

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-9-141-148

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИЭФИРНОГО ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ДЕКОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ЛАКОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Е.А. Тимошина¹, В.А. Кузнецова¹, С.А. Марченко¹

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

Аннотация. Исследовано влияние химической природы и концентрации модификатора в полиэфирном пленкообразующем веществе на износостойкость, блеск и шероховатость лаковых покрытий. Изучены адгезия, физико-механические свойства (эластичность при изгибе и прочность при ударе), шероховатость и блеск покрытий (в исходном состоянии и после истирания в течение 7000 циклов). Определены оптимальные модификаторы и их соотношение с полиэфиром для получения покрытия с необходимым комплексом свойств.

Ключевые слова: полимерное пленкообразующее, модификатор, отвердитель, лаковые покрытия, износостойкость, адгезия, блеск покрытия, шероховатость

Для цитирования: Тимошина Е.А., Кузнецова В.А., Марченко С.А. Влияние модификации полиэфирного пленкообразующего вещества на износостойкость и декоративные свойства лаковых покрытий // Труды ВИАМ. 2026. № 9 (163). С. 141–148. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-9-141-148.

Scientific article

INFLUENCE OF MODIFICATION OF POLYESTER FILM-FORMING SUBSTANCE ON WEAR RESISTANCE AND DECORATIVE PROPERTIES OF LACQUER COATINGS

E.A. Timoshina¹, V.A. Kuznetsova¹, S.A. Marchenko¹

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 effect of the chemical nature of the modifier and its concentration in a polyester film-forming agent on the wear resistance, gloss, and roughness of varnish coatings was studied. The adhesion, physical and mechanical properties (flexural resilience, impact strength), roughness, and gloss of the coating (in the initial state and after abrasion for 7000 cycles) were examined. The optimal modifiers and their ratio with the polyester were determined to obtain a coating with the required combination of properties.

Keywords: polymer film-forming agent, modifier, hardener, lacquer coating, wear resistance, adhesion, coating gloss, roughness

For citation: Timoshina E.A., Kuznetsova V.A., Marchenko S.A. Influence of modification of polyester film-forming substance on wear resistance and decorative properties of lacquer coatings. *Trudy VIAM*, 2026, no. 9 (163), pp. 141–148. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-9-141-148.

Введение

В настоящее время большое количество исследований направлено на повышение декоративных характеристик и увеличение срока эксплуатации лакокрасочных покрытий. Одним из факторов, влияющих на долговечность покрытий, является способность противостоять износу при трении. Повышение износостойкости позволит увеличить срок службы лакокрасочных покрытий [1–3].

Одной из отраслей применения износостойких лакокрасочных покрытий является авиационная промышленность. Данные покрытия используются для окраски интерьеров авиационной техники, в частности для защитно-декоративной окраски элементов кабины пилота и панелей приборов. Помимо защитных свойств, они должны обладать низким уровнем блеска и определенными цветовыми характеристиками [4–6]. Совокупность перечисленных факторов делает актуальными исследования и разработку износостойких матовых лакокрасочных покрытий.

Износостойкость лакокрасочных покрытий обусловлена природой пленкообразующего вещества, а также химической природой и формой наполнителей [7]. Полимерное пленкообразующее вещество должно иметь прочную полимерную матрицу и характеризоваться высокой твердостью, эластичностью и способностью выдерживать абразивный износ.

В настоящее время для производства износостойких лакокрасочных покрытий используются модифицированные эпоксидные, алкидные и полиуретановые пленкообразователи [8–11]. Широкое распространение в качестве пленкообразующих веществ для создания износостойких покрытий получили сложные полиэфиры. Благодаря структуре и наличию сложноэфирных групп полиэфиры обладают высокой эластичностью и стойкостью к механическим повреждениям [12, 13].

Модификация пленкообразующих веществ способствует улучшению свойств лакокрасочных покрытий. При химической модификации полимеров происходит изменение молекулярной структуры, модификатор встраивается в полимерную цепь. При физико-химической модификации возможно образование двухфазной полимерной матрицы [14–17].

Создание несовместимой двухфазной полимерной матрицы способствует диффузному рассеиванию светового потока, что в свою очередь снижает блеск покрытия. Это свойство обеспечивает создание более ровных матовых покрытий [18–20].

Работа выполнена 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») [21].

Материалы и методы

С целью выбора оптимального состава полимерной матрицы для разработки износостойкого матового покрытия изготовлены лаковые композиции на основе сложного полиэфира, являющегося продуктом поликонденсации этиленгликоля и глицерина с себадиновой кислотой. Для его модификации использованы:

- фторполиуретановый олигомер;
- акрил-уретановый олигомер;
- тиолсодержащий уретан;
- полисульфидный каучук;
- эпоксидный олигомер.

Модифицирование проводили путем смешивания полиэфира с модификаторами в разных соотношениях (90/10, 70/30 и 50/50) при добавлении смеси органических растворителей. Для отверждения лаковых композиций использовали алифатический изоцианатный отвердитель.

Изготовленные лаковые композиции наносили на загрунтованные образцы алюминиевого сплава Д16-АТ, анодированные в серной кислоте с наполнением анодной пленки в растворе хромпика (Ан.Окс.нхр), методом пневматического распыления. Для обеспечения адгезии лаковых покрытий к поверхности образцов использована эпоксидная грунтовка.

После отверждения образцы с покрытиями выдерживали в течение 10 сут при температуре 20 ± 2 °С. Перед испытаниями определена толщина лаковых покрытий в соответствии с ГОСТ 31993–2024. Среднее значение толщины всех готовых лаковых покрытий составило 50–65 мкм.

Для определения износостойкости лаковых покрытий в соответствии с ИСО 7784-2:2016 образец закрепляли на вращающейся платформе и подвергали трению абразивными дисками. Износостойкость оценивали по потере массы после истирания в течение 1000, 3000, 5000 и 7000 циклов испытания. За цикл испытания принимали один оборот образца. Для испытания использовали два груза по 500 г и абразивные колеса марки CS-10. Данный метод имитирует реальный износ покрытия при эксплуатации.

Адгезию лаковых композиций определяли в соответствии с ГОСТ 31149–2014, прочность покрытия при ударе – ГОСТ 4765–2024, эластичность покрытия при изгибе – ГОСТ 6806–2024, блеск покрытия под углом 60 градусов – ГОСТ 31975–2017, шероховатость – ГОСТ 25142–82.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены зависимости потери массы покрытия от количества циклов истирания для композиций на основе немодифицированного полиэфира и полиэфира с различными модификаторами в соотношениях 90/10, 70/30 и 50/50.

Лаковые покрытия на основе сложного полиэфира, модифицированного фторполиуретановым олигомером (рис. 1, а), обладают более высокой износостойкостью, чем покрытие на основе немодифицированного полиэфира. Следует отметить, что с увеличением концентрации фторполиуретанового олигомера износостойкость покрытий монотонно снижается. Максимальную износостойкость лакового покрытия обеспечивает соотношение полиэфира и фторполиуретана 90/10. В этом случае потеря массы после 7000 циклов истирания составляет 0,006 г, что в 5 раз меньше, чем у исходного пленкообразующего вещества (сложного полиэфира) без модификатора.

Введение в качестве модификатора акрил-уретанового олигомера оказывает существенное влияние на износостойкость полиэфирных лаковых композиций (рис. 1, б). Увеличение содержания акрил-уретанового олигомера приводит к снижению потери массы лаковых покрытий при истирании. При соотношении полиэфира и акрил-уретанового олигомера 50/50 наблюдается максимальная износостойкость покрытий: после 7000 циклов испытаний потеря массы составляет 0,005 г, что в 5 раз меньше, чем у исходного пленкообразующего вещества без модификатора.

Модификация полиэфира полисульфидным каучуком снижает устойчивость покрытий (рис. 1, в). После 7000 циклов испытаний возрастает потеря массы покрытия после истирания, т. е. износостойкость снижается в зависимости от содержания полисульфидного каучука в 1,3–2 раза относительно полиэфира.

Износостойкость покрытий при модификации тиолсодержащим уретаном возрастает по сравнению с исходным полиэфиром (рис. 1, г). При концентрации тиолсодержащего уретана в полиэфире 30 % потеря массы составляет 0,009 г. При увеличении концентрации данного модификатора износостойкость лаковых покрытий снижается, потеря массы увеличивается до 0,013 г. Таким образом, для композиций, состоящих из полиэфира и тиолсодержащего олигомера, оптимальным является соотношение компонентов 70/30. В этом случае потеря массы при истирании в течение 7000 циклов снижается в 4 раза относительно немодифицированного полиэфира.

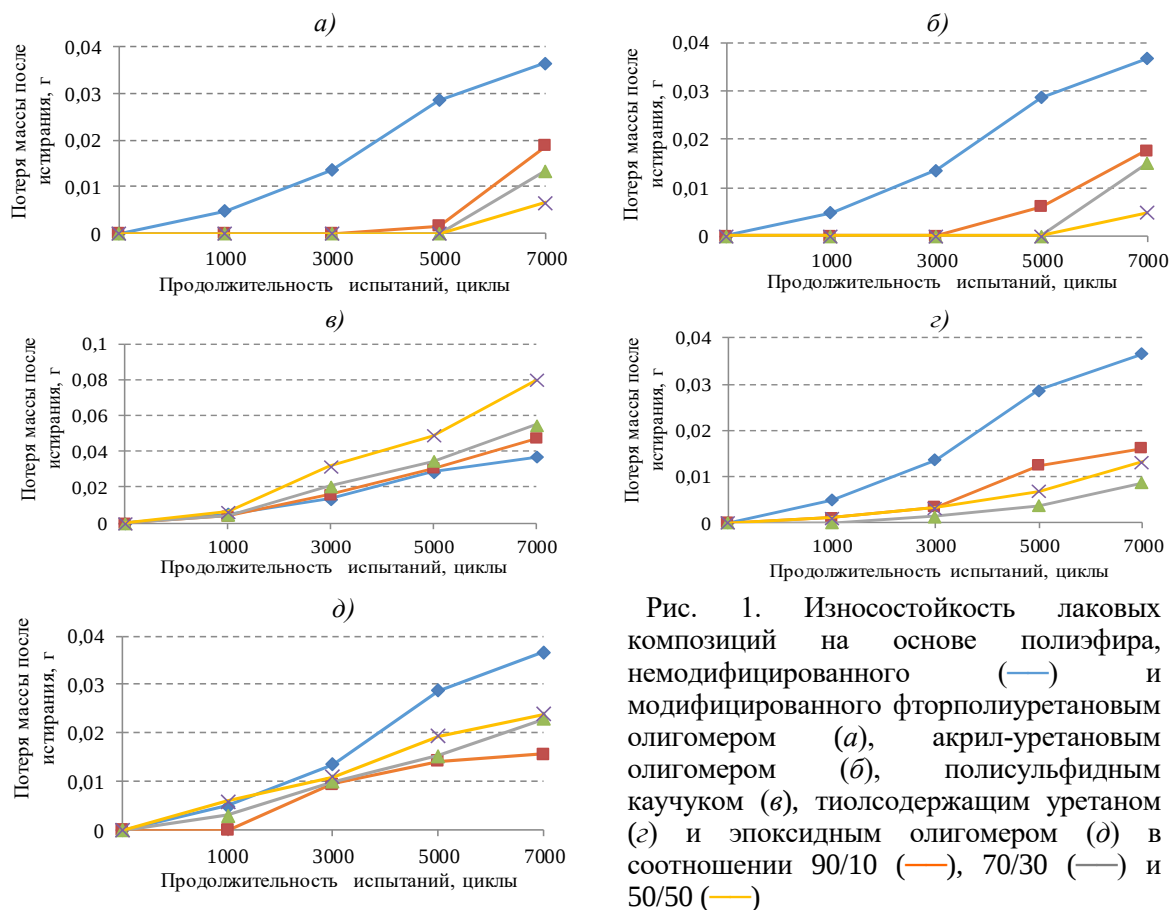


Рис. 1. Износостойкость лаковых композиций на основе полиэфира, немодифицированного (—) и модифицированного фторполиуретановым олигомером (а), акрил-уретановым олигомером (б), полисульфидным каучуком (в), тиолсодержащим уретаном (г) и эпоксидным олигомером (д) в соотношении 90/10 (—), 70/30 (—) и 50/50 (—)

Введение в полиэфир эпоксидного олигомера способствует увеличению износостойкости лаковых покрытий относительно немодифицированного варианта (рис. 1, д). Оптимальным является соотношение полиэфира и эпоксидного олигомера в лаковой композиции 90/10. В этом случае потеря массы при истирании в течение 7000 циклов снижается в 2 раза относительно полиэфира без модификатора. Увеличение содержания эпоксидного олигомера в полиэфирном пленкообразующем приводит к уменьшению износостойкости, что может быть связано со снижением подвижности сегментов макромолекул и повышением жесткости покрытия.

На рис. 2 и 3 представлены сравнительные диаграммы блеска лаковых покрытий (угол измерения 60 градусов) и шероховатости поверхности (R_a).

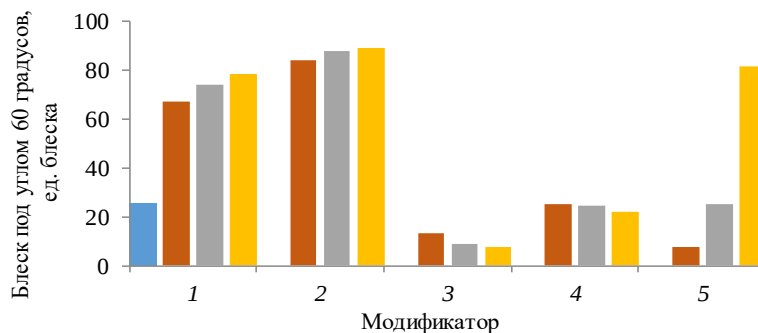


Рис. 2. Блеск под углом 60 градусов для лаковых покрытий на основе полиэфира, немодифицированного (■) и модифицированного фторполиуретаном (1), акрил-уретановым олигомером (2), полисульфидным каучуком (3), тиолсодержащим уретаном (4) и эпоксидным олигомером (5) в соотношении 90/10 (■), 70/30 (■) и 50/50 (■)

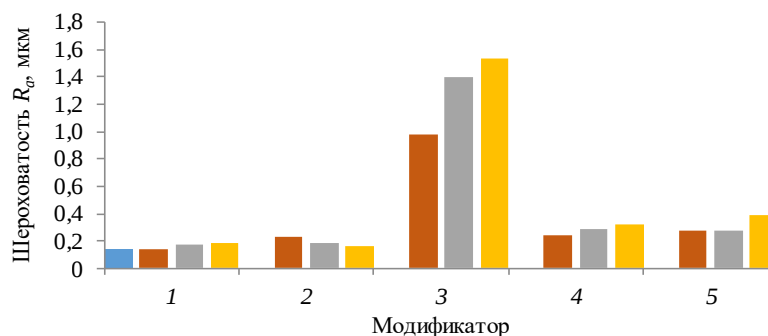


Рис. 3. Шероховатость лаковых покрытий на основе полиэфира, немодифицированного (■) и модифицированного фторполиуретаном (1), акрил-уретановым олигомером (2), полисульфидным каучуком (3), тиолсодержащим уретаном (4) и эпоксидным олигомером (5) в соотношении 90/10 (■), 70/30 (■) и 50/50 (■)

Наибольшим блеском обладают покрытия на основе полиэфира, модифицированного акрил-уретановым олигомером; наибольшей шероховатостью – модифицированного полисульфидным каучуком. Следует обратить внимание, что блеск покрытия существенно зависит от шероховатости и в значительной мере определяет износостойкость. Поэтому при разработке матовых износостойких покрытий следует соблюдать баланс между блеском и шероховатостью.

Адгезия к эпоксидной грунтовке лаковых покрытий на основе полиэфира с модификаторами равна 1 баллу, эластичность при изгибе составляет 1 мм. Прочность при ударе для лаковых покрытий, включающих полисульфидный каучук и тиолсодержащий уретан, составляет 10 см, в то время как для всех остальных лаковых покрытий значение данного показателя достигает 50 см.

В таблице представлены данные по изменению блеска после истирания.

Блеск под углом 60 градусов для лаковых покрытий с различными модификаторами в исходном состоянии и после истирания в течение 7000 циклов

Модификатор	Соотношение полиэфира и модификатора	Блеск под углом 60 градусов, ед. блеска, для покрытия		Изменение блеска, %
		в исходном состоянии	после 7000 циклов истирания	
Фторполиуретановый олигомер	90/10	67,1	31,8	–52,6
	70/30	74,4	25,8	–65,3
	50/50	78,6	21,3	–72,9
Акрил-уретановый олигомер	90/10	84,5	15,2	–82,0
	70/30	87,9	13,5	–84,6
	50/50	89,0	11,6	–87,0
Полисульфидный каучук	90/10	13,2	9,1	–31,1
	70/30	8,8	7,4	–15,9
	50/50	7,4	6,9	–6,8
Тиолсодержащий уретан	90/10	25,0	42,6	+70,4
	70/30	24,5	44,0	+79,6
	50/50	22,3	46,1	+106,7
Эпоксидный олигомер	90/10	8,0	2,9	–63,8
	70/30	25,1	6,3	–74,9
	50/50	81,6	10,8	–86,8

Блеск лаковых покрытий после истирания, как правило, снижается, за исключением композиций, включающих тиолсодержащий уретан. Следует также отметить, что, несмотря на увеличение блеска при повышении концентрации фторполиуретанового и акрил-уретанового олигомеров, после истирания лаковых покрытий этот показатель снижается.

Заключения

Показано влияние химической природы и концентрации модификатора в полиэфире на износостойкость, блеск и шероховатость лаковых покрытий.

Максимальные значения износостойкости достигнуты при использовании в лаковых композициях полиэфир-фторполиуретанового и акрил-уретанового олигомеров в соотношении 90/10 и 50/50 соответственно. Применение данных модификаторов в указанных соотношениях позволило увеличить износостойкость лаковых покрытий в 5 раз по сравнению с покрытиями на основе немодифицированного полиэфир-фторполиуретана.

Применение в лаковых композициях тиолсодержащего уретана и полисульфидного каучука приводит к снижению прочности покрытия при ударе.

Установлено, что истирание лаковых покрытий на основе полиэфир-фторполиуретана не увеличивает исходный блеск, за исключением покрытий на основе полиэфир-фторполиуретана, модифицированного тиолсодержащим уретаном.

Наиболее высокий уровень свойств лаковых покрытий достигнут при использовании в качестве модификатора фторполиуретанового олигомера в соотношении 90/10.

Список источников

1. 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.
2. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // Труды ВИАМ. 2019. № 5 (77). С. 62–67. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.04.2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
3. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4 (65). С. 70–80. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 16.04.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
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. 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). С. 132–144. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.04.2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144.
8. Романова А.В., Соколова Е.А., Разуваев А.В. Защитные износостойкие покрытия деталей машин // Сб. науч. тр. IX Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Современные инновации в науке и технике». Курск, 2019. С. 313–316.
9. Gohardani O. Impact of erosion testing aspects on current and future flight conditions // Progress in Aerospace Science. 2011. Vol. 47. P. 280–303.
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). С. 110–119. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 16.04.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
11. Сухарева Л.А. Полиэфирные покрытия: структура и свойства. М.: Химия, 1987. 192 с.
12. Козлова А.А., Кондрашов Э.К. Влияние молекулярной массы и элементного состава изоцианатов на свойства фторполиуретановых эмалей // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 4 (73). С. 92–100. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 16.04.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.

13. 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). С. 90–101. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 16.04.2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-90-101.
14. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Козомазов Р.В. и др. Прочность и долговечность полимерных композитных материалов / под ред. В.И. Соломатова. Липецк: Ориус, 1994. 153 с.
15. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Бабин Л.О., Соломатов В.И. Синергетика композитных материалов. Липецк: Юлис, 2006. 170 с.
16. Бобрышев А.Н., Гумеров А.Ф., Жарин Д.Е. и др. Физико-механика долговечности и прочности композитных материалов. М.: Academia, 2007. 226 с.
17. Гуляев И.Н., Клименко О.Н., Лонский С.Л., Славин А.В., Черфас Л.В. Определение состава и структуры полимерных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2025. № 4 (81). С. 32–47. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.04.2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-4-32-47.
18. Верхованцев В.В., Бабянец В.Д., Мулин Ю.А. Износостойкие покрытия из двухфазных полимер-олигомерных композиций // Лакокрасочные материалы и их применение. 1981. № 2. С. 26–27.
19. Стрекачинская Е.С., Верхованцев В.В., Грозинская З.П. Закономерности расслаивания растворов смесей олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1980. № 4. С. 13–15.
20. Мюллер Б., Пот У. Лакокрасочные материалы и покрытия. Принципы составления рецептур. М.: Пейнт-Медиа, 2007. 237 с.
21. 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 in the 21st Century. Prospects and Tasks. *Aviation Materials. Selected Works of VIAM 1932–2002*. Moscow: MISiS–VIAM, 2002, pp. 23–47.
2. Zheleznyak V.G. Modern paint and varnish materials for use in aviation equipment products. *Trudy VIAM*, 2019, no. 5 (77), pp. 62–67. Available at: <http://www.viam-works.ru>. (accessed: April 16, 2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
3. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), pp. 70–80. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 16, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
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 for the Development of Materials for Advanced Aviation Technology. *75th Anniversary. Aviation Materials*. Moscow: VIAM, 2007, pp. 20–26.
7. 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), pp. 132–144. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 16, 2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144.
8. Romanova A.V., Sokolova E.A., Razuvaev A.V. Protective wear-resistant coatings of machine parts. *Coll. sci. t. IX All-Rus. sc. and tech. conf. with int. participation «Modern innovations in science and technology»*. Kursk, 2019, pp. 313–316.
9. Gohardani O. Impact of erosion testing aspects on current and future flight conditions. *Progress in Aerospace Science*, 2011, vol. 47, pp. 280–303.

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), pp. 110–119. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 16, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
11. Sukhareva L.A. *Polyester coverings: structure and properties*. Moscow: Khimia, 1987, 192 p.
12. 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), pp. 92–100. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 16, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
13. Kuznetsova V.A., Timoshina E.A., Shapovalov G.G., Kurshev E.V. Influence of amodified 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), pp. 90–101. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 16, 2026). DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-9-90-101.
14. Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Kozomazov R.V. et al. *Strength and Durability of Polymer Composite Materials*. Ed. V.I. Solomatov. Lipetsk: Orius, 1994, 153 p.
15. Bobryshev A.N., Kozomazov V.N., Babin L.O., Solomatov V.I. *Synergetics of Composite Materials*. Lipetsk: Yulis, 2006, 170 p.
16. Bobryshev A.N., Gumerov A.F., Zharin D.E. et al. *Physicomechanics of Durability and Strength of Composite Materials*. Moscow: Academia, 2007, 226 p.
17. Gulyaev I.N., Klimenko O.N., Lonskii S.L., Slavin A.V., Cherfas L.V. Determination of the composition and structure of polymer composite materials. *Aviation materials and technologies*, 2025, no. 4 (81), pp. 32–47. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 24, 2026). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-4-32-47.
18. Verkholtantsev V.V., Babyants V.D., Mulin Yu.A. Wear-resistant coatings from two-phase polymer-oligomer composites. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1981, no. 2, pp. 26–27.
19. Strekachinskaya E.S., Verkholtantsev V.V., Grozinskaya Z.P. Patterns of stratification of oligomer mixture solutions. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1980, no. 4, pp. 13–15.
20. Müller B., Pot U. *Paints and varnishes and coatings. Formulation principles*. Moscow: Paint-Media, 2007, 237 p.
21. 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

Тимошина Екатерина Александровна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Кузнецова Вера Аркадьевна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Марченко Сергей Андреевич, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Ekaterina A. Timoshina, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Vera A. Kuznetsova, Head of Sector, Candidate of Science (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Sergey A. Marchenko, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 18.06.2026; получена после доработки 10.07.2026;
 одобрена и принята к публикации после рецензирования 14.07.2026.
 The article was submitted 18.06.2026; received in revised form 10.07.2026;
 approved and accepted for publication after reviewing 14.07.2026