

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-135-148

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СИСТЕМ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ШПАТЛЕВКИ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФТОРОПЛАСТОВОЙ, ФТОРКАУЧУКОВОЙ И ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ЭМАЛЕЙ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ**С.А. Марченко<sup>1</sup>, П.В. Скивко<sup>1</sup>, В.А. Кузнецова<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Исследованы свойства лакокрасочных покрытий на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения в системах с фторопластовой, фторкаучуковой и полиуретановой эмалями в исходном состоянии и после воздействия различных эксплуатационных факторов. В результате исследований выявлено, что применение шпатлевки в системах с различными эмалями не влияет на внешний вид, степень развития грибов и адгезию лакокрасочных покрытий. Стойкость к удару систем лакокрасочных покрытий с входящей в состав шпатлевкой после испытаний не ухудшается (по сравнению с системами со шпатлевкой в исходном состоянии).

**Ключевые слова:** универсальная шпатлевка холодного отверждения, системы лакокрасочных покрытий, адгезия, прочность при ударе, водостойкость, искусственное старение, грибостойкость

**Для цитирования:** Марченко С.А., Скивко П.В., Кузнецова В.А. Исследование свойств систем покрытий на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения с применением фторопластовой, фторкаучуковой и полиуретановой эмалей после воздействия различных факторов эксплуатации // Труды ВИАМ. 2025. № 9 (151). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-135-148.

Scientific article

**PROPERTIES OF COATING SYSTEMS WITH A UNIVERSAL COLD-CURING PUTTY WITH FLUOROPLASTIC, FLUORO-RUBBER AND POLYURETHANE ENAMELS AFTER EXPOSURE TO VARIOUS PERFORMANCE FACTORS**S.A. Marchenko<sup>1</sup>, P.V. Skivko<sup>1</sup>, V.A. Kuznetsova<sup>1</sup>

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

**Abstract.** This study examines the properties of paint coatings based on a universal cold-curing putty with fluoroplastic, fluoro-rubber and polyurethane enamels in their initial state and after exposure to various operational factors. The results show that the use of putty in systems with different enamels does not affect the appearance, fungal growth and adhesion of paint coatings. The impact resistance of coating systems containing this putty shows no deterioration after testing (compared to systems with the putty in its initial state).

**Keywords:** universal cold-curing putty, coating systems, adhesion, impact strength, water absorption, artificial aging, fungus resistance

*For citation:* Marchenko S.A., Skivko P.V., Kuznetsova V.A. Properties of coating systems with a universal cold-curing putty with fluoroplastic, fluoro-rubber and polyurethane enamels after exposure to various performance factors. *Trudy VIAM*, 2025, no. 9 (151), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-135-148.

### Введение

Современное развитие авиационной техники характеризуется резким увеличением доли полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях воздушных судов. Их широкое внедрение обусловлено высокими удельными прочностными характеристиками, коррозионной стойкостью, а также хорошими эксплуатационными свойствами и сопротивлением усталости [1–4].

В условиях эксплуатации летательные аппараты подвергаются значительным температурным перепадам, климатическим воздействиям и механическим нагрузкам, особенно в фазах взлета и посадки. В связи с этим критически возрастает роль защитных покрытий, обеспечивающих долговечность и надежность конструкций из ПКМ. Эффективность лакокрасочных покрытий (ЛКП) напрямую влияет на срок службы и безопасность полетов авиационной техники. При этом важнейшими параметрами становятся адгезия покрытий к различным подложкам, механическая прочность и устойчивость к агрессивным внешним воздействиям [5, 6].

Одной из актуальных задач является ремонт, а также выравнивание перед окраской поверхности конструкций из ПКМ, в том числе крупногабаритных панелей, в условиях ограниченного доступа к промышленным условиям. Для таких случаев требуются быстросохнущие материалы холодного отверждения, которые обладают высокой адгезией к подложке, равномерным распределением по поверхности и минимальной усадкой при отверждении. В настоящее время наибольшее распространение получили полиэфирные шпатлевки, характеризующиеся малой усадкой даже при значительной толщине слоя и высокой скоростью полимеризации (по сравнению с акриловыми и нитроцеллюлозными аналогами). Применяются также отечественные системы на основе эпоксидных грунтовок и шпатлевок (например, ЭП-0104, ЭП-0026, ЭП-0080), содержащие до 40–70 % органических растворителей. Это приводит к значительным выбросам летучих органических соединений и увеличенной энергоемкости процесса. В связи с этим необходимо создание экологичных отечественных ЛКП холодного отверждения с пониженным в 1,5–2 раза содержанием растворителей, обладающих высокими эксплуатационными характеристиками [7–13].

Шпатлевки используются в системах с грунтами, гарантирующими адгезию к подложке, а также с эмалями, обеспечивающими атмосферостойкость, устойчивость к перепадам температур, химическим реагентам, эрозии и декоративные свойства.

В современной авиационной промышленности широкое применение находят покрытия на основе фторопластовых, фторкаучуковых и полиуретановых эмалей. Внутренние поверхности защищаются эпоксидными грунтами и эмалями. Особое внимание уделяется фторкаучуковым покрытиям, демонстрирующим высокую гибкость, коррозионную стойкость и устойчивость к вибрациям и температурным циклам. Полиуретановые эмали ценятся за ударопрочность, стойкость к воздействию внешних факторов и декоративные качества, фторопластовые ЛКП – за исключительную химическую стойкость и высокую атмосферостойкость [14–19].

Таким образом, разработка и внедрение новых ЛКП холодного отверждения с улучшенными экологическими и эксплуатационными характеристиками являются актуальной научно-практической задачей в области авиационных покрытий.

Цель данного исследования – комплексная оценка влияния универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25 на физико-механические и защитные характеристики систем покрытий с различными типами эмалей (фторопластовых, фторкаучуковых, полиуретановых), а также исследование их свойств в условиях эксплуатации.

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» комплексной научной проблемы 17.7 «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» в соответствии со «Стратегическими направлениями развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» [20].

### Материалы и методы

С целью изучения свойств покрытий на базе шпатлевки ВШ-25 выбраны следующие лакокрасочные материалы:

- эпоксидная грунтовка ЭП-0104 (ТУ 6-10-1124–75);
- эпоксидная грунтовка ЭП-0215 (ТУ 6-10-1966–84);
- эпоксидная грунтовка ВГ-28 (ТУ 1-595-15-582–2022);
- фторкаучуковая эмаль КЧ-5230 (ТУ 6-10-2034–85);
- фторопластовая эмаль ВЭ-46 (ТУ 1-595-9-273–2021);
- полиуретановая эмаль ВЭ-69 (ТУ 1-595-15-1057–2008).

Свойства лакокрасочных систем, содержащих универсальную шпатлевку холодного отверждения ВШ-25, определялись в сравнении с аналогичными системами в исходном состоянии, а также с системами без использования шпатлевки.

Выбраны следующие подложки – алюминиевый сплав Д16 с нанесенным покрытием Ан.Окс.нхр, углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200, стеклопластики ВПС-48/7781 и КМКС. Шпатлевку на подложки наносили с помощью пластикового шпателя. Остальные лакокрасочные материалы, такие как грунтовки и эмали, наносили методом пневматического распыления в соответствии с требованиями нормативной документации. Образцы с нанесенными покрытиями выдерживали в камере с постоянными значениями температуры и влажности. Для оценки прочности при ударе и адгезии покрытия образцы выдерживали в течение 5 сут при температуре  $20 \pm 2$  °С.

Системы покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 испытаны на стойкость к воздействию следующих эксплуатационных факторов:

- термостарение при температурах 100 °С в течение 1000 ч и 80 °С в течение 2000 ч;
- ускоренные испытания на стойкость к ультрафиолетовому излучению;
- статическое воздействие воды в течение 7 сут;
- статическое воздействие рабочих жидкостей в течение 14 сут;
- грибостойкость;
- испытания в тропической камере;
- экспозиция на открытых площадках в г. Москве (12 мес.) и г. Геленджике (12 мес.).

Ускоренные испытания на стойкость к ультрафиолетовому излучению проводили в течение 1000 ч (1 цикл: 4 ч – облучение лампой UVB-340, температура 60 °С; 4 ч – конденсация влаги, температура 50 °С).

Грибостойкость систем покрытий определяли по ГОСТ 9.049–91 (метод 2, по шестибалльной шкале) при сроке испытания 28 и 84 сут.

Испытания в камере тропического климата проводили в течение 30 и 90 сут с влажностью 98 % при температурах 50 °С (в течение 8 ч) и 20 °С (в течение 12 ч), проветривание при комнатной температуре в течение 4 ч.

В качестве основных критериев оценки свойств систем ЛКП с применением шпатлевки ВШ-25 выбраны: внешний вид, адгезия покрытий по ГОСТ 31149–2014; прочность покрытия при ударе по ГОСТ 4765–2024. Толщину покрытий определяли с помощью прибора «Константа К6Ц» и микрометра МК-25 в соответствии с ГОСТ 31993–2024.

**Результаты и обсуждение**

Для проведения исследований на лабораторном оборудовании изготовлена шпатлевка ВШ-25 и определены ее технологические свойства. Время высыхания до степени 3 при температуре  $20 \pm 2$  °С составляет 4 ч; жизнеспособность шпатлевки после смешения с отвердителем 2 ч. Преимуществом шпатлевки является увеличенная жизнеспособность, что удобно для работы на сложных объектах.

Проведены исследования покрытия на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25. Установлено, что шпатлевка обладает следующим уровнем свойств: адгезия к подложкам (алюминиевый сплав, углепластик, стеклопластики) составляет 1 балл; прочность при ударе 4,0 Дж, что является несомненным преимуществом перед аналогами, в большинстве случаев имеющими прочность при ударе от 1,0 до 2,0 Дж (например, у шпатлевок ЭП-0061: 1,5 Дж или ВШ-17М: 2,0 Дж).

Изготовлены контрольные образцы и образцы систем покрытий на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25 с фторопластовой, фторкаучуковой и полиуретановой эмалями на подложках из алюминиевого сплава Д16-АТ, углеродных и стеклопластиков. Для сравнения прочности при ударе и адгезии систем покрытий, включающих шпатлевку ВШ-25 и исключаящих ее, изготовлены контрольные образцы. Системы покрытий подобраны исходя из химической природы каждого отдельного покрытия и взаимодействия их в системе. В табл. 1–3 приведены свойства образцов на основе шпатлевки ВШ-25 в системах с различными эмалями.

Таблица 1

**Свойства образцов на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25 и фторопластовой эмали ВЭ-46 в исходном состоянии**

Система покрытий	Подложка	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Грунтовка ЭП-0215 + эмаль ВЭ-46	Алюминиевый сплав Д16-АТ	5,0	0
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-46	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	3,0	0
	Углепластик	–	0
	ВКУ-39/ВтКУ-2.200	–	1
	Стеклопластик ВПС-48/7781	–	1
	Стеклопластик КМКС	–	1

Таблица 2

**Свойства образцов на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25 и фторкаучуковой эмали КЧ-5230 в исходном состоянии**

Система покрытий	Подложка	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Грунтовка ЭП-0104 + эмаль КЧ-5230	Алюминиевый сплав Д16-АТ	4,0	0
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль КЧ-5230	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	3,0	1
	Углепластик	–	1
	ВКУ-39/ВтКУ-2.200	–	0
	Стеклопластик ВПС-48/7781	–	0
	Стеклопластик КМКС	–	0

Таблица 3

Свойства образцов на основе универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25 и полиуретановой эмали ВЭ-69 в исходном состоянии

Система покрытий	Подложка	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Грунтовка ЭП-0215 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ	5,0	1
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	3,0	0
	Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200	–	0
	Стеклопластик ВПС-48/7781	–	0
	Стеклопластик КМКС	–	1
Шпатлевка ВШ-25 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	3,0	0
	Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200	–	1
	Стеклопластик ВПС-48/7781	–	1
	Стеклопластик КМКС	–	1

Установлено, что покрытия, содержащие универсальную шпатлевку холодного отверждения ВШ-25 в сочетании с фторопластовой, фторкаучуковой и полиуретановой эмалями, в исходном состоянии характеризуются следующими свойствами: адгезия к подложкам составляет 0–1 балл, прочность при ударе 3,0 Дж. Показано, что адгезия многослойных систем, включающих шпатлевку ВШ-25, сопоставима с контрольными образцами (0–1 балл). Однако показатели ударной прочности несколько меньше – около 3,0 Дж (при толщине покрытия от 150 до 190 мкм), в то время как у покрытий без шпатлевки ВШ-25 они достигают 4,0–5,0 Дж. Различие в прочности при ударе объясняется, прежде всего, большей общей толщиной систем покрытий, включающих шпатлевку ВШ-25, – в среднем на 100–150 мкм больше по сравнению с контрольными образцами. По результатам испытаний увеличение толщины системы ЛКП значительно влияет на снижение показателей прочности при ударе.

Для устранения влияния толщины покрытия на интерпретацию результатов испытаний прочности при ударе, а также с учетом сложности обеспечения равномерного слоя шпатлевки при нанесении шпателем, проведены испытания систем покрытий в исходном состоянии. На основе полученных данных построены зависимости прочности при ударе от толщины покрытия (рис. 1). Это позволило более объективно оценить влияние универсальной шпатлевки холодного отверждения ВШ-25 на прочностные характеристики систем ЛКП.

Наблюдается обратная зависимость прочности при ударе от толщины покрытия. Это может быть связано с внутренними напряжениями, хрупкостью толстого слоя или его меньшей эластичностью. Более высокие значения прочности при ударе в системах с эмалью КЧ-5230 связаны с химической природой пленкообразующего эмали.

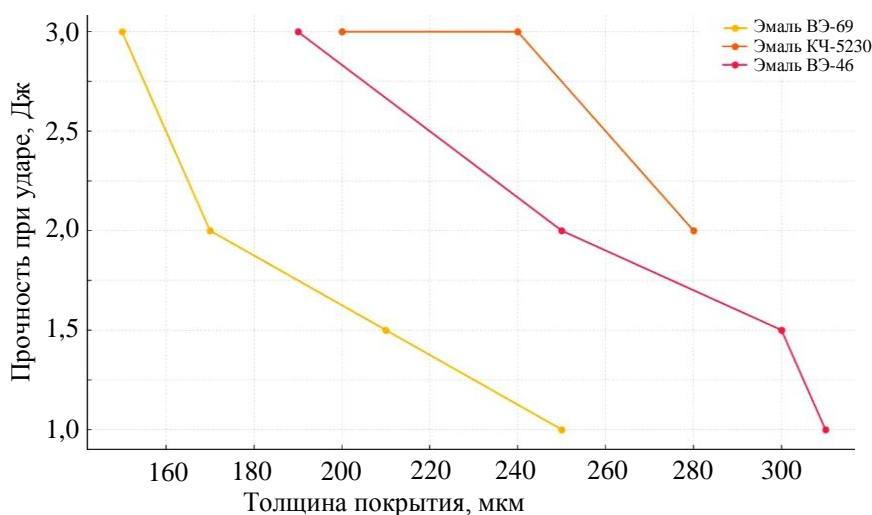


Рис. 1. Зависимость прочности при ударе от толщины покрытий

В табл. 4–6 приведены результаты исследований универсальной шпатлевки холодного отверждения в системах ЛКП после статического воздействия воды и рабочих жидкостей (масел АМГ-10 и Б-3В, топлива ТС-1). На рис. 2 показан результат исследования адгезии покрытия на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-46 после испытаний в масле АМГ-10.

Таблица 4

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-46 после статического воздействия воды и рабочих жидкостей**

Система покрытий	Подложка	Воздействующая среда	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)	
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-46	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	Вода в течение, сут:			
		1	3,0	0	
		3	2,0	0	
		7	3,0	0	
		Рабочие жидкости в течение 14 сут:			
		АМГ-10	2,0	0	
	Б-3В	3,0	0		
	ТС-1	2,5	0		
	Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200	Вода в течение, сут:	1	–	0
			3	–	0
7			–	0	
Рабочие жидкости в течение 14 сут:					
АМГ-10	–	0			
Б-3В	–	1			
ТС-1	–	0			

*Таблица 5*

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-69 после статического воздействия воды и рабочих жидкостей**

Система покрытий	Подложка	Воздействующая среда	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)	
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	Вода в течение, сут:			
		1	3,0	1	
		3	2,0	1	
		7	2,0	1	
		Рабочие жидкости в течение 14 сут:			
		АМГ-10	2,0	0	
	Б-3В	2,0	1		
	ТС-1	2,0	1		
	Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200	Вода в течение, сут:	1	–	0
			3	–	1
7			–	1	
Рабочие жидкости в течение 14 сут:					
АМГ-10	–	1			
Б-3В	–	0			
ТС-1	–	0			

*Таблица 6*

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали КЧ-5230 после статического воздействия воды**

Система покрытий	Подложка	Воздействующая среда	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)		
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль КЧ-5230	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	Вода в течение, сут:				
		1	2,0	1		
		3	3,0	1		
		7	2,0	1		
		Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200	Вода в течение, сут:	1	–	1
				3	–	1
	7			–	1	

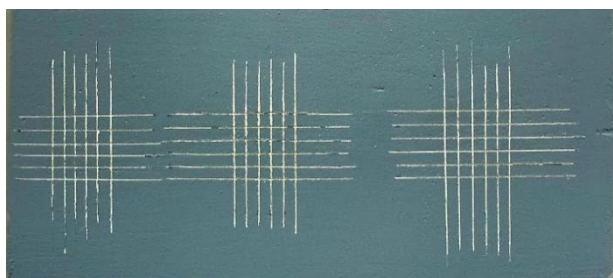


Рис. 2. Адгезия покрытия на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-46 после испытаний в масле АМГ-10

Покрытия показали высокую стойкость к воздействию всех исследуемых жидкостей. Адгезия к подложкам остается на исходном уровне. Прочность пленки при ударе системы с эмалью ВЭ-46 при толщине покрытия от 160 до 280 мкм – от 2,0 до 3,0 Дж. При увеличении толщины покрытия до ~(230–280) мкм наблюдается снижение прочности при ударе до 2,0 Дж. Прочность пленки при ударе системы с эмалью ВЭ-69 при толщине покрытия от 150 до 190 мкм – от 2,0 до 3,0 Дж. Прочность пленки при ударе системы с эмалью КЧ-5230 при толщине покрытия от 200 до 280 мкм – от 2,0 до 3,0 Дж.

Проведены исследования универсальной шпатлевки холодного отверждения в системах ЛКП после ускоренных климатических испытаний в камере тропического климата. По результатам климатических испытаний системы покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмалей ВЭ-46, ВЭ-69 и КЧ-5230 продемонстрировали сохранение высоких адгезионных характеристик и внешнего вида с оценкой адгезии в диапазоне от 0 до 1 балла (рис. 3). Для покрытия на основе эмали КЧ-5230 наблюдалось равномерное пожелтение, в том числе на контрольных образцах, что свидетельствует о том, что наличие в системе покрытия шпатлевки ВШ-25 не оказывает влияния на изменение цвета эмали.

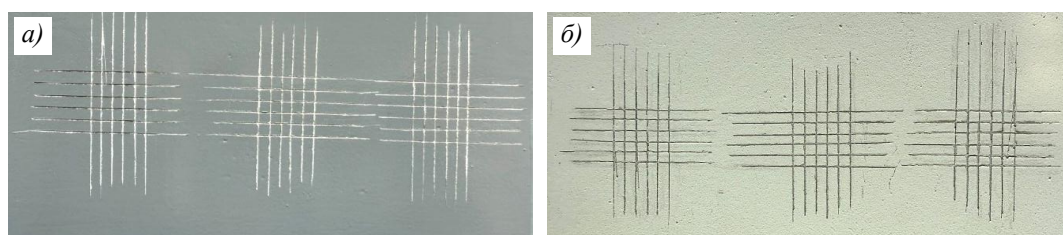


Рис. 3. Адгезия покрытия на основе шпатлевки ВШ-25, эмалей ВЭ-69 (а) и КЧ-5230 (б) после испытаний в камере тропического климата в течение 90 сут

Результаты исследований универсальной шпатлевки холодного отверждения в системах ЛКП после термического старения при температуре 100 °С в течение 1000 ч и при температуре 80 °С в течение 2000 ч приведены в табл. 7–9.

Проведенное исследование показало, что все исследуемые ЛКП на основе шпатлевки ВШ-25 после длительного воздействия повышенных температур (100 °С в течение 1000 ч и 80 °С в течение 2000 ч) сохраняют адгезию от 0 до 1 балла. Прочность пленки при ударе системы с эмалью ВЭ-46 при толщине покрытия от 230 до 250 мкм: 2,0 Дж; с эмалью ВЭ-69 при толщине покрытия от 160 до 180 мкм: 2,0 Дж; с эмалью КЧ-5230 при толщине покрытия от 200 до 270 мкм – от 2,0 до 3,0 Дж (рис. 4).

Таблица 7

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-46 после длительного воздействия повышенных температур**

Система покрытий	Подложка	Условия термического старения (температура/продолжительность)	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-46	Алюминиевый сплав	100 °С/1000 ч	2,0	1
	Д16-АТ + ВГ-28	80 °С/2000 ч	2,0	1
	Углепластик	100 °С/1000 ч	–	1
	ВКУ-39/ВтКУ-2.200	80 °С/2000 ч	–	1
	Стеклопластик	100 °С/1000 ч	–	0
	ВПС-48/7781	80 °С/2000 ч	–	1
	Стеклопластик	100 °С/1000 ч	–	1
	КМКС	80 °С/2000 ч	–	1

Таблица 8

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-69 после длительного воздействия повышенных температур**

Система покрытий	Подложка	Условия термического старения (температура/продолжительность)	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28 Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200 Стеклопластик ВПС-48/7781 Стеклопластик КМКС	100 °С/1000 ч	2,0	1
		80 °С/2000 ч	2,0	1
		100 °С/1000 ч	–	1
		80 °С/2000 ч	–	0
		100 °С/1000 ч	–	1
		80 °С/2000 ч	–	1
		100 °С/1000 ч	–	0
80 °С/2000 ч	–	0		
Шпатлевка ВШ-25 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28 Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200 Стеклопластик ВПС-48/7781 Стеклопластик КМКС	100 °С/1000 ч	2,0	1
		80 °С/2000 ч	2,0	1
		100 °С/1000 ч	–	1
		80 °С/2000 ч	–	1
		100 °С/1000 ч	–	1
		80 °С/2000 ч	–	1
		100 °С/1000 ч	–	1
80 °С/2000 ч	–	1		

Таблица 9

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали КЧ-5230 после длительного воздействия повышенных температур**

Система покрытий	Подложка	Условия термического старения (температура/продолжительность)	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль КЧ-5230	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28 Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200 Стеклопластик ВПС-48/7781 Стеклопластик КМКС	100 °С/1000 ч	3,0	0
		80 °С/2000 ч	2,0	1
		100 °С/1000 ч	–	1
		80 °С/2000 ч	–	1
		100 °С/1000 ч	–	1
		80 °С/2000 ч	–	0
		100 °С/1000 ч	–	1
80 °С/2000 ч	–	1		

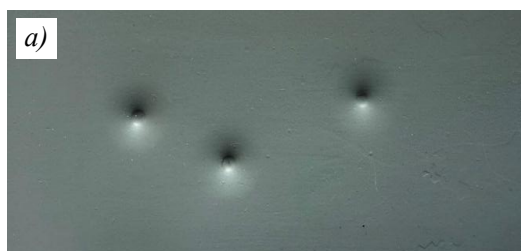


Рис. 4. Прочность при ударе покрытия на основе шпатлевки ВШ-25, эмалей ВЭ-69 (а) и КЧ-5230 (б) после длительного воздействия повышенных температур (100 °С в течение 1000 ч)

Проведенные исследования после воздействия ультрафиолетового излучения (атмосферостойкость) в аппарате искусственной погоды в течение 1000 ч показали, что все исследуемые системы покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмалей ВЭ-46, ВЭ-69 и КЧ-5230 сохраняют адгезию от 0 до 1 балла (рис. 5). Прочность пленки при ударе системы с эмалью ВЭ-46 при толщине покрытия от 160 до 200 мкм: 3,0 Дж; с эмалью ВЭ-69 при толщине покрытия от 160 до 180 мкм: 2,0 Дж; с эмалью КЧ-5230 при толщине покрытия от 200 до 270 мкм – от 2,0 до 3,0 Дж.

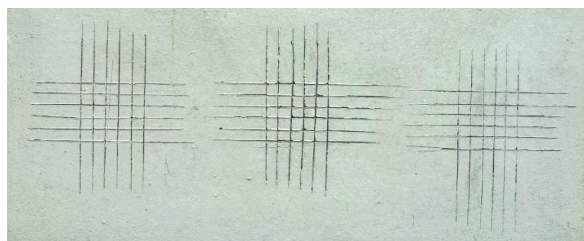


Рис. 5. Адгезия покрытия на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали КЧ-5230 после испытаний в аппарате искусственной погоды в течение 1000 ч

В результате проведенных исследований шпатлевки в системах ЛКП после испытаний на грибостойкость во влажной среде в соответствии с ГОСТ 9.049–91 (метод 2) в течение 28 и 84 сут установлено, что покрытия обладают следующим уровнем свойств: адгезия к подложкам составляет 0–1 балл, степень развития грибов 2 балла. У образцов систем покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 с фторопластовой и полиуретановой эмалью после испытаний не наблюдалось изменения внешнего вида. У образцов систем покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и фторкаучуковой эмали наблюдалось пожелтение и образование желтых капель на поверхности покрытия после испытаний, в которых образцы подвергали одновременному воздействию повышенной температуры и высокой влажности. Данный эффект также наблюдался при испытаниях контрольных образцов эмали КЧ-5230 без шпатлевки ВШ-25. Таким образом, изменение внешнего вида обусловлено свойствами фторкаучуковой эмали и не зависит от шпатлевки ВШ-25.

Результаты проведенных испытаний образцов на основе шпатлевки ВШ-25 в системах с эмалью после натурной экспозиции на открытых площадках г. Москвы и г. Геленджика приведены в табл. 10–12.

Таблица 10

**Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-46 после натурной экспозиции в г. Москве и г. Геленджике в течение 12 мес.**

Система покрытий	Подложка	Место экспозиции (город)	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-46	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28	Москва	1,5	1
		Геленджик	1,0	0
	Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200	Москва	–	1
		Геленджик	–	0
	Стеклопластик ВПС-48/7781	Москва	–	0
		Геленджик	–	1
	Стеклопластик КМКС	Москва	–	0
		Геленджик	–	0

Таблица 11

Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-69 после натурной экспозиции в г. Москве и г. Геленджике в течение 12 мес.

Система покрытий	Подложка	Место экспозиции (город)	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28 Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200 Стеклопластик ВПС-48/7781 Стеклопластик КМКС	Москва	1,5	0
		Геленджик	1,0	0
		Москва	–	1
		Геленджик	–	1
		Москва	–	1
		Геленджик	–	1
		Москва	–	1
		Геленджик	–	0
Шпатлевка ВШ-25 + эмаль ВЭ-69	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28 Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200 Стеклопластик ВПС-48/7781 Стеклопластик КМКС	Москва	1,0	1
		Геленджик	1,0	1
		Москва	–	1
		Геленджик	–	0
		Москва	–	1
		Геленджик	–	1
		Москва	–	1
		Геленджик	–	1

Таблица 12

Свойства систем лакокрасочных покрытий на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали КЧ-5230 после натурной экспозиции в г. Москве и г. Геленджике в течение 12 мес.

Система покрытий	Подложка	Место экспозиции (город)	Прочность пленки при ударе по прибору типа У-1А, Дж (ГОСТ 4765)	Адгезия, балл (ГОСТ 31149)
Шпатлевка ВШ-25 + грунтовка ЭП-0104 + эмаль КЧ-5230	Алюминиевый сплав Д16-АТ + ВГ-28 Углепластик ВКУ-39/ВтКУ-2.200 Стеклопластик ВПС-48/7781 Стеклопластик КМКС	Москва	2,0	0
		Геленджик	2,0	0
		Москва	–	1
		Геленджик	–	1
		Москва	–	0
		Геленджик	–	0
		Москва	–	0
		Геленджик	–	0

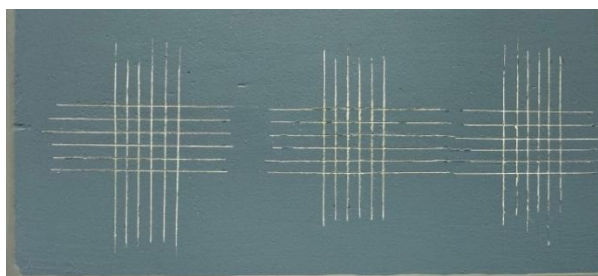


Рис. 6. Адгезия покрытия на основе шпатлевки ВШ-25 и эмали ВЭ-46 после натурной экспозиции на открытой площадке г. Москвы

Установлено, что покрытия на основе шпатлевки ВШ-25 в системах с фторопластовой, фторкаучуковой и полиуретановой эмалями после натурной экспозиции на открытых площадках г. Москвы и г. Геленджика обладают следующим уровнем свойств: адгезия к подложкам составляет 0–1 балл (рис. 6), прочность при ударе от 1,0 до 2,0 Дж. Прочность пленки при ударе систем покрытий после натурной экспозиции

на открытой площадке г. Москвы: с эмалью ВЭ-46 составляет 1,5 Дж при толщине покрытия от 290 до 305 мкм; с эмалью ВЭ-69 – от 1,0 до 1,5 Дж при толщине покрытия от 220 до 260 мкм; с эмалью КЧ-5230: 2,0 Дж при толщине покрытия от 250 до 280 мкм. Прочность пленки при ударе систем покрытий после натурной экспозиции на открытой площадке г. Геленджика: с эмалью ВЭ-46 составляет 1,0 Дж при толщине покрытия от 310 до 320 мкм; с эмалью ВЭ-69: 1,0 Дж при толщине покрытия от 240 до 270 мкм; с эмалью КЧ-5230: 2,0 Дж при толщине покрытия от 250 до 300 мкм.

### Заключения

В работе исследованы показатели адгезии и прочности при ударе систем ЛКП, в состав которых входит универсальная шпатлевка холодного отверждения ВШ-25 в комбинации с эмалями ВЭ-69, ВЭ-46 и КЧ-5230. Для сравнения свойств использованы аналогичные системы без применения шпатлевки. Установлено, что применение шпатлевки ВШ-25 в составе систем ЛКП не оказывает отрицательного влияния на адгезионные характеристики: все исследованные образцы демонстрируют адгезию к подложке на уровне 0–1 балла (аналогично контрольным системам без шпатлевки).

Однако прочность при ударе у систем, содержащих шпатлевку ВШ-25, в среднем меньше по сравнению с контрольными образцами. Это снижение обусловлено увеличением общей толщины покрытия при применении шпатлевки – в среднем на 100–150 мкм.

Комплексные испытания ЛКП с подслоем шпатлевки ВШ-25 включали воздействие эксплуатационных факторов: статическое воздействие воды и рабочих жидкостей, терmostойкость, климатические испытания в камерах тропической и искусственной погоды, оценку грибостойкости, а также натурные экспозиции в условиях городской и морской атмосферы (г. Москва и г. Геленджик). После всех видов испытаний не наблюдалось ухудшения адгезии или внешнего вида покрытий. Степень поражения грибами составила 2 балла.

Следует отметить, что значения прочности при ударе после испытаний остались на уровне, сопоставимом с исходным состоянием систем со шпатлевкой ВШ-25. Таким образом, снижение прочности при ударе не является следствием эксплуатационных воздействий, а связано преимущественно с большей толщиной покрытия. С целью исключения влияния толщины на интерпретацию результатов, дополнительно проведены испытания систем ЛКП в исходном состоянии с построением зависимости «прочность при ударе–толщина покрытия». Полученная обратная зависимость подтвердила, что основным фактором отклонения результатов в диапазоне значений 1,0–4,0 Дж является неконтролируемая толщина при ручном нанесении шпатлевочного слоя.

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

### Список источников

1. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
2. Каблов Е.Н. Конструкционные и функциональные материалы – основа экономического и научно-технического развития России // Вопросы материаловедения. 2006. № 1. С. 64–67.
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. Баранников А.А., Вешкин Е.А., Судьин Ю.И., Мишунин Н.Н. Материалы, технологии и оборудование разработки НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ для проведения ремонта изделий из полимерных композиционных материалов различного назначения // Аэрокосмическая техника и технологии. 2025. Т. 3. № 1. С. 82–96.
5. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
6. Пегов И.Л. Сравнительный анализ современных лакокрасочных материалов // Вестник НГИЭИ. 2014. № 10. С. 98–103.
7. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 7–17.

8. Семенова Л.В., Каримова С.А., Полякова А.В. Современные комплексные системы защиты конструкций из металлических, полимерных композиционных материалов и их соединений // *Новости материаловедения. Наука и техника*. 2014. № 3. Ст. 02. URL: <http://materialsnews.ru> (дата обращения: 16.07.2025).
9. Андрюшкин А.Ю., Ведерников А.Ю., Хмелевской Н.Ю. Технологические особенности нанесения лакокрасочных покрытий на внешние поверхности самолетов и вертолетов // *Аэрокосмическая техника и технологии*. 2023. Т. 1. № 4. С. 103–115.
10. Кучеренко Е.В., Щербаков А.С., Арзамасцев С.В. Композиционные материалы на основе полиэфирной смолы // *Современные инновации*. 2016. № 3 (5). С. 5–7.
11. Шмойлов Е.Е., Федотов М.Ю., Шарутин И.А. и др. Полимерные композиты для внешнего армирования строительных конструкций // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024. Vol. 20 (1). P. 21–34.
12. Брок Т. Ненасыщенные полиэфирные смолы // *Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям*. М.: Пэйнт-Медиа, 2007. С. 73–78.
13. Марченко С.А., Скивко П.В. Влияние температуры на время высыхания и жизнеспособность шпатлевки на основе эпоксивинилэфирной смолы // *Труды ВИАМ*. 2024. № 10 (140). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-10-84-93.
14. 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.
15. Железняк В.Г., Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Скивко 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: 16.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
16. Зубарев П.А., Лахно А.В. Износостойкие полиуретановые покрытия // *Молодой ученый*. 2014. № 20. С. 143–146.
17. 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.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
18. Кузнецова В.А., Емельянов В.В., Марченко С.А., Коврижкина Н.А. Влияние искусственного старения на свойства систем покрытий на основе бесхроматной грунтовки ВГ-44 с применением эпоксидных, полиуретановых, акрилуретановых и фторполиуретановых эмалей // *Труды ВИАМ*. 2023. № 10 (128). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.07.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-119-131.
19. Кочеткова Г.В., Логинов Б.А. Новые марки отечественных фторкаучуков // *Российский химический журнал*. 2008. Т. LII. № 3. С. 23–25.
20. 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. Kablov E.N. Aviation Materials Science: Results and Prospects. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2002, vol. 72, no. 1, pp. 3–12.
2. Kablov E.N. Structural and Functional Materials – the Basis of Economic and Scientific-Technical Development of Russia. *Voprosy materialovedeniya*, 2006, no. 1, pp. 64–67.
3. Kablov E.N. Aviation Materials Science in the 21st Century. Prospects and Tasks. *Aviation Materials. Selected Works of VIAM 1932–2002*. Moscow: MISiS–VIAM, 2002, pp. 23–47.
4. Barannikov A.A., Veshkin E.A., Sudyin Yu.I., Mishunin N.N. Materials, technologies and equipment developed by the National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM for repairing products made of polymer composite materials for various purposes. *Aerokosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2025, vol. 3, no. 1, pp. 82–96.
5. Kablov E.N. New generation materials – the basis of innovations, technological leadership and national security of Russia. *Intellect i tekhnologii*, 2016, no. 2 (14), pp. 16–21.

6. Pegov I.L. Comparative analysis of modern paints and varnishes. *Vestnik NGIEI*, 2014, no. 10, pp. 98–103.
7. Kablov E.N. The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 7–17.
8. Semenova L.V., Karimova S.A., Polyakova A.V. Modern integrated protection systems for structures made of metal, polymer composite materials and their compounds. *Novosti materialovedeniya. Nauka i tekhnika*, 2014, no. 3, paper no. 02. Available at: <http://materialsnews.ru> (accessed: July 16, 2025).
9. Andryushkin A.Yu., Vedernikov A.Yu., Khmelevskoy N.Yu. Technological features of applying paint and varnish coatings to the external surfaces of aircraft and helicopters. *Aerokosmicheskaya tekhnika i tekhnologii*, 2023, vol. 1, no. 4, pp. 103–115.
10. Kucherenko E.V., Shcherbakov A.S., Arzamashev S.V. Composite materials based on polyester resin. *Sovremennye innovatsii*, 2016, no. 3 (5), pp. 5–7.
11. Shmoilov E.E., Fedotov M.Yu., Sharutin I.A. et al. Polymer composites for external reinforcement of building structures. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2024, vol. 20 (1), pp. 21–34.
12. Brock T. Unsaturated polyesters. *European Guide to Paints and Coatings*. Moscow: Paint-Media, 2007, pp. 73–78.
13. Marchenko S.A., Skivko P.V. Effect of temperature on drying time and viability of epoxyvinyl ether resin putty. *Trudy VIAM*, 2024, no. 10 (140), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 16, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-10-84-93.
14. 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.
15. 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 16, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
16. Zubarev P.A., Lakhno A.V. Wear-resistant polyurethane coatings. *Molodoy ucheny*, 2014, no. 20, pp. 143–146.
17. 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 16, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
18. Kuznetsova V.A., Yemelyanov V.V., Marchenko S.A., Kovrizhkina N.A. The influence of artificial aging on the properties of coating systems based on chromate-free primer VG-44 using epoxy, polyurethane, acrylic urethane and fluoropolyurethane enamels. *Trudy VIAM*, 2023, no. 10 (128), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: July 16, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-119-131.
19. Kochetkova G.V., Loginov B.A. New brands of domestic fluororubbers. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2008, vol. LII, no. 3, pp. 23–25.
20. 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**

**Марченко Сергей Андреевич**, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Скирко Полина Владимировна**, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Кузнецова Вера Аркадьевна**, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Information about the authors**

**Sergey A. Marchenko**, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

**Polina V. Skivko**, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, [admin@viam.ru](mailto:admin@viam.ru)

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