

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-101-109

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ ОПТИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Э.К. Кондрашов¹, А.А. Козлова¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Представлены лакокрасочные материалы и покрытия со специальными оптическими свойствами (маскировочные, светоотражающие, теплоотражающие, теплоизлучающие, флуоресцентные, приборные) для изделий авиационной и авиационно-космической техники. Приведены основные характеристики лакокрасочных покрытий, придающих окрашиваемой поверхности летательного аппарата и его частей специальные оптические свойства для повышения эффективности его работы в сложных условиях.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, покрытия со специальными оптическими свойствами, маскировочные покрытия, светоотражающие покрытия, теплоотражающие покрытия, теплоизлучающие покрытия, флуоресцентные покрытия, приборные покрытия

Для цитирования: Кондрашов Э.К., Козлова А.А. Лакокрасочные покрытия со специальными оптическими свойствами // Труды ВИАМ. 2023. № 9 (127). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-101-109.

Scientific article

PAINT COATINGS WITH SPECIAL OPTICAL PROPERTIES

E.K. Kondrashov¹, A.A. Kozlova¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The paint and varnish materials and coverings with special optical properties (camouflage, light-reflective, heatreflecting, heat-radiating, fluorescent, instrument) for some products of aviation and aerospace engineering are presented. Main characteristics of the paint coatings applied to giving of the painted surface of the flight vehicle and its parts, special optical properties for increase of efficiency of its work are given in difficult conditions.

Keywords: paint coatings, coatings with special optical properties, camouflage coatings, reflective coatings, heat-reflecting coatings, heat-emitting coatings, fluorescent coatings, instrument coatings

For citation: Kondrashov E.K., Kozlova A.A. Paint coatings with special optical properties. *Trudy VIAM*, 2023, no. 9 (127), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-101-109.

Введение

Лакокрасочные покрытия различного назначения являлись предметом исследований и разработок еще в самом начале развития авиационного материаловедения [1].

Лаборатория лакокрасочных материалов и покрытий функционирует в ВИАМ (в настоящее время – НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ) со дня его создания. За это время в лаборатории разработаны десятки рецептур лаков, эмалей, грунтовок, шпатлевок и специальных составов [2–8]. Доказательством высокого уровня разработок лаборатории является то, что многие лакокрасочные материалы, созданные в прошлом веке, применяют в промышленности в настоящее время. К ним, например, относятся лаки АК-113, НЦ-551, АС-16, АС-82, ВЛ-725, ФП-5182 и ЭП-730; грунтовки АК-070, ЭП-076, ЭП-0214, ЭП-0215 и ЭП-0104; шпатлевки КО-0035, КО-0067, ЭП-0026, ЭП-0061 и ЭП-0065; эмали АС-1115, ЭП-140, ХВ-16, ФП-566, ФП-5105, КО-88, КО-856 и КО-818. Разработана широкая номенклатура эмалей, к которым кроме стандартных требований к малярным и физико-механическим свойствам предъявляют требования к оптическим характеристикам. К этой группе эмалей относят маскировочные, светоотражающие, теплоотражающие, теплоизлучающие, флуоресцентные и приборные покрытия.

Маскировочные покрытия

Работа над маскировочными эмалями началась в годы Великой Отечественной войны, когда радарной локации еще не существовало и камуфлирующая окраска маскировочными лакокрасочными покрытиями могла существенно снизить возможность обнаружения врагом самолетов и слежения за ними [9]. В этот период создана надежная защита от атмосферных воздействий деталей авиационной техники, выполненных из дерева и тканей, а также решены задачи маскировки и камуфляжа путем разработки лакокрасочных покрытий на основе высыхающих масел, нитроцеллюлозы и фенол-формальдегидных смол холодного отверждения.

Маскировочное окрашивание до настоящего времени применяют для уменьшения заметности объектов (защитная окраска) или искажения их внешнего вида (деформирующая окраска), а также для придания макетам и ложным сооружениям вида действительных объектов (имитирующая окраска). Лакокрасочные материалы для маскировочного окрашивания должны изменять отражательную способность поверхности изделия или объекта в видимой и ближней инфракрасной области спектра (400–1100 нм). Основными характеристиками таких материалов являются спектральные коэффициенты отражения, координаты цвета и цветности, а также блеск. Для фонов с растительностью, обнаженного грунта, пустынного и снежного фонов разработаны пигменты со строго заданными значениями оптических характеристик. Именно от свойств пигмента будет зависеть возможность применения лакокрасочного материала для маскировочного окрашивания объекта.

Пленкообразователь является основным компонентом лакокрасочного материала, который определяет условия эксплуатации покрытия на его основе. Эмали АК-5178М и АК-5178Т на основе акриловой амидосодержащей смолы, различающиеся химической природой применяемых в составе пигментов и температурой эксплуатации, обладают более высокой атмосферо- и термостойкостью, чем нитроцеллюлозные эмали. По заказу предприятий авиационной промышленности разработана кремнийорганическая камуфлирующая эмаль КО-856М с рабочей температурой 300 °С и высокой адгезией к нержавеющей стали и титановым сплавам. Камуфлирующая эмаль ВЭ-46К холодной сушки на основе сополимера трифторхлорэтилена с винилиденфторидом, модифицированного низкомолекулярным эпоксидным олигомером, характеризуется более высокой атмосферостойкостью (4–5 лет), чем эмали АК-5178М и АК-5178Т. Камуфлирующие эмали на основе фторполиуретанового пленкообразователя имеют атмосферостойкость >20 лет, а также стойкость к рабочим жидкостям и воздействию плесневых грибов [3].

Сравнительные свойства маскировочных эмалей, содержащих различные пленкообразователи, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства маскировочных эмалей

Эмаль	Атмосферостойкость, годы	Термостойкость, °С	Блеск под углом 60 градусов, единицы блеска	Грибостойкость, балл
ПФ-115М МЛ-12М ХВ-518М	≤5	≤120	<15	–
АК-5178М	≤3	≤120	<15	–
АК-5178Т	≤3	150	<15	3
КО-856М	≥5	400	<15	1
ВЭ-46К	≥5	200	<15	3
НФА-132 (фирма Akzo-Nobel)	7–9	120	<3	3
Фторполиуретановые эмали 11 цветов	≥20	130–200*	2–14*	0–2

* В зависимости от марки и цвета.

Светоотражающие покрытия

В авиационно-космической промышленности к светоотражающим покрытиям относят диффузно отражающие эмали белого цвета с высоким коэффициентом отражения для уменьшения нагрева обшивки летательного аппарата от солнечного излучения. Такие эмали классифицируют как «солнечные отражатели». Наибольший коэффициент отражения (>0,8) обеспечивают эмали АС-598 и АС-599 на основе акрилового сополимера, пластификатора и диоксида титана [10, 11]. Для нанесения на внешнюю поверхность сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144 разработана белая эмаль АС-1115 на основе модифицированной акриловой амидосодержащей смолы [12].

На первом этапе создания космической техники часто применяли пассивные системы терморегулирования с использованием светоотражающих покрытий. Для оценки светоотражающих свойств покрытий космической техники введен коэффициент поглощения солнечного излучения, который определяется по формуле

$$\alpha_S = \Phi_a / \Phi_o,$$

где Φ_o – световой поток; Φ_a – поглощенная покрытием часть светового потока Φ_o .

Первым светоотражающим покрытием, которое нашло применение в космической технике, была эмаль АК-512 белого цвета на основе смеси акриловых сополимеров.

Для повышения термостойкости светоотражающего покрытия до 200 °С на основе смеси акриловой и кремнийорганической смол разработана эмаль АК-573, которую применяли на космических аппаратах «Венера-7», «Луноход», «Луна-16», «Луна-17», «Метеор» и «Молния», а также для защиты внутренней поверхности створок из углепластика отсека полезного груза многоразового космического корабля (МКК) «Буран».

Наиболее стабильными оптическими свойствами при внешнем воздействии обладает кремнийорганическая светоотражающая эмаль КО-5191, которую использовали для защиты металлических поверхностей отсека полезного груза МКК «Буран» [13, 14].

Специально для скафандров разработана спиртостойкая светоотражающая эмаль КО-5258 на основе кремнийорганического лака [14]. В табл. 2 приведены значения α_s светоотражающих покрытий.

Таблица 2

Коэффициент поглощения солнечного излучения светоотражающих покрытий	
Эмаль	Значение коэффициента поглощения солнечного излучения
АК-512 белая	$\leq 0,25$
АК-573	$\leq 0,22$
КО-5191	$\leq 0,20$
КО-5258	$\leq 0,30$

Теплоотражающие покрытия

Теплоотражающие покрытия позволяют предотвращать разрушение или перегрев защищаемой поверхности при воздействии теплового потока. Такие покрытия относят к классу «истинных отражателей» с низкими коэффициентами поглощения ($\alpha_s < 0,2$) и излучения ($\epsilon < 0,2$). Высокое отражение покрытия обеспечивает алюминиевая паста, которая входит в состав эмали в качестве наполнителя и представляет собой смесь измельченных частиц алюминия чешуйчатой формы и специальных добавок.

Согласно требованиям международного технического стандарта TSO-C69c [15], аварийно-спасательные средства должны гарантировать безотказную работу на протяжении всего периода эвакуации пассажиров и экипажа из салона пассажирского самолета. В связи с этим при разработке теплоотражающего покрытия ВЭ-72 для надувных спасательных трапов исследовали целостность тканепленочного материала при воздействии внешнего теплового потока 17 кВт/м^2 . В табл. 3 представлены результаты испытаний теплоотражающей эмали ВЭ-72 на основе полиуретанового каучука [16].

Таблица 3

Стендовые испытания тканепленочных материалов для надувных спасательных трапов		
Тканепленочный материал	Продолжительность сохранения избыточного давления 20 кПа для тканепленочного материала	
	без покрытия	с эмалью ВЭ-72
СВМ	20 с	≥ 30 мин
Капрон	10 с	≥ 15 мин
Лавсан	5 с	10 мин

Применение эмали ВЭ-72 позволяет в ~ 100 раз увеличить продолжительность сохранения работоспособного состояния тканепленочных материалов для надувных спасательных трапов.

Для защиты противопожарных перегородок применяют эмаль ВЭ-77 с термостойкостью 500°C на основе кремнийорганического блоксополимера [17].

Для защиты прибора от перегрева в приборном отсеке, внешняя поверхность которого нагревается до температуры $130\text{--}150^\circ\text{C}$, на внутреннюю поверхность отсека наносят эмаль ВЭ-73 на основе акрилового сополимера. Эмаль обеспечивает сохранение температуры в отсеке $\leq 80^\circ\text{C}$.

Аналогичная задача была решена для ниш стоек шасси МКК «Буран». Расчеты показали, что если на внутреннюю поверхность отсеков, в которые убираются стойки

шасси с шинами, не будет нанесено теплоотражающее покрытие, то произойдет перегрев шин и они могут лопнуть при посадке.

Дополнительным требованием к теплоотражающим покрытиям является стойкость к гидрожидкости и бензину. На основе эпоксидного олигомера разработана теплоотражающая эмаль ВЭ-50Э [3]. Успешная посадка МКК «Буран» после орбитального полета подтвердила эффективность эмали ВЭ-50Э.

В табл. 4 приведены оптические свойства теплоотражающих эмалей.

Таблица 4

Оптические свойства теплоотражающих покрытий

Эмаль	Коэффициент поглощения (α_s) в диапазоне 0,25–2,2 мкм	Коэффициент излучения (ϵ) в диапазоне 3–20 мкм	Блеск, единицы блеска
ВЭ-72	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$	≥ 85
ВЭ-73	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	95
ВЭ-50Э	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$	≥ 85
ВЭ-77	$\leq 0,20$	$\leq 0,20$	95

Теплоизлучающие покрытия

К теплоизлучающим относят покрытия с высоким значением коэффициента излучения ($\epsilon \geq 0,8$). Именно такие требования предъявляли к покрытиям внешней поверхности МКК «Буран» [14]. Первым покрытием, удовлетворяющим этому требованию, стала эмаль АК-512 черная ($\epsilon \geq 0,87$) на основе смеси акриловых смол.

При создании самолета Ту-144 показано, что алюминиевые сплавы, выбранные для обшивки, можно применять только в том случае, если лакокрасочное покрытие внешней поверхности имеет значение коэффициента излучения $\geq 0,85$. Для защиты на МКК «Буран» паяных сотовых панелей щитков элерона из стали 12Х18Н10, работающих при температуре 500 °С, использовали эмаль КО-818К, а для защиты из той же стали паяной сотовой конструкции кожуха двигателя, работающего при температуре 700 °С, – эмаль КО-819 [18].

Успешные полеты космических аппаратов с эмалью АК-512 (черная), Ту-144 с эмалью АС-1115 и МКК «Буран» с эмалями КО-818К и КО-819 подтвердили эффективность их применения.

Флуоресцентные покрытия

К флуоресцентным относят покрытия на основе эмалей, в рецептуре которых использованы флуоресцентные красители, способные поглощать солнечное излучение в диапазоне 250–500 нм, переводя его в более длинноволновое видимое излучение и обеспечивая при этом яркость покрытия в 1,5–2 раза более высокую, чем у обычных покрытий того же цвета.

В рецептурах красно-оранжевых эмалей используют производные пирамидинтрона; оранжевых – смесь 3-метоксибензантрона с родаминами С и 6Ж; желтых – триметоксибензантрон; голубых – арилэтиленовые замещенные 2,5-диариллоксазолов; зеленых – смесь 2,2'-дигидрокси-1,1'-нафтализаина с фталоцианином меди.

Первой флуоресцентной эмалью, предназначенной для нанесения на отдельные участки внешней поверхности вертолетов для придания им большей видимости в условиях эксплуатации при дневном освещении как в ясную, так и в пасмурную погоду, была эмаль ВЭ-5 (АС-560) красно-оранжевая и ярко-желтая. Затем на основе сополимера винил-п-бутилового эфира с метилметакрилатом с добавлением пластификатора и стабилизатора разработана флуоресцентная эмаль АС-554 – красная, оранжево-красная, желтая, зеленовато-желтая и зеленая.

Для приборной техники (нанесение информации, индексов, покрытия стрелок и др.) на основе акрилового лака АК-0183 с добавлением пластификатора и светостабилизатора разработана эмаль АК-5173 – оранжевая, оранжево-красная, оранжево-желтая, лимонно-желтая и светло-зеленая. К свойствам эмали АК-5173 предъявляют более жесткие требования, чем к эмали АС-554. Эмаль АК-5173 должна иметь степень перетирания ≤ 50 мкм, а покрытия на основе эмали должны выдерживать воздействие переменных температур от -60 до $+120$ °С и воздействие атмосферы с относительной влажностью 98 ± 2 % при температуре 40 ± 2 °С.

Флуоресцентные эмали обладают низкой укрывистостью. При нанесении их непосредственно на грунтовку яркость покрытия существенно снижается. Поэтому перед нанесением флуоресцентной эмали на грунтовочное покрытие наносят светоотражающее покрытие. Обычно для этих целей используют светоотражающую эмаль АС-599. Для сохранения яркости покрытия, особенно при эксплуатации в атмосферных условиях, на флуоресцентное покрытие обычно наносят лак АС-528 на основе сополимера винил-п-бутилового эфира с метилметакрилатом с добавлением пластификатора и светостабилизатора.

Приборные покрытия

Приборные эмали предназначены для использования в кабине пилотов на приборах визуального наблюдения, приборных досках, светопроводах и рабочих поверхностях кабины пилотов. Первыми для кабины пилотов разработаны эмали ЭП-1143 (черная) и МС-249 (изумрудная).

Основным требованием к эмали черного цвета для приборных досок является высокая матовость, которая должна сохраняться при многократных касаниях рук, перчаток и одежды во время работы пилотов. Для обеспечения этих требований на основе эпоксидного олигомера разработана износостойкая эмаль ЭП-1143 с блеском покрытия ≤ 5 единиц блеска.

Инициатива разработки изумрудной (морской волны) эмали МС-249 принадлежит Летно-исследовательскому институту им. М.М. Громова. Эмаль такого цвета создает фон в кабине пилотов, снижающий их утомляемость.

Эмаль МС-249, удовлетворяющая этим требованиям и имеющая блеск покрытия < 5 единиц блеска, разработана в ВИАМ на основе алкидно-стирольной смолы, модифицированной тунговым маслом. Позднее создана серо-голубая эмаль МС-249.

Для получения на поверхности панелей светопроводов из органического стекла светонепроницаемых покрытий в ВИАМ на основе эпоксидного олигомера разработаны эмали ВЭ-65 и ВЭ-65М (табл. 5).

Таблица 5

Свойства приборных эмалей

Эмаль	Блеск под углом 60 градусов, единицы блеска	Твердость, усл. ед.	Эластичность при изгибе, мм
ВЭ-65	≤ 4	$\geq 0,44$	≤ 3
ВЭ-65М	≤ 6	$\geq 0,33$	≤ 3

Для получения матовых покрытий на поверхности панелей светопроводов, нерабочих поверхностях оптических деталей и фасках деталей из полиметилметакрилата также используют эмаль ХС-5245 – черную, серо-голубую, темно-бежевую и коричневую, на основе сополимера винилхлорида с винилиденхлоридом. Кроме того, эмаль ХС-5245 можно наносить на металлические детали в кабине пилотов.

Для нанесения на элементы индикации визуальных приборов на основе акриловой смолы разработана матовая эмаль АК-5187 – голубая, оранжевая и зеленая.

Для получения покрытий на деталях приборов, работающих при температурах до 130 °С во всеклиматических условиях, на основе смолы С-38 с добавлением пластификатора разработана матовая эмаль АС-1135 – серая, голубая, светло-голубая и коричневая.

В настоящее время из перечисленных эмалей выпускаются ВЭ-65, ВЭ-65М, ЭП-1143, остальные сняты с производства из-за отсутствия сырьевых компонентов.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Заключения

Исследование свойств и разработка новых рецептур лакокрасочных материалов и покрытий на их основе всегда являлись неотъемлемой составляющей процесса создания новых изделий авиационной техники. Нанесение лакокрасочных покрытий на детали ответственного назначения является наиболее простым способом придания поверхности изделия специальных оптических характеристик с одновременной защитой от воздействия окружающей среды. Ввиду возрастающих требований к качеству поверхности изделия в целом или части конструкции в частности, а также в связи с возросшим интересом к экологичности производственных процессов актуально создание новых лакокрасочных материалов на водной основе, технологий их изготовления и нанесения покрытий, не уступающих по качеству органорастворимым материалам.

Список источников

1. Нарский А.Р. Из истории отечественного авиационного материаловедения. Исследования лакокрасочных материалов в 1922–1940 гг. // История науки и техники. 2011. № 11. С. 34–43.
2. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ. 2012. С. 319–329.
3. Кондрашов Э.К. Лакокрасочные материалы и покрытия на их основе в машиностроении. М.: Пэйнт-Медиа, 2021. 255 с.
4. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // Труды ВИАМ. 2019. № 5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 28.06.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
5. Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Загора А.Г., Куршев Е.В. Исследование параметров отверждения и защитной способности системы покрытия типа «база/лак» для окраски внешней поверхности авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 1 (70). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 03.07.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-93-104.
6. Козлова А.А., Кондратьева О.В., Кузнецова В.А. Основные проблемы применения влагозащитных электроизоляционных материалов отечественного производства для автоматизированного селективного нанесения на печатные узлы (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 4 (69). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 03.07.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-72-83.
7. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Силаева А.А., Марченко С.А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2019. № 4 (37). С. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
8. Железняк В.Г., Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Скирко П.В. Система лакокрасочных покрытий на основе полиуретановой эмали для защиты лобовых обогреваемых поверхностей изделий авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 03.07.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.

9. Скляр Н.М. Путь длиной в 70 лет – от древесины до суперматериалов / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: МИСИС–ВИАМ, 2002. 212 с.
10. Гольдберг М.М. Материалы для лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1972. 208 с.
11. Кондрашов Э.К., Веренинова Н.П. Терморегулирующие лакокрасочные покрытия класса «солнечный отражатель» // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. № 2. С. 24–28.
12. Лившиц М.Л., Пшиялковский Б.И. Лакокрасочные материалы: справ. пособие. М.: Химия, 1982. 236 с.
13. Каблов Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // Авиационные материалы и технологии. 2013. № S1. С. 3–9.
14. Доспехи для «Бурана». Материалы и технологии ВИАМ для МКС «Энергия–Буран» / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: Наука и жизнь, 2013. 128 с.
15. Technical Standard Order TSO-C69c. Emergency Evacuation Slides, Ramps, Ramp/Slides, and Slide/Rafts. Washington, DC: Department of Transportation Federal Aviation Administration Aircraft Certification Service, 1999. 47 p.
16. Козлова А.А., Кондрашов Э.К., Барботько С.Л., Веренинова Н.П. Теплоотражающее покрытие для защиты надувных конструкций от воздействия теплового потока // Труды ВИАМ. 2018. № 4 (64). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 28.06.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-4-75-83.
17. Кондрашов Э.К., Веренинова Н.П. Термостойкие эмали с высокой отражательной и низкой излучательной способностью // Лакокрасочные материалы и их применение. 2019. № 10. С. 36–41.
18. Кондрашов Э.К. Терморегулирующие неорганические и полимерные покрытия МКС «Буран» // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2022. № 8. С. 33–38.

References

1. Narsky A.R. From the history of domestic aviation materials science. Studies of paintwork materials in 1922–1940. *Istoriya nauki i tekhniki*, 2011, no. 11, pp. 34–43.
2. *History of aviation materials science. VIAM – 80 years: years and people*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM. 2012, pp. 319–329.
3. Kondrashov E.K. *Paint and varnish materials and coatings based on them in mechanical engineering*. Moscow: Paint-Media, 2021, 255 p.
4. Zheleznyak V.G. Modern paint and varnish materials for use in aviation equipment products. *Trudy VIAM*, 2019, no. 5 (77), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. (accessed: June 28, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
5. Serdtselyubova A.S., Merkulova Yu.I., Zagora A.G., Kurshev E.V. Research of film-forming parameters and protective properties of basecoat/clearcoat system. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 03, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-93-104.
6. Kozlova A.A., Kondrateva O.V., Kuznetsova V.A. The main problems of using domestically produced moisture-proof electrical insulating materials for automated selective application on printed assemblies (review). *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (69), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 03, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-72-83.
7. Kovrizhkina N.A., Kuznetsova V.A., Silaeva A.A., Marchenko S.A. Ways to improve the properties of paint coatings by adding different fillers (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
8. Zheleznyak V.G., Serdcelyubova A.S., Merkulova Yu.I., Skivko P.V. Paint coating system based on polyurethane enamel for protecting heated frontal surfaces of aviation products. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 03, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.

9. Sklyarov N.M. *A journey of 70 years – from wood to supermaterials*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: MISIS-VIAM, 2002, 212 p.
10. Goldberg M.M. *Materials for paint and varnish coatings*. Moscow: Khimiya, 1972, 208 p.
11. Kondrashov E.K., Vereninova N.P. Thermoregulating paint coatings of the "solar reflector" class. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2020, no. 2, pp. 24–28.
12. Livshits M.L., Pshiyalkovsky B.I. *Paintwork materials: Ref. allowance*. Moscow: Khimiya, 1982, 236 p.
13. Kablov E.N. Materials for «Buran» spaceship – innovative solutions of formation of the sixth technological mode. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. S1, pp. 3–9.
14. Armor for "Buran". Materials and technologies of VIAM for the ISS "Energiya-Buran". Ed. E.N. Kablov. Moscow: Nauka i zhizn, 2013, 128 p.
15. Technical Standard Order TSO-C69c. *Emergency Evacuation Slides, Ramps, Ramp/Slides, and Slide/Rafts*. Washington, DC: Department of Transportation Federal Aviation Administration Aircraft Certification Service, 1999. 47 p.
16. Kozlova A.A., Kondrashov E.K., Barbotko S.L., Vereninova N.P. Heat-reflective coating for protection of expandable structure on against influence of the heat transfer rate. *Trudy VIAM*, 2018, no. 4 (64), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 28, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-4-75-83.
17. Kondrashov E.K., Vereninova N.P. Heat-resistant enamels with high reflective and low emissivity. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2019, no. 10, pp. 36–41.
18. Kondrashov E.K. Thermoregulating inorganic and polymeric coatings ISS "Buran". *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2022, no. 8, pp. 33–38.

Информация об авторах

Кондрашов Эдуард Константинович, главный научный сотрудник, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Козлова Алеся Александровна, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Eduard K. Kondrashov, Senior Researcher, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Alesya A. Kozlova, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 17.07.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 20.07.2023.
 The article was submitted 17.07.2023; approved and accepted for publication after reviewing 20.07.2023.