

УДК 678.8

*Р.А. Сатдинов¹, Е.А. Вешкин¹, В.И. Постнов¹, С.В. Стрельников¹***ВОЗДУХОВОДЫ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ИЗ ПКМ
В ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-8-8-8

Проведен обзор литературы в области материалов для воздуховодов низкого давления в системе кондиционирования воздуха. Проведено сравнение основных отечественных и импортных материалов для изготовления воздуховодов. Определены требования для разработки конкурентоспособного отечественного материала для изготовления элементов воздуховодов низкого давления из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Ключевые слова: *система кондиционирования воздуха (СКВ), стеклопластик, свойства, воздуховоды низкого давления, противопожарные требования, связующее, аналог, препрег, ПКМ.*

A review of the literature in the field of materials for low-pressure air ducts in the air-conditioning system is presented. A comparison of the major domestic and imported materials for the manufacture of air ducts is performed. The requirements for development of a competitive domestic material for manufacture of low-pressure air duct elements of PCM are determined.

Keywords: *ACS, fiberglass, properties, low-pressure air ducts, fire-prevention requirements, middleware, analog, prepreg, PCM.*

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

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17.2. «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») [1].

Снижение массы конструкции как инструмент повышения экономической эффективности летательных аппаратов является одной из приоритетных задач развития современной авиационной техники. В решении данной проблемы при создании самолетов все более широкое применение находят полимерные композиционные материалы (ПКМ). Стратегия развития до 2030 года предусматривает создание ПКМ нового поколения [2], отвечающих требованиям, предъявляемым к современной авиационной технике. В настоящее время в РФ предусмотрено создание нового семейства ближне-среднемагистральных самолетов, и одной из важнейших задач при проектировании пассажирских салонов самолетов является создание системы кондиционирования воздуха (СКВ).

Система кондиционирования воздуха – одна из главных бортовых систем жизнеобеспечения, которая предназначена для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности пассажиров и экипажа, поддержания необходимых параметров

воздуха в кабине и салоне, охлаждения радиоэлектронного оборудования во всем диапазоне режимов полета (при полетах в различных климатических условиях) [3, 4].

Основные требования к работе СКВ и ее подсистем сводятся к следующему:

- должна обеспечивать заданные значения по давлению, влажности и газовому составу воздуха в кабине на всех режимах полета и на земле независимо от внешних климатических условий;
- температура воздуха в кабине экипажа и в пассажирских салонах самолета должна задаваться и управляться независимо;
- должна предусматриваться возможность обогрева и охлаждения кабин на земле без запуска двигателей с помощью бортовых и наземных устройств;
- на самолетах с продолжительностью полета больше 2 ч необходимо предусматривать систему увлажнения для поддержания относительной влажности в кабине не менее 25%.

В основе проектирования воздухопроводов СКВ лежат следующие положения:

- разработка материалов, отвечающих требованиям АП-25 (FAR-25) [5], – должны быть самозатухающими при испытаниях в вертикальном положении; средняя длина обугливания не должна превышать 203 мм, а средняя продолжительность горения после удаления источника воспламенения не должна превышать 15 с; отделяющиеся от испытуемого образца капли не должны гореть после падения в среднем более 5 с;
- минимальная масса и высокая надежность при эксплуатации в течение всего технического ресурса самолета;
- геометрические размеры (диаметр и конфигурация) должны обеспечивать допустимое гидравлическое сопротивление;
- применение современных технологий при изготовлении и монтаже; обеспечение компенсации температурного расширения и деформации мест крепления на летательном аппарате, герметичности воздухопровода;
- разработка технологий изготовления материала (полуфабриката) и конструкции из него, при этом технологии должны быть энергосберегающими с низкой трудоемкостью.

Совершенствование СКВ и обеспечение с их помощью комфортных условий в современных пассажирских самолетах во время полета входят в число важнейших факторов, определяющих конкурентоспособность самолета.

Материалы и методы

Современные ПКМ [6, 7], а также конструкции и изделия из них (трехслойные панели [8, 9], монолитные пластики и т. д.) находят широкое применение в авиастроительном комплексе всего мира благодаря таким качествам, как высокая прочность, коррозионная стойкость и низкая плотность. На мировом рынке композитов лидируют США, Европа, Япония и Китай. За рубежом объем использования ПКМ в конструкциях современных самолетов достигает 50% по массе, например Boeing 787 (США) – 50%, Airbus A-380 (Европа) – 30%, Airbus A-350 (Европа) – 50%.

В настоящее время при проектировании летательных аппаратов в их конструкцию закладываются сложно профилированные воздуховоды низкого давления – тройники, трубы, патрубки и т. п. (рис. 1), что обусловлено экономией места. Данные элементы в РФ изготавливают в основном из металлических материалов, однако большая трудоемкость их изготовления, энергозатратный процесс, необходимость снижения массы самолета и коррозия таких элементов в процессе эксплуатации заставляют разработчиков современной авиационной техники искать материалы с более низкой плотностью, которые обеспечивают необходимые эксплуатационные требования к конструкции СКВ. ПКМ – ввиду особенностей технологии их изготовле-

ния [10, 11] – позволят сократить трудоемкость и энергоресурсы при изготовлении изделий. Кроме того, меньшая плотность позволит увеличить весовую эффективность конструкций. У ПКМ, в отличие от металлов, отсутствует коррозия.



Рис. 1. Сложнопрофильные элементы воздуховодов

На пассажирских самолетах общая длина воздуховодов СКВ достигает нескольких сот метров, а масса 500–600 кг, что составляет 40–50% массы всей системы. Воздуховоды СКВ располагаются в гондолах двигателей, центроплане, проходят по пассажирским салонам и кабине экипажа.

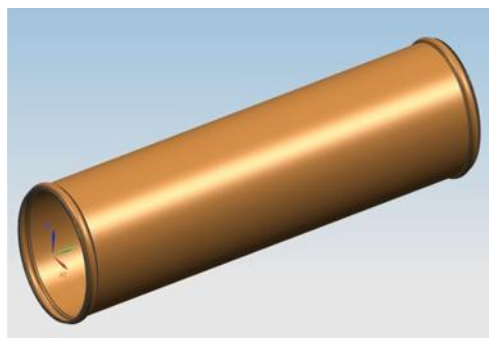
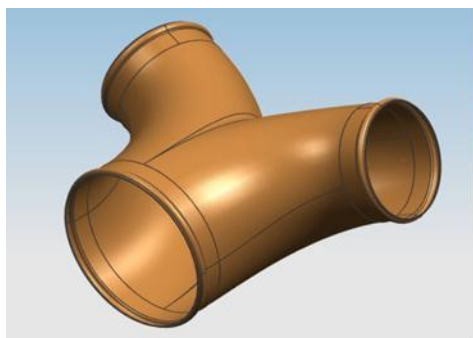


Рис. 2. Элементы воздуховода низкого давления системы кондиционирования воздуха из ПКМ

Как упоминалось ранее, в РФ до настоящего времени элементы СКВ изготавливают из металлов или импортных ПКМ. Это объясняется тем, что в нашей стране разработка ПКМ для сложнопрофилированных воздуховодов низкого давления СКВ в последние десятилетия не проводилась, а разработанные ранее полимерные материалы не отвечают постоянно ужесточающимся требованиям АП-25, а также имеют длительный цикл изготовления. Ведущие мировые производители авиационной техники (Boeing, Airbus) применяют в конструкции СКВ в основном ПКМ (рис. 2).

Результаты

Для снижения массы сложнопрофильных воздуховодов низкого давления СКВ необходимо применение материалов с низкой плотностью. Кроме того, в системе СКВ наряду с толстостенными сложнопрофильными элементами присутствуют и тонкостенные, для изготовления которых необходим армирующий наполнитель с низкой поверхностной плотностью – не более 120 г/м^2 , обеспечивающий нужную толщину и герметичность. В табл. 1 представлены для сравнения основные характеристики стеклотканей, применяемых в качестве наполнителей стеклопластиков, отечественных и зарубежных производителей.

Таблица 1

**Основные характеристики стеклонеполнителей
отечественных и зарубежных производителей**

Свойства	Значения свойств стеклонеполнителей					
	A-1	T-64 (ВМП)	T-15(П)-76	T-11	Porcher 120	Porcher 7781
Толщина ткани, мм	0,1±0,01	0,09±0,01	0,19±0,03	0,3	0,11±0,01	0,2
Поверхностная плотность, г/м ²	110±10	100±5	160±16	385±12	105±5	295±15
Плотность тканей, нитей/см:						
– по основе	20±1	25±1	24±1	22±1	24±1	23±1
– по утку	20±1	24±1	18±1	13±1	23±1	21±1
Разрывная нагрузка, Н, (не менее):						
– по основе	589	900	785	2842	301	923
– по утку	589	500	589	1666	245	856
Тип поверхностной обработки (переплетение)	Полотняное	Сатин четырёх- ремизный	Сатин 5/3	Сатин 8/3 или 5/3	4HS	8HS

Видно, что прочностные показатели отечественных стеклотканей не уступают свойствам зарубежных аналогов.

Главным преимуществом металлических сплавов перед ПКМ до недавнего времени были пожаробезопасные свойства, которые обеспечиваются в ПКМ полимерной матрицей (связующим). Для получения стеклопластиком свойств, отвечающим требованиям АП-25, Приложение F, Часть 1, необходимо провести выбор связующего. В настоящее время за рубежом выпускают много марок пожаробезопасных связующих, однако для импортозамещения в самолетостроении необходимы отечественные связующие. Во ФГУП «ВИАМ» создано новое поколение пожаробезопасных фенолформальдегидных связующих [12, 13] марок РС-Н и ВСФ-16М, а также разработаны стеклопластики на их основе. В табл. 2 представлены сравнительные характеристики импортных и отечественных связующих.

Таблица 2

**Сравнительные характеристики импортных и отечественных
связующих и стеклопластиков на их основе**

Свойства	Значения свойств			
	ВСФ-16М	РС-Н	CYCOM® 2265 Phenolic Resin System	QC 2550, 126-40-146
Внешний вид, цвет	Однородный раствор коричневого цвета	Однородный прозрачный раствор красно-коричневого цвета без механиче- ских включений	–	Раствор черного цвета
Массовая доля нелетучих веществ, %	72–80	69–76	38–44	50
Условная вязкость при температуре 20±1°C по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм, с	20–60	10–65	–	–
Время желатинизации при температуре 130±2°C, мин	1–3	3–6	7–17 (121°C)	–

Сравнительный анализ показывает, что разработанные отечественные связующие по своим показателям не уступают зарубежным аналогам.

Для формирования свойств конкурентоспособного низкопористого стеклопластика [14] для изготовления воздухопроводов низкого давления СКВ необходимо провести сравнение характеристик отечественных и зарубежных аналогов [15, 16]. В табл. 3 показаны сравнительные характеристики стеклопластиков отечественного и зарубежного производства.

Таблица 3

**Сравнительные характеристики отечественных и зарубежных препрегов
и стеклопластиков на их основе**

Свойства	Значения свойств		
	отечественного аналога марки ВПС-39П	зарубежного аналога на основе препрега марки	
		DAN 407 (PHG 831-44-40), Германия	HexPly 200, США
Тип связующего	фенольное		
Масса стеклонаполнителя, г/м ²	160	105	305
Нанос связующего, %	40–45	40–45	35–40
Масса препрега, г/м ²	265–295	170–190	470–490
Предел прочности, МПа: – при растяжении – при изгибе – при сжатии	360 530 270	300 500 250	520 490 365
Плотность, г/см ³	1,6	1,9	–
Горючесть	Самозатухающий	Трудногорючий	–
Режим формования: – температура, °С – время, мин	140 60	140 50	135 90

Видно, что основное отличие между отечественным и зарубежными аналогами – длительный режим формования стеклопластика. Анализ основных характеристик материалов создает перспективу разработки конкурентоспособной продукции для СКВ. Планируется провести работу по разработке материала на основе пожаробезопасного связующего и стеклоткани с низкой поверхностной плотностью, что отвечает предъявляемым к воздуховодам низкого давления СКВ требованиям. Основные характеристики разрабатываемого материала в сравнении с аналогами показаны в табл. 4.

Таблица 4

Основные характеристики разрабатываемого материала в сравнении с аналогами

Свойства	Значения свойств		
	разрабатываемого стеклотекстолита	зарубежного аналога на основе препрега марки DAN 407 (PHG831-44-40), Германия	отечественного аналога по назначению – стеклотекстоли- та марки ВПС-19
Предел прочности при сжатии, МПа (не менее)	250	250	184
Плотность, г/см ³ (не более)	1,9	1,9	1,92
Горючесть	Трудногорючий		
Режим формования: – температура, °С – время, мин	140 20	140 50	150 360

Предел прочности при сжатии разрабатываемого стеклотекстолита будет превосходить аналогичную характеристику российского аналога – стеклопластика марки ВПС-19 – на 25%, цикл формования разрабатываемого стеклопластика будет короче в 2–3 раза. Время отверждения у разрабатываемого стеклотекстолита будет на 25% меньше, чем у зарубежного.

Обсуждение и заключения

Анализ источников литературы отечественных и зарубежных материалов для изготовления воздухопроводов низкого давления СКВ в летательных аппаратах показал, что разработка конкурентоспособного стеклопластика на основе ткани с низкой поверхностной плотностью и пожаробезопасного быстроотверждаемого связующего для изготовления элементов воздухопроводов низкого давления систем кондиционирования воздуха являются крайне востребованной задачей. Для авиастроения решение данной задачи позволит обеспечить современным пассажирским самолетам конкурентоспособность в сравнении с зарубежными аналогами при высокой эксплуатационной надежности и комфорте пассажиров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // Авиационные материалы и технологии. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. Каблов Е.Н. России нужны материалы нового поколения // Редкие земли. 2014. №3. С. 8–13.
3. 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.
4. Каблов Е.Н., Гращенков Д.В., Ерасов В.С., Анчевский И.Э., Ильин В.В., Вальтер Р.С. Стенд для испытания на климатической станции ГЦКИ крупногабаритных конструкций из ПКМ // Сб. докл. IX Международ. науч. конф. по гидроавиации «Гидроавиасалон–2012». 2012. С. 122–123.
5. 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.
6. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина. М.: Машиностроение, 1988. 446 с.
7. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология / под ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия, 2009. 556 с.
8. Минаков В.Т., Постнов В.И., Швеи Н.И., Застрогина О.Б., Петухов В.И., Макрушин К.В. Особенности изготовления трехслойных сотовых панелей с полимерным наполнителем горячего отверждения // Авиационные материалы и технологии. 2009. №3. С. 6–9.
9. Кондрашов Э.К., Постнов В.И., Петухов В.И., Кавун Н.С., Абрамов П.А., Юдин А.А., Барботько С.Л. Исследование свойств трехслойных панелей на модифицированном связующем ФПР-520Г // Авиационные материалы и технологии. 2009. №3. С. 19–23.
10. 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: 17.04.2016). DOI 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
11. 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.

-
12. 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.
 13. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. Новые полимерные связующие для перспективных методов изготовления конструкционных волокнистых ПКМ // Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
 14. 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: 20.04.16). DOI 10.1857/2307-6046-2016-0-2-7-7.
 15. Компания Gurit: офиц. сайт. URL: <http://www.mobile.gurit.com> (дата обращения: 25.05.2016).
 16. Компания Hexcel: офиц. сайт. URL: <http://www.hexcel.com> (дата обращения: 30.05.2016).