рукавов в качестве трубопроводов, выполненных из ПКМ. В этой связи с целью формирования комплекса минимально допустимых свойств разрабатываемого отечественного стеклопластика рассмотрены свойства зарубежных аналогов для изготовления жестких элементов СКВ [11, 12]. В табл. 1 приведены свойства препрегов и стеклопластиков на их основе (зарубежного производства), используемых западными компаниями для изготовления элементов СКВ для ЛА.

Таблица 1

**Основные показатели импортных полимерных композиционных материалов**

Свойства	Значения свойств для зарубежного аналога на основе препрега		
	Сусом 799HE/120 (фирма Cytec, США)	PHG831-44-40 (фирма Gurit, Германия)	200/38%/644 (фирма Hexcel, США)
Связующее	Фенольное	Фенольное	Фенольное
Масса наполнителя, г/м <sup>2</sup>	105±5	105±5	305±15
Содержание связующего, %	40–45	40–45	35–40
Поверхностная плотность препрега, г/м <sup>2</sup>	170–190	170–190	470–490
Предел прочности, МПа: при растяжении при изгибе при сжатии	280 – 230	300 500 250	520 490 365
Плотность пластика, г/см <sup>3</sup>	–	1,9	–
Горючесть	–	Трудногорающий	–
Толщина монослоя пластика, мм	0,10	0,10	0,25
Режим формования: температура, °С время, мин	120 60	140 50	135 90

В результате анализа свойств, приведенных в табл. 1, установлено, что изготовление препрегов и ПКМ на их основе ведется с применением стеклонаполнителей. Данный факт свидетельствует о том, что для изготовления элементов СКВ используется ПКМ с низкой объемной плотностью, с высокой коррозионной стойкостью, со средними показателями удельной прочности и жесткости, а также с относительно низкой стоимостью. Кроме того, применение стеклотканей с различной поверхностной плотностью обуславливается наличием нескольких толщин стенок в конструкциях коробов элементов СКВ. Так, в толстостенных конструкциях рационально комбинировать стеклоткани с большей величиной слоя в пластике со стеклотканями, дающими меньшую толщину слоя. Например, внешние слои необходимо выполнять из препрега с низкой поверхностной плотностью – меньшей толщины слоя, а средние – из более тяжелого препрега, который даст большую толщину слоя и снизит трудоемкость при раскрое и выкладке заготовок. В то же время в тонкостенных коробах СКВ необходимо использовать только стеклоткани с низкой поверхностной плотностью. Поэтому для снижения массы воздухопроводов за счет уменьшения толщины стенок пластика существует необходимость использования материалов с низкой поверхностной плотностью. Еще одной отличительной характеристикой при выборе материала является режим его формования, а точнее, конечная температура отверждения полимерной матрицы и продолжительность выдержки при ней – чем ниже данные показатели, тем экономичнее процесс отверждения.

Поскольку в настоящее время существует разработанный во ФГУП «ВИАМ» стеклопластик марки ВПС-42П на основе стеклоткани марки Т-15(П)-76 с полыми нитями, который можно использовать как тяжелый препрег, то на основании проведенного анализа и с целью создания тонкостенных конструкций воздуховодов низкого давления сформулированы минимальные требования к стеклопрепрегу с низкой поверхностной плотностью, а также к ПКМ на его основе (табл. 2) [13, 14].

Таблица 2

**Основные характеристики разрабатываемого полимерного композиционного материала**

Свойства	Значения свойств		
	разрабатываемого стеклопластика (Россия)	аналога на основе препрега	
		DAN 407 (PHG831-44-40), Германия	Сусом 799HE/120 (фирмы Cytec, США)
Предел прочности при сжатии, МПа (не менее)	250	250	230
Плотность пластика, г/см <sup>3</sup> (не более)	1,9	1,9	–
Горючесть	Трудногорающий	–	–
Режим формования: температура, °С	140	140	121
время, мин	30	50	60

Из имеющегося опыта и выбранных минимальных показателей основных характеристик (табл. 2) определены приемлемый наполнитель и полимерное связующее для разработки нового материала. Так, на основании работ [15–17] и проведенного сравнительного анализа свойств стеклотканей с низкой поверхностной плотностью – не выше 120 г/м<sup>2</sup> (табл. 3), и фенолформальдегидных связующих (табл. 4) выбран состав разрабатываемого стеклопластика.

Таблица 3

**Характеристики стеклотканей**

Стеклоткань	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Разрывная нагрузка по основе/утку, кг
А-1	108±10	77,5/75,5
Т-64(ВМП)	98±5	135/70,5
ЭЗ/1-100	108±10	72/67
В препреге Сусом 799Н/120 (фирма Cytec, США)	105±10	125/120
В препреге PHG831-44-40 (фирма Gurit, Германия)	105±10	–

Таблица 4

**Сравнительные свойства связующих**

Свойства	Значения свойств связующих			
	ВСФ-16М (Россия)	РС-Н (Россия)	Сусом 799HE (США)	РН 831 (Германия)
Внешний вид, цвет	Однородный раствор коричневого цвета	Однородный прозрачный раствор красно-коричневого цвета без механических включений	–	–
Концентрация, %	72–80	73–80	65	65
Условная вязкость, с, при температуре 20±1°С по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм	20–60	10–65	–	–
Время желатинизации при температуре 120±2°С, мин	3–8	6–12	7–17	7–15

Из данных, приведенных в табл. 4, видно, что разработанные отечественные связующие по своим показателям не уступают зарубежным аналогам, а по содержанию растворимых веществ имеют преимущество, так как при работе с ними происходит меньший выброс в атмосферу токсичных летучих веществ. В этой связи для создания нового стеклопластика выбраны: связующее марки ВСФ-16М, отличающееся высокими пожаробезопасными характеристиками и имеющее короткий цикл отверждения при температуре 120°C, а также стеклоткань марки Т-64(ВМП), имеющая наименьшую из анализируемых отечественных наполнителей поверхностную плотность и наибольшие прочностные показатели по основе.

В последующем в результате проведенной работы создан стеклопластик марки ВПС-42П/Т-64, имеющий уровень основных свойств, приведенный в табл. 5.

Таблица 5

Свойства	Свойства стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64 в сравнении с аналогом	
	Значения свойств для	
	стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64	зарубежного аналога на основе препрега DAN 407 (PHG831-44-40), Германия
Предел прочности, МПа:		
при растяжении	620	500
при сжатии	510	250
при изгибе	815	–
при сдвиге	49	–
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,69	1,9
Пористость, %	3,8	≤8

Из данных табл. 5 видно, что разработанный стеклопластик имеет уровень свойств выше свойств западных аналогов; при этом все показатели отвечают выбранным минимальным свойствам, приведенным в табл. 2.

Для его разработки на первоначальном этапе спрогнозировали оптимальное соотношение «наполнитель/матрица» в создаваемом ПКМ, при условии его абсолютной монолитности. Для этого на испытательной машине Zwick/Roell Z050 проведено исследование зависимости величины уплотнения «сухих» слоев наполнителя (ткань марки Т-64) от прикладываемого удельного давления. По результатам исследований установлена зависимость величины слоя ткани марки Т-64 от создаваемого удельного давления, которая представлена в графическом виде на рис. 2.

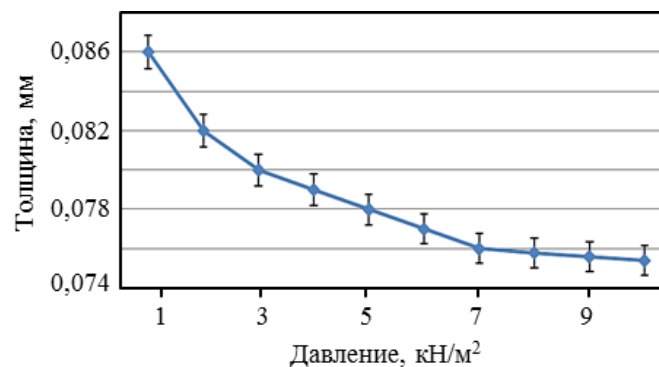


Рис. 2. Зависимость толщины слоя стеклоткани марки Т-64 от величины удельного давления

Для формования пластика выбрано давление  $2 \text{ кН/м}^2$ , при этом толщина моно-слоя стеклопрепрега в пластике должна быть  $\sim 0,082 \text{ мм}$  (рис. 2). С учетом полученных экспериментальных результатов (толщины и поверхностной плотности ткани, а также объемной плотности стеклонаполнителя и связующего) рассчитана норма связующего в препреге для разрабатываемого ПКМ [18]. По полученным расчетам она составила  $44 \pm 4\%$ .

На основании вышеизложенного выбраны, а в дальнейшем уточнены параметры технологического процесса изготовления препрега на пропиточной установке. В результате проведенной отработки и оценки воспроизводимости процесса пропитки изготовлены несколько опытных партий препрега. По проведенным исследованиям свойств указанных партий препрега установлены основные свойства разработанного препрега стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64, которые представлены в табл. 6.

Таблица 6

<b>Характеристики разработанного полимерного композиционного материала</b>	
Показатель	Значения показателей для стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64
Марка связующего	ВСФ-16М
Марка стеклоткани	Т-64
Массовая доля связующего в препреге, %	40–48
Поверхностная плотность препрега, $\text{г/м}^2$	160–200
Массовая доля летучих веществ, %	Не более 8

Исследования по определению гарантийного срока хранения препрега показали, что препрег остается пригодным для применения в течение 90 дней при температуре хранения от  $0$  до  $5^\circ\text{C}$  и 30 дней – при температуре хранения от  $15$  до  $25^\circ\text{C}$ .

В настоящее время основным способом изготовления стеклопластика является послойная выкладка стеклопрепрега на формообразующую оснастку с последующей укладкой вспомогательных материалов и дальнейшим отверждением полученной сборки под вакуумным мешком в автоклаве, термопечи или прессе. Однако для формования пустотелых замкнутых коробов СКВ, имеющих различные ответвления для их стыковки с гибкими воздуховодами, перечисленные методы не приемлемы. В этой связи предложен метод изготовления коробов СКВ с созданием избыточного давления при формовании эластичным пуансоном в виде камеры, помещаемой внутрь заготовки. При этом снаружи заготовка ограничена оболочкой формообразующей оснастки.

Перед отработкой изготовления экспериментальных образцов коробов, с использованием приборов термоанализа и вакуум-автоклавного способа формования отработаны основные параметры технологического режима отверждения стеклопластика, обеспечивающие заявленные в табл. 5 свойства. Проведенные исследования показали, что температура окончательного формования стеклопластика ВПС-42П/Т-64 может быть в диапазоне – от  $130$  до  $180^\circ\text{C}$ . При этом установлено, что с увеличением температуры изотермической выдержки снижается время формования. В результате проведенных исследований разработана технология изготовления стеклопластика марки ВПС-42П/Т-64.

Для проверки технологичности разработанного материала, а также с целью опробования и отработки изготовления экспериментальных образцов жестких коробов СКВ из ПКМ, модернизирована существующая конструкция элемента СКВ, для изготовления которой металл был заменен стеклопластиковыми марок ВПС-42П и ВПС-42П/Т-64 (рис. 3). Для реализации проекта спроектирована и изготовлена разборная формообразующая полимерная оснастка, состоящая из четырех частей (рис. 4) [19].

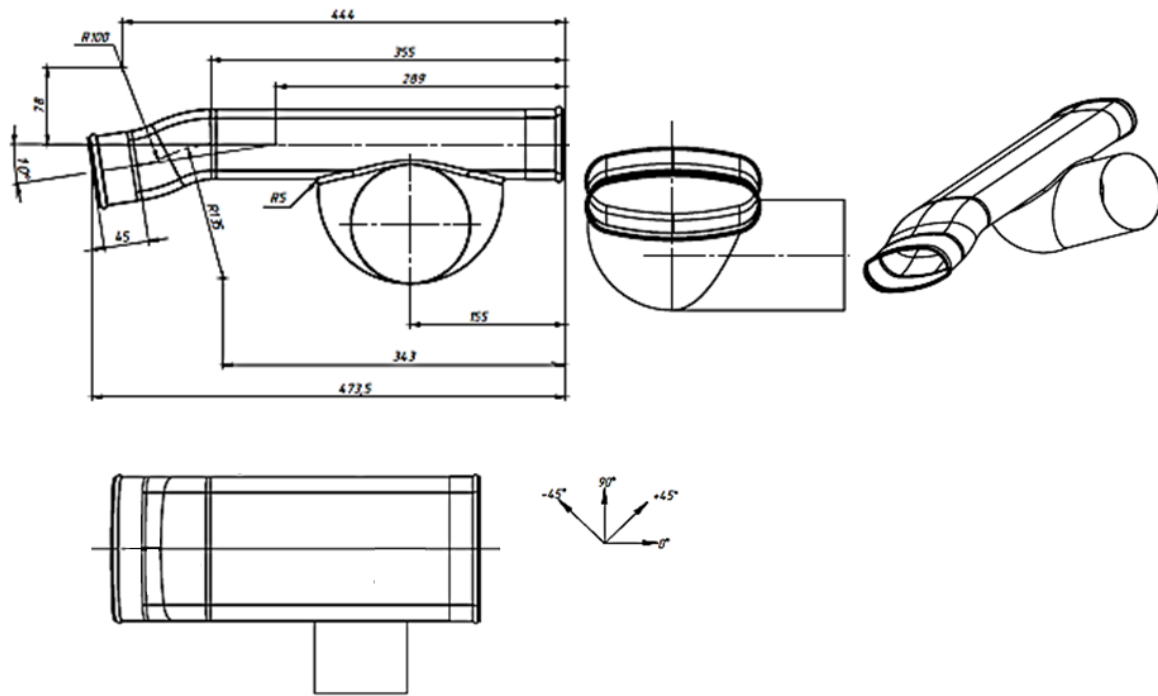


Рис. 3. Чертеж элемента системы кондиционирования воздуха



Рис. 4. Частично собранная формообразующая полимерная оснастка

В дальнейшем проведена работа по выбору оптимальной формы, геометрических размеров и разнесению стыков в слоях препрега для выкладки заготовки короба СКВ. В процессе проведения исследований для обеспечения съема короба с оснастки на ее поверхность нанесены антиадгезионные слои [20]. На рабочую поверхность оснастки выложены слои препрега согласно разработанной схеме. По завершении процесса выкладки препрега на частях оснастки, они собирались в единую заготовку, внутрь которой помещена камера, части оснастки соединялись между собой болтами через отверстия в фланцах. Формование детали производили в термопечи с созданием избыточного давления за счет раздува камеры, заложенной внутрь заготовки. В результате формования, демонтажа частей оснастки, извлечения камеры и механических операций получен образец, показанный на рис. 5.

Изготовленный экспериментальный образец подтвердил правильность выбранных параметров, полученных при отработке процесса его изготовления.



Рис. 5. Экспериментальный образец элемента системы кондиционирования воздуха (тройник)

Одним из основных критериев, предъявляемых к элементам СКВ, является их герметичность. В этой связи проведено исследование герметичности стеклопластика и полученного экспериментального образца элемента СКВ согласно ОСТ1 00128–74 (герметичность изделий). В связи с тем, что из-за пористости ПКМ изготовленные образцы стеклопластика не обеспечивали требуемого уровня герметичности, выбран дополнительный герметизирующий слой, который отличался высокими (защитными, электроизоляционными, антиадгезионными) свойствами и показал хорошую устойчивость к действию агрессивных сред (кислот, щелочей, растворителей, влаги). В результате нанесения данного слоя на поверхность образцов разработанного стеклопластика и повторного их испытания установлено, что они соответствуют требованиям герметичности.

По совокупности проведенной работы получены конкурентоспособный отечественный материал, не уступающий по своим характеристикам зарубежным аналогам, для изготовления жестких элементов СКВ и технология его переработки в изделия, готовые к внедрению их в серийное производство.

Однако, как отмечалось ранее, наряду с жесткими элементами, в СКВ применяются и гибкие рукава. Если в настоящее время в зарубежной авиационной технике стало уже нормой изготовление гибких элементов СКВ самолетов из ПКМ, то в России их внедрение затормозилось. В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» ведется разработка материала для изготовления гибких трубопроводов и уже определены его состав и основные характеристики. В табл. 7 показаны сравнительные характеристики материалов для изготовления гибких элементов СКВ отечественного и зарубежного производства.

Таблица 7

**Сравнительные характеристики материалов**

Свойства	Значения свойств для		
	разрабатываемого отечественного аналога	отечественного аналога по ТИ-0116–94	зарубежного аналога типа SPS (компания Senior Aerospace BWT)
Тип покрытия	Фторкаучук	Полихлоропреновый каучук	Силикон
Масса стеклонаполнителя, г/м <sup>2</sup>	95±5	105±5	50±5
Масса тканепленочного материала, г/м <sup>2</sup>	Не более 300	425	200
Прочность при растяжении, Н:			
	по основе	500	736
по утку	400	687	250

Из данных табл. 7 видно, что существующий отечественный материал для изготовления гибких рукавов СКВ уступает по массе аналогам, что является критичным показателем для снижения массы СКВ в целом. Данный показатель для импортного

образца – минимальный. Однако из-за отсутствия производства отечественных стеклотканей с поверхностной плотностью не более  $55 \text{ г/м}^2$  массу разрабатываемого тканепленочного материала рассчитывали исходя из изготавливаемых в России тканей с наименьшей поверхностной плотностью. Основываясь на имеющихся разработках, установлено, что, для получения герметичного тканепленочного материала методом шпрединга, привес двухстороннего полимерного покрытия должен составлять не менее 100–150% от массы текстильной основы. В этой связи его поверхностная плотность находится в диапазоне  $290\text{--}298 \text{ г/м}^2$ .

Проанализирована также конструкция зарубежных гибких трубопроводов. На рис. 6 показана типовая конструкция гибкого элемента СКВ. Анализ показал, что трубопроводы состоят из герметичной оболочки в виде рукава и поддерживающего каркаса. При этом оболочка представляет собой ткань, пропитанную полимерным составом, а каркас выполнен из металла или полимера. В настоящее время исследования в этом направлении продолжаются.



Рис. 6. Типовая конструкция гибкого элемента системы кондиционирования воздуха

Разработанные материалы для изготовления стеклопластиковых коробов (а также разрабатываемый в данное время материал для гибких рукавов) воздухопроводов низкого давления для СКВ должны обеспечить снижение массы системы не менее чем на 20% (по сравнению с металлами).

### Заключения

В результате проделанной работы получены следующие результаты:

- разработан новый отечественный материал для изготовления жестких элементов СКВ, не уступающий импортным аналогам и отвечающий предъявляемым к нему требованиям по горючести (отвечает требованиям АП-25), плотности, механическим свойствам и режиму формования (не уступает зарубежным аналогам);
- разработана готовая к применению в серийном производстве технология изготовления стеклопластиковых коробов СКВ;
- выбран дополнительный герметизирующий слой, который по проведенным исследованиям герметичности (согласно ОСТ1 00128–74) обеспечил необходимый уровень свойств разработанному стеклопластику;
- определены основные направления для разработки материала и конструкции при изготовлении гибких элементов СКВ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. ВИАМ. Направление главного удара // Наука и жизнь. 2012. №6. С. 14–18.
2. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: Наука и жизнь, 2013. 128 с.
3. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. №S1. С. 3–9.
4. Каблов Е.Н., Кириллов В.Н., Жирнов А.Д., Старцев О.В., Вапиров Ю.М. Центры для климатических испытаний авиационных ПКМ // Авиационная промышленность. 2009. №4. С. 36–46.
5. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э. и др. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ // Докл. IX Междунар. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». М., 2012. С. 122–123.
6. Прогнозы развития мирового рынка гражданской авиации // Техническая информация. 2003. Вып. 3–4. С. 6.
7. Global Market Forecast [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airbus.com> (дата обращения: 17.11.2017).
8. Постнова М.В., Постнов В.И. Опыт развития безавтоклавных методов формования ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №4. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.11.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
9. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В., Абрамов П.А., Сатдинов Р.А. Опыт применения технологического контроля полуфабрикатов ПКМ // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. №6 (2). С. 393–398.
10. 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.
11. Компания Gurit: офиц. сайт. URL: <http://www.mobile.gurit.com> (дата обращения: 17.11.2017).
12. Компания Hexcel: офиц. сайт. URL: <http://www.hexcel.com> (дата обращения: 17.11.2017).
13. Застрогина О.Б., Швец Н.И., Постнов В.И., Серкова Е.А. Фенолформальдегидные связующие нового поколения для материалов интерьера // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 265–272.
14. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Застрогина О.Б., Сатдинов Р.А. Технология ускоренного формования трехслойных сотовых панелей самолета // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. №4–4. С. 799–805.
15. Вешкин Е.А., Абрамов П.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. Влияние технологии подготовки препрега на свойства ПКМ // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. №9. С. 8–14.
16. 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. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.11.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-8-8.
17. Сатдинов Р.А., Истягин С.Е., Вешкин Е.А. Анализ температурно-временных параметров режимов отверждения ПКМ с заданными характеристиками // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2017. №3. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.11.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-3-9-9.
18. Вешкин Е.А. Особенности безавтоклавного формования низкопористых ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №2. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.11.2017). DOI: 10.1857/2307-6046-2016-0-2-7-7.
19. Постнов В.И., Стрельников С.В., Макрушин К.В., Вешкин Е.А. Семипрег для полимерных оснасток // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития: тез. докл. V Междунар. науч.-практич. конф. Ульяновск, 2016. С. 186–188.
20. Сатдинов Р.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Абрамов П.А. Роль антиадгезионных покрытий в технологическом процессе формования ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №4. Ст. 10. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.11.2017). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-10.