

УДК 678.8

И.А. Сарычев<sup>1</sup>, Е.А. Серкова<sup>1</sup>, В.В. Хмельницкий<sup>1</sup>, О.Б. Застрогина<sup>1</sup>

## ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВ ПАНЕЛЕЙ ПОЛА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-7-26-33

*Проведен обзор термореактивных связующих, применяемых для производства трехслойных сотовых панелей пола в отечественной и зарубежной практике, выделены основные типы. Приведены механические свойства и огнестойкость панелей пола на фенолформальдегидных и эпоксидных связующих. Описаны некоторые составы связующих и пути их физической и химической модификации, необходимые для удовлетворения требованиям по прочности и пожаробезопасности. Обозначены особенности производства сотовых панелей, в зависимости от типа связующего. Сделан вывод о направлении исследований при разработке новых связующих для панелей пола авиационной техники.*

**Ключевые слова:** термореактивные связующие, композиционные материалы, трехслойная сотовая панель, фенолформальдегидные смолы, эпоксидные смолы, антипирен, горючесть, пожаробезопасность.

I.A. Sarychev<sup>1</sup>, E.A. Serkova<sup>1</sup>, V.V. Khmel'nitskiy<sup>1</sup>, O.B. Zastrogina<sup>1</sup>

## THERMOSETTING BINDERS FOR AIRCRAFT FLOOR PANEL MATERIALS (review)

*A review of thermosetting binders used for the production of three-layer honeycomb floor panels in domestic and foreign practice has been carried out; the main types have been identified. Mechanical properties and fire resistance of floor panels on phenol-formaldehyde and epoxy binders are given. Describes some of the binder compositions and the ways of their physical and chemical modification necessary to meet the requirements for strength and fire safety. Designated features of the production of honeycomb panels, depending on the type of binder. The conclusion was made about the direction of research in the development of new binders for aircraft floor panels.*

**Keywords:** thermosetting binders, composite materials, three-layer honeycomb panel, phenol-formaldehyde resins, epoxy resins, fire retardant, combustibility, fire safety.

---

<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

Одной из главных задач авиастроения является снижение массы летательных аппаратов, что значительно уменьшает расход топлива и приводит к снижению стоимости авиаперевозок [1]. С середины XX века снижение массы производится путем замены металлических деталей авиационной техники на изделия из полимерных композиционных материалов (ПКМ) [2, 3]. Композитные конструкции обеспечивают не только общее снижение массы, но и увеличивают прочностные характеристики летательного аппарата [4]. К настоящему времени доля применения ПКМ в конструкции самолета может достигать 50% и значительная их часть сосредоточена в материалах

внутренней отделки, таких как панели стен, пола, потолка, перегородок, кресел и многое другое.

Для создания панелей интерьера и пола самолетов широко используются трехслойные сотовые панели (ТСП) благодаря своей легкости, высокой удельной прочности, жесткости и технологичности. Трехслойная сотовая панель представляет собой сборку из заданного количества слоев препрега (2–3 слоя с каждой стороны), между которыми заключен сотовый наполнитель, обеспечивающий требуемую жесткость конструкции без использования большого количества слоев препрега [5, 6]. Для создания трехслойной сотовой панели связующее в препреге должно отвечать таким требованиям, как быстрый цикл отверждения; достаточная адгезионная прочность к сотовому наполнителю, которая позволяет отказаться от использования клеевого слоя между препрегом и сотами; умеренные физико-механические и тепловые характеристики отвержденной матрицы; низкая стоимость. Отдельной строкой идут требования по пожаробезопасности сотовых панелей интерьера, которые прописаны в Авиационных правилах АП-25 [7]. Такие требования, как горючесть, дымообразование, тепловыделение и токсичность продуктов горения, во многом зависят от природы связующего в препреге и наличия клеевого слоя. В настоящее время основными типами связующих для создания ТСП являются фенолформальдегидные связующие ввиду их доступности и отличных показателей по комплексу пожаробезопасных свойств, а также эпоксидные связующие, которые удовлетворяют требованиям по физико-механическим характеристикам, а при добавлении антипиренов и по горючести.

#### Состояние дел в отечественной авиационной промышленности

В отечественной промышленности до недавнего времени основным связующим для создания ТСП интерьера было связующее марки ФПР-520, разработанное во ФГУП «ВИАМ», которое применялось совместно с эпоксидным клеевым слоем между сотами и препрегом [8].

Поскольку требования по пожаробезопасности ПКМ, применяемых для создания летательных аппаратов, постоянно ужесточаются, требуется дальнейшее увеличение огнеупорных свойств фенолформальдегидных связующих и отказ от клеевого слоя между препрегом и сотовым наполнителем.

Вследствие этого разработаны фенолформальдегидные связующие марок ФПР-520Г и РС-Н. Связующее ФПР-520Г является модификацией связующего ФП-520, в которое введен дисперсный наполнитель – антипирен [9]. Такая модификация связующего позволила снизить тепловыделение за 2 мин с 51 до 9 кВт·мин/м<sup>2</sup> при отказе от клеевого слоя за счет улучшенной способности связующего образовывать галтели на сотах в процессе отверждения, однако для изготовления препрега требуется специальная фильера на пропиточной машине, которая обеспечивает неравномерный нанос связующего на стеклоткань. Для отказа от необходимости использования сложного технологического оборудования при изготовлении препрега во ФГУП «ВИАМ» разработано связующее марки РС-Н [10], которое обладает еще более пониженным тепловыделением при горении, а ТСП на его основе обходятся без применения клеевого слоя и могут производиться на существующем оборудовании без использования специальных приемов и средств. Известно также фенолформальдегидное связующее марки ВСФ-16М, которое обладает сравнимыми со связующим ФПР-520Г характеристиками пожаробезопасности, удовлетворяет требованиям АП-25 и позволяет производить ТСП по ускоренной технологии формования *crush-core* [10, 11]. В настоящее время практически безальтернативно для пропитки арамидной бумаги при производстве сотового наполнителя используют модифицированное фенолформальдегидное связующее марки БФОС.

Рассмотренные ранее фенолформальдегидные связующие удовлетворяют требованиям по пожаробезопасности, однако не в полной мере обеспечивают прочностные характеристики, которыми должны обладать трехслойные сотовые панели пола (ТСПП) авиационной техники. В настоящее время имеются данные только по использованию стеклопластиков марок КАСТ-В и КАСТ-ВС на основе фенолформальдегидного связующего ВФБ-1, которые применялись для изготовления ТСПП пола в самолетах Ил-18, Ил-62, Ан-24, Ту-144, Ту-154 и др. [12], где необходимая прочность ТСПП достигалась за счет использования высокомодульных стеклянных наполнителей, а недостатком таких ТСПП пола являлась завышенная масса [13].

Для повышения прочностных характеристик без увеличения плотности панелей пола в отечественной авиапромышленности стали использовать эпоксидные связующие. Связующее марки ЭП-2МК представляет собой композицию на основе полиизоцианата и эпоксидной смолы, модифицированную антипиреном. Произведенные на основе связующего ЭП-2МК и наполнителей ТСПП демонстрируют хорошее соотношение «прочность/масса», однако дороговизна гибридной ткани Т-42/1-76, а также низкая жизнеспособность и высокая липкость препрега, ограничивают возможность широкого применения данного связующего [14].

Для изготовления панелей пола самолета Ан-74 использовали эпоксифенольное связующее марки 5-211-БН, представляющее собой композицию из эпоксидиановой смолы ЭД-20, ее бромированного аналога, смолы УП-631У и анилинофенолформальдегидной смолы СФ-341А [14]. Возможность применения данного связующего при изготовлении ТСПП оценивали также и для самолета Ан-148 [15]. Специалистами ФГУП «ВИАМ» разработан пленочный клей марки ВК-46, который использовался для склеивания сот и обшивки при создании панелей пола в таких самолетах, как Ил-96, Ту-204 и Ан-148 [16]. С целью улучшения прочностных характеристик и снижения дымовыделения при горении, состав клея модифицирован путем уменьшения бромсодержащей эпоксидной смолы и введения бисмалеимидсодержащей эпоксидной смолы. Такая модификация позволила повысить прочностные характеристики клея, одновременно снизить его дымовыделение с характеристики «сильнодымящий» (для клея ВК-46) до «среднедымящий» (для модифицированного клея) с присвоением ему марки ВК-46Б. На основе клея ВК-46 изготовлен клеевой препрег, позволяющий производить ТСПП по упрощенной схеме – без использования клеевой пленки.

На этом марочный ассортимент промышленно выпускаемых связующих для создания панелей пола в отечественной промышленности заканчивается, однако разработка и патентование составов связующих, рекомендованных для производства ТСПП, продолжаются.

В патентах ОАО «НИАТ» [17, 18] связующее состоит из композиции эпоксидных смол ЭД-20, ЭД-22, ЭН-6, УП-631, пластификатора «Диапласт», модификатора полисульфона и отвердителя бис(N,N-диметилкарбамид)дифенилметана. Заявлено, что использование бромсодержащей эпоксидной смолы марки УП-631 позволяет снизить горючесть полимерной матрицы, а высокая адгезия и контролируемая вязкость связующего позволяют отказаться от использования клеевого слоя между сотовым наполнителем и препрегом. В ОАО «НИАТ» провели оценку свойств ТСПП, изготовленных с применением однонаправленного препрега на связующем ТЭС-130Н, которые приведены в табл. 1.

При изготовлении ТСПП использовали препреги с разным количеством связующего: 28% (по массе) – для наружного слоя и 44% (по массе) – для слоя, прилегающего к сотам. Увеличенное содержание связующего, прилегающего к сотам, позволяет увеличить как прочность клеевого соединения между сотами и обшивкой, так и общую прочность ТСПП [18].

Таблица 1

**Свойства трехслойных сотовых панелей пола (ТСПП) различных производителей**

Свойства	Тип панели*	Значения свойств ТСПП, изготовленных производителем			
		ОНПП «Технология»	Hexcel Composites	AIM Composites	ОАО «НИАТ»
Масса 1 м <sup>2</sup> , кг (не более)	I	2,8	2,5	2,5	2,5
	II	3,6	3,1	3,1	3,1
	III	5,0	3,8	3,8	3,8
	IV	–	3,8	3,8	3,8
Прочность при сжатии, МПа (не менее)	I	4,9	5,5	4,8	5,1
	II	11,7	14,5	13,0	14,5
	III	13,7	14,5	12,0	13,0
	IV	–	14,5	12,0	13,0
Разрушающая нагрузка при изгибе длинной балки, Н (не менее)	I	1020	1250	1100	1300
	II	1020	1290	1400	1500
	III	2000	2450	2450	2450
	IV	–	2460	2450	2450
Прогиб при изгибе длинной балки (450 Н), мм (не более)	I	30	14,0	14,0	16,0
	II	30	15,2	15,2	15,0
	III	20	10,2	14,0	12,0
	IV	–	14,2	14,2	12,0
Разрушающая нагрузка при изгибе короткой балки, Н (не менее)	I	1588	2000	2040	2000
	II	2607	3400	3480	3200
	III	2607	3400	3400	3400
	IV	–	3400	3400	3400
Отслаивание сот от обшивки, Н/76 мм (не менее)	I	147	330	290	300
	II	147	330	330	250
	III	255	330	200	200
	IV	–	330	200	200

\* I – подкресельные панели; II – панели зоны проходов; III – панели зоны входа/выхода; IV – панели багажного отделения.

Результаты механических испытаний показали, что разработанное ОАО «НИАТ» эпоксидное связующее позволяет изготавливать ТСПП со сравнимыми с зарубежными аналогами характеристиками.

Во ФГУП «ВИАМ» разработан и запатентован состав клеевого связующего пониженной горючести [19], которое содержит в качестве замедлителя горения бромсодержащую эпоксидную смолу с включением бромсодержащего полигидроксиэфира (бромопласта), что позволяет стекло- и углепластику на его основе соответствовать требованиям АП-25 по пожаробезопасности и рекомендуется для изготовления ТСПП.

### Связующие для ТСПП – зарубежный опыт

Мировыми лидерами по производству клеевых систем, связующих и препрегов для интерьера авиационной техники являются компании Gurit, Huntsman, Henkel, Cytec, TenCate, Hexion, Gill. Компания Gurit предлагает линейку препрегов для создания ТСПП как на основе фенолформальдегидных связующих, так и эпоксидных смол, модифицированных фосфорсодержащими антипиренами [20]. Хотя для ТСП интерьера предлагается широкий выбор препрегов с фенолформальдегидным связующим, основной ассортимент связующих для создания ТСПП состоит из эпоксидных систем марок EP-112, EP-121, EP-137, EN-250, EN-420 и фенолформальдегидной системы марки PF-801 [21], причем при производстве ТСПП рекомендуется совместное использование препрегов с фенолформальдегидным и эпоксидным связующими, когда препрег с эпоксидным связующим выкладывают непосредственно на соты, а с фенолформальдегидным – поверх него, что обеспечивает надежное приклеивание сот к обшивке и позволяет ТСПП соответствовать требованиям по прочности и пожаробезопасности [22].

Для ТСПП самолета Airbus A380 компания Gurit разработала препрег марки EP-137UD на основе эпоксидного связующего и углеволокна, поскольку характеристика «прочность/масса» для самолета с площадью пола 550 м<sup>2</sup> (в модификации A380-800) приобретает критическое значение. Отказ от использования слоя с фенолформальдегидным связующим не привел к значительному ухудшению пожаробезопасных свойств и выходу за рамки требований FAR-25 (табл. 2).

Таблица 2

**Свойства трехслойных сотовых панелей (ТСП), изготовленных на связующем марки EP-137 с разными армирующими наполнителями**

Свойства	Стандарт испытаний	Значения свойств ТСП с армирующим наполнителем состава	
		E-glass (48 г/м <sup>2</sup> , содержание связующего 40±3%)	12K HTS+E-glass (205 г/м <sup>2</sup> , содержание связующего 50±3%)
Прочность при изгибе, МПа	ISO 178	600	1100
Модуль упругости, ГПа	ISO 178	19	100
Прочность при межслойном сдвиге, МПа	AITM 1.0019	40	60
Горючесть, см/с/с	AITM 2.0002A	3/0/0	–
Оптическая плотность дыма, отн. ед.	AITM 2.0007A	60	–

По заявлению компании Gurit, недавно разработанный препрег марки PB1000 на основе связующего бензоксазинового типа позволяет создавать ТСП с пожаробезопасностью на уровне панелей на основе фенолформальдегидных связующих. Преимуществами бензоксазинового связующего (в сравнении с фенолформальдегидными связующими) являются как высокие прочностные характеристики пластика, так и отсутствие свободного фенола и формальдегида в изделии. Высокая прочность достигается за счет монолитности полимерной матрицы, поскольку отверждение бензоксазинового связующего протекает без выделения низкомолекулярных летучих продуктов [23]. Прочностные характеристики стеклопластика на основе препрега марки PB1000 в сравнении с типичным стеклопластиком на основе фенолформальдегидного связующего приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Свойства стеклопластика на основе препрега марки PB1000**

Свойства	Стандарт испытаний	Значения свойств для препрега	
		PB1000	фенолформальдегидного
Прочность при изгибе, МПа	ISO 178	550	320
Модуль упругости, ГПа	ISO 178	22	16
Прочность при межслойном сдвиге, МПа	AITM 1.0019	28	18
Горючесть, см/с/с	AITM 2.0002A	6/0/0	6/0/0
Оптическая плотность дыма, отн. ед.	AITM 2.0007A	19	5
Максимальная скорость тепловыделения, кВт/м <sup>2</sup>	AITM 2.0006	50	30
Общее тепловыделение, кВт·мин/м <sup>2</sup>	AITM 2.0006	25	25

Компания Hexcel производит широкий ассортимент ТСП для интерьера. Для изготовления панелей пола компания предлагает безгалогенное быстроотверждаемое фенолформальдегидное связующее марки HexPly M41, обеспечивающее высокие пожаробезопасные свойства ТСПП, которые находятся на уровне свойств материалов, разработанных конкурирующими производителями. Компания Hexcel также запатентовала пленочные эпоксидные связующие для изготовления ТСПП. Составы связующих в целом являются классическими для пленочной формы и включают различные эпоксидные смолы на основе диаминов и дифенолов, эпоксиноволаки, активные эпоксидные разбавители, отвердители на основе ароматических диаминов и их эвтектические смеси, а также термопласты, такие как полисульфон и полиэфиримид. В качестве антипирена используется тетрабромбисфенол А или эпоксидная смола на его основе [24].

Одной из последних разработок компании Сутес является фенолформальдегидное связующее СУСОМ 6826, препрег из которого перерабатывается по технологии *crush core*, а ТСП имеет высокие пожаробезопасные свойства. Препрег на этом связующем не требует наличия эпоксидной клеевой пленки, что снижает массу ТСП и не ухудшает ее (панели) горючесть [25].

Компания 5M s.r.o. разработала эпоксидную фольгу марки LFX038, пригодную для создания панелей пола по пленочной технологии. Использование галогенсодержащей эпоксидной смолы в составе связующего обеспечивает требуемую огнестойкость изготовленных ТСПП. Отверждение препрегов осуществляется при температуре 120°C за 30–60 мин за счет использования ускорителей полимеризации имидазольного типа [26, 27].

Gill Corporation также использует эпоксидные матрицы для производства ТСПП. Панели пола марок Gillfloor 4709 для самолета Boeing 777 и Gillfloor 4809 для самолета Boeing 787 изготовлены на основе эпоксидных связующих и углеволокна с применением эпоксидного пленочного клея [28].

### Заключения

Проблема создания связующих для ТСПП состоит в том, что для достижения необходимых показателей, таких как высокая адгезия к сотовому наполнителю, огнестойкость, низкое дымовыделение и токсичность дыма, необходимо использовать совершенно разные компоненты или функциональные добавки, которые либо несовместимы друг с другом, либо, улучшая одну из характеристик, приводят к снижению другой. Невысокая стоимость связующего и короткий цикл отверждения также являются ключевыми параметрами. Несмотря на дешевизну фенолформальдегидных связующих и высокие пожаробезопасные характеристики пластиков, ТСП на их основе удовлетворяют требованиям по прочности только при изготовлении из них элементов интерьера. Для производства панелей пола как в отечественной, так и в зарубежной практике зачастую используют эпоксидные связующие, которые обеспечивают требуемые прочностные характеристики ТСПП. Высокую горючесть эпоксидных связующих чаще всего принято компенсировать введением галогенсодержащих эпоксидных смол или модификаторов и, хотя требования АП-25 в части токсичности дыма для ТСПП не предъявляются, при разработке новых связующих для панелей пола необходимо учитывать, что в будущем введение таких норм практически неизбежно. Ведущие зарубежные авиастроительные корпорации уже ввели внутренние стандарты оценки токсичности дыма при горении ТСП интерьера, поэтому отказ от галогенсодержащих антипиренов является ключевым фактором при разработке новых связующих для изготовления ТСП. Для повышения прочности панелей пола без увеличения массы и ухудшения пожаробезопасных свойств, в зарубежной практике переходят

к использованию легких и высокопрочных углеродных волокон. Другим решением для повышения прочности является применение отличных от фенолформальдегидных и эпоксидных типов связующих – например, циановых эфиров или бисмалеимидов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. №5. С. 8–18.
2. Раскутин А.Е. Российские полимерные композиционные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 349–367. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-349-367.
3. 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.
4. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Системный анализ влияния климата на механические свойства полимерных композиционных материалов по данным отечественных и зарубежных источников (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2018. №2 (51). С. 47–58. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-2-47-58.
5. Лукина Н.Ф., Петрова А.П., Мухаметов Р.Р., Когтёнков А.С. Новые разработки в области клеящих материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 452–459. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-452-459.
6. Малышева Г.В., Гращенков Д.В., Гузева Т.А. Оценка технологичности использования клеев и клеевых препрегов при изготовлении трехслойных панелей // Авиационные материалы и технологии. 2018. №4 (53). С. 26–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2018-0-4-26-30.
7. 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.
8. Вешкин Е.А., Постнов В.И., Застрогина О.Б., Сатдинов Р.А. Технология ускоренного формования трехслойных сотовых панелей интерьера самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. №4. С. 799–805.
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. Застрогина О.Б., Швец Н.И., Серкова Е.А., Вешкин Е.А. Пожаробезопасные материалы на основе фенолформальдегидных связующих // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. №7. С. 22–27.
11. Серкова Е.А., Швец Н.И., Застрогина О.Б., Постнов В.И., Барботько С.Л., Вешкин Е.А. Быстроотверждаемое фенолформальдегидное связующее, перерабатываемое по «crush core» технологии, для пожаробезопасных материалов интерьера // Тезисы докладов XIX конференции «Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов». Обнинск. 2010. С. 70–71.
12. Баранников А.А., Вешкин Е.А., Постнов В.И., Стрельников С.В. К вопросу производства панелей пола из ПКМ для летательных аппаратов (обзорная статья) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19. №4 (2). С. 198–212.
13. Душин М.И., Ермолаев А.М., Катырев И.Я., Нейдонов П.Н. Углепластики в панелях пола трехслойной конструкции // Авиационная промышленность. 1978. №6. С. 8–12.
14. Двейрин А.З., Майорова Е.В. Анализ эффективности внедрения интегральных конструкций с трубчатыми элементами из полимерных композиционных материалов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. 2011. №4. С. 65–77.
15. Дементьева Л.А., Тюменева Т.Ю., Шарова И.А. Клеи с пониженной горючестью для авиационной техники // Научные публикации сотрудников ВИАМ [Электронный ресурс]. URL: <https://viam.ru/public/files/2011/2011-205777.pdf> (дата обращения: 29.04.2019).
16. Состав и способ изготовления связующего, препрега и сотовой панели: пат. 2460745. Рос. Федерация; заявл. 29.12.10; опубл. 10.09.12.

17. Термоплавкое связующее, способ получения его, препрег и сотовая панель, выполненные на его основе: пат. 2486217. Рос. Федерация; заявл. 21.12.11; опубл. 27.06.13.
18. Шокин Г.И., Шершак П.В., Андриянина М.А. Опыт разработки и освоения производства сотовых панелей пола из отечественных материалов // *Авиационная промышленность*. 2017. №1. С. 32–40.
19. Препрег на основе клеевого связующего пониженной горючести и стеклопластик, углепластик на его основе: пат. 2676634. Рос. Федерация; заявл. 19.04.18; опубл. 09.01.19.
20. Resins curable into fire-retardant and heat-resistant plastic materials, and method for their preparation: Pat. EP 0356379A1; publ. 28.02.90.
21. Aerospace Qualified Prepreg Materials // Gurit: офиц. сайт. URL: <https://www.gurit.com/Our-Business/Composite-Materials/Prepregs/Aerospace> (дата обращения: 29.04.2019).
22. Advanced materials for aircraft interiors. Compositesworld: официальный сайт. [электронный ресурс]. URL: <https://www.compositesworld.com/articles/advanced-materials-for-aircraft-interiors> (дата обращения: 26.04.2019).
23. Rimdusit S., Jubsilp C., Tiptipakorn S. Alloys and Composites of Polybenzoxazines: Properties and Applications. Springer Science & Business Media, 2013. 164 p.
24. Aircraft floor and interior panels using edge coated honeycomb: Pat. US 7988809B2; publ. 02.08.11.
25. CYCOM 6826 | Cytec, CYCOM 6826, Phenolic Resin | Aircraft products | Cytec | 48862 JACO Aerospace Products [Электронный ресурс]. URL: <https://www.e-aircraftsupply.com/products/Cytec/48862/CYCOM-6826> (дата обращения: 26.04.2019).
26. Epoxy foil resins // 5M S.R.O. Company: офиц. сайт. URL: <https://www.5m.cz/en/products/epoxidove-pryskyrice/epoxy-foil-resins> (дата обращения: 05.05.2019).
27. Kripal L. Mechanical testing of composite specimens made by RFI technology // *Aviation*. 2007. Vol. 11. P. 6–14.
28. Floor panels // The Gill Corporation: офиц. сайт. URL: [https://www.thegillcorp.com/home.php?cPath=38\\_23](https://www.thegillcorp.com/home.php?cPath=38_23) (дата обращения: 05.05.2019).