



УДК 666.489

**МНОГОСЛОЙНЫЙ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫЙ
МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В
САЛОНАХ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ**

Т.А. Нестерова

С.Л. Барботько

кандидат технических наук

М.Ф. Николаева

Ю.А. Гертер

в работе также принимали участие Т.Ф. Изотова, Е.Г. Сурнин, к.т.н. Э.Я. Бейдер

Август 2013

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ»,
№8, 2013 г.

*Т.А. Нестерова, С.Л. Барботько, М.Ф. Николаева, Ю.А. Гертер**

МНОГОСЛОЙНЫЙ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ В САЛОНАХ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Разработан многослойный защитно-декоративный материал марки «Полиплекс», представляющий собой стеклоткань с односторонним защитно-декоративным покрытием на основе каучука и сополимеров фторопласта. Изучены физические, физико-механические свойства материала, пожаробезопасные свойства самого материала, а также в составе обшивки и трехслойной сотовой конструкции. Материал отвечает требованиям отечественных и зарубежных авиационных норм АП-25, FAR 25 и CS-25 по пожаробезопасным свойствам (горючесть, дымообразование и тепловыделение).

Материал многослойный защитно-декоративный марки «Полиплекс» рекомендуется для декорирования стен, потолков, багажных отсеков и других деталей, изготовленных из стекло-, органопластиков и трехслойных сотовых панелей в салонах самолетов и вертолетов, а также в качестве ремонтного варианта. Материал «Полиплекс» может эксплуатироваться в интервале температур от -60 до +80°C.

Ключевые слова: *многослойный материал, ткани с эластомерным покрытием, горючесть, тепловыделение, дымообразование, стеклопластик, эластомерное покрытие.*

T.A. Nesterova, S.L. Barbotko, M.F. Nikolaeva, J.A. Gerter

MULTI-LAYER PROTECTIVE AND DECORATIVE MATERIAL FOR DECORATING DETAILS IN THE CABIN OF AIRCRAFT AND HELICOPTERS

Developed a multi-layer protective and decorative material mark «poliplex» which is a one-way fiberglass protective and decorative coating of rubber-based copolymers of fluoroplast. The physical, physico - mechanical properties of the material, fireproof

**в работе принимали участие Т.Ф. Изотова, Е.Г. Сурнин, Э.Я. Бейдер.*

properties of the material, and also as a part of covering and three-layered sandwich structures are studied. Material meets the requirements of domestic and foreign aviation regulations AP-25, FAR 25 and CS-25 on fireproof properties (flammability, smoke generation and heat dissipation).

Material multi-layer protective and decorative mark «poliplex» is recommended for the decoration of walls, ceilings, storage compartments and other parts made of glass-, organic plastics and three-layered sandwich panels in the cabin of aircraft and helicopters, as well as a repair option. Material «polyplex» can be operated at temperatures ranging from -60 to +80°C.

Key words: *multi-layer material, rubber-coated fabric flammability, heat release, smoke generation capacity, fiberglass, elastomeric coating.*

Для декорирования деталей интерьера пассажирских самолетов (панелей перегородок, потолочных панелей) в Российской Федерации широко применяли поливинилхлоридную пленку ПДОАЗм-23, за рубежом – пленки Aerfilm LHR и Tedlar фирмы DU PONT. Однако с середины 80-х г. XX века требованиями FAR-25 [1], JAR-25 (в настоящее время CS-25 [2]) и отечественными авиационными правилами АП-25 [3] для конструктивных элементов данного назначения были установлены повышенные требования по пожаробезопасности. Основными критериями оценки пожаробезопасности материалов, применяемых для декорирования деталей интерьера пассажирских самолетов и вертолетов являются следующие характеристики [4, 5]:

– горючесть (АП-25 приложение F, часть I, продолжительность экспозиции образцов в пламени газовой горелки 60 с) – продолжительность остаточного самостоятельного горения не более 15 с, длина прогорания не более 152 мм, продолжительность горения падающих капель не более 3 с;

– тепловыделение (АП-25 приложение F, часть IV) – максимальная интенсивность выделения тепла не более 65 кВт/м^2 , общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин не более $65 \text{ кВт}\cdot\text{мин/м}^2$;

– дымообразование (АП-25 приложение F, часть V – ГОСТ 24632–81) – удельная оптическая плотность дыма за 4 мин не более 200.

Проведенные испытания трехслойных сотовых панелей, декорированных пленкой ПДОАЗм-23 показали, что они не отвечают требованиям по тепловыделению и в дальнейшем выпуск пленки прекратился, поэтому для декорирования деталей

интерьера на российских пассажирских самолетах стали применять зарубежные пленки Aerfilm LHR (США) или Tedlar, отвечающие требованиям FAR-25 и CS-25.

Необходимость повышения характеристик пожарной безопасности материалов и элементов конструкций для авиационной техники отмечается как в отечественных, так и зарубежных работах [6–8].

Таким образом, разработка отечественного материала для декорирования деталей интерьера пассажирских самолетов, отвечающего требованиям АП-25 по пожаробезопасности, представляется весьма актуальной задачей.

Идеальными материалами, применяемыми для декорирования деталей интерьера, являются пленки, легко облегающие поверхности сложной конфигурации. Однако Россия не располагает технологией и оборудованием для изготовления декоративных пленок, отвечающих требованиям по пожаробезопасности.

Целью данной работы являлась разработка декоративного облицовочного тканепленочного материала, отвечающего требованиям по пожаробезопасности как в свободном виде, так и в составе стеклопластиков и трехслойных сотовых панелей. Для обеспечения требований по пожаробезопасности могут быть реализованы различные подходы: использование антипиренов, веществ имеющих высокую термостойкость и низкую теплоту сгорания; учет создаваемой структуры композиционного материала [9, 10]. Поэтому одними из наиболее перспективных с точки зрения пожарной безопасности являются фторполимерные материалы [11, 12].

Согласно техническому заданию материал должен представлять собой эластичный композиционный материал, состоящий из тканевой основы и одностороннего эластомерного покрытия.

В качестве тканевой основы были опробованы:

- полиэфирная ткань арт. 850701;
- полиамидная ткань арт. 56003;
- стеклоткань Э-4-46;
- термопленка ПКС-171.

Свойств данных материалов приведены в табл. 1.

Физико-механические свойства технических тканей

Основа	Поверхностная плотность, г/м ²	Разрывная нагрузка, Н		Разрывное удлинение, %		Горючесть, классификация*
		по основе	по утку	по основе	по утку	
Полиэфирная ткань арт. 850701	62,4	460	370	36	39	Сгорающая
Полиамидная ткань арт. 56003	41,8	500	440	54	54	Сгорающая
Стеклоткань марки Э-4-46	42,5	330	380	14	15	Самозатухающая
Термопленка ПКС-171	204	–	–	–	–	Сгорающая

* Согласно принятой в авиации классификации материалы по горючести при вертикальном методе испытаний относятся к классу «трудносгорающий» при продолжительности остаточного горения 0 с и длине прогорания не более 150 мм, «самозатухающий» – при продолжительности горения от 1 до 15 с и длине прогорания не более 152 мм, или «сгорающий» – при несоответствии хотя бы одному из требований.

В качестве полимерной матрицы разработано наполненное фторполимерное покрытие. Известно, что фторполимеры обладают комплексом уникальных свойств: высокой термостойкостью, исключительной стойкостью к химическому воздействию, великолепными механическими, антиадгезионными и другими свойствами, а также способностью сохранять эти свойства в широком диапазоне рабочих температур и давлений. Применение фторопластов в изделиях обеспечивает увеличение срока службы изделий, повышает их надежность.

В лабораторных условиях изготовлены опытные образцы облицовочного эластомерно-тканевого материала. Технологический процесс приготовления эластомерной фторполимерной композиции состоит из следующих этапов:

- взвешивание исходных компонентов;
- смешение компонентов путем вальцевания;
- нарезка вальцованной смеси и растворение ее в органическом растворителе.

Нанесение и формирование покрытия на тканевых основах осуществлялось по растворной технологии прямым способом с промежуточной сушкой каждого слоя. Оптимальный привес от покрытия за один проход составлял 10–15 г/м², температура сушки образцов 90–130°С. Причем на сгорающие основы (ткани из полиэфирных и полиамидных волокон) покрытие наносили с двух сторон. Сначала на изнаночную сторону, а затем на лицевую. Привес покрытия с изнаночной стороны составлял 60–80

г/м², с лицевой стороны – покрытие наносилось до получения декоративного внешнего вида. Следует отметить, что при нанесении покрытия термопленка ПКС-171 вытягивалась и коробилась.

Исследование на горючесть (продолжительность экспозиции в пламени газовой горелки 60 с) показало, что образцы с двухсторонним покрытием на основе полиэфирной ткани арт. 850701 и полиамидной ткани арт. 56003 являются самозатухающими, образцы на основе термопленки ПКС-171 – сгорающими, так как прогорают со стороны пленки.

Испытание изготовленных образцов на тепловыделение проводили на металлических пластинах из алюминиевого сплава Д16 толщиной 1,5 мм. Результаты испытаний образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытания образцов на тепловыделение

Состав образца	Поверхностная плотность ткани	Привес от клея	Масса 1 м ² образца (материал+клей+сплав Д16)	Максимальная интенсивность тепловыделения (пик), кВт/м ² (среднее значение)	Общее количество выделившегося тепла за 2 мин, (кВт·мин)/м ² (среднее значение)
	г/м ²				
Стеклоткань марки Э-4-46 с односторонним фторпокрытием	53,5	22,0	253,0	13,0	0
Полиэфирная ткань арт. 850701 с двухсторонним фторпокрытием	60,5	39,0	323,0	34,1	22,4
Полиамидная ткань арт. 56003 с двухсторонним фторпокрытием	44,3	29,0	320,0	32,4	21,8
Термопленка ПКС-171 с односторонним фторпокрытием	89,0	Без клея	295,0	27,3	19,4
На сплав Д16 толщиной 1,5 мм нанесен термоклей	–	43,0	–	14,7	1,5

Видно, что все образцы отвечают требованиям по тепловыделению.

Испытание образцов на дымообразование показали, что все образцы имеют низкие значения оптической плотности дыма, что существенно лучше максимально допустимых требований. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытания образцов на дымообразование

Состав образца	Режим испытания	Показатели дымообразования			Классификация (группа)
		D ₂	D ₄	D _{max}	
Стеклоткань марки Э-4-46 с одно-сторонним фторпокрытием	Горение	16	18	19	Среднедымящий (3)
	Пиролиз	2	3	5	
Полиамидная ткань арт. 56003 с двухсторонним фторпокрытием	Горение	11	12	13	Слабодымящий (2)
	Пиролиз	1	2	12	

Изготовлены образцы, имитирующие конструктивный элемент внутренней отделки пассажирского салона. Для этого производили соединение облицовочного материала с двухслойной обшивкой из полимерного композиционного материала КТМС-1, изготовленного на основе стеклоткани Т-15(П)-76 и полисульфоновой пленки методом прессования. Для чего на изнаночную сторону образцов облицовочного материала (кроме термопленки ПКС-171) по растворной технологии наносили термопластичный однокомпонентный клей АТК-10 (ТУ 2252-004-51248380-01). Ранее при отработке технологии было установлено, что оптимальный привес клея составляет 20–25 г/м². Данный привес обеспечивает прочное соединение облицовочного материала с обшивкой, что подтвердили испытания образцов на отслаивание – расслаивания между облицовочным материалом и обшивкой КТМС не происходит.

После нанесения на изнаночную сторону клея образцы облицовочных материалов переходят в класс сгорающих, так как происходит выгорание клея по всей длине образца. Однако при изготовлении конструктивных элементов горючий клей находится внутри конструкции и не оказывает на характеристики горючести такого пагубного влияния.

Результаты испытания на горючесть образцов облицовочных материалов с обшивкой приведены в табл. 4.

Результаты определения горючести облицовочных материалов с обшивкой КТМС

Состав образца	Масса 1 м ² , г/м ²	Время остаточного горения (тления), с	Длина обуглившейся части, мм	Классификация
Стеклоткань марки Э-4-46 с односторонним фторпокрытием, клеем и обшивкой КТМС	250	3 (горит, не тлеет)	68	Самозатухающий
Полиэфирная ткань арт.850701 с двухсторонним фторпокрытием, клеем и обшивкой КТМС	321	7 (горит, не тлеет)	122	То же
Полиамидная ткань арт. 56003 с двухсторонним фторпокрытием, клеем и обшивкой КТМС	324	3 (горит, не тлеет)	74	-«-
Термопленка ПКС-171 с односторонним фторпокрытием и обшивкой КТМС	292	3 (горит)+2 (тлеет)	70	-«-

Видно, что образцы облицовочных материалов, спрессованные с обшивкой КТМС, являются самозатухающими.

В результате проведенных испытаний в качестве оптимальных вариантов для дальнейших работ выбраны образцы, изготовленные на основе стеклоткани и полиамидной ткани.

На производственном оборудовании изготовлены образцы облицовочных материалов на основе электроизоляционных стеклотканей марок Э-4-46 и Э-1/1-100 и капровой ткани арт. 56003 с наполненным фторполимерным покрытием. Нанесение и формирование покрытия на лицевой стороне текстильных основ проводили послойно раклевым способом с последующей сушкой.

Содержание связующего оказывает существенное влияние на характеристики пожарной опасности [13]. Поэтому проведены исследования при различных наносах полимера: соотношение между текстильной основой и полимерным покрытием изготовленных материалов составляло соответственно 1:2,3; 1:2 и 1:0,8.

На изнаночную сторону материала наносили термопластичный однокомпонентный клей АТК-10 и соединяли облицовочный материал с обшивкой КТМС в прессе. Режим прессования образцов:

- закладка образцов в нагретый пресс до температуры 130°С;
- прогрев в течение 10 мин при удельном давлении 0,1–0,3 МПа;
- подъем давления до 0,5 МПа и выдержка в течение 10–20 мин;

– охлаждение водой до 25°C.

Изготовленные образцы испытаны на горючесть, дымообразование и тепловыделение. Результаты испытаний представлены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты испытания стеклопластика КТМС с декоративными материалами, изготовленными на производственном оборудовании

Показатель	Значения показателей материалов на основе			
	стеклоткани		полиамидной ткани арт. 56003	
	Э-4-46	Э-1/1-100		
Масса 1 м ² , г/м ²	144,6	194,7	157,6	
Привес от клея АТК-10, г/м ²	23,0	23,0	28,5	
Толщина, мм	0,4	0,4	0,4	
Горючесть – продолжительность остаточного горения (тления), с:				
	по основе	2 (горит)	2 (горит)	10 (горит)
по утку	2 (горит)	2 (горит)	5 (горит)	
Длина прогорания, мм:				
	по основе	50	60	110
по утку	50	45	110	
Классификация (группа)	Самозатухающий (2)			
Дымообразование:				
	– режим горения			
	D_2	6	7	9
	D_4	7	9	11
	D_{max}	20	20	24
	– режим пиролиза			
	D_2	1	3	5
D_4	2	4	10	
D_{max}	15	12	26	
Классификация (группа)	Слабодымящий (2)			
Тепловыделение:				
	– максимальная интенсивность тепловыделения (пик), кВт/м ²	35	37	63
– общее количество выделившегося тепла за 2 мин, (кВт·мин)/м ²	32	30	48	

Видно, что все изготовленные образцы отвечают требованиям по пожаробезопасности, однако образец на капроновой ткани арт. 56003 имеет более высокое значение показателей по тепловыделению, что может отрицательно сказаться на значениях

показателей тепловыделения при применении данного материала в составе трехслойной панели.

В результате проведенных испытаний в качестве оптимального варианта выбран облицовочный материал, изготовленный на основе стеклоткани марки Э-1/1-100.

Для проведения расширенных исследований изготовлены две производственные партии облицовочного материала на основе стеклоткани марки Э-1/1-100 с наполненным фторполимерным покрытием голубого и светло-серого цветов. Для придания материалу голубого цвета использовали краситель – пигмент фталоцианиновый голубой, а серого цвета – углерод технический П-308. Разработанному материалу присвоена марка «Полиплекс».

Материал имеет массу 1 м^2 : 220 ± 25 г, разрывную нагрузку полосы (25×1000 мм) по основе/утку: $(540-610)/(370-530)$ Н, прочность при отслаивании (проводили на полоске пластика, состоящей из материала «Полиплекс», термопластичного клея АТК-10 и двухслойного стеклопластика КТМС-1): $13-16$ Н/см – обрыв по материалу «Полиплекс».

Проведены исследования пожаробезопасных свойств материала «Полиплекс», нанесенного на обшивки [14, 15] и трехслойную сотовую панель, на соответствие требованиям АП-25. Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Таблица 6

Пожаробезопасные свойства материала «Полиплекс» с обшивками и трехслойными сотовыми панелями

Состав материала	Толщина, мм	Группа дымообразования	Классификация по горючести	Тепловыделение	
				максимальная интенсивность тепловыделения (пик), кВт/м ²	общее количество выделенного тепла за 2 мин, (кВт·мин)/м ²
Двухслойный стеклопластик КТМС-1+клей АТК-10+ «Полиплекс»	0,4	Слабодымящий (П)	Самозатухающий (2)	32	29
Стеклопластик СТ-520Т+клей АТК-10+«Полиплекс»	1,3	То же	Трудно-сгорающий (1)	58	45
Трехслойная панель: соты ПСП 1-2,5-45, обшивка СТ-520Т+«Полиплекс» с липким слоем	10,8	-«-	Самозатухающий (2)	49	47
Трехслойная панель: соты ПСП 1-2,5-45+обшивка СТ-520Т+клей АТК-10+ «Полиплекс»	10,6	-«-	То же	47	33

Сравнительные свойства материала «Полиплекс» и пленок представлены в табл. 7.

Таблица 7

Сравнительные свойства облицовочных материалов

Свойства	Значения свойств материалов		
	«Полиплекс»	ПДОАЗм-23	Aerfilm LHR (США)
Масса 1 м ² , г	220±25	285	360
Размеры полуфабриката	Рулоны длинной ≥50 м и шириной 900–920 мм	Рулоны длинной ≥50 м и шириной 1300–1600 мм	Полотно 1000×2000 мм
Горючесть: – группа – время остаточного горения, с – длина прогорания, мм	Трудногорающий (1) 0 40	Самозатухающий (2) До 12 120–155	Самозатухающий (2) 2–5 >120
Дымообразование: – группа – горение/пиролиз <i>D</i> ₂ <i>D</i> ₄ <i>D</i> _{max}	Слабодымящий (2) 6/1 7/1 13/5	Среднедымящий (3) 62 76 89	Среднедымящий (3) >60 – –
Тепловыделение: – максимальная интенсивность тепловыделения (пик), кВт/м ² – общее количество выделив- шегося тепла за 2 мин испыта- ния, (кВт·мин)/м ²	27 3,0	75 32,2	– 6–10
Тепловыделение трехслойной сотовой панели на фенольном связующем с покрытием: – пик, кВт/м ² – общее количество за 2 мин, (кВт·мин)/м ²	41,0 59,0	104,2 123,0	39,0 55,1

Видно, что пленка ПДОАЗм-23 отвечает требованиям АП-25 по горючести (самозатухающая (2)) и дымообразованию (среднедымящая (3)). Однако показатель тепловыделения как в свободном виде, так и в составе трехслойной панели превышает допустимую норму.

По пожаробезопасным свойствам материал «Полиплекс» полностью соответствуют требованиям АП-25, FAR-25 и CS-25: по показателям горючести является

трудногоряющим (1), по дымообразованию – слабодымящим (2), показатели по тепловыделению не превышают допустимую норму.

Исследование физико-механических свойств (разрывной нагрузки, прочности при отслаивании от стеклопластика КТМС) материала «Полиплекс» после воздействия теплового старения при температурах +60 и +80°C, тепловлажностного старения, имитирующего тропические условия, после 9 лет складского хранения в условиях отапливаемого склада [16] показало, что величина исследуемых показателей соответствует требованиям ТУ.

Исследование грибостойкости материала «Полиплекс» показало, что материал после 3 мес испытаний является грибостойким – балл обрастания грибами 1–2 в соответствии с шестибальной шкалой ГОСТ 9.048.

Испытания на коррозионную активность показали, что материал «Полиплекс» может применяться в контакте с алюминиевыми сплавами с анодно-оксидными покрытиями и защищенными в соответствии с отраслевой документацией.

В качестве клеевого слоя при креплении материала использовался клей АТК-10 (привес 30 г/м²). Прочность клеевого соединения составляла 330 Н (обрыв по «Полиплексу»).

На материал «Полиплекс» оформлены дополнение к паспорту, ТУ 8729-022-003003311–2003 с Изменением №1, продлевающим срок гарантийного хранения материала до 5 лет. Материал выпускается в одноцветном исполнении, гладкой фактуры.

Разработанный многослойный защитно-декоративный материал марки «Полиплекс» отвечает требованиям АП-25, АП-23 и FAR 25 (ИКАО) по пожаробезопасным свойствам (горючесть, дымообразование и тепловыделение) и рекомендуется для декорирования стен, потолков, багажных отсеков и других деталей, изготовленных из стекло-, органопластиков и трехслойных сотовых панелей в салонах самолетов и вертолетов, а также в качестве ремонтного варианта. Предприятия ОАО «ТАНТК им. Г.М. Бериева» и ОАО «Научно-производственная корпорация „Иркут“» применяют материал «Полиплекс» в качестве шторок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Federal Register. 14 CFR Part 25 – Airworthiness standards. Transport category airplanes /Federal Aviation Administration.
2. Certification Specifications for Large Aeroplanes – CS-25 /ED Decision 2003/2/RM Final 17/10/2003 /In: European Aviation Safety Agency. 2003. 473 p.
3. Авиационные правила. Глава 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории /Межгосударственный авиационный комитет. 3-е изд. с поправками 1–6. ОАО Авиаиздат. 2009. 274 с.
4. Барботько С.Л. Пожаробезопасность авиационных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 431–439.
5. Барботько С.Л., Кириллов В.Н., Шуркова Е.Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 56–63.
6. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г. //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 7–17.
7. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 231–242.
8. Decadal Survey of Civil Aeronautics: Foundation for the Future /In: Steering Committee for the Decadal Survey of Civil Aeronautics, National Research Council. 2006. 212 p.
9. Барботько С.Л. Пути обеспечения пожарной безопасности авиационных материалов //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 121–126.
10. Шуркова Е.Н., Вольный О.С., Изотова Т.Ф., Барботько С.Л. Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры //Авиационные материалы и технологии. 2012. №1. С. 27–30.
11. Бейдер Э.Я., Донской А.А., Железина Г.Ф., Кондрашов Э.К., Сытый Ю.В., Сурнин Е.Г. Опыт применения фторполимерных материалов в авиационной технике //Российский химический журнал. 2008. Т. LII. №3. С. 30–44.
12. Бузник В.И. Состояние отечественной химии фторполимеров и возможные перспективы развития //Российский химический журнал. 2008. Т. LII. №3. С. 7–12.

13. Кузьмин С.В., Барботько С.Л. Влияние некоторых факторов на тепловыделение стеклопластиков /В сб. Авиационные материалы и технологии. 2002. Вып. 3. С. 51–54.
14. Давыдова И.Ф., Кавун Н.С. Стеклопластики в конструкциях авиационной и ракетной техники //Стекло и керамика. 2012. №4. С. 36–42.
15. Барботько С.Л., Изотова Т.Ф. Влияние структуры стеклопластика на тепловыделение при горении //Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. №9. С. 17–21.
16. Кириллов В.Н., Старцев О.В., Ефимов В.А. Климатическая стойкость и повреждаемость полимерных композиционных материалов, проблемы и пути их решения //Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 412–423.