

Научная статья

УДК 629.7.023

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-90-101

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕГО НА СВОЙСТВА ИЗНОСОСТОЙКОГО МАТОВОГО ПОКРЫТИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ КАБИНЫ И ПАНЕЛЕЙ ПРИБОРОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

В.А. Кузнецова¹, Е.А. Тимошина¹, Г.Г. Шаповалов¹, Е.В. Куршев¹

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

Аннотация. В настоящее время к качеству и внешнему виду покрытий, применяемых для защиты элементов кабины и панелей приборов авиационной техники, предъявляются особые требования, связанные с необходимостью обеспечения высокого уровня зрительной и общей работоспособности пилота как при естественном, так и при искусственном освещении, а также пожарной безопасности. Изучены свойства декоративных пожаро-безопасных износостойких матовых лакокрасочных покрытий, полученных с применением двухфазной полимерной системы «полиэфир–фторполиуретановый олигомер».

Ключевые слова: полимерное пленкообразующее, модификатор, отвердитель, покрытие, структура, износостойкость, адгезия, водостойкость, блеск покрытия, эластичность

Для цитирования: Кузнецова В.А., Тимошина Е.А., Шаповалов Г.Г., Куршев Е.В. Влияние модификации пленкообразующего на свойства износостойкого матового покрытия, используемого для защиты элементов кабины и панелей приборов авиационной техники // Труды ВИАМ. 2025. № 9 (151). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-90-101.

Scientific article

INFLUENCE OF A MODIFIED FILM-FORMING AGENT ON THE PROPERTIES OF ANTI-WEAR MATTE COATING USED TO PROTECT CABIN AND DASHBOARD COMPONENTS IN AIRCRAFT

V.A. Kuznetsova¹, E.A. Timoshina¹, G.G. Shapovalov¹, E.V. Kurshev¹

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

Abstract. Currently, special requirements are imposed to the quality and appearance of the coverings used to protect elements of cabin and dashboards in aircraft. These requirements are associated with the need of providing high level of visual and overall performance of the pilot both under natural and artificial lighting, as well as with fire safety. This work is devoted to studying the properties of the decorative, fireproof, wear-resistant matte paint coatings obtained using a two-phase polymer system: polyester – fluoropolyurethane oligomer.

Keywords: polymer film-forming agent, modifier, hardener, coating, structure, wear resistance, adhesion, water resistance, coating gloss, elasticity

For citation: Kuznetsova V.A., Timoshina E.A., Shapovalov G.G., Kurshev E.V. Influence of a modified film-forming agent on the properties of anti-wear matte coating used to protect cabin and dashboard components in aircraft. *Trudy VIAM*, 2025, no. 9 (151), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-90-101.

Введение

В связи с развитием авиационной техники особые требования предъявляются к качеству и внешнему виду лакокрасочных покрытий, применяемых для защиты и декоративной окраски элементов кабины и панелей приборов авиационной техники [1–6].

К покрытиям, применяемым для окраски кабины пилотов, а также бортового оборудования, размещенного в кабине, предъявляются следующие требования:

- покрытие должно быть матовым, так как на глянцевых поверхностях покрытия могут возникать блики, оказывающие негативное воздействие на зрение членов экипажа;
- цвет покрытия должен обеспечивать высокий уровень зрительной и общей работоспособности пилота как при естественном, так и при искусственном освещении;
- покрытия должны быть устойчивыми к повреждениям и сохранять оптические характеристики в процессе эксплуатации при воздействии истирающих факторов.

На современном этапе особые требования предъявляются не только к качеству и внешнему виду лакокрасочных покрытий, но также пожарной безопасности применяемых для защиты элементов кабины и панелей приборов кабины пилотов, т. е. покрытие должно соответствовать требованиям АП-25 по горючести, дымообразованию и тепловыделению.

Следует отметить, что в соответствии с ОСТ 1 02545–85 «Кабины экипажа самолетов и вертолетов», в котором изложены требования к цвету внутренних поверхностей, наиболее полно этим требованиям удовлетворяют цвета средней части спектра малой насыщенности. К ним относятся холодные цвета: зеленый, серо-голубой, темно-серый и др. Для исключения возникновения бликов от источников внешнего освещения все эмали должны быть матовыми [7–10].

Анализ научно-технической литературы показал, что в настоящее время существуют разнообразные способы получения матовых декоративных покрытий, которые основаны на включении в их структуру микронеоднородностей для увеличения диффузного отражения.

Широко распространен способ получения матовых покрытий путем увеличения объемной концентрации наполнителей, что приводит к снижению блеска покрытия, но ухудшает физико-механические свойства и стойкость к истиранию.

Для получения матовых покрытий также применяют различные технологические приемы – например, способ микрорасслоения полимерного раствора с образованием ячеистой конденсационной структуры.

Один из способов получения матовых покрытий – применение смесей несовместимых растворов полимеров. Для достижения необходимых оптических и декоративных свойств следует выбрать полимерное пленкообразующее, позволяющее получать матовое покрытие при относительно невысоком содержании наполнения, при котором сохраняется достаточно высокий уровень адгезионной прочности, эластичности, а также твердости лакокрасочной пленки. Для разработки таких покрытий используются смеси несовместимых растворов полимеров, при этом формируется двухфазная полимерная структура, в которой каждая фаза характеризуется своим коэффициентом преломления. В этом случае падающий на поверхность свет подвергается диффузному рассеянию за счет преград в виде микронеоднородностей полимерной структуры [11–26].

Предлагаемая работа посвящена изучению свойств декоративных пожаробезопасных износостойких матовых лакокрасочных покрытий, полученных с применением двухфазной полимерной системы «полиэфир–фторполиуретановый олигомер».

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» комплексной научной проблемы 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [27].

Материалы и методы

Основным фактором, определяющим свойства лакокрасочного покрытия, является химическая природа пленкообразующего.

В качестве объекта исследований выбран полиэфир – продукт поликонденсации этиленгликоля и глицерина с себадиновой кислотой: $[-O-R-O-C(O)-(CH_2)_8-C(O)-O-]_n$.

Для модификации полиэфирного пленкообразующего в работе исследованы:

- фторполиуретановый олигомер (ФПУ) $[-O-C(O)-NH-R'-NH-C(O)-O-CH_2-(CF_2)_y-CH_2-O-]_n$;
- тиолсодержащий полиуретан (ТСУ) $-[R-NH-CO-O-R-S]_n-H$;
- полисульфидный каучук (ПСК) $SH[-R-Sm-]_nSH$.

Модифицирующие компоненты вводили в полиэфирное пленкообразующее в виде растворов в смеси органических растворителей. Изготовленные лаковые композиции отверждали алифатическим изоцианатом.

Для получения наполненных лаковых композиций использовали структурообразующие и упрочняющие наполнители, а также пигменты.

Экспериментальным путем выбрана оптимальная рецептура для создания износостойкого матового пожаробезопасного лакокрасочного покрытия марки ВЭ-86. Для проведения исследований изготовлены образцы из сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр, а также стеклопластика ВПС-39П для нанесения системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и эмали ВЭ-86. Толщина системы покрытий составляла 70–100 мкм. Покрытия на поверхность образцов наносили методом пневматического распыления.

Для проведения исследований использовали стандартные методы: жизнеспособность (время желатинизации) определяли по ГОСТ 27271–2014; адгезию – по ГОСТ 15140–78 (для металла) и ГОСТ 31149–2014 (для полимерного композиционного материала); прочность покрытия при ударе – по ГОСТ 4765–2024; эластичность покрытия при изгибе – по ГОСТ 6806–2024; прочность при растяжении (эластичность) – по ГОСТ 29309–92; блеск покрытия под углом замера 60 градусов – по ГОСТ 31975–2017; устойчивость к абразивному износу (истиранию) – по ИСО 7784-2:2016; шероховатость – по ГОСТ 25142–82. Структуру лакокрасочных покрытий исследовали с применением сканирующего электронного микроскопа.

Результаты и обсуждение

Для проведения исследований свойств модифицированных лаковых покрытий на основе полиэфирного пленкообразующего изготовлены экспериментальные образцы. Лаковые композиции наносили методом пневматического распыления, сушку покрытий проводили при комнатной температуре.

В табл. 1 приведены результаты определения технологических, физико-механических свойств, а также адгезии покрытий на основе исследуемых лаковых композиций.

Таблица 1

Определение технологических свойств, адгезии и физико-механических свойств модифицированных лаковых композиций

Модификатор	Содержание модификатора, %	Время высыхания, ч	Время желатинизации, ч	Адгезия к сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, балл	Прочность при ударе, Дж	Эластичность при изгибе, мм
Фторполиуретановый олигомер	10	6	24	1	5	1
	20		24	1	5	1
	30		7	1	5	1
Тиолсодержащий полиуретан	20	6	48	1	1	1
	30		48	1	1	1
	40		29	1	1	1
Полисульфидный каучук	20	8	32	1	1	1
	30		29	1	1	1
	40		24	1	1	1

Из полученных результатов следует, что время высыхания полиэфирных покрытий, модифицированных фторполиуретановым олигомером, а также тиолсодержащим полиуретаном составляет 6 ч; время высыхания покрытий, модифицированных полисульфидным каучуком: 8 ч. Следует отметить, что жизнеспособность (время желатинизации) вышеуказанных лаковых композиций зависит от содержания модификатора в полиэфирном пленкообразующем и составляет от 7 до 48 ч, что существенно превышает продолжительность рабочей смены. Адгезия всех исследуемых лаковых покрытий к поверхности сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр составляет 1 балл, эластичность при изгибе 1 мм. Прочность при ударе лаковых покрытий на основе полиэфирного пленкообразующего, модифицированного фторполиуретановым олигомером, при содержании модификатора 10–30 % составляет 5 Дж, в отличие от аналогичных композиций, модифицированных тиолсодержащим полиуретаном и полисульфидным каучуком, у которых прочность при ударе 1 Дж.

В табл. 2 и на рис. 1 приведены результаты определения декоративных свойств – блеска и шероховатости покрытия, а также износостойкости при истирании по ISO 7784-2:2016.

Таблица 2

Определение декоративных свойств и износостойкости модифицированных лаковых покрытий

Модификатор	Содержание модификатора, %	Блеск при угле замера 60 градусов, ед. блеска
Фторполиуретановый олигомер	10	67,1
	20	74,4
	30	86,3
Тиолсодержащий полиуретан	20	18,0–29,2
	30	21,6–25,5
	40	15,4–16,0
Полисульфидный каучук	20	9,0–10,2
	30	7,8–10,0
	40	6,7–8,4

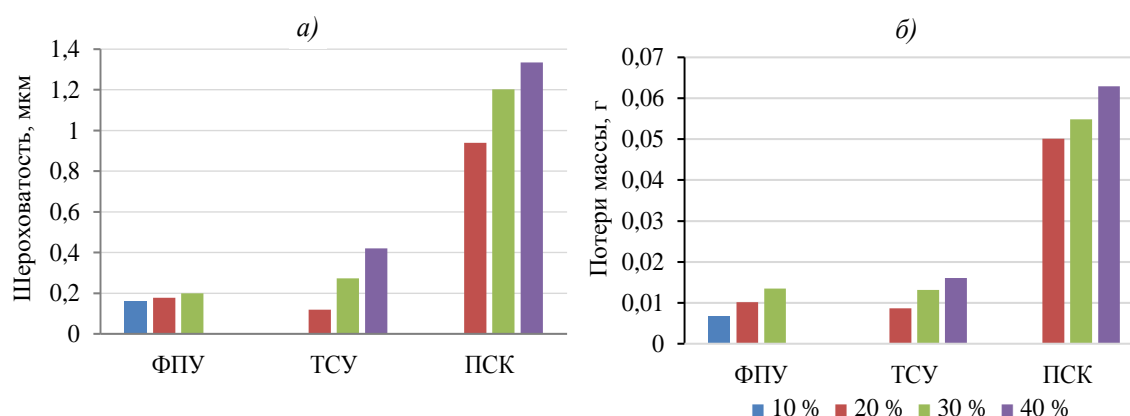


Рис. 1. Результаты определения шероховатости (а) и износостойкости (б) модифицированных лаковых покрытий

Анализ результатов, полученных при определении шероховатости и износостойкости, показал, что лаковые покрытия на основе полиэфирного пленкообразующего, модифицированного полисульфидным каучуком, по шероховатости и износостойкости существенно уступают аналогичным покрытиям, модифицированным фторполиуретановым олигомером и тиолсодержащим уретаном. Видно, что наиболее износостойкими являются полиэфирные покрытия, модифицированные фторполиуретаном (10 %), а также тиолсодержащим уретаном (20 %). Это связано с тем, что наиболее шероховатые покрытия при истирании изнашиваются наиболее интенсивно за счет выравнивания рельефа поверхности при истирании.

На основании полученных результатов в качестве полимерного пленкообразующего выбрана полиэфирная композиция, содержащая 10 % фторполиуретанового олигомера, обладающая наиболее высоким уровнем свойств: адгезия 1 балл; прочность при ударе 5 Дж, эластичность при изгибе 1 мм, износостойкость 0,0067 г.

Разработана система лакокрасочных покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86. Исследованы адгезия, физико-механические, декоративные, влагозащитные свойства, а также износостойкость системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и эмали ВЭ-86 в исходном состоянии (табл. 3, рис. 2).

Видно, что покрытие на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86 обладает высокой адгезией к алюминиевому сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, а также стеклопластику ВПС-39П, прочностью при ударе, эластичностью и износостойкостью.

Таблица 3

Результаты определения свойств системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86

Показатель	Значения показателей
Адгезия к сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, балл	1
Адгезия к стеклопластику ВПС-39П, балл	1
Прочность пленки покрытия при ударе, Дж	5
Блеск покрытия под углом 60 градусов, ед. блеска	1,5
Прочность пленки покрытия при растяжении, мм	5,5
Эластичность при изгибе, мм	1
Стойкость к абразивному износу (истиранию), индекс Табера	0,031

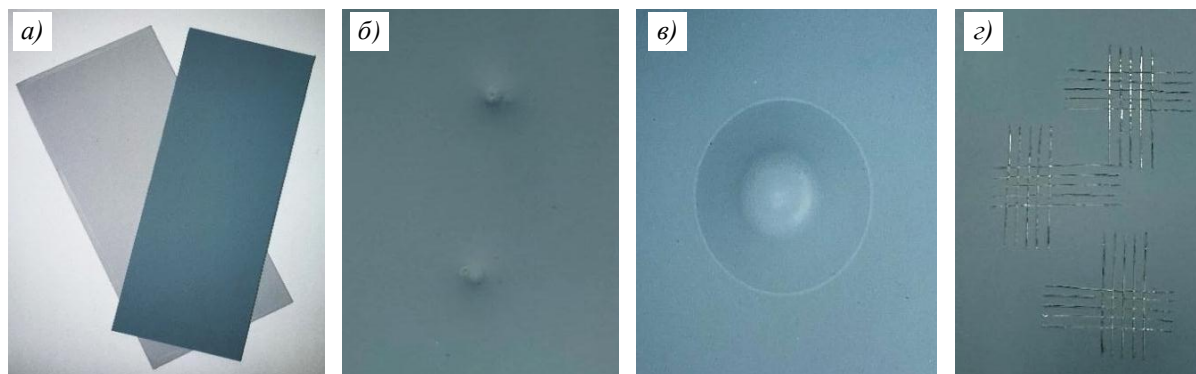


Рис. 2. Внешний вид образцов покрытия ВЭ-86 в исходном состоянии (а), после определения прочности при ударе (б) и при растяжении (эластичности) (в), адгезии на сплаве Д16-АТ Ан.Окс.нхр (г)

Исследована микроструктура износостойкого матового покрытия в исходном состоянии и после истирания.

Микроструктурные исследования проведены с помощью сканирующего электронного микроскопа при увеличении $\times 4000$. Результаты микроструктурных исследований, а также внешний вид образца после испытания на износостойкость приведены на рис. 3.

Микроструктурные исследования исходного покрытия на основе эмали ВЭ-86 показали (рис. 3, а), что эмаль равномерно распределена на поверхности подложки. Эмаль наполнена пигментами в виде мелкодисперсного порошка и частиц пластинчатой формы. В эмали выявлены единичные микропоры, трещин и расслоений не обнаружено.

После испытания на истирание эмали ВЭ-86 (рис. 3, б) происходит закономерное выкрашивание частиц наполнителя из покрытия и образование борозд в виде пластических деформаций поверхностного слоя. Борозды состоят из агрегатов порошкообразных частиц и полимерной матрицы. Выявлены также участки с разрушением частиц пластинчатой формы (рис. 3, б). Обнаружены участки со смятием (деформацией) полимерной матрицы (рис. 3, б). Трещин и обнажения металлической подложки не выявлено.

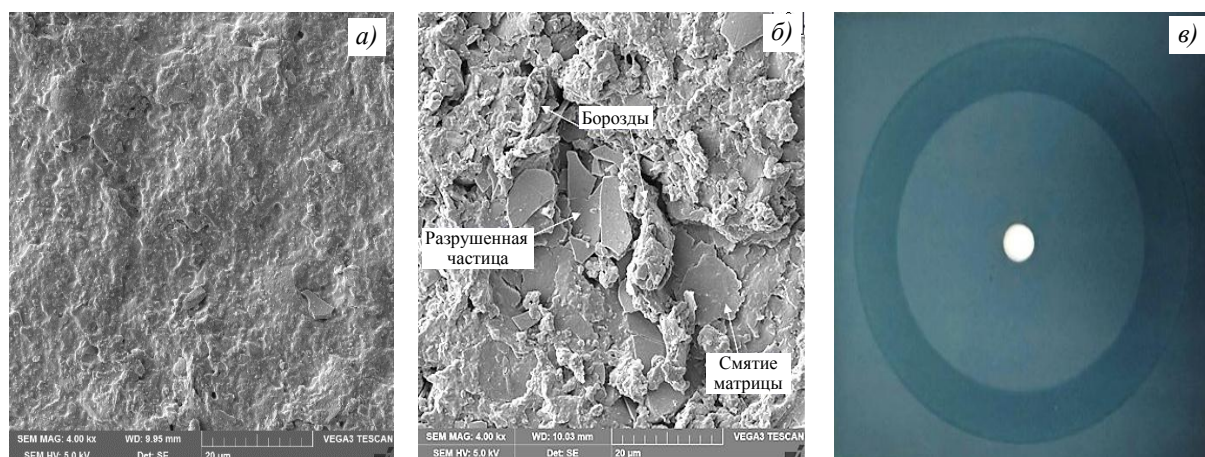


Рис. 3. Микроструктура поверхности покрытия ВЭ-86 в исходном состоянии (а) и после испытаний на истирание (б), а также внешний вид образца после испытаний на износостойкость (в)

Исследовано водопоглощение системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86 после испытаний в дистиллированной воде в течение 15 сут при комнатной температуре. Водопоглощение покрытия определяли гравиметрическим методом по изменению весовых характеристик образцов в процессе

испытаний. Кинетическая кривая водопоглощения системы лакокрасочных покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86 приведена на рис. 4.

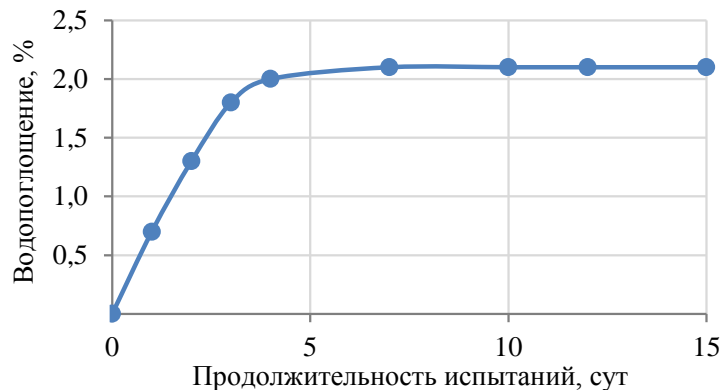


Рис. 4. Кинетика водопоглощения системы покрытий на основе грунтовки ВГ-45 и эмали ВЭ-86

Из анализа кривой равновесной сорбции следует, что при экспозиции покрытия в дистиллированной воде происходит увеличение массы покрытия. При этом достижение равновесной сорбции происходит в течение первых 5 сут. Покрытие на основе грунтовки ВГ-45 и эмали ВЭ-86 при толщине покрытия 75 мкм достигает максимального значения водопоглощения 2,1 %.

Исследована микроструктура износостойкого матового покрытия ВЭ-86 в исходном состоянии и после испытания в дистиллированной воде в течение 15 сут (рис. 5).

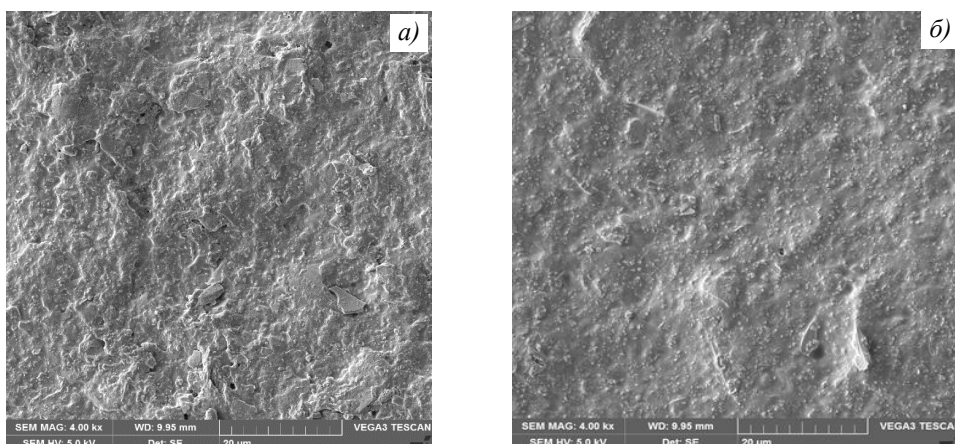


Рис. 5. Микроструктура поверхности покрытия ВЭ-86 в исходном состоянии (а) и после испытания в дистиллированной воде (б)

Видно, что микроструктура покрытия ВЭ-86 в исходном состоянии и после испытания не претерпевает значимых изменений по сравнению с исходным образцом.

Поскольку покрытия, применяемые для защиты внутренней поверхности кабины пилота, должны соответствовать нормативам АП-25 по пожароопасности, в данной работе определены показатели, определяющие пожароопасность: горючесть, тепловыделение и дымообразование.

В табл. 4 приведены результаты испытаний на тепловыделение системы покрытий на основе эмали ВЭ-86. Испытания проводили на подложке из стеклопластика ВПС-39П, среднее значение толщины системы покрытий составляло 80 мкм.

Таблица 4

Результаты испытаний на тепловыделение системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86

Система покрытий	Толщина, мм	Максимальная скорость выделения тепла (пик), кВт/м ²	Время достижения максимума, с	Общее количество выделенного тепла за первые 2 мин, (кВт·мин)/м ²
ВЭ-45 + ВЭ-86	1,9	58,3	61	29,2
	1,8	60,0	62	30,6
	1,8	55,2	55	33,6
	Среднее значение	57,8		31,1
Допустимые значения по АП-25, п. 25.853 (d)		Не более 65	–	Не более 65

В табл. 5 приведены результаты испытаний на горючесть системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86. Испытания проводили при вертикальной ориентации образцов на подложке из алюминиевого сплава Д16-АТ Ан.Окс.нхр при средней толщине системы покрытий 80 мкм.

Таблица 5

Результаты испытаний на горючесть образцов с системой покрытий на основе эмали ВЭ-86 (толщина 80 мкм) на подложке из алюминиевого сплава Д16-АТ

Толщина образца, мм	Продолжительность экспозиции пламенем горелки, с	Продолжительность остаточного горения (тления), с	Длина обугливания, мм	Продолжительность горения капель, с	Классификация по ГОСТ Р 57924–2017
0,79	60	0	1	Нет	Трудногорающий
1,02	60	0	1	Нет	
0,83	60	0	1	Нет	
Среднее значение		0	1		
Допустимые значения по АП-25 п. 25.853 (a)		Не более 15	Не более 152	Не более 3	–

В табл. 6 приведены результаты испытаний на дымообразование системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86. Испытания проводили на подложке из стеклопластика ВПС-39П, среднее значение толщины системы покрытий составляет 80 мкм.

Таблица 6

Результаты испытаний на дымообразование образцов с системой покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86

Толщина, мм	Режим испытания	Показатель удельной оптической плотности дыма		
		D ₂	D ₄	D _{max}
1,92	Горение	9	22	23
1,72		8	22	24
1,83		6	24	26
Среднее значение		8	23	24
1,92	Пиролиз	11	28	39
1,87		6	34	45
1,9		9	30	41
Среднее значение		9	31	42
Допустимые значения по АП-25, п. 25.853 (d)		–	Не более 200	–

Из результатов испытаний, полученных при определении горючести, дымообразования и тепловыделения системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86, следует, что система покрытий, разработанная для окраски панелей приборов и элементов кабины пилота, соответствует требованиям АП-25, АП-27 и АП-29 по пожарной безопасности.

Заключения

Изготовлены полимерные лаковые композиции на основе полиэфирного пленкообразующего, содержащие модифицирующие компоненты: фторполиуретановый олигомер, тиолсодержащий полиуретан, а также полисульфидный каучук. Определены технологические свойства, адгезия и физико-механические, а также декоративные свойства и износостойкость модифицированных лаковых композиций. Показано, что наиболее износостойким является полиэфирное покрытие, модифицированное фторполиуретановым олигомером.

Выбрана полиэфирная композиция, модифицированная фторполиуретановым олигомером, обладающая наиболее высоким уровнем свойств: адгезия 1 балл; прочность при ударе 5 Дж, эластичность при изгибе 1 мм, износостойкость 0,0067 г.

Исследованы адгезия, физико-механические, декоративные и влагозащитные свойства, а также износостойкость системы покрытий на основе наполнителя ВГ-45 и эмали ВЭ-86 в исходном состоянии.

Установлено, что покрытие на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86 обладает высокой адгезией к алюминиевому сплаву Д16-АТ Ан.Окс.нхр, а также к стеклопластику ВПС-39П, прочностью при ударе (эластичностью) и износостойкостью.

Исследована микроструктура износостойкого матового покрытия в исходном состоянии и после истирания.

Исследовано водопоглощение, а также микроструктура системы покрытий на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и износостойкой матовой эмали ВЭ-86 в исходном состоянии и после испытаний в дистиллированной воде в течение 15 сут при комнатной температуре.

Показано, что покрытие на основе грунта-наполнителя ВГ-45 и эмали ВЭ-86 водостойкое. Микроструктура поверхностного слоя покрытия на основе эмали ВЭ-86 в исходном состоянии и после испытаний в дистиллированной воде не претерпевает значимых изменений по сравнению с исходным образцом.

Список источников

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. М.: Машиностроение, 1991. 400 с.
2. Антипов В.В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194.
3. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи // Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002. М.: МИСИС–ВИАМ, 2002. С. 23–47.
4. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
5. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения // Защита и безопасность. 2014. № 4. С. 28–29.
6. Каблов Е.Н. Основные итоги и направления развития материалов для перспективной авиационной техники // 75 лет. Авиационные материалы. М.: ВИАМ, 2007. С. 20–26.
7. 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: 14.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.

8. Кузнецова В.А., Тимошина Е.А., Шаповалов Г.Г., Железняк В.Г. Тенденции в области разработки матовых износостойких лакокрасочных покрытий // Труды ВИАМ. 2023. № 10 (128). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 14.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144.
9. 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 (57). С. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
10. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Кодаченко Е.Н., Железняк В.Г. Исследование влияния химической природы грунтовочного слоя на свойства системы покрытий на основе фторполиуретановой эмали // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 07.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
11. Козлова А.А., Кондрашов Э.К. Влияние молекулярной массы и элементного состава изоцианатов на свойства фторполиуретановых эмалей // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 4 (73). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 28.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0293-2023-0-4-92-100.
12. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
13. Макущенко И.С., Козлов И.А., Смирнов Д.Н., Куршев Е.В., Лонский С.Л. Исследование микроструктуры и распределения ингибиторов коррозии в полисульфидном герметике // Авиационные материалы и технологии. 2025. № 2 (79). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-128-136.
14. Железина Г.Ф., Кулагина Г.С., Соловьева Н.А., Барботько С.Л. Влияние состава и структуры на огнестойкость арамидных органопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 3 (76). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-3-81-89.
15. Юловская В.Д. Олигомеры. Каучук – олигомерные композиции, структура и свойства: учеб. пособие. М., 2008. 46 с.
16. Петров Г.Н., Синайский А.Г., Дальгрэн И.В. Жидкие углеводородные каучуки и области их применения // Клеи. Герметики. Технологии. 2009. № 10. С. 24–27.
17. Семенова Л.В., Нефедов Н.И., Белова М.В., Лаптев А.Б. Системы лакокрасочных покрытий для вертолетной техники // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
18. Сухарева Л.А. Полиэфирные покрытия. Структура и свойства. М.: Химия, 1987. 191 с.
19. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1969. 319 с.
20. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. 272 с.
21. Носков А.М., Новиков Н.И. Отверждение глицидиловых эфиров аминами в присутствии гидроксильных групп // Журнал прикладной химии. 2008. Т. LV. № 12. С. 2733–2737.
22. Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. С. 252–266.
23. Зиновьев В.Е. К вопросу связи адгезии и качества поверхностного слоя субстрата клеевого соединения // Вестник РГУПС. 2010. № 4. С. 5–9.
24. Кузнецова В.А., Шаповалов Г.Г., Марченко С.А., Коврижкина Н.А., Силаева А.А. Матовые покрытия на основе двухфазной эпоксидно-акриловой композиции для окраски элементов кабины пилотов и панелей приборов // Труды ВИАМ. 2020. № 12 (94). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 07.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-87-95.
25. 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> (дата обращения: 04.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-101-109.

26. Семенова Л.В., Родина Н.Д., Нефедов Н.И. Влияние шероховатости систем лакокрасочных покрытий на эксплуатационные свойства самолетов // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. № 2. С. 37–40.
27. 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.

References

1. Zhitomirsky G.I. *Aircraft design*. Moscow: Mashinostroenie, 1991, 400 p.
2. Antipov V.V. Prospects for development of aluminium, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 186–194. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-186-194.
3. Kablov E.N. Aviation Materials Science in the 21st Century. Prospects and Objectives. *Aviation Materials. Selected Works of VIAM 1932–2002*. Moscow: MISIS–VIAM, 2002, pp. 23–47.
4. Kablov E.N. New-Generation Materials – the Basis for Innovation, Technological Leadership, and National Security of Russia. *Intellekt i tekhnologii*, 2016, no. 2 (14), pp. 16–21.
5. Kablov E.N. New-Generation Materials. *Zashchita i bezopasnost*, 2014, no. 4, pp. 28–29.
6. Kablov E.N. Main Results and Directions of Development of Materials for Advanced Aviation Technology. *75 Years. Aviation Materials*. Moscow: VIAM, 2007, pp. 20–26.
7. 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: July 14, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
8. Kuznetsova V.A., Timoshina E.A., Shapovalov G.G., Zheleznyak V.G. Trends in the development of matte wear-resistant paint coatings. *Trudy VIAM*, 2023, no. 10 (128), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 14, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144.
9. 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.
10. Merkulova Yu.I., Kuznetsova V.A., Kodachenko E.N., Zheleznyak V.G. Study of the influence of the primer layer's chemical nature on the properties of the coating system based on fluoropolyurethane enamel. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 07, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
11. Kozlova A.A., Kondrashov E.K. Influence of molecular weight and elemental composition of isocyanates on the properties of fluoropolyurethane enamels. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 4 (73), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 28, 2025). DOI: 10.18577/2713-0293-2023-0-4-92-100.
12. Pavlyuk B.Ph. The main directions in the field of development of polymeric functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
13. Makushchenko I.S., Kozlov I.A., Smirnov D.N., Kurshev E.V., Lonskii S.L. Study of the microstructure and distribution of corrosion inhibitors in polysulfide sealant. *Aviation materials and technologies*, 2025, no. 2 (79), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 24, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-2-128-136.
14. Zhelezina G.F., Kulagina G.S., Soloveva N.A., Barbotko S.L. Influence of composition and structure on the fire resistance of aramid organoplastics. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 3 (76), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: 24.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-3-81-89.
15. Yulovskaya V.D. *Oligomers. Rubber – oligomeric compositions, structure and properties*: textbook. Moscow, 2008, 46 p.
16. Petrov G.N., Sinaisky A.G., Dahlgren I.V. Liquid hydrocarbon rubbers and their application areas. *Klei. Germetiki. Tekhnologii*, 2009, no. 10, pp. 24–27.

17. Semenova L.V., Nefedov N.I., Belova M.V., Laptev A.B. Systems of paint coatings for helicopter equipment. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
18. Sukhareva L.A. *Polyester Coatings. Structure and Properties*. Moscow: Khimiya, 1987, 191 p.
19. Berlin A.A., Basin V.E. *Basics of Polymer Adhesion*. Moscow: Khimiya, 1969, 319 p.
20. Yakovlev A.D., Yakovlev S.A. *Functional-Purpose Paint and Varnish Coatings*. St. Petersburg: Khimizdat, 2016, 272 p.
21. Noskov A.M., Novikov N.I. Curing of Glycidyl Ethers with Amines in the Presence of Hydroxyl Groups. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2008, vol. LW, no. 12, pp. 2733–2737.
22. Chalykh A.E. *Diffusion in Polymer Systems*. Moscow: Khimiya, 1987, pp. 252–266.
23. Zinoviev V.E. On the issue of the relationship between adhesion and the quality of the surface layer of the substrate of the adhesive joint. *Vestnik RGUPS*, 2010, no. 4, pp. 5–9.
24. Kuznetsova V.A., Shapovalov G.G., Marchenko S.A., Kovrizhkina N.A., Silaeva A.A. Paint coatings on the basis of epoxy and acrylic diphasic polymeric system for coloring of elements of cabin of pilots and dashboards. *Trudy VIAM*, 2020, no. 12 (94), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 07, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-87-95.
25. 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> (accessed: July 04, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-9-101-109.
26. Semenova L.V., Rodina N.D., Nefedov N.I. An effect of roughness of paint and varnish coating systems on service properties of aircraft. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2013, no. 2, pp. 37–40.
27. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

Информация об авторах

Кузнецова Вера Аркадьевна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Тимошина Екатерина Александровна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Шапвалов Георгий Геннадьевич, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Куршев Евгений Васильевич, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Vera A. Kuznetsova, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Ekaterina A. Timoshina, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Georgy G. Shapovalov, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Evgeny V. Kurshev, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 07.08.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 13.08.2025.
The article was submitted 07.08.2025; approved and accepted for publication after reviewing 13.08.2025.