

УДК 620.1:629.7.023.222

А.В. Павлов¹, Н.П. Андреева¹, М.Р. Павлов¹, Ю.И. Меркулова¹**КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФТОРОПЛАСТА И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ДЕСТРУКЦИИ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-103-110

Изложены основные результаты климатических испытаний покрытия на основе фторопласта, разработанного во ФГУП «ВИАМ». Показано, что данное покрытие обладает высокой стойкостью к воздействию тропического влажного климата на период не менее двух лет без изменения защитных свойств. Экспозиция проводилась на климатических станциях республики Вьетнам (станции Хоа Лак и Дам Бай), а также на российской климатической станции (г. Геленджик). С помощью ИК-спектроскопии установлено, что в процессе деструкции покрытия происходит уменьшение фторопластового компонента.

Ключевые слова: лакокрасочные покрытия, лакокрасочные материалы, климатические испытания, ИК-спектроскопия, фторопласты.

A. V. Pavlov¹, N. P. Andreeva¹, M. R. Pavlov¹, Yu. I. Merkulova¹**CLIMATIC TESTS OF PAINT COATING BASED ON FLUOROPLASTIC AND FEATURES OF ITS DESTRUCTION**

The article presents the main results of the climatic tests of the coating based on the fluoroplastic and developed in the FSUE "VIAM". It is shown that this coating has a high resistance to the effects of a tropical humid climate for a period of at least two years without changing the protective properties. The exposition was held at climate stations of the Republic of Vietnam (Hoa Lac and Dam Bay stations) and also on the Russian climate station (Gelendzhik). Using FTIR-spectroscopy, it was found that in the process of coating destruction, the fluoroplastic component decreases.

Keywords: paint and varnish coatings, paintwork materials, climatic tests, infrared spectroscopy, fluoroplastics.

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Введение

Активное применение композиционных материалов является ответом на повышение требований современной техники и высокотехнологичных отраслей [1]. В свою очередь эксплуатация изделий на территории Российской Федерации требует от материалов сохранения их свойств при воздействии внешних факторов в широком диапазоне: от субтропического до умеренно холодного и холодного арктического климата, в том числе и от лакокрасочных покрытий (ЛКП) [2–4]. Каждый тип климата характеризуется своими особенностями, которые влияют на стойкость материала к воздействию внешних факторов в данной климатической зоне. Основная задача ЛКП в авиационной отрасли – защита деталей и узлов конструкции самолета и вертолета от разрушающего воздействия окружающей среды. Поверхность деталей из металлических сплавов

и полимерных композиционных материалов подвергается сложному воздействию факторов, и среди них – широкий диапазон температурных перепадов, интенсивная солнечная радиация, повышенная доля ультрафиолета, эрозионный износ, неизбежное воздействие при эксплуатации горюче-смазочных веществ и других агрессивных жидкостей [5]. Для этого необходимо подбирать состав композиционного лакокрасочного материала, а именно: полимерную матрицу и пигменты с наполнителями, их соотношение, ориентацию в получаемом покрытии, с целью получения функционального покрытия с заданными эксплуатационными и технологическими свойствами [6, 7]. Атмосферостойкость ЛКП является важной характеристикой и для покрытий, используемых при окраске военной техники [8].

Как известно, выбор систем ЛКП в зависимости от условий их эксплуатации и назначения может быть сделан при применении межгосударственного стандарта ГОСТ 9.401–91 «ЕСЗКС. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов». Данный нормативный документ позволяет оценить комплексное воздействие климатических факторов в лабораторных условиях для ЛКП и получить предварительный прогноз по их климатической стойкости с учетом условий эксплуатации или хранения. Но лабораторные испытания не учитывают такие климатические факторы, как ветер, пыль, грязь, роса, одновременное воздействие самых разных факторов и т. д. Поэтому только климатические испытания в естественных условиях позволяют получать наиболее точные результаты по климатической стойкости материалов, так как испытания материалов, и в том числе ЛКП, происходят в условиях предполагаемой эксплуатации и/или хранения. Тепловлажностные условия, солнечное излучение, микробиологическая среда, температурные перепады и другие факторы соответствуют тем параметрам, которые будут предположительно воздействовать на покрытие в течение срока его эксплуатации.

Старение ЛКП в атмосферных условиях протекает во много раз интенсивнее, чем в условиях эксплуатации в помещениях или под навесом, за счет окисления лакокрасочной пленки под влиянием кислорода воздуха и усиливающих факторов – солнечного излучения, повышенной температуры, влажности и т. д. [9].

Такие испытания позволяют:

- сформировать базу данных, содержащую информацию о климатической стойкости различных классов материалов на различных этапах старения в заданном климатическом районе;
- создать научно-технический задел для создания новых материалов с повышенной стойкостью к внешним воздействиям;
- разработать методы оценки агрессивности природных сред и их влияния на свойства материалов и изделий.

Во ФГУП «ВИАМ» большое внимание уделяют климатическим испытаниям в естественных условиях и постоянно расширяют географию представительных пунктов для проведения экспозиции перспективных и типовых материалов, что необходимо для получения объективных данных по вопросам стойкости материалов к различным климатическим условиям на начальном этапе и дает понимание стабильности разработанных материалов в период длительного старения [4].

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

Материалы и методы

Развитие лакокрасочной промышленности направлено на получение покрытий с большим сроком службы, который позволяет увеличивать сроки межремонтного обслуживания, сокращать расходы на защиту технических средств от погодных факторов и придание декоративного вида. В настоящее время в России сложилась следующая ситуация: производя 8% мирового выпуска фторполимеров, Россия потребляет их менее 2%, что значительно ниже, чем в большинстве развитых стран [10]. Ассортимент фторсодержащих ЛКП, срок службы которых может достигать 20 и более лет, постепенно растет и становится разнообразнее. Лакокрасочные материалы на основе фторсодержащих полимеров применяют для создания гидрофобных, антикоррозионных, антифрикционных, влагозащитных, радиопрозрачных материалов.

Эмаль на основе фторопласто-эпоксидного пленкообразующего марки ВЭ-46, разработанная во ФГУП «ВИАМ», предназначена для окраски внешних поверхностей изделий, подвергающихся воздействию синтетических масел. Отверждение эмали ВЭ-46 возможно при комнатной температуре, что очень важно при окраске технических средств, в том числе авиатехники [11].

Применение эмали ВЭ-46 при окраске внешних поверхностей вертолетов обеспечивает сохранение декоративного вида и защитных свойств покрытия в процессе эксплуатации авиационного изделия. Так, эмаль ВЭ-46 показывает существенное преимущество в устойчивости к воздействию атмосферных факторов в процессе старения в условиях различных климатических зон по сравнению с эмалью, которая широко применяется для защиты от коррозионного поражения поверхностей вертолетной техники – ЭП-140, а также по сравнению с акрилстирольной эмалью АС-1115, которая давно применяется в авиастроении. Эмаль ВЭ-46 пользуется большим спросом у предприятий авиационной отрасли, поэтому важно знать ресурс работы покрытия на ее основе в условиях различных климатических условий [12].

В данной работе приведены результаты испытаний покрытия эмали ВЭ-46 на климатических станциях тропического климата республики Вьетнам (станции Дам Бай и Хоа Лак) и результаты испытаний в условиях умеренного климата России.

Климатическая станция Хоа Лак характеризуется влажным жарким летом с экваториальными муссонными ветрами Тихого океана и прохладной сырой зимой. Климатическая испытательная станция Хоа Лак расположена в 100 км от берега моря. В непосредственной близости от климатической испытательной станции Хоа Лак расположен крупный промышленный центр – г. Ханой, являющийся вторым по величине промышленным центром Вьетнама. По результатам многолетних наблюдений среднегодовая скорость осаждения хлоридов для данного района составляет 0,15 мг/(м²·сут). Большой объем производства в расположенном рядом крупном промышленном центре (г. Ханой) приводит к высоким значениям содержания оксида серы в атмосфере. Сернистый газ является самым распространенным отходом производства металлургических, теплоэнергетических, нефтеперерабатывающих, целлюлозно-бумажных и других предприятий. В результате фотокаталитического окисления в атмосфере происходит превращение SO₂ в SO₃. Последний, взаимодействуя с атмосферными парами воды, образует серную кислоту, которая является сильным агрессивным агентом и разрушает защитные покрытия и материалы конструкции. Содержание SO₂ составляет ~0,9 мг/м³, что превышает значение ПДК приблизительно в 3,5 раза. Скорость осаждения SO₂ составляет более 110 мг/(м²·сут) [4]. Средняя скорость ветра 1,7 м/с. Средняя продолжительность увлажнения поверхности (при температуре воздуха ≥0°C и влажности воздуха ≥80%) составляет 5754 ч/год.

Климатическая испытательная станция Дам Бай расположена в прибрежной акватории острова Чо, в заливе Нячанг и характеризуется более мягкими условиями. Дождливый период в этой части территории страны начинается с августа и достигает пика выпадения осадков в октябре-ноябре. Климатическая станция расположена в непосредственной близости от уреза воды в условиях относительно чистой атмосферы. По результатам многолетних наблюдений среднегодовая скорость осаждения хлоридов для данного района составляет 5,75 мг/(м²·сут). Скорость осаждения SO₂ составляет 3,9 мг/(м²·сут). Средняя скорость ветра 3 м/с. Средняя продолжительность увлажнения поверхности (при температуре воздуха ≥0°C и влажности воздуха ≥80%) составляет 4851 ч/год.

Согласно градации климатических районов для технических целей, климат на испытательных станциях можно отнести к следующим типам:

1. по ГОСТ 24482–80:

- Хоа Лак – тропический влажный;
- Дам Бай – тропический влажный;

2. по STANAG 2895:

– Хоа Лак: по температуре в летний период категория «А3» – умеренный; по температуре в зимний период категория «С0» – холодный шадящий; по влажности воздуха категория «В2» – жаркий влажный;

– Дам Бай: по температуре в летний период категория «А3» – умеренный; по температуре в зимний период категория «С0» – холодный шадящий; по влажности воздуха категория «В1» – теплый влажный (тропические леса);

3. по типам атмосферы по ГОСТ 9.039–74:

- Хоа Лак – промышленная, сильно загрязненная;
- Дам Бай – приморская.

Экспозиция образцов началась в апреле и продолжалась в течение 20 мес. Поверхность образцов была ориентирована на юг под углом наклона к линии горизонта, равным 45 градусам. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 6992–68, ГОСТ 9.708–83, ASTM G7/G7M-11, ISO 877, ISO 2810.

Оценка свойств ЛКП проводилась в соответствии со стандартными методиками, принятыми в лакокрасочной промышленности:

- оценка внешнего вида (ГОСТ 9.407–2015);
- адгезия методом решетчатых надрезов (ГОСТ 15140–78);
- ускоренные испытания на стойкость к воздействию климатических факторов (ГОСТ 9.401–91);
- метод определения блеска покрытий (ГОСТ 31975–2013);
- метод определения цветового различия (ГОСТ Р 52490–2005);
- метод определения степени меления покрытия (ГОСТ 16976–71).

Результаты и обсуждение

Анализ климатических параметров за период экспозиции показал, что наибольшее количество солнечного излучения зарегистрировано на испытательной станции Дам Бай. В летний период солнечное излучение наиболее интенсивно, в зимний период наименее интенсивно для всех климатических станций, рассмотренных в данной работе. Станция Хоа Лак характеризуется меньшей средней температурой и влажностью воздуха (наиболее сухим месяцем является июнь), в то же время в Хоа Лак зарегистрированы большие сезонные перепады температуры: в январе температура опускается до +5°C, в мае – поднимается до +41°C. Количество выпавших осадков за период экспозиции зарегистрировано на испытательной станции Дам Бай. Характеристики

климатических испытательных станций ФГУП «ВИАМ» в г. Москва и г. Геленджик описаны в других работах [13].

Далее представлены результаты изменения декоративных свойств покрытий эмали марки ВЭ-46 и сравнительные данные по результатам натурной экспозиции покрытий эмалей ЭП-140 и АС-1115. В табл. 1 показана сохраняемость свойств ЛКП после 12 и 20 мес экспозиции на климатических станциях Вьетнама. В табл. 2 приведены результаты натурных климатических испытаний ЛКП в условиях умеренного и умеренно теплого климатов.

Таблица 1

Сохраняемость свойств лакокрасочного покрытия на основе эмалей ВЭ-46, ЭП-140 и АС-1115 после экспозиции в условиях климата республики Вьетнам

Свойства	Срок экспозиции, мес	Зона экспозиции	Значения свойств для эмали		
			ВЭ-46	ЭП-140	АС-1115
Адгезия, балл	12	Дам Бай	1 ₁	1 ₁	1 ₁
		Хоа Лак	1 ₁	1 ₁	1 ₁
	20	Дам Бай	1 ₁	1 ₁	1 ₁
		Хоа Лак	1 ₁	1 ₁	1 ₁
Изменение блеска, %	12	Дам Бай	-44	-96	-68
		Хоа Лак	-13	-96	-84
	20	Дам Бай	-58	-96	-97
		Хоа Лак	-13	-97	-97
Цветовое различие ΔE , усл. ед.	12	Дам Бай	1,1	5,3	1,4
		Хоа Лак	1,8	3,7	1,6
	20	Дам Бай	1,8	7,8	2,0
		Хоа Лак	2,3	6,0	1,7

Таблица 2

Сохраняемость свойств лакокрасочного покрытия на основе эмалей ВЭ-46, ЭП-140 и АС-1115 после экспозиции в условиях умеренного климата России

Свойства	Срок экспозиции, мес	Зона экспозиции	Значения свойств для эмали		
			ВЭ-46	ЭП-140	АС-1115
Адгезия, балл	12	МЦКИ*	1 ₁	1 ₁	1 ₁
		ГЦКИ**	1 ₁	1 ₁	1 ₁
	24	МЦКИ	1 ₁	1 ₁	1 ₁
		ГЦКИ	1 ₁	1 ₁	1 ₁
Изменение блеска, %	12	МЦКИ	-15	-82	-27
		ГЦКИ	-22	-85	-56
	24	МЦКИ	-20	-92	-42
		ГЦКИ	-25	-96	-70
Цветовое различие ΔE , усл. ед.	12	МЦКИ	2	3,2	2
		ГЦКИ	2	4,3	2,5

* МЦКИ – Московский центр климатических испытаний ФГУП «ВИАМ».

** ГЦКИ – Геленджикский центр климатических испытаний ФГУП «ВИАМ».

Изменений физико-механических свойств покрытия эмали ВЭ-46 за прошедший период экспозиции в рассмотренных климатических зонах не наблюдается. Изменение цветовых характеристик связано с выцветанием пигмента под действием солнечного излучения, а снижение показателей блеска – с выветриванием поверхности образцов под действием дождя, ветра и т. п. [14]. Изменение блеска и цвета являются первичными сигналами деструкции поверхности образцов покрытия эмали. Как видно из данных табл. 1 и 2, сохраняемость декоративных свойств покрытия эмали ВЭ-46 в условиях атмосферного воздействия выше, чем для покрытий эмалей ЭП-140 и АС-1115. На всех

образцах также наблюдаются загрязнения, особенно на образцах, которые испытывались в Хоа Лак, что связано с наибольшей загрязненностью атмосферы в данном районе из рассмотренных экспозиций. За время экспозиции в Хоа Лак изменение цвета становится заметным и хорошо различимым (ГОСТ 9.407–2015). Городская атмосфера при экспозиции в МЦКИ после 12 мес также дает видимое изменение цвета поверхности образцов. Увеличение дозы солнечного излучения (Дам Бай, Геленджик) в условиях приморской атмосферы оказывает влияние на скорость падения блеска покрытия, но в меньшей степени оказывает влияние на изменение цветовых характеристик. Можно предположить, что в условиях чистой атмосферы и районе более 100 км от моря скорость снижения свойств покрытия эмали ВЭ-46 ниже, тем самым срок службы покрытия будет значительно больше.

Необходимо отметить, что изменений защитных свойств, в том числе коррозионных повреждений, на образцах покрытия эмали ВЭ-46 на период экспозиции не наблюдается в течение 24 мес.

При проведении натуральных испытаний важным является сравнение полученных результатов с результатами ускоренных испытаний для подтверждения или опровержения возможности получения предварительных данных по климатической стойкости материала в лабораторных условиях и дальнейшей ориентировочной корреляции результатов испытаний. В табл. 3 приведены результаты ускоренных климатических испытаний на аппарате ATLAS UVCON, проведенной по методике ФГУП «ВИАМ» (СТО 1-595-15-379–2006), разработанной для оценки стойкости к воздействию солнечного излучения материалов авиационного назначения.

Таблица 3

Сохраняемость свойств лакокрасочного покрытия на основе эмали ВЭ-46 после экспозиции в аппарате искусственной погоды

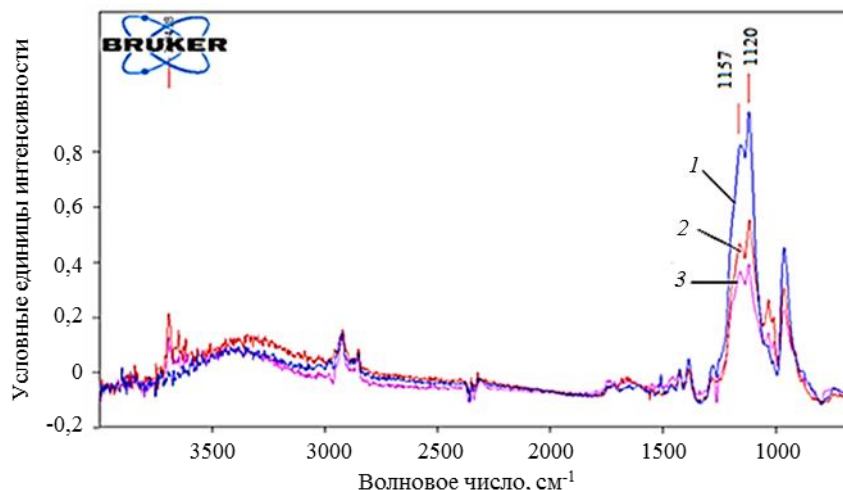
Свойства	Продолжительность экспозиции, ч	Значения свойств
Адгезия, балл	1000	1 ₁
	2000	1 ₁
Изменение блеска, %	1000	-67
	2000	-83
Цветовое различие ΔE , усл. ед.	1000	1,5
	2000	1,9

Результаты ускоренных испытаний в данных условиях – воздействие УФ-излучения с переменным воздействием повышенной влажности и температуры – показали, что выбранный режим испытания недостаточно корректно воспроизводит старение покрытия эмали ВЭ-46 в естественных условиях – скорость падения блеска значительно выше, чем в условиях натуральных испытаний. При этом изменение цветовых характеристик незначительное, а результаты натуральных испытаний показывают, что после 2 лет испытаний видимое изменение цвета при определенных условиях может наблюдаться. Необходимо отметить, что после ускоренных испытаний в течение 2000 ч наблюдается меление покрытия: 4–6 отпечатков в соответствии с ГОСТ 16976–71. В условиях натуральных испытаний меление отмечено только после 2 лет при экспозиции в умеренном климате ГЦКИ и МЦКИ. Данная методика ускоренных испытаний оценивает в основном стойкость покрытия к УФ-излучению при дополнительном воздействии влажности и температуры, поэтому результаты испытаний не могут быть использованы напрямую для расчета срока службы покрытия, а используются для сравнения покрытий и оценки светостойкости авиационных покрытий. Полученные результаты подтверждают, что при прогнозировании стойкости покрытий к внешним воздействующим факторам необходимо выбирать режим лабораторных испытаний, который бы максимально приближенно воспроизводил механизм старения покрытия в соответствующих условиях эксплуатации [14].

Испытания в камере солевого тумана показали стойкость защитных свойств покрытия эмали за весь период испытаний (более 1000 ч), что подтверждается и натурными испытаниями – коррозионных поражений на покрытии не наблюдается, в том числе и при экспозиции в прибрежных зонах Дам Бай и г. Геленджик. Данный вид испытаний всегда применяется при оценке защитных свойств покрытий.

При исследовании изменений, происходящих на поверхности покрытия при натурных испытаниях в условиях тропического климата Вьетнама, проведена оценка структурных изменений с помощью ИК-спектроскопии (см. рисунок).

Эмаль марки ВЭ-46 является двухкомпонентным материалом: полуфабрикат эмали представляет собой суспензию пигментов в растворе фторопласто-эпоксидного пленкообразующего, а отвердитель представляет собой кремнийорганический амин.



ИК-спектры покрытия эмали марки ВЭ-46 в исходном состоянии до проведения климатических испытаний (1) и после 20 мес испытаний в Хоа Лак (2) и Дам Бай (3)

Нормировку ИК-спектров проводили по максимуму полос поглощения при длине волны $\sim 2923 \text{ см}^{-1}$, что соответствует валентным колебаниям С–Н-связей [15]. Как видно из данных рисунка, при использовании нормирования по С–Н-связям интенсивность максимумов полос поглощения при 1157 см^{-1} и 1120 см^{-1} уменьшается. Согласно работе [15], данные пики поглощения могут быть связаны с колебаниями С–F-связей во фторсодержащем компоненте эмали. Таким образом, в приближении пропорциональности интенсивности пиков поглощения и количества вещества предположили, что содержание фторсодержащего компонента в эмали снижается в процессе экспозиции. Более того, чем выше доза солнечного излучения в период экспозиции, тем процессы выветривания протекают более интенсивно и содержание фторсодержащего компонента уменьшается.

Заключения

По результатам климатических испытаний в условиях тропического климата Вьетнама можно сделать вывод о высокой стойкости покрытия на основе эмали марки ВЭ-46 на предварительно загрунтованной алюминиевой подложке к воздействию тропического влажного климата на период не менее двух лет без изменения защитных свойств. Изменение декоративных свойств незначительное. Но необходимо отметить, что сильная загрязненность промышленной атмосферы (Хоа Лак) влияет на изменение цветовых характеристик, что в дальнейшем может стать причиной ускоренного снижения защитных свойств. Повышенная доза солнечного излучения (Дам Бай, Геленджик) влияет на потерю блеска покрытия, что сказывается на увеличении скорости

выветривания верхнего слоя покрытия. Исследования стойкости покрытий эмали марки ВЭ-46, разработанной во ФГУП «ВИАМ», в условиях природных климатических испытаний различных климатических зон и в лабораторных условиях продолжаются, что позволит дать рекомендации по применению данного типа покрытия и, возможно, расширит его область применения, и послужат для дальнейших разработок лабораторных методов оценки климатической стойкости ЛКП авиационного назначения с оценкой сроков службы.

Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность за помощь в исследовании покрытий ведущему научному сотруднику ФГУП «ВИАМ», кандидату химических наук М.А. Хаскову и начальнику лаборатории ФГУП «ВИАМ» А.А. Козловой за ценные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // *Металлы Евразии*. 2015. №1. С. 36–39.
2. Каблов Е.Н. Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций // *Крылья Родины*. 2016. №5. С. 8–18.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // *Вестник Российской академии наук*, 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
4. Андреева Н.П., Павлов М.Р., Николаев Е.В., Славин А.В. Влияние климатических факторов тропического и умеренного климата на свойства лакокрасочных покрытий на уретановой основе // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2018. №4. С. 24–28.
5. Каблов Е.Н., Семенова Л.В., Еськов А.А., Лебедева Т.А. Комплексные системы лакокрасочных покрытий для защиты металлических полимерных композиционных материалов, а также их контактных соединений от воздействия агрессивных факторов // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2016. №6. С. 32–35.
6. Павлов А.В., Меркулова Ю.И., Зеленская А.Д., Железняк В.Г. Износостойкость лакокрасочных покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2018. №1–2. С. 40–43.
7. Зеленская А.Д., Федякова Н.В. Эпоксидная антистатическая бензостойкая грунт-эмаль для внутренней окраски нефтетранспорта // *Многофункциональные лакокрасочные покрытия: материалы Всерос. науч.-технич. конф. (г. Москва, 6 дек. 2018 г.)* М.: ВИАМ, 2018. С. 122–127.
8. Малова Н.Е., Кондрашов Э.К., Веренинова Н.П., Козлова А.А. Термостойкая атмосферостойкая фторполиуретановая эмаль // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №S3. С. 28–30. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-S3-28-30.
9. Семенова Л.В., Новикова Т.А., Нефедов Н.И. Климатическая стойкость и старение лакокрасочного покрытия // *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №S3. С. 31–34. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-S3-31-34.
10. Войтович В.А. Лакокрасочные материалы с фторированными компонентами // *Промышленная окраска*. 2013. №4. С. 23–27.
11. Нефедов Н.И., Семенова Л.В., Кузнецова В.А., Веренинова Н.П. Лакокрасочные покрытия для защиты металлических и полимерных композиционных материалов от старения, коррозии и биоповреждения // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №S. С. 393–404. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-393-404.
12. Семенова Л.В., Нефедов Н.И., Белова М.В., Лаптев А.Б. Системы лакокрасочных покрытий для вертолетной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. №4. С. 56–61. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-56-61.
13. Николаев Е.В., Павлов М.Р., Андреева Н.П., Славин А.В., Скирта А.А. Исследование процессов старения полимерных композиционных материалов в природных условиях тропического климата Северной Америки // *Новости материаловедения. Наука и техника: электрон. науч.-технич. журн.* 2018. №3–4 (30). Ст. 08. URL: <http://www.materialsnews.ru> (дата обращения: 30.04.2019).
14. Карякина М.И. Физико-химические основы процессов формирования и старения покрытия. М.: Химия, 1980. 216 с.
15. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффольтер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных. Пер. с англ. М.: Мир, 2006. 438 с.