

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-6-61-68

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МОДИФИКАТОРОВ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МОДЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНОГО ОЛИГОМЕРА

Ю.К. Зверевич¹, Д.Д. Кречетов¹, В.Г. Железняк¹

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

Аннотация. Изучено влияние различных комбинаций электропроводящих модификаторов на электропроводность модельных композиций на основе эпоксидного олигомера, отверждаемого отвердителем аминного типа. Для исследования влияния наполнителей на электропроводность модельных композиций определяли удельное объемное электрическое сопротивление при постоянном напряжении. Анализ полученных результатов позволил установить зависимость электропроводности от состава модельных композиций.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, эпоксидные олигомеры, наполнители, электропроводность, электрическое сопротивление, сажа, графит, металлы

Для цитирования: Зверевич Ю.К., Кречетов Д.Д., Железняк В.Г. Исследование влияния модификаторов на электропроводность модельной композиции на основе эпоксидного олигомера // Труды ВИАМ. 2024. № 6 (136). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-6-61-68.

Scientific article

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MODIFIERS ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE MODEL COMPOSITION BASED ON AN EPOXY OLIGOMER

Yu.K. Zverevich¹, D.D. Krechetov¹, V.G. Zheleznyak¹

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 paper presents the results of the influence of various combinations of electrically conductive modifiers on the electrical conductivity of model compositions based on an epoxy oligomer cured with an amine type hardener. The effect of fillers on the electrical conductivity of model compositions is investigated by the method of determining the specific volumetric electrical resistance at constant voltage. The analysis of the obtained results was performed, which allowed us to establish the relationship between the composition of the model compositions and their electrical conductivity.

Keywords: coatings, epoxy oligomers, fillers, electrical conductivity, electrical resistance, soot, graphite, metals

For citation: Zverevich Yu.K., Krechetov D.D., Zheleznyak V.G. Investigation of the effect of modifiers on the electrical conductivity of the model composition based on an epoxy oligomer. *Trudy VIAM*, 2024, no. 6 (136), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-6-61-68.

Введение

Авиакосмическая промышленность является одним из ключевых драйверов разработок инновационных материалов [1–3]. Основная задача авиационной промышленности – повышение долговечности воздушного судна, что определяет в том числе экономическую целесообразность эксплуатации летательных аппаратов [4]. В то же время внедрение в конструкцию воздушного судна новых материалов требует обеспечения их надежной защиты от различных внешних воздействий [5].

В современной авиационной отрасли активно используются конструкции, изготовленные из полимерных композиционных материалов на основе различных связующих [6, 7]. Они обладают высокой прочностью, жесткостью или эластичностью, устойчивостью к химическим и температурным воздействиям. Использование неметаллических материалов также позволяет значительно уменьшить массу изделий без ущерба их характеристикам.

Неметаллические материалы – хорошие диэлектрики, что не всегда является преимуществом, так как на их поверхности могут накапливаться электростатические заряды. При полете происходит электризация воздушного судна вследствие трения о поверхность частиц атмосферной влаги и пыли. В результате поверхность воздушного судна приобретает отрицательный заряд, а частицы влаги – положительный. На возможность возникновения и величину зарядов статического электричества влияют многие факторы: природа и поверхность контакта трущихся материалов, давление при соприкосновении и др.

При повышении напряжения, подаваемого на диэлектрический материал, наступает момент, когда он перестает быть изолятором, его целостность полностью нарушается. Особенности пробоя являются локализованный характер, внезапность возникновения и катастрофический характер явления [8].

Основными параметрами, характеризующими электропроводящие свойства покрытий, являются удельное объемное (ρ_v) и удельное поверхностное (ρ_s) сопротивление. Сумма объемной и поверхностной проводимости представляет собой полную проводимость материала, которая зависит от таких факторов внешней среды, как температура и влажность, а также от содержания свободных носителей заряда [9, 10].

Выбирать системы лакокрасочных покрытий (ЛКП) для силовых конструкций, изготовленных из полимерных композиционных материалов, следует с учетом условий эксплуатации. Надежность, долговечность и декоративный вид ЛКП определяются рядом факторов: свойствами лакокрасочного материала, схемой построения системы, условиями и режимом формирования слоев защитного покрытия. Перечисленные факторы, каждый в отдельности и все вместе, имеют особое значение для получения качественного покрытия, обеспечивающего максимально высокий уровень защиты неметаллических конструкций от внешних воздействий [11].

Одной из важнейших задач при разработке систем ЛКП для изделий авиационной техники является защита от накопления статического заряда на поверхности деталей из полимерных композиционных материалов. Накапливаемые заряды вызывают термическое или ионное разрушение материала, при отсутствии должного внимания возникают искровые разряды, которые представляют большую пожаро- и взрывоопасность. Кроме того, могут нарушиться технологические процессы внутри летательного аппарата, в результате чего создаются помехи в работе электронных приборов, навигации и средств радиосвязи. Во избежание таких последствий применяют системы ЛКП с электропроводящими материалами, характеризующиеся величиной $\rho_v \leq 500 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

В качестве электропроводящих наполнителей используют серебро, никель, медь. Наиболее широкое применение получили высокодисперсные порошки карбонильного никеля со сферическими частицами, электролитического никеля с частицами осколочной формы, серебра с частицами сферической и чешуйчатой формы [10]. Оптимальная концентрация металла в покрытии составляет 35–40 % (объемн.).

Из углеродных наполнителей для увеличения электропроводности применяют сажу и графит. Данные материалы обладают высокой дисперсностью, химической стойкостью, термостабильностью. Рентгенографические исследования показали, что частицы сажи состоят из отдельных кристаллографических ячеек, построенных по типу графита, и способны выстраивать цепочки, сетчатые структуры [12].

Поскольку основной задачей авиационной отрасли в настоящее время является снижение массы конструкций без ущерба прочности и надежности, наиболее целесообразным представляется использование электропроводящих покрытий с неметаллическими наполнителями. Кроме того, необходимо отметить, что в текущей мировой политической ситуации особое значение приобретает расширение отечественной сырьевой базы для обеспечения конкурентоспособности российской авиационной техники [13, 14].

Данная работа направлена на изучение влияния модифицирующих добавок на электропроводность лакокрасочного материала, выбор наполнителей и определение их концентрации для обеспечения максимальной электропроводности.

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») [3].

Материалы и методы

По результатам анализа научно-технической литературы [8, 10, 12] для изготовления модельных композиций электропроводящего лакокрасочного материала выбраны следующие компоненты:

- пленкообразующее: эпоксидная смола Э-41 (ТУ 6-10-1316–84) с молекулярной массой $\sim(900\text{--}1100)$ а.е.м.;
- отвердитель: 50%-ный раствор смолы ПО-300 (ТУ 2224-092-05034239–96), который представляет собой продукт взаимодействия полимеризованных жирных кислот растительных масел и полиэтиленполиаминов;
- наполнители: медь ПМС-1 (ГОСТ 4960–2017), никель ПНК-УТЗ (ГОСТ 9722–23), сажа П-366-Э (ТУ 38 11518–85), графит С-1 (ОСТ 6-08-431–75).

С использованием металлических (никель и медь) и неметаллических (сажа и графит) наполнителей, а также комбинации металлов и неметаллов (никель/графит, никель/сажа, медь/графит, медь/сажа, графит/сажа, никель/медь) разработаны модельные композиции электропроводящего лакокрасочного материала.

Полуфабрикаты лакокрасочных материалов получали следующим образом. Сухую смолу Э-41 вручную измельчали и растворяли в смеси органических растворителей (смесь бутилацетата и ксилола) при постоянном перемешивании с помощью верхнеприводной мешалки до получения прозрачного однородного раствора. Затем раствор смолы и выбранные наполнители в заранее рассчитанных соотношениях загружали в бисерную мельницу, где каждую смесь диспергировали в течение 2 ч. Изготовленные образцы полуфабрикатов контролировали путем определения массовой доли нелетучих веществ.

Удельное объемное электрическое сопротивление ЛКП определяли в соответствии с ГОСТ 20214–74. Для испытания использовали стеклянные пластинки размером 10×100 мм и толщиной $2,0\pm 0,2$ мм. Изготовленные образцы лакокрасочных материалов смешивали с аминным отвердителем и наносили на пластинки с помощью пневматического распыления в два слоя. Перед испытанием образцы с ЛКП выдерживали не менее 48 ч при температуре 15–35 °С и относительной влажности воздуха 45–75 %.

На образец с ЛКП подавали постоянное напряжение, значение которого указано в стандартах или технических условиях на конкретные виды электропроводящих пластмасс. Для исследований выбрано напряжение 10 В. Величина напряжения источника питания подбирается таким образом, чтобы обеспечить устойчивые показания электрометра с требуемой погрешностью. При этом величина тока, проходящего через образец, не должна превышать во время испытания значений, при которых образец поглощал бы мощность $>0,1$ Вт. Записывали показания электрометра и мультиметра.

Электрическое сопротивление участка образца вычисляли по формуле

$$R_i = V/I,$$

где V – величина падения напряжения на участке образца между электродами напряжения, измеряемая электрометром, В; I – ток, проходящий через образец, А.

Из всех измерений R_i для каждого образца определяли среднее арифметическое значение сопротивления R_{cp} .

Удельное объемное электрическое сопротивление вычисляли по формуле

$$\rho_v = (R_{cp}hb)/l,$$

где R_{cp} – среднее арифметическое значение электрического сопротивления образца, Ом; h , b – толщина и ширина образца, см; l – расстояние между электродами напряжения, см [15].

Результаты и обсуждение

Влияние различных модифицирующих добавок на электропроводность изготовленных лакокрасочных материалов изучали путем определения удельного объемного электрического сопротивления при постоянном напряжении и диапазона концентраций, при которых параметр ρ_v удовлетворял бы заявленным требованиям к электропроводящим материалам. Для определения оптимального количества модификаторов изготовлены модельные композиции с различной степенью наполнения.

В первую очередь исследовано влияние чистых порошков металлов на электропроводность модельных композиций. Результаты испытаний представлены в табл. 1. Следует отметить, что для образцов ЛКП с концентрацией порошков металлов <20 % (по массе) значения ρ_v превышают максимально допустимые и не поддаются определению.

Таблица 1

Удельное объемное электрическое сопротивление лакокрасочных покрытий с металлическими наполнителями

Наполнитель	Соотношение пленкообразующего и модификатора	Наполнение, % (по массе)	Толщина, мкм (среднее значение)	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	
				фактическое	среднее значение
Никель	1:0,25	20	45	–	–
	1:0,33	25	55	–	–
	1:0,43	30	60	950; 945; 955	950
	1:0,54	35	70	800; 810; 790	800
Медь	1:0,25	20	50	–	–
	1:0,33	25	60	405; 320; 265	330
	1:0,43	30	65	–	–
	1:0,54	35	70	156; 150; 250	185
Никель/медь (1:1)	1:0,25	20	45	–	–
	1:0,33	25	55	–	–
	1:0,43	30	65	874; 890; 910	891
	1:0,54	35	70	745; 770; 765	760

В лакокрасочной пленке трудно обеспечить прямой плотный контакт между мелкодисперсными частицами металлов, так как они покрываются полимерным связующим. В результате контакт смежных частиц металлов в высохшем покрытии осуществляется преимущественно через прослойку связующего. Поэтому, несмотря на значительное содержание металлов с низким электрическим сопротивлением, пленочное покрытие имеет высокие значения данного показателя.

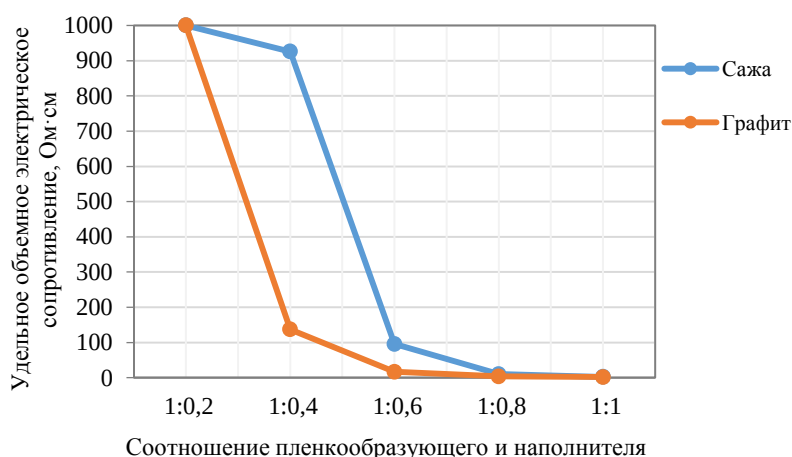
К недостаткам применения металлических модификаторов можно отнести высокую плотность, превышающую плотность полимера, из-за чего ЛКП значительно утяжеляется. Кроме того, требуемых значений электропроводности можно достичь только при высокой концентрации металлических порошков.

Результаты использования сажи и графита в различных соотношениях представлены в табл. 2. При увеличении содержания неметаллических модификаторов удельное объемное электрическое сопротивление ЛКП уменьшается (см. рисунок), так как частицы сажи и графита обладают большей пористостью по сравнению с металлами. Неметаллические модификаторы способны адсорбировать связующее и растворитель, за счет чего обеспечивается плотный контакт поверхностей смежных частиц с образованием трехмерной пространственной сетки из частиц наполнителя [16].

Таблица 2

Удельное объемное электрическое сопротивление лакокрасочных покрытий с неметаллическими наполнителями

Наполнитель	Соотношение пленкообразующего и модификатора	Толщина, мкм (среднее значение)	Удельное объемное сопротивление, Ом·см	
			фактическое	среднее значение
Сажа	1:0,2	30	1000; 1000; 1000	1000
	1:0,4	30	904; 974; 900	926
	1:0,6	30	95; 85; 100	93
	1:0,8	25	10; 7; 15	10,6
	1:1	25	2,4; 2,8; 2,2	2,5
Графит	1:0,2	35	1000; 1000; 1000	1000
	1:0,4	33	137; 128; 146	137
	1:0,6	37	12; 16; 19	16
	1:0,8	34	3,4; 4,3; 3,9	3,9
	1:1	32	2,1; 2,5; 1,8	2,1



Зависимость удельного объемного электрического сопротивления лакокрасочных покрытий от соотношения пленкообразующего и наполнителя

Установлено, что наименьшее удельное объемное электрическое сопротивление достигается при соотношении пленкообразующего и модификаторов 1:1. Дальнейшие

исследования проводили с образцами именно с таким соотношением для достижения наилучших результатов.

Изучены модельные композиции с разным соотношением металлических и неметаллических модификаторов (табл. 3). При более высоком содержании металлических порошков удельное объемное электрическое сопротивление резко увеличивается. Как отмечено ранее, частицы графита и сажи обладают большей пористостью по сравнению с металлическими порошками, и в процессе диспергирования поры заполняются частицами металла. Кроме того, из-за высокой плотности металлические порошки занимают меньший объем в полимерной матрице, при этом не образуется трехмерная пространственная сетка. В результате не обеспечивается плотный контакт между всеми имеющимися в ЛКП частицами наполнителей [16].

Таблица 3

Удельное объемное электрическое сопротивление лакокрасочных покрытий с металлическими и неметаллическими наполнителями

Наполнитель	Соотношение пленкообразующего и модификаторов	Толщина, мкм (среднее значение)	Удельное объемное сопротивление, Ом·см	
			фактическое	среднее значение
Медь/сажа	1:0,2:0,8	30	15,2; 17,6; 19,0	17,3
Медь/графит		30	1,8; 1,9; 1,8	1,8
Никель/сажа		26	27,0; 17,2; 36,9	27,0
Никель/графит		30	3,0; 3,1; 3,1	3,1
Медь/сажа	1:0,4:0,6	33	909,8; 913,3; 911,1	911,4
Медь/графит		26	83,4; 89,9; 78,2	83,8
Никель/сажа		32	621,4; 605,6; 610,6	612,5
Никель/графит		28	61,8; 73,9; 67,1	67,6

Дополнительно оценили влияние комбинации графита и сажи в разном соотношении на удельное объемное сопротивление ЛКП (табл. 4).

Таблица 4

Удельное объемное электрическое сопротивление лакокрасочных покрытий с разным соотношением графита и сажи

Соотношение пленкообразующего, графита и сажи	Толщина, мкм (среднее значение)	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	
		фактическое	среднее значение
1:0,5:0,5	20	1,0; 2,8; 1,3	1,7
1:0,2:0,8	20	3,9; 1,9; 2,8	2,9
1:0,8:0,2	18	1,1; 3,0; 1,4	1,8

Заключения

Проведены эксперименты с использованием различных комбинаций электропроводящих модифицирующих добавок. Исследовано влияние модификаторов и их соотношения на электропроводность модельных композиций путем определения удельного объемного электрического сопротивления ЛКП при постоянном напряжении. Установлено, что введение металлических наполнителей не позволяет достичь стабильных значений объемного электрического сопротивления, требуемых для электропроводящих материалов. Кроме того, существенным недостатком использования металлических модификаторов, в том числе в комбинации с неметаллическими, является увеличение массы ЛКП, что недопустимо для авиационной промышленности.

Анализ полученных данных позволил установить зависимость между составом и электропроводностью модельных композиций. Наименьшее удельное объемное электрическое сопротивление достигается при соотношении пленкообразующего и наполнителей 1:1.

С учетом полученных результатов для изделий авиационной техники целесообразно использовать композиции с неметаллическими наполнителями, содержащие пленкообразующее и графит в соотношении 1:1 (2,2 Ом·см), а также пленкообразующее, графит и сажу в соотношениях 1:0,5:0,5 (1,7 Ом·см) и 1:0,8:0,2 (1,8 Ом·см).

Важно отметить, что эффективность модификаторов и их влияние на электропроводность могут зависеть от их химического состава, формы и размера частиц, а также от технологии нанесения и отверждения покрытия.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // Крылья Родины. 2016. № 5. С. 8–18.
2. Каблов Е.Н. Материалы и технологии ВИАМ для «Авиадвигателя» // Пермские авиационные двигатели. 2014. № 31. С. 43–47.
3. 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.
4. Железняк В.Г., Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Скирко П.В. Система лакокрасочных покрытий на основе полиуретановой эмали для защиты лобовых обогреваемых поверхностей изделий авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
5. Ерасов В.С., Сибяев И.Г. Схема разработки и оценки свойств конструкционных авиационных композиционных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 1 (70). Ст. 05. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-61-81.
6. Старцев В.О., Антипов В.В., Славин А.В., Горбовец М.А. Современные отечественные полимерные композиционные материалы для авиастроения (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2023. № 2 (71). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 02.10.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
7. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Лебедева Т.А., Семенова Л.В. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. № 1. С. 96–102.
8. Блайт Э.Р., Блур Д. Электрические свойства полимеров / пер. с англ. М.: Физматлит, 2008. 376 с.
9. Чудина О.В., Александров В.А. Конструкционные и электротехнические материалы в транспортном машиностроении: учеб. пособие. М.: МАДИ, 2017. 228 с.
10. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. 272 с.
11. Семенова Л.В., Козлова А.А. Лакокрасочные покрытия для защиты полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. 2013. № 4. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 02.10.2023).
12. Шевченко В.Г. Основы физики полимерных композиционных материалов. М.: Профессия, 2010. 99 с.
13. Кузнецова В.А., Марченко С.А., Емельянов В.В., Железняк В.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидных олигомеров и отвердителей на эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (62). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 17.09.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
14. Дринберг А.С. Окраска композиционных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2017. № 3. С. 22–31.
15. ГОСТ 20214–74. Пластмассы электропроводящие. Метод определения удельного объемного электрического сопротивления при постоянном напряжении. М: Стандартинформ, 2018. 9 с.
16. Электропроводящая краска: пат. 2042694 Рос. Федерация; заявл. 01.11.1994; опубл. 27.08.1995.

References

1. Kablov E.N. What to make the future from? The materials of the new generation, the technology of their creation and processing are the basis of innovation. *Krylya Rodiny*, 2016, no. 5, pp. 8–18.
2. Kablov E.N. Materials and technologies of the VIAM for the «Aviator». *Perm Aviation engines*, 2014, no. 31, pp. 43–47.
3. 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.
4. 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: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
5. Erasov V.S., Sibayev I.G. Scheme for the development and evaluation of properties of structural aviation composite materials. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), paper no. 05. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2071-9140-2023-0-1-61-81.
6. Startsev V.O., Antipov V.V., Slavin A.V., Gorbovets M.A. Modern domestic polymer composite materials for aviation industry (review). *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 2 (71), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 02, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-2-122-144.
7. Kondrashov E.K., Kuznetsova V.A., Lebedeva T.A., Semenova L.V. The main directions of increasing operational, technological and environmental characteristics of paints and varnishes for aviation equipment. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2010, vol. LIV, no. 1, pp. 96–102.
8. Blyite E.R., Blur D. *Electric properties of polymers*. Trans. from Engl. Moscow: Fizmatlit, 2008, 376 p.
9. Chudina O.V., Alexandrov V.A. *Structural and electrical materials in transport engineering*: textbook. Moscow: MADI, 2017, 228 p.
10. Yakovlev A.D., Yakovlev S.A. *Functional varnishes*. St. Petersburg: Chemistry, 2016, 272 p.
11. Semenova L.V., Kozlova A.A. Paint coating for protection of polymer composites. *Trudy VIAM*, 2013, no. 4, paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: October 02, 2023).
12. Shevchenko V.G. *Fundamentals of physics of polymer composite materials*. Moscow: Profession, 2010, 99 p.
13. Kuznetsova V.A., Marchenko S.A., Emelyanov V.V., Zheleznyak V.G. Study of the influence of molecular mass of epoxy oligomers and hardeners on the operational properties of paint coatings. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: September 17, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71.
14. Drinberg A.S. Coloring of composite materials. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2017, no. 3, pp. 22–31.
15. State Standard 20214–74. *Plastics are electrical conductive. The method for determining the specific volumetric electrical resistance at constant voltage*. Moscow: Standinform, 2018, 9 p.
16. *Electric conductive paint*: pat. 2042694 Ros. Federation; appl. 01.11.94; publ. 27.08.95.

Информация об авторах

Зверевич Юлия Константиновна, техник 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Кречетов Данила Дмитриевич, инженер 2 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Железняк Вячеслав Геннадьевич, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Yuliya K. Zverevich, First Category Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Danila D. Krechetov, Second Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Vyacheslav G. Zheleznyak, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 24.04.2024; получена после доработки 08.05.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 08.05.2024.
 The article was submitted 24.04.2024; received in revised form 08.05.2024; approved and accepted for publication after reviewing 08.05.2024.