

УДК 678.8

Е.А. Вешкин¹, Р.А. Сатдинов¹, А.А. Баранников¹**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САЛОНА САМОЛЕТА**

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42

Рассмотрены разработанные во ФГУП «ВИАМ» новейшие технологии и полимерные композиционные материалы, применяемые при изготовлении элементов конструкций салона пассажирского самолета (а именно: систем кондиционирования воздуха, трехслойных панелей интерьера и пола), отвечающих требованиям Авиационных правил АП-25 (Приложение F, Часть I), а также требованиям, предъявляемым к механическим и массовым характеристикам. Разработанная продукция изготавливается полностью из отечественных компонентов, что в свою очередь позволяет снизить зависимость от импортных материалов.

Ключевые слова: салон самолета, требования, панели интерьера, панели пола, система кондиционирования воздуха, Авиационные правила АП-25, герметичность.

Е.А. Veshkin¹, R.A. Satdinov¹, A.A. Barannikov¹**MODERN MATERIALS FOR THE AIRCRAFT CABIN**

The paper considers the latest technologies and polymer composite materials developed at FSUE «VIAM» and used in the manufacture of structural elements of a passenger aircraft cabin (namely: air conditioning systems, three-layer interior and floor panels) that meet the requirements of the Aviation Regulations AP-25 (Appendix F, Part I), as well as the requirements for mechanical and mass characteristics. The developed products are made entirely from domestic components, which in turn reduces dependence on imported materials.

Keywords: aircraft cabin, requirements, interior panels, floor panels, air conditioning system, Aviation Regulations AP-25, airtightness.

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 нашей стране проводится большое количество теоретических и практических научных исследований по разработке летательных аппаратов (ЛА) для нужд гражданской авиации, в том числе среднемагистральных и широкофюзеляжных самолетов. Для уменьшения массы ЛА необходимо использование современных полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1, 2]. При разработке новейшей авиационной техники возрастают требования, предъявляемые к используемым материалам (применяемым при изготовлении вспомогательных и силовых конструкций) для обеспечения надежности ЛА.

В основном детали из ПКМ сосредоточены в салоне самолета. Их применение в данном секторе обусловлено созданием на их основе прочных и легких конструктивных элементов, что немаловажно в отношении весовой эффективности конструкции самолета (рис. 1).



Рис. 1. Схема конструкции пассажирского салона самолета

Конструкция салона пассажирского самолета имеет сложную схему и состоит из множества элементов. Салон самолета проектируется таким образом, чтобы обеспечить безопасность пассажиров на всех участках полета, так как при большом скоплении людей в ограниченном пространстве возникают сложности при их эвакуации в случае возникновения пожара. В связи с этим одним из основных требований, предъявляемых к применяемым материалам в салоне самолета, является их пожаробезопасность, поскольку, по данным статистики, при возникновении пожара в салоне самолета до 40 % пассажиров гибнет от удушья продуктами горения и термических травм [3]. Главными параметрами пожаробезопасности, установленными Нормами летной годности самолетов (НЛГС), являются нормы по горючести и дымообразованию материалов. После введения в Российской Федерации взамен НЛГС новых Авиационных правил АП-25, гармонизированных с FAR-25 (США), в них дополнительно введен еще один параметр, характеризующий пожаробезопасность материала, – тепловыделение при горении [4, 5]. При сертификации материалов салона отечественных самолетов по АП-25 установлено, что не все материалы соответствуют этим требованиям по параметру тепловыделения, а некоторые находятся на границе допустимого предела, составляющего не более 65 кВт/м^2 .

Салон самолета условно можно разделить на три основные составляющие: детали интерьера салона, детали панелей пола и система кондиционирования воздуха (СКВ). Для изготовления деталей интерьера салонов пассажирских самолетов широко применяют монолитные и многослойные панели. Многослойные изделия состоят главным образом из сотового наполнителя и обшивок на основе стеклопластика. До 80 % деталей интерьера изготавливают из сотовых панелей, что объясняется их легкостью, жесткостью и технологичностью, а также выполнением, наряду с декоративными, в некоторой степени функции звуко- и теплоизоляции.

Для создания элементов интерьера пассажирского самолета применяют преимущественно связующие, изготовленные на основе фенолформальдегидных олигомеров. Это связано с тем, что при горении происходит их коксование до 84 % от начальной массы, что в свою очередь приводит к снижению горючести материалов на их основе. Основными поставщиками фенолформальдегидных связующих и препрегов на их основе для изготовления деталей интерьера самолета являлись зарубежные фирмы Hexcel и Cytec (США).

При рассмотрении конструкции панели пола можно отметить, что она, как правило, представляет собой «сэндвичевую» (сотовую) конструкцию. В настоящее время российские производители пассажирских самолетов, такие как АО «Гражданские самолеты Сухого» (АО «ГСС»), ПАО «ВАСО», ОАО «КАПО имени С.П. Горбунова», АО «Авиастар-СП», применяют панели пола европейских производителей или

изготовленные из импортных композиционных материалов. Так, АО «ГСС» использует панели, произведенные компанией В/Е Aerospace (США), ПАО «ВАСО» – панели пола компании АІМ Composites Ltd (США), ОАО «КАПО имени С.П. Горбунова» и АО «Авиастар-СП» – панели пола компании Hexcel [6, 7]. Это результат ухудшившейся экономической ситуации в стране в 1990-х гг., появления на рынке огромного количества импортных аналогов, снижения качества изготовления отечественных панелей пола и, как следствие, отказа от их использования в пользу иностранных изделий более низкой стоимости и отработанных в плане технологий. Пример тому – отказ конструкторов КБ «Туполев» в пользу иностранного аналога от использования заготовок панелей пола в производстве самолетов семейства Ту-204 на основе гибридной ткани марки Т-42/1-76, сотового наполнителя марок ПСП или ССП и связующего марки ЭП-2МК. Данный отказ связан главным образом с высокой стоимостью исходных материалов (гибридной ткани СВМ), ухудшением качества изготавливаемых панелей, повлекшим за собой получение нестабильных как прочностных, так и эксплуатационных характеристик. Панели пола плохо поддавались механической обработке, так как в процессе материал на основе гибридной ткани «мохрился», что требовало последующей доработки панелей. При этом данный вид заготовок панелей пола не уступал, а по некоторым параметрам даже превосходил, импортные панели пола, однако применяемые для их изготовления разработанные (почти 30 лет назад) материалы уже не соответствовали современным прочностным и эксплуатационным показателям, а также нормам по пожаробезопасности, дымовыделению и горючести. Данная тенденция относится ко многим отечественным композиционным материалам, поскольку с каждым годом Международная организация гражданской авиации (ИКАО) ужесточает требования к материалам, применяемым для изготовления деталей салона самолета, а разработка отечественных композиционных материалов, удовлетворяющих данным требованиям, в последние десятилетия проводилась в незначительном объеме или не проводилась совсем.

Одним из основных эксплуатационных требований, предъявляемых к современным пассажирским самолетам, является наличие системы обеспечения подачи воздуха, необходимого для дыхания пассажиров и экипажа, в салон. Система кондиционирования воздушного судна – это сложный комплекс высокотехнологичных устройств, общая масса которых может достигать 600 кг. При этом конструктивные элементы СКВ располагаются во многих частях воздушного судна. В 1980-х гг. были разработаны отечественные композиционные материалы для облегчения массы системы и улучшения ее эксплуатационных свойств. Постепенно комплектующие нового типа стали внедряться в практическое производство воздушных судов различного класса. Однако в связи с серьезным экономическим кризисом, возникшим в государстве, внедрение таких композиционных материалов было приостановлено. В результате в настоящее время наибольшее распространение получили зарубежные композиционные материалы, используемые не только для производства конструктивных элементов СКВ, но и для изготовления других компонентов воздушных судов. Во многом это связано с высокими требованиями к пожарной безопасности: современные композиционные материалы должны соответствовать нормам по выделению газа и дыма в процессе горения.

С учетом изложенного ранее, а также в связи с импортозамещением в ключевых отраслях промышленности Российской Федерации для создания комфортных и безопасных условий в современных пассажирских самолетах во время полета, появляется необходимость в разработке новых отечественных материалов (в том числе для салона самолета), отвечающих современным, постоянно ужесточающимся, требованиям.

Материалы и методы

В настоящее время международным стандартом отделки салона пассажирского самолета является применение специальных панелей, состоящих из трех слоев: это, как правило, специализированная тканевая основа, сотовый наполнитель (для обеспечения прочности и гибкости) и декоративный наружный слой. Такая конструкция панелей соответствует всем требованиям по пожаробезопасности и эксплуатационным требованиям [8].

Панели пола разделяют на четыре основных вида: панели зоны входа и выхода, зоны прохода между креслами, подкресельной и багажно-грузовой зон. К каждой из зон в конструкции самолета предъявляются разные требования (к материалу панелей, их прочности, массе и др.), однако все материалы должны отвечать современным требованиям АП-25 (Приложение F, Часть 1) (FAR-25).

Панели пола, так же как и интерьерные панели, представляют собой трехслойные конструкции (рис. 2).

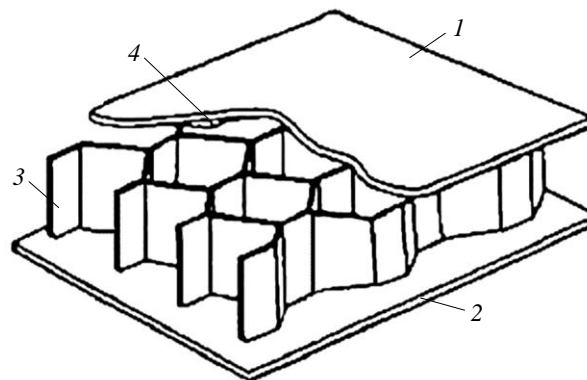


Рис. 2. Состав трехслойной сотовой панели: 1 – обшивка; 2 – клеевая пленка; 3 – сотовый наполнитель; 4 – полимерный наполнитель (сферопласт)

В настоящее время при проектировании ЛА закладывают сложнопольные элементы воздухопроводов СКВ (тройники, патрубки, трубы и т. д.), что необходимо для экономии пространства в самолете. В Российской Федерации почти все производители современных воздушных судов применяют данные элементы, полученные из металлов. Однако ввиду высоких трудоемкости и энергоемкости процесса изготовления, большой массы и склонности к коррозии таких элементов у разработчиков возникла необходимость в применении для них ПКМ, что позволит не только сократить цикл изготовления деталей, но и уменьшить массу всей системы в целом [9, 10]. Полимерные композиционные материалы имеют еще одно преимущество перед металлами – у них отсутствует коррозия.



Рис. 3. Элементы воздухопроводов системы кондиционирования воздуха

Результаты и обсуждение

Рассмотрим каждый из перечисленных ранее элементов конструкции салона самолета отдельно.

Внутренняя отделка салона воздушного судна

Для использования в процессе интерьерной отделки салона воздушного судна во ФГУП «ВИАМ» разработана технология изготовления сотовых конструкций, состоящих из бумажных сот и обшивок из стеклонеполнителя и эпоксиизоцианатного связующего марки ЭП-2МК [11]. Данные панели на момент производства полностью отвечали необходимым условиям по пожарной и эксплуатационной безопасности [12, 13]. В дальнейшем разработка была направлена на использование других пожаробезопасных материалов, способных в ряде случаев к самопроизвольному затуханию в случае возгорания [14, 15].

В 1980-е гг. ввиду возрастания требований к характеристикам пожаробезопасности используемых материалов (добавилось требование по уровню тепловыделения [16]) во ФГУП «ВИАМ» разработаны фенолформальдегидное связующее марки ФП-520 и стеклопластики на его основе, которые удовлетворяли новому требованию по тепловыделению. В ходе применения материалов на основе связующего ФП-520 выявлены некоторые недостатки, в том числе низкая прочность сцепления обшивки с сотами при отслаивании (30 Н/76 мм). Для получения качественного сцепления прочность при отдире обшивки должна быть 80–100 Н/76 мм.

Для достижения необходимых механических характеристик и удовлетворения требований по пожаробезопасности во ФГУП «ВИАМ» разработаны фенолформальдегидное связующее марки РС-Н, стеклонеполнитель марки Т-15(П)-76 и стеклопластик на его основе, применяемый для изготовления монолитных и трехслойных панелей интерьера самолета. Благодаря разработанным материалам достигнуты необходимые механические характеристики для панелей интерьера салона воздушного судна (табл. 1).

Таблица 1

Свойства стеклопластиковых панелей интерьера салона воздушного судна

Свойства	Значения свойств для стеклопластика		
	СТ-520	ВПС-42П	ВПС-39П + ПАТ-15(П).РС-Н.50
Горючесть	Самозатухающий		
Дымообразование	Слабодымящий		
Максимальная скорость тепловыделения, кВт/м ²	54	33	23
Тепловыделение за 2 мин, кВт·мин/м ²	51	9	2
Предел прочности при равномерном отрыве, МПа	2,1	2,6	3,5
Усилие отслаивания обшивки от сотового наполнителя, Н/76 мм	30	40,0	110

Согласно данным зарубежной научно-технической литературы, для изготовления деталей различной кривизны и переменной толщины (боковые и оконные панели, проемы) применяется метод *crush-core*. Данная технология позволяет сократить цикл формования трехслойных деталей до 10 раз. Изготовление деталей происходит

в прессе или пресс-форме при повышенных температурах (120–150 °С) и давлении (до 25 МПа). Продолжительность формования детали составляет от 8 до 40 мин.

Производство панелей для внутренних интерьеров воздушных судов по технологии *crush-core* уже освоено специалистами ФГУП «ВИАМ». При этом используется преимущественно сырье от отечественных производителей. В процессе производства в значительной степени сокращены временные издержки, что также стало возможно благодаря применению инновационных материалов [17]. Кроме того, использование разработанных материалов позволило сократить цикл формования трехслойной панели в 6 раз.

Следует отметить, что данные материалы по своим прочностным и пожаробезопасным свойствам находятся на уровне импортных аналогов [18, 19].

Панели пола

Обшивка панелей пола – это элемент трехслойной сотовой конструкции, основными функциями которого является обеспечение жесткости обшивки при изгибе и сдвиге в ее плоскости, а также передача нагрузок в той же плоскости. В самолетостроении наиболее распространено изготовление обшивок сэндвич-конструкций из препрега прессовым методом, поскольку препреговая технология является отработанной и дает стабильный результат – получение качественного продукта недорогим и относительно простым, по сравнению с вакуумным, методом. В этом случае не требуется использование вспомогательных слоев. Чаще всего в качестве обшивок панелей пола используют полуфабрикаты (препреги), пропитанные связующим на основе фенолформальдегидных олигомеров.

В настоящее время одним из перспективных направлений является применение ПКМ на основе однонаправленных стеклонеполнителей, а в качестве связующего – высокопрочных и наполненных пленочных клеев с пониженной горючестью (клеевых препрегов) [20–22]. Отличительная особенность клеевых препрегов – возможность реализации технологии изготовления конструкции из ПКМ одинарной и сложной кривизны (монолитных, сотовых и интегральных, когда формирование обшивки и ее приклеивание к сотовому наполнителю происходят за единый цикл формования).

Применение препрегов на основе клеевого связующего позволит сократить цикл формования конструкций в 2–3 раза, а трудоемкость сотовых панелей – до 50 %, по сравнению с изготовлением панелей по технологии с отдельным формованием обшивки. При этом уменьшается количество технологических операций в 3 раза, число оснасток – в 1,5–2 раза, а масса конструкции (особенно с сотовым наполнителем) – на 30–50 % [23]. Основные технические характеристики заготовок панелей пола (ЗПП) представлены в табл. 2.

Во ФГУП «ВИАМ» разработаны препреги на основе клеевого связующего с пониженной горючестью (ВСК-14-6) и угленеполнители для изготовления панелей пола, а также вся необходимая нормативная документация на материалы (ТУ, ТИ, паспорт) и панели пола на их основе. В табл. 3 представлены основные свойства (минимальные) ЗПП в зависимости от применяемых материалов и количества слоев в обшивках (стекло-, угле- или гибридные).

Установлено, что полученные характеристики удовлетворяют необходимым требованиям, предъявляемым к ЗПП.

Таблица 2

**Необходимые технические характеристики заготовок панелей пола (ЗПП)
в салоне воздушного судна**

Свойства	Допустимые значения свойств для ЗПП			
	зоны входа/выхода	зоны проходов	зоны под креслами	багажно- грузовой зоны
Толщина, мм	10,16±0,15			10,16±0,15, 12,6±0,15
Масса 1 м ² , кг (не более)	3,5	2,3	2	3,8
Предел прочности при сжатии, МПа (не менее)	12	13	5,2	12
Разрушающее усилие при изгибе длинной балки, Н (не менее)	2500	1868	1610	4248
Прогиб при усилии 445 Н, мм (не более)	6	7,4	10,4	12
Разрушающее усилие при изгибе короткой балки, Н (не менее)	3400	3500	2800	4800
Усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя, Н/76 мм (не менее)	300	340	300	500
Количество циклов при испытании роликом на износ	120000	160000	80000	120000
Коробление на 300 мм, мм (не более)	1			
Температура эксплуатации, °С	От -60 до +80			
Горючесть	В соответствии с АП-25 или FAR-25			
Испытание на вырыв втулки в трех направлениях, Н (не менее)	2000			
Материал обшивки	Углеволокно			Стекловолокно
Сотовый заполнитель	Параарамид или номекс			Параарамид, номекс или алюминий

Таблица 3

**Основные технические характеристики разработанных
трехслойных заготовок панелей пола (ЗПП) в салоне воздушного судна**

Свойства	Допустимые значения свойств для следующих ЗПП				
	ЗПП-1-2	ЗПП-1-3	ЗПП-2-2	ЗПП-3-2	ЗПП-3-3
Масса 1 м ² , кг (не более)	3,1	3,8	2,4	2,6	3,3
Толщина, мм	10,16±0,25				
Предел прочности сотового заполни- теля при сжатии, МПа (не менее)	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Разрушающее усилие (нагрузка) при четырехточечном изгибе («длинная балка»), Н (не менее)	1100	2200	1000	1100	1200
Усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя, Н (не менее)	190	170	150	160	170
Ресурс ЗПП, количество циклов до повреждения при нагрузке 450±10 Н на ролик (не менее)	80000				

Система кондиционирования воздуха

В мировой практике уже многие годы элементы СКВ изготавливают из ПКМ. Данные элементы подразделяются на два вида: жесткие (получают на основе препрегов стеклопластиков) и гибкие (изготавливают на основе тканепленочных материалов с армирующим каркасом в виде спирали). Основными производителями элементов воздухопроводов СКВ из ПКМ являются следующие компании: зарубежные – BWT Senior Aerospace (Англия), Flexco Composite (США), Flexfab (США), Technifab (США); отечественные – ОКБ «Аэрокосмические системы».

Применение ПКМ для сложнопрофильных воздухопроводов СКВ отечественных самолетов позволит уменьшить трудоемкость, продолжительность изготовления и энергозатраты [24].

В настоящее время во ФГУП «ВИАМ» отработаны технологические режимы изготовления и освоены в серийном производстве как жесткие, так и гибкие элементы СКВ [25]. При изготовлении данных элементов используются материалы только отечественного производства, которые, в свою очередь, позволяют получать продукцию, отвечающую всем современным требованиям по пожаробезопасности (АП-25, Приложение F, Часть 1) и герметичности [26, 27].

На рис. 4 представлен технологический процесс получения заготовки СКВ из ПКМ – от создания 3D-модели до конечной детали, а на рис. 5 изображены серийно изготовленные элементы СКВ.

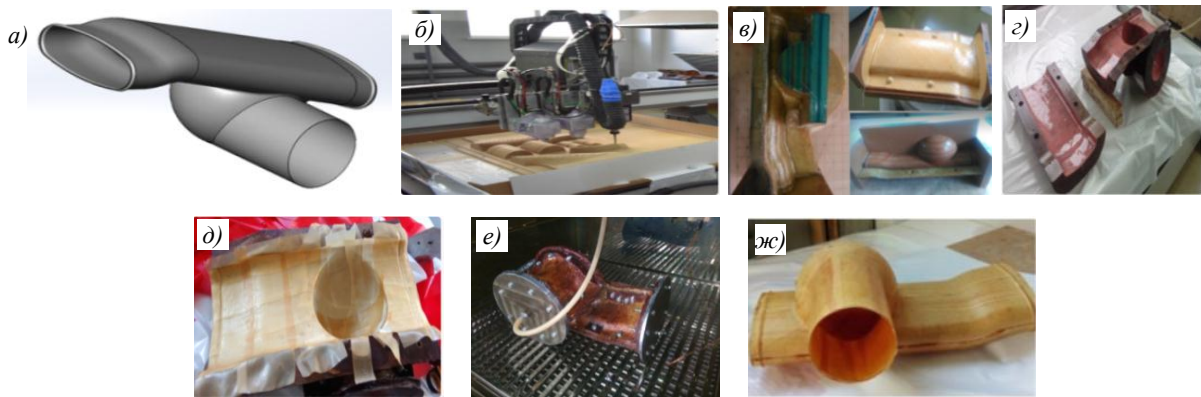


Рис. 4. Технологический процесс изготовления формообразующей оснастки и заготовки системы кондиционирования воздуха (СКВ) из ПКМ: а – математическая модель детали; б – изготовление мастер-модели; в – выкладка оснастки; г – формообразующая оснастка из стеклопластика; д – выкладка детали; е – формование детали; ж – готовая заготовка СКВ из ПКМ

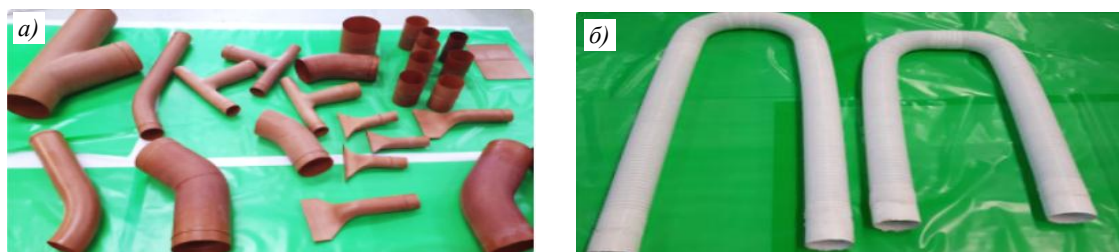


Рис. 5. Жесткие (а) и гибкие (б) элементы системы кондиционирования воздуха

Заключения

Разработанные во ФГУП «ВИАМ» материалы на основе фенольных связующих позволяют удовлетворить требования, предъявляемые к деталям интерьера салона

самолета (как к механическим характеристикам, так и к характеристикам пожаробезопасности).

Применение клеевых препрегов для изготовления заготовок панелей пола снижает зависимость их производства от импортных материалов с сохранением прочностных характеристик.

Внедрение разработанных заготовок (жестких и гибких) из ПКМ для СКВ летательных аппаратов позволяет добиться снижения массы воздуховодов от 35 до 50 %.

Библиографический список

1. Каблов Е.Н. Маркетинг материаловедения, авиастроения и промышленности: настоящее и будущее // Директор по маркетингу и сбыту. 2017. № 5–6. С. 40–44.
2. Каблов Е.Н. Роль фундаментальных исследований при создании материалов нового поколения // Сб. тезисов XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т. СПб., 2019. Т. 4. С. 24.
3. Кирин К.М. Перспективные пожаробезопасные текстильные материалы для применения в гражданской авиации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ГОУ ВПО РосЗИТЛП, 2004. 16 с.
4. Нормы летной годности самолетов транспортной категории: АП-25: утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства 11.12.2008. 3-е изд. с поправками 1–6. М.: Авиаиздат, 2009. 267 с.
5. Black S. FAR Part 25 standards // High Performance Composites. 2006. No. 11. P. 1–2.
6. Шершак П.В., Косарев В.А., Рябовол Д.Ю. Гибридные обшивки в сэндвич-конструкциях панелей пола летательных аппаратов // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3 (52). С. 35–41. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-3-35-41.
7. Шершак П.В., Яковлев Н.О., Шокин Г.И., Куцевич К.Е., Попкова Е.А. Метод оценки и факторы, влияющие на качество склеивания обшивки с сотовым наполнителем в конструкциях пола и интерьера воздушных судов // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 81–88. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-81-88.
8. Black S. Advanced materials for aircraft interiors // Composites World. 2006. No. 11. P. 1–3.
9. Постнова М.В., Постнов В.И. Опыт развития безавтоклавных методов формования ПКМ // Труды ВИАМ. 2014. № 4. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.04.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-4-6-6.
10. 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.
11. Сурнин Е.Г., Кондрашов Э.К. Пожаробезопасные декоративно-отделочные материалы // Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002: юбил. науч.-техн. сб. М.: МИСИС–ВИАМ, 2002. С. 271–281.
12. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Застрогина О.Б., Сатдинов Р.А. Технология ускоренного формования сотовых панелей интерьера самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 4 (4). С. 799–805.
13. Аврасин Я.Д., Бородин М.Я., Киселев Б.А. Стеклопластики в авиастроении // Авиационная промышленность. 1982. № 8. С. 80–84.
14. Соколов И.И., Коган Д.И., Раскутин А.Е., Бабин А.Н., Филатов А.А., Морозов Б.Б. Многослойные конструкции со сферопластиками // Конструкции из композиционных материалов. 2014. № 1. С. 37–42.
15. Мухаметов Р.Р., Петрова А.П. Термореактивные связующие для полимерных композиционных материалов (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 3 (56). С. 48–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-48-58.
16. Серкова Е.А., Швец Н.И., Застрогина О.Б. и др. Быстроотверждаемое фенолформальдегидное связующее, перерабатываемое по «crush-core» технологии, для пожаробезопасных материалов интерьера // Сб. тезисов докладов XIX конф. «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов». Обнинск, 2010. С. 70–71.

17. Долматовский М.Г., Соколов И.И. Особенности разрушения сотовых панелей со сферопластиками // *Авиационные материалы и технологии*. 2008. № 4. С. 19–24.
18. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. А.Б. Геллера и др. под ред. Б.Э. Геллера. М.: Машиностроение, 1988. Кн. 2. 584 с.
19. 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.
20. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Петрова А.П., Кириенко Т.А., Чурсова Л.В. Клеевые связующие для деталей из ПКМ сотовой конструкции // *Клеи. Герметики. Технологии*. 2016. № 5. С. 12–16.
21. Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Лукина Н.Ф., Куцевич К.Е. Клеевые препреги и слоистые материалы на их основе // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № 2. С. 19–21.
22. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докладов XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
23. 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.
24. 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: тезисы докладов V Междунар. науч.-практ. конф. Ульяновск, 2016. С. 186–188.
25. ОСТ 1 00128–74. Герметичность изделий. Нормы. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293852/4293852847.pdf> (дата обращения: 12.03.2021).
26. 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.
27. 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.