

УДК 620.169.1

Г.И. Шайдурова, И.Л. Васильев, Л.И. Карманова

ОАО «Научно-производственное объединение „Искра“», Пермь, Россия

РАЗРАБОТКА И ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕМОНТНОГО СОСТАВА ДЛЯ НАРУЖНОГО ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

В процессе производственного цикла изготовления энергетических установок нередко образуются поверхностных дефекты многофункциональных теплозащитных покрытий, требующие обязательного исправления. Для сокращения времени, затрачиваемого на ремонтно-восстановительные работы, целесообразно располагать ремонтным составом, способным полимеризоваться в условиях температур производственного помещения за короткий период.

Рассмотрены результаты разработки ремонтного состава с целью исправления дефектов многофункционального теплозащитного покрытия на основе низкомолекулярного кремнийорганического каучука, предназначенного для наружной тепловой защиты энергетических установок от аэродинамического нагрева при входе в плотные слои атмосферы. Отработана технология приготовления ремонтного состава, режимы нанесения и сушки, определены его физико-механические свойства. Проведены исследования по определению величины адгезии ремонтного состава многофункционального теплозащитного покрытия к различным конструкционным материалам, в том числе и в процессе ускоренных климатических испытаний, имитирующих гарантийный срок хранения и эксплуатации энергетических установок.

Ключевые слова: энергетические установки, многофункциональное теплозащитное покрытие, ремонтный состав, техническое задание, физико-механические и теплофизические характеристики, ускоренные климатические испытания.

G.I. Shaidurova, I.L. Vasilev, L.I. Karmanova

OJSC «Research and Production Association „Iskra“»,
Perm, Russian Federation

DEVELOPMENT AND FUNCTIONAL DEMONSTRATION OF THE REPAIR COMPOSITION FOR EXTERNAL HEAT-RESISTING COATING

In the process of production cycle of power plant manufacturing there are frequent cases of surface defect formation of the multifunction heat-resistant coating, that requires mandatory corrections. To reduce the time spent on repair and refurbishment work, it is advisable to have a repair composition capable to polymerize under temperature of working area in a short period of time.

It is considered the results of the development of repair composition to correct defects of multifunctional coatings based on low molecular weight silicone rubber designed for external thermal protection of power plants from aerodynamic heating during the dense atmosphere entry. The technology of repair composition production and conditions of application and drying were worked out. The physical-mechanical properties of repair composition were determined. It was conducted the detection of adhe-

sion of repair composition of multifunction heat-resistant coating to various structural materials, including in the process of accelerated environmental tests simulating the warranty period of storage and operation of power plants.

Keywords: power plants, multifunction heat-resistant coating, repair composition, terms of reference, physical-mechanical and thermophysical properties, accelerated environmental tests.

При движении летательных аппаратов в плотных слоях атмосферы со сверх- и гиперзвуковыми скоростями, в результате торможения набегающего высокоскоростного аэродинамического потока, превышающего 10^2 – 10^3 кВт/м², температура наружной поверхности установок может достигать до 1000 °С и выше [1]. Для современных ракет время полета на активном участке составляет ≈ 200 с, а соответствующая высота лежит в пределах 200–350 км [2]. Нагрев многочисленных элементов энергетических установок (ЭУ) приводит к потере прочностных свойств конструкционных материалов и потере жесткости самой конструкции [3]. Тепловая защита конструктивных элементов ЭУ (рисунков) от высокотемпературных потоков газов, создаваемых в результате аэродинамического нагрева при входе в плотные слои атмосферы, а также при их работе, обеспечивается специальными теплозащитными материалами [4].

Разработка рецептуры ремонтного состава.

Определение основных свойств

В качестве наружной тепловой защиты в конструкциях ЭУ широко используют многофункциональное теплозащитное покрытие (МФТП), представляющее собой слоистый композиционный материал, включающий полимерную композицию на основе низкомолекулярного кремнийорганического каучука и полых стеклянных микросфер, модифицированных вольфрамом, при этом полимерная композиция обеспечивает прочность и эластичность, а наполнитель – требуемые специальные характеристики покрытия.

В соответствии с нормативной документацией (НТД) на поверхности МФТП возможны отклонения:

- следы от зачистки шлифовальной шкурки;
- следы от режущего инструмента;
- разнотонность цветовых оттенков;
- просвечивание покрытия в порах после нанесения лакокрасочного покрытия.

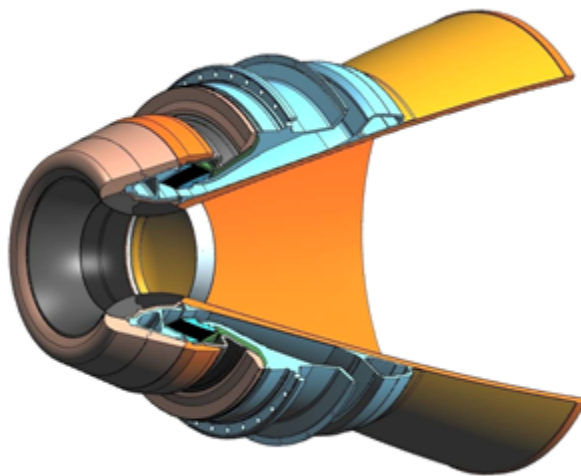


Рис. Внешний вид конструктивного элемента

В то же время на поверхности МФТП допускается устранение следующих нарушений:

- неровностей и раковин;
- отдельных пор диаметром более 1 мм;
- сколов, выбоин, выкрашиваний;
- вспучиваний верхнего слоя материала местной или общей площадью менее $0,005 \text{ м}^2$;
- отслоений и расслоений материала местной или общей площадью менее $0,005 \text{ м}^2$.

Следует отметить, что общая площадь всех исправленных мест должна составлять не более 5 % площади нанесенного МФТП.

В соответствии с НТД вышеперечисленные отклонения заделывают послойно толщиной до 1 мм с межслойной сушкой в течение 1–2 ч составом МФТП с исходной вязкостью.

Цель работы заключалась в разработке ремонтного состава для МФТП, который должен наноситься шпателем или кистью в один-два слоя толщиной от 2 до 3 мм с режимом сушки одного слоя при температуре от $+15$ до $+35 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение не более 24 ч при относительной влажности воздуха не более 80 %, причем необходимо исключить «стекание» ремонтного состава с вертикальных и сложнопрофильных поверхностей.

Кроме того, необходимо рассмотреть влияние климатических факторов на свойства вышеуказанных составов в процессе ускоренных климатических испытаний (УКИ), имитирующих условия хранения и эксплуатации в составе изделия.

Для решения частных задач было разработано техническое задание, оговаривающее уровень характеристик ремонтного состава МФТП, в том числе:

- плотность 0,630–0,780 г/см³;
- разрушающее напряжение при растяжении σ_p не менее 1,0 МПа;
- относительное удлинение при разрыве ϵ не менее 8,0 %;
- разрушающее напряжение при отрыве $\sigma_{отр}$ не менее 0,8 МПа;
- начальная температура разложения 300 °С;
- максимальная температура, возможная на покрытии, 900 °С.

Отталкиваясь от исходных данных, за основу для разрабатываемого ремонтного состава МФТП целесообразно взять количественный состав основных исходных компонентов, идентичный составу основного материала МФТП.

В рецептуре ремонтной массы в качестве связующего использован низкомолекулярный кремнийорганический каучук «Стиросил» марки А (ТУ 38.103453–99). В качестве наполнителя – полые стеклянные микросферы, модифицированные вольфрамом (НДМВ).

В настоящей работе применялся каучук «Стиросил» производства ФГУП НИИСК (г. Санкт-Петербург), технические характеристики которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики низкомолекулярного полимера «Стиросил» марки А

Показатель	Норма по ТУ 38.103453–99	Фактически
Потеря массы при сушке, %, не более	3,0	1,3
Вязкость динамическая, Па·с, в пределах	8,0–12,0	8,0
Жизнеспособность смеси полимера с катализатором, мин, не менее	15	190
Время полного отверждения смеси полимера с катализатором, ч, не более	24	24

Свойства наполнителя дисперсного модифицированного вольфрамом (НДМВ) (ТУ 6-02-1-729–91) производства ОАО «Редкинский опытный завод» приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики наполнителя

Показатель	Требования по ГОСТ или ТУ	Фактически
Внешний вид	Серый сыпучий порошок	Серый сыпучий порошок
Массовая доля вольфрама, %	35 ± 2	33

В процессе разработки рецептуры ремонтного состава покрытия «Стивлон» для отверждения каучука «Стиросил» с целью обеспечения требуемого времени жизнеспособности были опробованы следующие катализаторы холодного отверждения:

- продукт 111-269 – катализатор на основе раствора тетраэтоксисилана и диэтилдикаприлата олова;
- продукт № 18 – катализатор высокой активности на основе раствора оловоорганических соединений в эфирах ортокремниевой кислоты;
- продукт № 68 – катализатор на основе раствора аминсилана в эфирах ортокремниевой кислоты;
- продукт К-1 – катализатор высокой активности на основе раствора оловоорганических соединений в эфирах ортокремниевой кислоты;
- продукт К-10С – катализатор метилтриацетоксисилан.

В табл. 3 приведены технические характеристики и нормы для вышеуказанных катализаторов холодного отверждения.

Таблица 3

Технические характеристики и нормы для катализаторов холодного отверждения

Показатель	Нормы для катализаторов марок				
	111-269	№ 18	№ 68	К-1	К-10С
НТД	ТУ 6-02-1342	ТУ 6-02-805	ОСТ 38.03 239	ТУ 6-02-1-011	ТУ 6-02-874
Внешний вид	Прозрачная жидкость от бесцветного до темно-красного цвета. Допускается наличие незначительного осадка	Жидкость от бесцветного до темно-желтого цвета. Допускается незначительное помутнение раствора	Жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета, без видимых посторонних включений и механических примесей. Допускается незначительное помутнение раствора	Жидкость от желтого до коричневого цвета, без механических примесей	Жидкость от бесцветной до слабоокрашенной или кристаллическое вещество

Окончание табл. 3

Показатель	Нормы для катализаторов марок				
	111-269	№ 18	№ 68	К-1	К-10С
Массовая доля кремния, %	10–17	–	–	–	–
Время высыхания поверхностной пленки при $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до степени 3, ч, не менее	1,5	–	–	–	–
Наличие механических примесей	–	Отсутствие	–	–	Отсутствие
Плотность при $20 ^\circ\text{C}$, кг/м^3	–	940–1030	1000–1060	1082	–
Каталитическая активность, ч	–	1,0–6,0	0,5–6,0	0,7	5,0

При отработке технологии изготовления ремонтного состава подбиралось требуемое время жизнеспособности массы до потери текучести путем варьирования количественного содержания катализатора.

Жизнеспособность многокомпонентных систем, смешение которых производится перед нанесением состава на поверхность, является важнейшей технологической характеристикой, поскольку стабильность этих систем ограничена во времени.

При смешении реакционноспособных компонентов (связующего и катализатора отверждения) вязкость композиции возрастает до такой величины, когда система теряет текучесть – наступает процесс гелеобразования. Жизнеспособность систем такого типа характеризуется временем до начала резкого нарастания вязкости материала, или временем гелеобразования [5].

Гелеобразование (желатинизация) – переход жидких, легкоподвижных гетерогенных систем в состояние геля – обусловлено возникновением в объеме системы пространственной сетки, что приводит к резкому снижению текучести материала. Поэтому одним из критериев оценки при выборе вида и количества катализатора в настоящей работе определено время жизнеспособности массы ремонтного состава, удобное для проведения ремонтных работ в течение 40–60 мин до потери текучести массы с учетом исключения «стекания» с вертикальных поверхностей.

Другим критерием выбора катализатора были физико-механические характеристики ремонтного состава МФТП с целью удовлетворения требований технического задания по достигаемому уровню свойств.

При выборе количественного содержания катализатора учитывался также опыт проведения аналогичных работ.

Результаты проведенных экспериментальных работ приведены в табл. 4.

Таблица 4

Физико-механические свойства ремонтного состава с различными катализаторами отверждения

Наименование показателя	Требования ТЗ	Катализаторы отверждения				
		111-269	№ 1	№ 68	К-10С	№ 18
Плотность, г/см ³	0,63–0,78	<u>0,7...0,73</u>	<u>0,75...0,76</u>	<u>0,64...0,68</u>	<u>0,71...0,75</u>	<u>0,64...0,66</u>
		0,71	0,76	0,66	0,73	0,65
Разрушающее напряжение при растяжении σ_r , МПа	Не менее 1,0	<u>1,16...1,14</u>	<u>0,73...0,87</u>	<u>1,0...1,35</u>	<u>0,49...0,63</u>	<u>0,52...0,60</u>
		1,27	0,82	1,2	0,56	0,57
Относительное удлинение при разрыве ϵ , %	Не менее 8,0	<u>14,1...19,0</u>	<u>29,8...38,0</u>	<u>8,7...17,5</u>	<u>22,7...47,8</u>	<u>20,0...31,2</u>
		16,3	32,8	13	36,6	24,7
Жизнеспособность, мин	—	25	25	40	30	40

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл. 4, показывает следующее:

– величина плотности ремонтных составов при использовании всех видов катализаторов удовлетворяет требованиям технического задания и находится в пределах 0,65–0,75 г/см³;

– величина разрушающего напряжения при растяжении ремонтных составов при применении катализаторов № 18, К-1 и К-10С ниже требований технического задания, а при использовании катализаторов 111-269 и № 68 – удовлетворяет требованиям ТЗ (не менее 1,0 МПа);

– величина относительного удлинения при разрыве ремонтных составов при использовании всех видов катализаторов удовлетворяет требованиям ТЗ, причем наибольшая эластичность наблюдается с катализатором К-1.

Исследование влияния климатических факторов на свойства ремонтного состава

Хранение и эксплуатация ремонтного состава МФТП осуществляется в составе изделия в условиях производственного цикла, межзаводских перевозок и отопляемого помещения, характеризующихся тем или иным составом атмосферы, определенной температурой и другими особенностями.

Старение, как правило, развивается в результате взаимодействия полимера с окружающей средой [6]. Основной причиной, вызывающей старение композиционных материалов, является реакционная способность молекулярной цепи связующего под действием на нее физических и химических факторов. К физическим факторам старения относят тепло, свет, механические нагрузки, к химическим – кислород, воду и другие агрессивные агенты. Эти факторы, воздействуя как отдельно, так и одновременно, вызывают в полимерах сложные, главным образом радикально-цепные реакции, в том числе реакции окисления, расщепления, сшивания.

Известно [6–8], что все факторы, способствующие старению полимерных материалов, в том числе композиционных, можно разделить на внутренние и внешние. К внутренним относят состав и структуру полимера, молекулярную массу и молекулярно-массовое распределение, наличие внутренних дефектов, обусловленных неравномерным распределением вводимых наполнителей, а также внутренние напряжения.

Более существенное влияние на старение полимерных материалов оказывают внешние факторы, к которым относят температуру и влажность воздуха. Из этих факторов можно выделить агенты, непосредственно взаимодействующие с полимером, и активаторы, способствующие такому взаимодействию [6].

Для отопляемых помещений, где предполагается эксплуатация ремонтного состава МФТП в составе изделия в течение 26,5 лет, характерно постоянство температуры в течение продолжительного времени. В этом случае температуру, как правило, следует рассматривать в качестве активатора процесса старения полимерных материалов. Однако в отдельных случаях она может рассматриваться и как агент, непосредственно вызывающий старение. Выступая в роли агента старения, температура способствует развитию так называемого физического старения.

Влажность, так же как и температура, может играть роль и агента, и активатора старения. Особенно значительные изменения свойств полимерных материалов под действием влаги происходят при переходах температуры от положительных к отрицательным значениям [6].

Оценка стойкости ремонтного состава МФТП к воздействию климатических факторов проводилась по изменению физико-механических и теплофизических характеристик.

Для проведения исследований методом заливки без давления были изготовлены образцы – плиты ремонтного состава МФТП.

Испытаниям подвергались следующие образцы:

– свободные пленки покрытия ремонтного состава МФТП, из которых вырубались образцы-лопатки (тип I по ОСТ 92-1459–77¹) для определения разрушающего напряжения при растяжении и относительного удлинения при разрыве;

– образцы-диски диаметром 35 мм по ОСТ 92-1462–77² для определения адгезионных свойств со следующими конструкционными материалами: алюминиевый сплав АМг6Б, титановый сплав ОТ-4, коррозионностойкая сталь 03Х11Н10М2Т-ВД, углепластик УТЗФ2УМН и стеклопластик на основе смолы ЭП-5122 и ткани ТСУ-8/3 ВМП-78;

– пластины размером 80×80×4 мм для определения теплофизических характеристик.

Изготовление ремонтного состава МФТП производилось методом заливки без внешнего давления с последующей сушкой при комнатной температуре в течение 24 ч при относительной влажности воздуха не более 80 %.

Продолжительность термостарения была рассчитана исходя из эффективной энергии активации старения 16 ккал/моль, температуры термостарения 80 °С, эквивалентной температуре хранения 16 °С.

Режимы УКИ разработаны с учетом уравнения Аррениуса и ГОСТ 9.707³, представлены в табл. 5.

¹ ОСТ 92-1459–77. Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Методы испытаний на растяжение / Рос. авиац.-косм. агентство. – М., 1977. – 26 с.

² ОСТ 92-1462–77. Пластмассы теплозащитного и конструкционного назначения. Методы испытания на изгиб / Рос. авиац.-косм. агентство. – М., 1977. – 8 с.

³ ГОСТ 9.707–81. Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы полимерные. Методы ускоренных испытаний на климатическое старение. – М.: Издво стандартов, 1981. – 71 с.

Определение контролируемых показателей (кроме теплофизических характеристик) в процессе испытаний выполнялось после окончания каждого из режимов.

Таблица 5

Режим ускоренных испытаний образцов
ремонтного состава МФТП

Номер режима	Температура, °С	Влажность ф, %	Продолжительность		Количество циклов	Имитируемые условия	
			Часы	Сутки			
1	80 ± 1	сложившаяся в камере	—	3	1	Хранение в условиях производственного цикла в цеховых условиях	
	30 ± 1	98 ± 2	—	1,5			
2	80 ± 1	сложившаяся в камере	—	4,5	1	Межцеховые, межзаводские перевозки, без ограничения влажности, без прямого попадания осадков	
	-60 ± 1	сложившаяся в камере	—	4,5			
	20 ± 1	98 ± 2	4	30 циклов			10
	-20 ± 1	сложившаяся в камере	4				
	40 ± 1	98 ± 2	—	7			
3	80 ± 1	сложившаяся в камере	—	2	23,5	Хранение и эксплуатация в составе изделия в отапливаемом помещении в условиях атмосферы (тип III по ГОСТ 15150-69)	
	35 ± 1	98 ± 2	—	3			

Примечание. Продолжительность испытаний составила 148 сут (≈4,9 мес.).

Ускоренные климатические испытания проводились на аттестованном испытательном оборудовании.

Результаты определения контролируемых характеристик ремонтного состава покрытия МФТП в процессе ускоренных климатических испытаний приведены в табл. 6.

Таблица 6

Изменение свойств ремонтного состава МФТП в процессе УКИ

Характеристики (требования НТД)	Результаты измерения свойств ремонтного состава МФТП				
	Исходное состояние	3 года	16 лет	23 года	26,5 лет
Плотность, кг/м ³ (630–780)	<u>702...730</u> 730	<u>760...780</u> 770	<u>750...770</u> 760	<u>750...780</u> 750	<u>730...760</u> 750
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа (не менее 1,0)	<u>1,28...1,42</u> 1,35	<u>0,84...0,90</u> 0,87	<u>0,81...0,98</u> 0,87	<u>0,81...0,89</u> 0,82	<u>0,78...0,82</u> 0,81
Относительное удлинение при разрыве, % (не менее 8,0)	<u>20,8...32,8</u> 23,9	<u>28,5...38,5</u> 34,5	<u>39,1...45,8</u> 41,7	<u>27,5...33,8</u> 35,4	<u>19,7...24,5</u> 20,5
Разрушающее напряжение при отрыве от сплава АМг6, МПа (не менее 0,8)	<u>0,81...0,87</u> 0,84	<u>1,02...1,39</u> 1,22	<u>0,88...0,94</u> 0,86	<u>0,88...0,92</u> 0,85	<u>0,78...0,86</u> 0,82
Разрушающее напряжение при отрыве от стеклопластика, МПа	<u>0,8...0,92</u> 0,86	<u>0,81...1,63</u> 1,28	<u>0,81...0,98</u> 0,94	<u>0,83...0,86</u> 0,88	<u>0,80...0,86</u> 0,83
Разрушающее напряжение при отрыве от углепластика, МПа	<u>0,92...1,13</u> 0,99	<u>0,82...0,94</u> 0,90	<u>0,84...0,93</u> 0,87	<u>0,84...0,89</u> 0,86	<u>0,83...0,86</u> 0,84
Разрушающее напряжение при отрыве от стали, МПа	<u>0,81...0,86</u> 0,83	<u>0,83...0,84</u> 0,83	<u>0,83...0,86</u> 0,84	<u>0,8...0,84</u> 0,81	<u>0,78...0,82</u> 0,80
Разрушающее напряжение при отрыве от титанового сплава, МПа	<u>0,82...0,86</u> 0,84	<u>0,84...1,3</u> 0,86	<u>0,84...0,92</u> 0,86	<u>0,83...0,88</u> 0,83	<u>0,78...0,83</u> 0,81
Коэффициент теплопроводности, кВт/м·К (0,103–0,159)	<u>0,15...0,16</u> 0,15	—	—	—	<u>0,14...0,17</u> 0,5
Удельная теплоемкость, кДж/кг·К (1,04–1,22)	1,288	—	—	—	1,31
Коэффициент температуропроводности, м ² /с (0,85–1,53)10 ⁻⁷	1,151	—	—	—	1,16

Анализ результатов исследований показывает:

– разрушающее напряжение при растяжении ремонтного состава МФТП незначительно снизилось по сравнению с исходным значением, при этом удовлетворяет требованиям технического задания;

– значение величины относительного удлинения при разрыве в процессе ускоренных климатических испытаний уменьшилось (примерно на 14 %) по сравнению с исходными;

– значение плотности ремонтного состава МФТП находится в пределах разброса исходных величин;

– разрушение ремонтного состава МФТП при определении величины разрушающего напряжения при отрыве от подложек из алюминиевого сплава АМг6Б, титанового сплава ОТ-4, коррозионностойкой стали 03Х11Н10М2Т-ВД, углепластика УТЗФ2УМН, стеклопластика на основе смолы ЭП-5122 и ткани ТСУ-8/3 ВМП-78 проходило когезионно ($\approx 80\%$ по материалу). Величина прочности при этом имела значение не ниже 0,8 МПа.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработана рецептура ремонтного состава для исправления локальных мест в виде неровностей, сколов, выбоин, выкрашиваний поверхности МФТП. Проведена оценка физико-механических и теплофизических характеристик ремонтного состава, также определена адгезионная прочность к конструкционным материалам (алюминиевому и титановому сплавам, стали, углепластику и стеклопластику). Установлено, что свойства ремонтного состава находятся на уровне свойств основной композиции состава МФТП и удовлетворяют требованиям технического задания.

2. Исследовано влияние климатических факторов на свойства ремонтного состава МФТП с целью установления срока сохраняемости характеристик материалов в условиях хранения и эксплуатации ЭУ. Физико-механические, теплофизические и адгезионные свойства разработанного ремонтного состава МФТП в процессе старения не ухудшаются и остаются на уровне требований технического задания.

Библиографический список

1. Полежаев Ю.В., Юревич Б.Ф. Тепловая защита. – М.: Энергия, 1979. – 391 с.
2. Велихов Е.П., Сагдеев Р.З., Кокошин А.А. Космическое оружие: дилемма безопасности. – М.: Мир, 1986. – 181 с.
3. Использование теплозащитных материалов для конструкций летательных аппаратов, подвергающихся аэродинамическому нагреву / Л.П. Сотскова, Б.Ф. Пронин, Л.Я. Гуляева, Л.Д. Щедрина // Перспективные материалы. – 2008. – С. 18–20.
4. Васильев И.Л. Отработка технологии нанесения многофункционального теплозащитного покрытия // V конкурсная конференция молодых специалистов авиационных, ракетно-космических и металлургических организаций России: тез. докл. – Королев, 2006. – С. 33–34.
5. Карякина М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1988. – 272 с.
6. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. – М.: Химия, 1982. – 224 с.
7. Кириллова Э.И., Шульгина Э.С. Старение и стабилизация термoplastов. – Л.: Химия, 1988. – 240 с.
8. Зубов П.И., Сухарева Л.А. Структура и свойства полимерных покрытий. – М.: Химия, 1982. – 256 с.

References

1. Polezhaev Yu.V., Yurevich B.F. Teplovaya zashchita [Thermal protection]. Moscow: Energiya, 1979. 391 p.
2. Velikhov E.P., Sagdeev R.Z., Kokoshin A.A. Kosmicheskoe oruzhie: dilemma bezopasnosti [Space weapons: the security dilemma]. New York: Wiley, 1986. 181 p.
3. Sotskova L.P., Pronin B.F., Gulyaeva L.Ya., Shchedrina L.D. Ispolzovanie teplozashchitnykh materialov dlya konstruktsiy letatelnykh apparatov, podvergayushchikhsya aerodinamicheskomu nagrevu [Using heat-protection materials for aircraft constructions undergoing aerodynamic heating]. *Perspektivnye materialy*, 2008, pp. 18-20.
4. Vasilev I.L. Otrabotka tekhnologii naneseniya mnogofunktsionalnogo teplozashchitnogo pokrytiya [Development of technology of application of the multifunction heat-resistant coating]. *V konkursnaya konferent-*

siya molodykh spetsialistov aviatsionnykh, raketno-kosmicheskikh i metallurgicheskikh organizatsiy Rossii. Tezisy dokladov. Korolev, 2006, pp. 33-34.

5. Karyakina M.I. Ispytanie lakokrasochnykh materialov i pokrytiy [Test of paint-and-lacquer materials and coatings]. Moscow: Khimiya, 1988. 272 p.

6. Pavlov N.N. Starenie plastmass v estestvennykh i iskusstvennykh usloviyakh [Aging of plastics in natural and simulated conditions]. Moscow: Khimiya, 1982. 224 p.

7. Kirillova E.I., Shulgina E.S. Starenie i stabilizatsiya termoplastov [Aging and stabilization of thermoplastics]. Leningrad: Khimiya, 1988. 240 p.

8. Zubov P.I., Sukhareva L.A. Struktura i svoystva polimernykh pokrytiy [Structure and properties of polymer coatings]. Moscow: Khimiya, 1982. 256 p.

Об авторах

Шайдурова Галина Ивановна (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Механика композиционных материалов и конструкций» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29), главный химик ОАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: sgi615@iskra.perm.ru).

Васильев Игорь Львович (Пермь, Россия) – заместитель начальника отдела неметаллических и полимерных композиционных материалов ОАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: vil615@iskra.perm.ru).

Карманова Людмила Ивановна (Пермь, Россия) – инженер-технолог I категории отдела неметаллических и полимерных композиционных материалов ОАО НПО «Искра» (614038, г. Пермь, ул. Академика Веденеева, д. 28, e-mail: kli615@iskra.perm.ru).

About the authors

Shaidurova Galina Ivanovna (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Mechanics of Composite Materials and Constructions, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation), Chief Chemist of OJSC «Research and Production Association “Iskra”» (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: sgi615@iskra.perm.ru).

Vasilev Igor Lvovich (Perm, Russian Federation) – Deputy Chief of Department of Non-metallic and Polymeric Composite Materials, OJSC «Research and Production Association “Iskra”» (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: vil615@iskra.perm.ru).

Karmanova Ludmila Ivanovna (Perm, Russian Federation) – Manufacturing Engineer of Department of Non-metallic and Polymeric Composite Materials, OJSC «Research and Production Association “Iskra”» (28, Akademika Vedeneeva st., Perm, 614038, Russian Federation, e-mail: kli615@iskra.perm.ru).

Получено 23.01.2014