

УДК 678.8

К ВОПРОСУ ПРОИЗВОДСТВА ПАНЕЛЕЙ ПОЛА ИЗ ПКМ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)

© 2017 А.А. Баранников, Е.А. Вешкин, В.И. Постнов, С.В. Стрельников

Ульяновский научно-технологический центр, филиал ФГУП ВИАМ

Статья поступила в редакцию 21.09.2017

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ панелей пола как отечественных, так и иностранных производителей. Были отмечены их основные недостатки и причины их появления. Рассмотрены основные поставщики панелей пола и их компонентов для отечественных производителей самолетов. Проведен анализ их конструкции. Выделены четыре основных типа панелей пола, предназначенных для различных зон пола самолета. Проведен их анализ по назначению и конструктивным составляющим. Так же был проведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных материалов для изготовления панелей пола интерьера пассажирского самолета. Произведен анализ схем и методов формования.

Ключевые слова: трехслойные сотовые конструкции из ПКМ, сэндвич панели, армирующий наполнитель, полимерное связующее, пленочный клей, сотовый наполнитель, полимерный наполнитель – сферопласт, синтактики.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время современное авиа-, машиностроение и другие отрасли промышленности немаловажны без композиционных материалов [1]. В последние десятилетия интенсивно развивается наука о композиционных материалах, и современное материаловедение в значительной мере посвящено изучению композиционных материалов [2, 3]. Интенсивный рост развития науки о композиционных материалах позволяет разрабатывать и внедрять, в различные образцы перспективной техники композиционные материалы нового поколения, отвечающие современным авиационным правилам, международным требованиям, стандартам и т.д.

На сегодняшний день в России ведется ряд разработок новой авиационной техники. Реализация данных проектов не мыслима без применения, в конструкции создаваемой техники, полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения, представляющие собой, анизотропные гетерофазные композиции на основе непрерывных армирующих высокопрочных и высокомодульных волокон в виде различных текстильных форм (нити, жгуты, ровинги, ленты, ткани), и полимерных матриц ПКМ на основе реактопластов (отвержденных эпоксидных, фенольных, эпоксифенольных, полиимидных связующих) и термопластов (термопластичные

связующие на основе жесткоцепных полифениленсульфидов, полиэфиркетонов, полисульфонов, полиэфиримидов)[4]. Широкое внедрение ПКМ нового поколения не ограничивается только силовыми, особо ответственными элементами конструкции, но и находит свое применение в интерьере самолета, например для панелей пола.

Панели пола – это трехслойная сотовая конструкция рис. 1. Она представляет собой конструкцию, состоящую из двух несущих слоев (обшивок) и сотового наполнителя, расположенного между обшивками, адгезионных слоев (клеевая пленка), связывающих обшивки с сотовым наполнителем и передающих нагрузку от сотового наполнителя к обшивкам и обратно, полимерного наполнителя – сферопласта (синтактика), применяемого для заделки торцов панелей пола и заполнения мест установки крепежа.

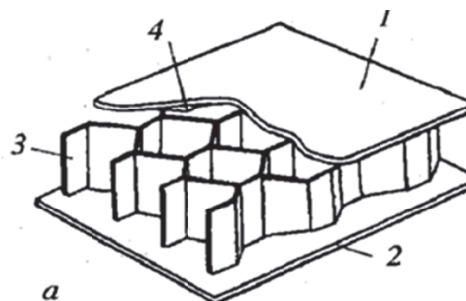


Рис. 1. Состав трехслойной сотовой панели:
1 – обшивка; 2 – клеевая пленка;
3 – сотовый наполнитель;
4 – полимерный наполнитель – сферопласт

*Баранников Александр Александрович, инженер-технолог
3 кат. E-mail: untcviam@gmail.com.*

*Вешкин Евгений Алексеевич, начальник сектора.
E-mail: untcviam@gmail.com*

*Постнов Вячеслав Иванович, доктор технических наук,
доцент, начальник филиала. E-mail: untcviam@gmail.com*
*Стрельников Сергей Васильевич, начальник лаборатории
№1. E-mail: untcviam@gmail.com*

и эксплуатационных показателей, так как их площадь (а, значит, и масса), особенно в широкофюзеляжных самолетах, составляет значительную величину. Так у магистральных самолетов с числом мест от 200 и выше площадь пола превышает 100 м², а у самолетов местных воздушных линий с числом мест от 24 до 80 площадь составляет 14 – 45 м². Применяемые в большинстве ранее выпускаемых отечественных самолетов (Ил-18, Ил-62, Ан-24, Ту-144, Як-40, Ту-154 и др.) панели пола, изготавливались в виде трехслойной конструкции с фанерными, стеклопластиковыми (КАСТ-В), алюминиевыми обшивками и заполнителями из пенопласта и алюминиевых сот. Средняя масса 1 м² применяемых панелей пола из указанных материалов колебалась в пределах 4,2 – 5,6 кг в зависимости от места установки в салоне самолета [5]. Проведенные научные работы показали, что масса панелей пола может быть снижена примерно на 25 – 35%, при сохранении несущей способности и жесткостных характеристик за счет замены обшивок трехслойных конструкций на стеклопластиковые и углепластиковые. А при комплексном подходе, с внедрением материалов нового поколения, среднее снижение массы 1 м² панелей пола составит приблизительно 1,8-2,1 кг, что подтверждается данными приведенными в работе [5]. Полученные результаты позволили создать трехслойную конструкцию панелей пола и внедрить ее в самолетах Ил-86 и Як-40. В созданной конструкции панели пола были применены следующие материалы: стеклотекстолит КАСТ-ВС в качестве верхней обшивки, трудносгорающий углепластик КМУ-3лн в качестве нижней обшивки, сотовласт ПСП-1 в качестве заполнителя, пленочный клей ВК-24М, заливочная паста ВПЗ-1. Применение данных материалов позволило снизить общую массу панелей пола в самолетах Ил-86 на 400 кг, а Як-40 на 100 кг [5].

Аналогичные работы по внедрению современных материалов в конструкцию панелей пола проводились и за рубежом. Например, фирма «Роллс – Ройс» (Англия) изготовила и установила на самолете «Boeing 747» образцы панелей пола размером 3,05×1,22 м, в которых обшивки выполнены из двухслойного углепластика толщиной 0,25 мм, а бальзовый заполнитель заменен нейлоновым сотовым заполнителем. Масса 1 м² углепластиковых панелей составила 2,67 кг против 4 кг – для панелей с алюминиевыми обшивками и бальзовым заполнителем. При этом долговечность панелей увеличилась с 3000 до 20000 л.ч. При среднегодовом налете самолета «Boeing 747» 4200 ч. время эксплуатации углепластиковых панелей пола составляет приблизительно 5 лет [5].

В 1983 г. АНТК им. О. К. Антонова начал выпуск ближнемагистрального узкофюзеляжного пассажирского самолета Ан-74. В производстве пола салона самолета использовали заготовки

панелей пола на основе стеклоткани Т-10-14, связующего 5-211БН и продольных и поперечных рифтов из пенопласта ЭТ-Р1. Данные панели в полной мере удовлетворяли как весовые, так прочностные и эксплуатационные показатели.

Начиная с 90-х годов авиационные правила АП-25, приложение F, Часть 1 (FAR25) ужесточили требования по обеспечению эксплуатационных показателей. В это время был разработан ряд материалов внедренных в производство панелей пола.

Для пассажирских самолетов семейства Ту-204, была разработана и запатентована конструкция сотовой панели пола (патент РФ 2250830 «Конструкция панели сотовой»), состоящая из верхней и нижней обшивок из органита 7ТЛ-Б(0)-2-Ш, приклеенных к сотовому заполнителю клеевой пленкой ВК-46, при этом торцы панели заполняются пастой ВПЗ-1-55. Основными недостатками данных панелей пола являлись использование отдельного формования, ограниченный круг применения, чрезвычайно дорогостоящи из-за применения вышеуказанных материалов, способ изготовления многоциклового, трудоемкий и энергоемкий, готовые изделия обладали высоким короблением, органит сильно впитывал влагу [6]. Вследствие чего данные панели пола не нашли широкого применения и были заменены на панели пола изготовленные на основе гибридной ткани Т-42/1-76, сотового заполнителя ПСП/ССП и связующего ЭП-2МК. Данные панели пола обеспечивали, к тому времени, отличное соотношение массы к прочностным показателям, а также обеспечивали требования авиационных правил АП-25, приложение F, Часть 1 (FAR25) (табл. 1). Основными недостатками данных панелей пола являлись ограниченный круг применения, чрезвычайно дорогостоящи из-за применения гибридной ткани Т-42/1-76.

В ОНПП «Технология» по ТУ 1-596-417-01 изготавливались панели пола со стеклопластиковыми обшивками на основе стеклоткани Т-10-80 и связующего ЭП-2МК. Недостатком данных панелей являются высокая масса и низкая прочность при изгибе и чрезвычайно высокий прогиб при изгибе длинной балки по ОСТ 1.90265-78. Препреги на основе используемого связующего ЭП-2МК нетехнологичны в переработке (слишком высокая липкость и низкая жизнеспособность), а также требуют длительной, высокотемпературной термообработки: 4-6 часа при Т=160-170°С [6].

До 1993 года отечественные самолетостроительные предприятия являлись ведущими в мире организациями по созданию и внедрению в транспортные и пассажирские самолеты конструкций из ПКМ. Однако с развалом СССР начались процессы которые привели к тому, что были разрушены многолетние налаженные связи «предприятие-производитель – поставщик», многие предприятия-поставщики относились

Таблица 1. Панелей пола на основе гибридной ткани Т-42/1-76, сотового заполнителя ПСП/ССП и связующего ЭП-2МК

Свойства	Зона входа/выхода	Зона проходов	Зона под креслами	Зона БГО
Наименование	Панели пола на Т-42/1-76 и ЭП-2МК			
Толщина, мм	10,16±0,25			
Масса, кг/м ² , не более	1,8	1,8	1,6	1,8
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	3,43	3,43	3,43	3,43
Разрушающие усилие при изгибе длинной балки, Н, не менее	1422	1422	1020	1422
Прогиб при усилнии 445 Н, мм, не более	20	20	30	20
Разрушающие усилие при изгибе короткой балки, Н, не менее	3776	3776	2609	3776
Усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя, Н/76 мм, не менее	147			
Испытания роликом на износ	120000 циклов	120000 циклов	80000 циклов	125000 циклов
Коробление на 1000 мм, мм не более	6			
Температура эксплуатации	От -60°С до +60°С			
Горючесть	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (а) приложение (F) (а) (1) (i)			
Материал обшивки	Органостеклоткань Т-42/1-76			
Сотовый заполнитель	Стеклосотопласт ССП-1			

уже к другим государствам, крупные самолетостроительные предприятия в связи с ухудшившейся экономической ситуацией в стране потеряли заказы, утратили квалифицированный персонал, утратили отработанные технологии, многие уникальные предприятия были уничтожены, а те, что выжили, перешли на рыночные отношения, что привело к удорожанию их продукции, а в некоторых случаях и ухудшению ее качества. Поэтому, начиная с 2000-х годов, большинство отечественных авиационных производств и КБ стали применять в своих самолетах импортные панели пола или панели, изготовленные из импортных материалов. Так, например, КБ «Туполев» стали использовать в своих самолетах панели пола компании «Hexcel».

На сегодняшний день основными поставщиками панелей пола и материалов для их изготовления для современных отечественных пассажирских самолетов, являются компании: «Hexcel» (заготовки панелей пола, препреги, сотовый заполнитель, связующее, клеи), «B/E Aerospace» (заготовки панелей пола), «EADS-EFW» (заготовки панелей пола), «Cell Components» (заготовки

панелей пола), «TRB Lightweight Structures» (заготовки панелей пола), «Cytex» (связующее, препреги, полимерные заполнители – сферопласты), «Huntsman» (связующее, полимерные заполнители – сферопласты), «Gurit» (препреги), «Dupont» (сотовый заполнитель), Aim Composite Ltd (заготовки панелей пола), «3М» (клеи) и др [7]. Однако учитывая появление санкций на поставку импортных материалов в Россию и инициативу Президента Российской Федерации по импортзамещению, появляется необходимость в разработке отечественных заготовок панелей пола для самолетов, отвечающих современным требованиям.

Для решения этой проблемы требуется комплексный подход по разработке материалов, отвечающих современным прочностным и эксплуатационным требованиям, энергоэффективных технологий и оптимальной конструкции, для увеличения весовой эффективности ЛА.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 13.2 «Конструкционные ПКМ» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [8].

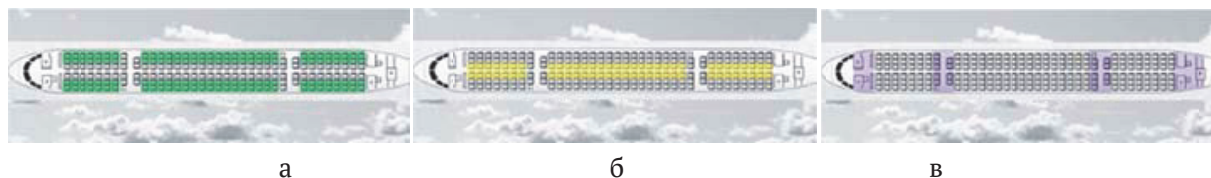


Рис. 2. Общий вид пассажирской кабины самолета с установленными панелями пола:
 а – панели пола подкресельной зоны; б – панели пола проходов;
 в – панели входов-выходов и кухни, высоконагруженные панели и панели БГО

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В конструкции современного пассажирского самолета используется четыре типа панелей пола: подкресельные панели рис.2а, панели проходов рис. 2б, панели входов-выходов и кухни рис. 2в, высоконагруженные панели и панели багажно-грузового отсека (БГО) рис. 2в. Наличие

зон и использование в них соответствующих типов панелей пола обуславливается нагрузками воспринимаемыми панелями пола в процессе эксплуатации самолета. В результате чего панели пола в различных зонах имеют разные физико-механические и весовые характеристики. В табл. 2 приведен пример использования различных типов панелей пола в конструкции самолета Ту-204.

Таблица 2. Различные типы панелей пола применяемые в самолете Ту-204

Свойства	Панели входов-выходов и кухни	Панели пола проходов	Панели пола подкресельной зоны	Высоконагруженные панели и панели БГО
Наименование	Fibre lam Grade 1-3/3 Hexcel Composite	Fibre lam Grade 1 Hexcel Composite	Fibre lam Grade 5 Hexcel Composite	Fibre lam Grade 12 Hexcel Composite
Толщина, мм	10,16±0,25			
Масса, кг/м ² , не более	3,8	3,12	2,53	5,36
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	11,03	11,03	4,13	17,24
Разрушающие усилие при изгибе длинной балки, Н, не менее	1424	1023	1023	2002
Прогиб при усилии 445 Н, мм, не более	21,6	21,6	21,6	12,7
Разрушающие усилие при изгибе короткой балки, Н, не менее	2603	2603	1602	3782
Усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя, Н/76 мм, не менее	222			
Испытания роликом на износ	120000 циклов	120000 циклов	80000 циклов	125000 циклов
Коробление на 1000 мм, мм не более	2			
Температура эксплуатации	От -60°С до + 60°С			
Горючесть	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (а) приложение (F) (а) (1) (i)			
Материал обшивки	Высокомодульное однонаправленное стекловолокно			
Сотовый заполнитель	Бумага номекс			

При этом остается важным значение снижения веса панелей пола. Важно производить панели пола настолько легкими, насколько это возможно, одновременно сохраняя различные конструкционные характеристики, которые требуется для конкретного типа панели пола. Даже небольшое изменение в поверхностной плотности панели пола повлияет на относительное изменение общей взлетной массы самолета. Таким образом, необходимо изготавливать панели пола легкими по весу и с конструкционными требованиями, обеспечивающими их использование в различных видах самолетов и их конкретных участках [7].

На сегодняшний день существует два способа изготовления панелей пола: по последовательной и по интегральной схемам. В первом случае сначала формируются обшивки, а затем идет их склейка с сотовым наполнителем рис 3. Обшивка может изготавливаться как вакуумным, вакуумно-автоклавным так и прессовым методом из препрегов. Сегодня чаще всего обшивки панелей пола изготавливаются из препрегов, представляющие собой тканый на-



Рис. 3. Образцы панели пола, изготовленные по последовательной схеме формования

полнитель (стеклоткань, ткань на основе углеродного волокна) пропитанного связующим на основе фенолоформальдегидных олигомеров.

Использование фенолоформальдегидного связующего обуславливается тем, что одним из требований, предъявляемых к панелям пола, является обеспечение требований АП-25, приложение F, Часть 1, п. 853, 855 (FAR25) табл. 3 [9]. Для обеспечения этих требований во ФГУП «ВИАМ» создано новое поколение пожаробезопасных теплостойких связующих (марок РС-Н, ВСФ-16М) [10]. Данные марки связующих, ха-

Таблица 3. Требования пожаробезопасности предъявляемые к панелям пола

№ п/п	Назначение материала/Наименование элемента конструкции	Пункт авиационных правил	Вид испытаний	Допустимая характеристика
1	В местах постоянного пребывания пассажиров: - внутренние панели потолка и стен, - перегородки, - поверхности буфетов, - большие шкафы.	п. 853, Приложение F Части I, IV, V	Горючесть (вертикально): - продолжительность остаточного горения, - длина прогорания	$\tau_{ост} \leq 15$ с, $l_{пр} \leq 152$ мм
			Тепловыделение: - максимальная интенсивность выделения тепла, - общее количество выделяющегося тепла за 2 мин	≤ 65 кВт/м ² , ≤ 65 кВт · мин/м ²
			Дымообразование: - максимальная оптическая плотность за 4 минуты	≤ 200
2	Покрытия пола, текстильные материалы, кожа, материалы подносов и буфетов, литые и термоформованные детали	п. 853, Приложение F Части I	Горючесть (вертикально)	$\tau_{ост} \leq 15$ с, $l_{пр} \leq 203$ мм
3	Панели пола пассажирской кабины и багажногрузового отсека	п. 853, 855 Приложение F Части I	Горючесть (вертикально)	$\tau_{ост} \leq 15$ с, $l_{пр} \leq 203$ мм

рактируются высокой механической прочностью, теплостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами.

Сравнительные показатели представлены в табл. 4 [11-16].

Сравнительный анализ образцов стеклопластика на основе Т-15(П)-76 и связующих РС-Н и ВСФ-16М по показателям предела прочности при растяжении, сжатии, температуры стеклования, горючести и дымовыделению показывает, что

Таблица 4. Характеристики пожаробезопасных теплостойких связующих марок РС-Н, ВСФ-16М в сравнении с зарубежными аналогами

Свойства	ВСФ-16М	РС-Н	ЭП-2МК	CYCOM® 2265 Phenolic Resin System	QC 2550, 126- 40-146
Внешний вид, цвет	Однородный раствор коричневого цвета	Однородный прозрачный раствор красно-коричневого цвета без механических включений	Однородная вязкая жидкость от светло-коричневого до темно-коричневого цвета	-	Раствор черного цвета
Массовая доля нелетучих веществ, %	72-80	69-76	51-57	38-44	50
Условная вязкость при температуре (20±1)°С по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм, с	20-60	10-65	60-150	-	-
Время желатинизации при температуре (130±2) °С, мин	1-3	3-6	20-80 (175°С)	7-17 (121°С)	-
Отвержденное состояние (пример)					
Наполнитель	Т-15(П)-76		Т-42/1-76	7781 Glass Fabric	E-glass
Предел прочности при растяжении, МПа	353	235	-	367	234
Предел прочности при сжатии, МПа	438	360	-	330	360
Температура стеклования, °С	160	160	-	200	200
Горючесть	Самозатухающий	Самозатухающий	-	Самозатухающий	Самозатухающий
Дымообразование	Самозатухающий	Самозатухающий	-	Самозатухающий	Самозатухающий

разработанные связующие не хуже зарубежных аналогов. При этом данные связующие обладают существенным недостатком: связующие на основе фенолформальдегидных олигомеров в процессе полимеризации выделяют продукты поликонденсации – водяной пар, что сказывается на появлении пористости в клеевых галтелях (при интегральной схеме формования) и пластике в целом. Возможным решением данной проблемы является внедрением в состав связующих эпоксидных групп. Стоит отметить, что за рубежом не редко используют в производстве панелей пола модифицированные эпоксидные связующие, как правило, антипиренами, для снижения горючести.

Чаще всего препреги изготавливаются на основе стеклянных армирующих наполнителей. Это объясняется доступностью, дешевизной материала, его инертностью к агрессивным средам, по сравнению с другими видами армирующего наполнителя. Однако наполнитель из углеродного волокна легче, прочнее, обладает стабильностью размеров и форм при изменениях температуры,

а главное, наполнитель из углеродного волокна обладает высоким модулем упругости, что обеспечивает жесткость конструкции. Но зачастую возможность использования того или иного материала диктуется его ценой. При сравнении использования наполнителя на основе углеродных волокон вида тканей или однонаправленного материала, наиболее предпочтительней использовать в конструкциях обшивок панелей пола однонаправленный материал, так как он дешевле, а прочность не значительно уступает тканям на основе углеродного волокна [5]. Сравнивая между собой стеклянный армирующий наполнитель и наполнитель на основе углеродного волокна по показателю цены, можно сделать вывод, что стеклянный армирующий наполнитель более предпочтителен хоть он и проигрывает по прочностным и эксплуатационным показателям, что нашло широкое отражение в массовом использовании, как в РФ так и за рубежом.

В табл. 5 и 6 представлены сравнительные характеристики препрегов на основе стеклянных

Таблица 5. Сравнительные характеристики препрегов на основе наполнителя из углеродного волокна

Свойства	PF807-C08-45	G803	ПУ-4Л-2М
Армирующий наполнитель	Carbon (449T)	High Strength 3K carbon, 5H satin	Однонаправленная углеродная лента
Вес армирующего наполнителя, г/м ²	193	200	130
Связующие	Фенолформальдегидное	Фенолформальдегидное HexPly 200	Модифицированная эпоксидная
Вес препрега, г/м ²	350	285	309
Липкость	От сухого до среднего	От сухого до среднего	От сухого до среднего
Содержание связующего, %	45	40	48
Содержание летучих, %	<8	<8	<1,5
Ширина рулона, м	1-1,5	1	0,3
Горючесть	В соответствие с АП 25 или FAR 25.853 (a) приложение (F) (a) (1) (i)	В соответствие с АП 25 или FAR 25.853 (a) приложение (F) (a) (1) (i)	-
Производитель	Gurit	Hexcel	ВИАМ

Таблица 6. Сравнительные характеристики препрегов на основе наполнителя из стекловолокна

Свойства	PF812-G226-40	Сусом 2265	ВПС-39П	ВПС-42П
Армирующий наполнитель	PF812-G226-40S2-Glass	120	T-15(П)-76	T-15(П)-76
Вес армирующего наполнителя, г/м ²	190	105	160	160
Связующие	Фенолформальдегидное	Фенолформальдегидное	Фенолформальдегидное РС-Н	Фенолформальдегидное ВСФ-16М
Вес препрега, г/м ²	315	238	333	355
Липкость	От среднего до высокого	От среднего до высокого	От среднего до высокого	От среднего до высокого
Содержание связующего, %	40	44-50	48	45
Содержание летучих, %	<8	<4	<7	<8
Ширина рулона, м	1,3	1	1	1
Горючесть	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (a) приложение (F) (a) (1) (i)	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (a) приложение (F) (a) (1) (i)	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (a) приложение (F) (a) (1) (i)	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (a) приложение (F) (a) (1) (i)
Производитель	Gurit	Cytec	ВИАМ	ВИАМ

ных наполнителей и наполнителей на основе углеродного волокна пропитанных фенолоформальдегидным связующим [11-16, 17, 18, 19].

Важным моментом при изготовлении панелей пола является то, каким образом обшивка приклеивается к сотовому наполнителю. Обычно используют адгезивные способы соединения обшивки с сотовым наполнителем. Адгезив является одной из критических составных частей панели пола, в которой используется сотовый наполнитель, поскольку соты имеют относительно маленькую площадь контакта в области стыка с обшивкой [7]. Поэтому на первый план выходят получение качественных клеевых галтелей и обеспечение требований АП-25, приложение F, Часть 1, п. 853, 855 (FAR25). Во ФГУП «ВИАМ» разработан и модифицирован пленочный высокопрочный клей ВК-46Б с пониженной горючестью. Модификацию состава клеевой композиции проводили для повышения проч-

ностных свойств, снижения горючести и дымовыделения клеевой композиции путем изменения соотношения ее основных компонентов: бромосодержащей эпоксидной смолы и полигидроксиэфира, а также модифицированной бисмалеимидом эпоксидной смола. Уменьшение содержания бромосодержащей смолы (38% вместо 53% для клея ВК-46, и введение в состав клеевой композиции бисмалеимида позволило снизить дымообразование (группа 3 вместо группы 5), повысить теплостойкость ($T_{ст} = 100^{\circ}\text{C}$ вместо 85°C для клея ВК-46 [26]. В табл. 7 представлены сравнительные характеристики клея ВК-46Б с зарубежным аналогом [27, 28].

Соты являются очень популярным наполнителем из-за таких показателей, как отношение высокой прочности к малому весу и высокому сопротивлению к усталостным нагрузкам. Основная функция сот – придание устойчивости несущим обшивкам и обеспечение передачи

Таблица 7. Сравнительные характеристики пленочного клея ВК-46Б с зарубежными аналогами

Свойства	ВК-46Б	AF 3070 FST	EPOCAST 1622 FST
Цвет	красно-розовый	Светло красно-коричневый	Белый
Основа	Модифицированная эпоксидная	Модифицированная эпоксидная	-
Время остаточного горения, с	1	<3	<1
Длина прогорания, мм	98	50	90
Время горение капель, с	нет	нет	нет
Дымообразование (D_s)	125	125	90
Соответствие нормам АП-25, приложение F, Часть 1, п. 853 (FAR25)	да	да	да
Производитель	ВИАМ	3М	Huntsman

сдвиговых нагрузок по толщине панели. Для выполнения этой задачи наполнитель должен быть по возможности более жестким и легким, не должен изменять свойства при воздействии окружающей среды. Все механические свойства сотового наполнителя возрастают с ростом плотности. Эффективная плотность, обеспечивающая хорошие весовые и прочностные характеристики панелей пола должна составлять не более 144 кг/м^3 . В настоящее время на Российском рынке основным производителем сот является ОАО «ОНПП Технология». В табл. 8 представлены виды сот, предназначенные для изготовления панелей пола в сравнении с зарубежными аналогами [29].

Последовательная схема изготовления панелей пола обеспечивает хорошее качество лицевой поверхности панелей, но проигрывает по

продолжительности и трудоёмкости интегральной схеме, где идет единовременное формование обшивок в конструкции рис. 4. При этом обшивки могут быть как из препрега так и клевого препрега.

Сегодня одним из перспективных направлений является создание ПКМ на основе клеевых препрегов с использованием однонаправленных угле и стеклонаполнителей, а в качестве связующего высокопрочные пленочные клеи с пониженной горючестью рис. 5.

Отличительной способностью клеевых препрегов является возможность реализации высокоэффективной технологии сборки конструкций из неметаллических материалов одинарной и двойной кривизны, когда формирование обшивки и приклеивание ее к сотовому наполнителю происходит за одну технологическую

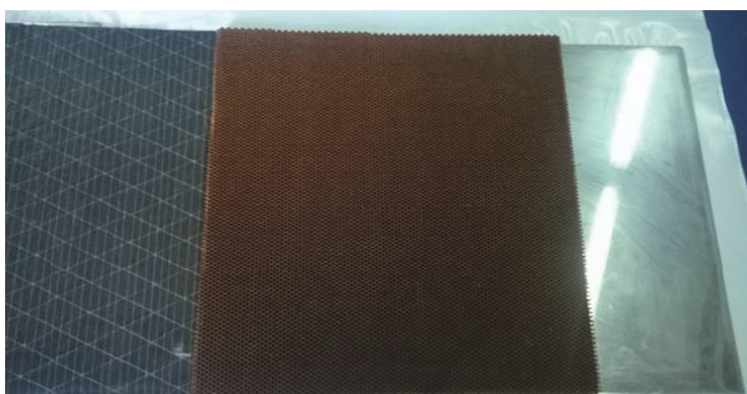


Рис. 4. Сборка образца панели пола по интегральной схеме формования в прессе

Таблица 8. Характеристики сотового заполнителя

Свойства	Наименование	
	ПСП-1 ОАО «ОНПП Технология»	HRH Hexcel (тип.)
1	2	3
Основа	Полиарамидная синтетическая бумага и фенолформальдегидное связующее	Арамидная бумага «Номекс»
1	2	3
Высота, мм, от и более	3	3
Ширина, мм, до	650	-
Длина, мм, до	2500	-
Размер грани ячейки, мм	2; 2,5; 3,5; 4,2	3...9
Плотность, кг/м ³	25 ... 144	24 ... 192
Прочность при сжатии, кгс/см ²	3,6 ... 105,0	13
Прочность при сдвиге, кгс/см ²	5 ... 32	10
Модуль упругости при сдвиге, кгс/см ²	200 ... 2000	422

операцию. Применение клеевых препрегов позволит сократить цикл изготовления конструкции в 2-3 раза, а трудоемкость изготовления сотовых конструкций на 40-50% по сравнению



Рис. 5. Клеевой препрег на основе однонаправленной стеклоткани Т-60(ВМП)-14 и пленочного клея ВК-46Б

с обычными клееными панелями. При этом число технологических операций сокращается в 3 раза, количество оснастки в 1,5-2 раза и вес конструкции (особенно с сотовым заполнителем) на 30-50% [19].

На Российском рынке и странах Таможенного союза имеется ряд производителей способные выпускать однонаправленный материал на основе углеродного волокна и стекловолокна и высокопрочные пленочные клеи с пониженной горючестью. В табл. 9, 10 представлены ряд материалов, производимые на Российском рынке и странах Таможенного союза в сравнении с зарубежными аналогами [20 – 25].

Как в первом, так и во втором способе заделка торцов и мест установки крепежа осуществляется полимерным заполнителем – сферопластом, основная функция которого исключение попадания влаги и упрочнения неметаллических сот в зонах установки крепежа. В табл. 11 представлены сравнительные характеристики отечественного полимерного заполнителя и зарубежных аналогов [30,31]

Таблица 9. Характеристики однонаправленного наполнителя на основе углеродного волокна

Свойства	Аспро А-160	Porcher 4509	Porcher 3673	Porcher 4510	UD 200	УОЛ-300Р	UDPW 43185
Тип волокна	UTS 50 24К	12К HS	6К HS	12К HS	-	2,5К	3К HS
Диаметр волокна, μm	7	5	7	5	-	-	7
Плотность, г/см^3	1,79	1,85	1,82	1,85	-	-	1,82
Прочность при растяжении, МПа	5100	4600	4900	4600	-	-	4900
Модуль при растяжении, ГПа	245	455	240	455	-	-	240
Предельное удлинение, %	2,1	1,0	2,0	1,0	-	-	2.0
Переплетение	полотно	2×2 саржа	полотно	полотно	-	полотно	полотно
Поверхностная плотность, г/м^2	160	180	200	205	200	190	185
Примерная толщина монослоя, мм	0,16	0,18	0,2	0.205	0,22	0,19	0,19
Нить основы	UTS 50	12К HS	6К HS	12К HS	-	-	3К HS
Нить утка	Твердая эпоксидная смола 9 г/м^2	Стекланная нить с термопластичной пропиткой	EC9 34 1383	Стекланная нить с термопластичной пропиткой	Стекловолокно пропитанное термопластичной смолой	Стеклонить	EC5 11
Количество нитей по основе/утку, нитей/см	-	2,0×2,5	4,9×2,0	2,4×1.0	2,5×1,3	6,2×1,0	8.4×6.9
Ширина, мм	1000	1000	1000	1000	1000	300	1360
Производитель	«Аспро углеродные материалы»	«Порше современные материалы»	«Порше современные материалы»	«Порше современные материалы»	М-Карбо (Минск)	ООО «АРГОН»	Hexcel

При этом данные схемы реализуемы как вакуум-автоклавным, вакуумным, так и прессовыми методами формования. Анализ производителей панелей пола показывает, что наиболее распространенным способом изготовления панелей пола является прессовый метод. Данный метод более дешевый, менее энергоемок, менее трудоемок по сравнению с вакуум и вакуум-автоклавным методом, не требует наличия большого количества вспомогательных материалов (дренажные слои, разделительные пленки, вакуумные пленки, герметизирующие ленты и т.д.), не требует высококвалифицированного персонала. Наличие дешевого функционально-

го оборудования, к примеру, таких как многоэтажные прессы (рис. 6), позволяющее повысить производительность и эффективность изготовления панелей пола, делают его наиболее привлекательным.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ панелей пола как отечественных, так и иностранных производителей. Анализ показал, что начиная с 1970 по 1993 гг. отечественные панели пола, по своим основным характеристикам ни в чем не уступали зарубеж-

Таблица 10. Характеристики однонаправленного наполнителя на основе стеклянного волокна

Свойства	Porcher 7630	Porcher 3212	Стеклоткань Т-60(ВМП)-14	1543
Тип волокна	ЕС9 68	ЕС9 136		ЕС9 68
Переплетение	полотно	полотно	полотно	сатин
Поверхностная плотность, г/м ²	163	200	215	290
Примерная толщина монослоя, мм	0,16	0,2	0,22	0,22
Нить основы	ЕС9 68	ЕС9 136	-	ЕС9 68
Нить утка	ЕС9 68	ЕС9 136	-	ЕС7
Количество нитей по основе/утку, нитей/см	11.8×11.8	8.1×6.5	24×6	19×11,8
Ширина, мм	1250	1000	900	1000
Производитель	«Порше современные материалы»	«Порше современные материалы»	ООО «Спецтехноткань»	Hexcel



Рис. 6. Многоэтажный пресс

ным аналогам. Были отмечены их основные недостатки и причины их появления. Рассмотрены основные поставщики панелей пола и их компонентов для отечественных производителей самолетов. Проведен анализ конструкции пола отечественных и зарубежных авиалайнеров. Выделены четыре основных типа панелей пола, предназначенных для различных зон пола самолета. Проведен анализ всех четырех типов панелей пола по назначению и конструктивным составляющим. Анализ показывает, что сегодня, при изготовлении панелей пола в зоне входо-выходов и кухни, проходов чаще всего исполь-

зуется сотовый наполнитель с плотностью 144 кг/м³ и толщиной обшивок в среднем 0,38 мм; в высоконагруженных панелях и панелях БГО используется сотовый наполнитель с плотностью 144 кг/м³ и толщиной обшивок в среднем 0,56 мм; в подкресельной зоне используется сотовый наполнитель с плотностью 80 кг/м³ и толщиной обшивок в среднем 0,38 мм. В табл. 12, как пример, представлены технические характеристики панелей пола «ПАНПОЛ» отечественной компании ЦАТИ [32].

Также в рамках данной работы было проведено сравнительный анализ отечественных и за-

Таблица 11. Сравнительные характеристики отечественного полимерного заполнителя и зарубежных аналогов

Свойства	ВПЗ-16	Ерораст 1629-А/В	Araldite 1641-А/В
Внешний вид	однородная пастообразная масса светло-розового или светло-кремового цвета	-	-
Жизнеспособность, ч	240	1.16	3
Плотность в отвержденном состоянии, кг/м ³	695	480	500
Разрушающее напряжение при сжатии в отвержденном состоянии при температуре не менее (22±3)°С, Мпа	32	20	15
Производитель	ВИАМ	Huntsman	

Таблица 12. Панели пола «ПАНПОЛ»

Свойства	Панели входов-выходов и кухни	Панели пола проходов	Панели пола подкресельной зоны	Высоконагруженные панели и панели БГО
Наименование	Тип II	Тип II	Тип I	Тип III
Толщина, мм	10,16±0,25			
Масса, кг/м ² , не более	3,00	3,00	2,53	3,8
Разрушающие усилие при изгибе длинной балки, Н, не менее	1019	1019	1019	1402
Прогиб при усилии 445 Н, мм, не более	22	22	25	21
Разрушающие усилие при изгибе короткой балки, Н, не менее	2598	2598	1598	2598
Усилие отслаивания обшивки от сотового заполнителя, Н/76 мм, не менее	264			
Испытания роликом на износ	120000 циклов	120000 циклов	80000 циклов	125000 циклов
Температура эксплуатации	От -60°С до + 60°С			
Горючесть	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (а) приложение (F) (а) (1) (i)			
Толщина обшивки, мм	0,38	0,38	0,38	0,56
Плотность сотового заполнителя, кг/м ³	144	144	80	144

рубежных материалов для изготовления панелей пола интерьера пассажирского самолета. Анализ показал, что в РФ имеется весь спектр материалов, необходимых для изготовления панелей пола, не уступающих по своим основным характеристикам зарубежным аналогам, отвечающих

современным прочностным, эксплуатационным требованиям и требованиям пожаробезопасности.

Анализ схем и методов формования, производителей панелей пола показал, что наиболее привлекательным является прессовый метод формования по интегральной схеме.

Таблица 13. Технические характеристики панелей пола нового поколения

Свойства	Разрабатываемые заготовки панелей пола			
	Зона входа/выхода	Зона проходов	Зона под креслами	Зона БГО
1	2	3	4	5
Толщина, мм	10,16±0,15			10,16±0,15, 12,6±0,15
Масса, кг/м ² , не более	3,5	2,3	2	3,8
Предел прочности при сжатии, МПа, не менее	12	13	5,2	12
Разрушающие усилие при изгибе длинной балки, Н, не менее	2500	1868	1610	4248
Прогиб при усилнии 445 Н, мм, не более	6	7,4	10,4	12
Разрушающие 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
Предел прочности при сдвиге в плоскости листа кгм	95	75	72	150
Испытания роликом на износ	120000 циклов	160000 циклов	80000 циклов	120000 циклов
Коробление на 300 мм мм, не более	1			
Температура эксплуатации	От -60°С до + 80°С			
Горючесть	В соответствии с АП 25 или FAR 25.853 (а) приложение (F) (а) (1) (i)			
Испытание на вырыв втулки в трех направлениях, Н, не менее	2000			
Материал обшивки	Углеволокно			Стекловолокно
Сотовый заполнитель	Параарамид или номекс			Параарамид, номекс или алюминий

ВЫВОДЫ

Проанализировав историю создания панелей пола, их достоинства и недостатки, конструкцию пола пассажирской кабины самолета, современное производство панелей пола и их характеристики, современные материалы из которых они изготавливаются, можно сделать вывод, что панели пола нового поколения будут обладать следующими физико-механическими и весовыми характеристиками. В табл. 13 приведены возможные технические характеристики панелей пола нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуняев Г.М., Каблов Е.Н. Конструкционные углепластики на рубеже веков / В кн. Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932 – 2002: юбилейный науч.-технич. сб. М.: МИСИС – ВИАМ, 2002. С. 242-247.
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. №1. С.36-39.
3. Каблов Е.Н. России нужны материалы нового поколения // Редкие земли. 2014. №3. С. 8-13.
4. Михайлин Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. 2-е изд. СПб.: На-

- учные основы и технологии, 2010. 822 с., ил.
5. Душин М.И., Ермолаев А.М., Катырев И.Я., Недойнов П.Н., Павлова М.А., Перов Б.В., Суворов Б.Д., Толстобров Е.П. Углепластики в панелях пола трехслойной конструкции // *Авиационная промышленность*, №6. 1978. С. 8–12.
 6. Состав и способ изготовления связующего, препрега и сотовой панели: пат. 2460745 Рос. Федерация №20101050362/05 заявл. 29.12.2010; опублик. 10.09.2012. Бюл. №25 14 с.
 7. Стрельников С.В., Петухов В.И., Постнов В.И., Швеиц Н.И. Новые решения в технологии изготовления препрегов для панелей интерьера // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2011. Т. 13. № 4(2). С. 498–507.
 8. 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.
 9. Барботько С.Л. Пажаробезопасность авиационных материалов // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 431–439.
 10. Застрогина О.Б., Швеиц Н.И., Постнов В.И., Серкова Е.А. Фенолформальдегидные связующие нового поколения для материалов интерьера // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. № S. С. 265–272.
 11. Курносое А.О., Соколов И.И., Мельников Д.А., Топунова Т.Э. Пажаробезопасные стеклопластики для интерьера пассажирских самолетов (обзор) // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.*, 2015. №11. Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 05.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2015-0-11-7-7.
 12. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Застрогина О.Б., Сатдинов Р.А. Технология ускоренного формования трехслойных сотовых панелей интерьера самолета // *Известия Самарского научного центра РАН*, 2013. Т. 15 № 4(4). С. 799–805.
 13. Technical data sheet CYCOM® 2265 PHENOLIC RESIN. URL: <http://www.cytex.com/products/cycom-2265?sp=eNpLsjVUS7Y1NDExU8u1NTIwsQAAJaEEBA%3D%3D> (Дата обращения 05.06.2016).
 14. Стрельников С.В., Застрогина О.Б., Вешкин Е.А., Швеиц Н.И. К вопросу о создании высокоэффективных технологий изготовления панелей интерьера в крупносерийном производстве // *Авиационные материалы и технологии*, 2011. №4. С. 265–272.
 15. Technical data sheet QC 2550 126-40-146. URL: <http://dev2.pemtex.com/products/phenolic/> (дата обращения 05.06.2016).
 16. Technical data sheet PF807-C08-45. URL: <http://www.gurit.com/Our-Business/Composite-Materials/Prepregs> (дата обращения 05.06.2016).
 17. Product data sheet HexPly 200. URL: http://www.hexcel.com/user_area/content_media/raw/HexPly_200_DataSheet_eu.pdf (дата обращения 05.06.2016).
 18. Technical data sheet PF812-G226-40. URL: <http://www.gurit.com/Our-Business/Composite-Materials/Prepregs> (дата обращения 05.06.2016).
 19. Лукина Н.Ф., Дементьева Л.А., Сереженков А.А., Котова Е.В. Клеевые препреги и композиционные материалы на их основе // *Российский химический журнал*. 2010. Т. LIV. № 1. С. 53–56.
 20. Характеристики углеродных тканей А-серии. URL: <http://www.asprotec.ru/product/> (дата обращения 05.06.2016).
 21. Каталоги продукции. URL: http://www.porcher-ind.com/ru/activity/--_2_4_14.html
 22. Лента углеродная УОЛ - 300P URL: <http://rus-carbon.ru/main/catalog/CarbonLt/catpage/1.aspx> (дата обращения 05.06.2016).
 23. Selector guide industry. <http://www.hexcel.com/Site/Resources/Product-Selector-Guides/> (Дата обращения 05.06.2016).
 24. М-Карбо. Каталог материалов. URL: <http://m-carbo.ru/catalog/pan-uglevolokno/odnonapravlennye-udtkani> (дата обращения 05.06.2016).
 25. Каталог материалов. URL: <http://izol.pro/tkani/steklotkan-konstrukcionaya> (дата обращения 05.06.2016).
 26. Дементьева Л.А., Тюменева Т.Ю., Шарова И.А. Клеи с пониженной горючестью для авиационной техники // Сб. докладов VI Международной конф. «Полимерные материалы пониженной горючести». ВоГТУ. 2011. С.127-128.
 27. Technical datasheet AF3070FST. URL: http://www.3m.co.uk/3M/en_GB/company-uk/3m-products/~3M-Scotch-Weld-Structural-Core-Splice-Adhesive-Film-AF-3070-FST-560mm-x-300mm-Sheets-50?N=5002385+8709962+8710645+871101-7+8711736+3293266501&rt=rud (дата обращения 05.06.2016).
 28. Technical data sheet EPOCAST 1622 FST. URL: <http://www.huntsman.com/corporate/a/Innovation/New%20High-Performance%20Epoxy%20Products%20for%20Aerospace> (дата обращения 05.06.2016).
 29. Сотовые наполнители. URL: <https://technologiya.ru/section.aspx?section=64&lang=rus> (дата обращения 05.06.2016).
 30. Каталог продукции. URL: <http://catalog.viam.ru/> (дата обращения 05.06.2016).
 31. Advanced Materials Adhesives, syntactics and laminating solutions for high performance. URL: <http://www.huntsman.com/corporate/a/Innovation/New%20High-Performance%20Epoxy%20Products%20for%20Aerospace> (дата обращения 05.06.2016).
 32. Панели пола. URL: <http://www.cati.aero/floor-panel/> (дата обращения 05.06.2016).

**ON THE ISSUE OF PRODUCTION OF THE FLOOR PANELS MADE OF PCM FOR AIRCRAFT
(REVIEW ARTICLE)**

© 2017 A.A. Barannikov, E.A. Veshkin, V.I. Postnov, S.V. Strelnikov

Ulyanovsk Scientific and Technological Center, Branch of FGUP VIAM

In the framework of this work, a comparative analysis of the floor panels of both domestic and foreign manufacturers was carried out. They noted their main shortcomings and the reasons for their appearance. The main suppliers of floor panels and their components for domestic aircraft manufacturers are considered. The analysis of their construction is carried out. There are four main types of floor panels designed for different areas of the aircraft floor. Their analysis by designation and constructive components was carried out. Also, a comparative analysis of domestic and foreign materials for the production of floor panels for the interior of a passenger aircraft was carried out. The analysis of schemes and methods of molding is made.

Keywords: honeycomb sandwich construction, the sandwich panels, floor panels, a reinforcing filler, binder, adhesive film, honeycomb, polymer filler – spheroplasts, syntactics.

*Alexander Barannikov, Engineer-Technologist of 3 Category
E-mail: untcviam@gmail.com.
Eugene Veshkin, Head of Sector. E-mail: untcviam@gmail.com
Vyacheslav Postnov, Doctor of Technics, Associate Professor,
Head of Branch. E-mail: untcviam@gmail.com
Sergei Strelnikov, Head of Laboratory No. 1.
E-mail: untcviam@gmail.com*