

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-66-76

СОХРАНЯЕМОСТЬ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И МИКРОМИЦЕТОВ-ДЕСТРУКТОРОВ

А.А. Кривушина¹, А.М. Коган¹, В.О. Старцев¹

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

Аннотация. Исследована сохраняемость свойств лакокрасочных покрытий марок ЭП-140 и ВЭ-69 после проведения ускоренных климатических лабораторных испытаний и испытаний на грибостойкость с применением микромицетов, выделенных в трех климатических зонах: умеренный климат, умеренно теплый климат и сухой субтропический климат. Отмечено, что адгезионные свойства покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 после проведения ускоренных климатических испытаний и воздействия микромицетов из трех климатических зон не меняются. Выявлены изменения декоративных свойств, отмечены изменения таких показателей, как блеск и цвет.

Ключевые слова: биоповреждения, лакокрасочные покрытия, микроорганизмы-деструкторы, микробиологическая стойкость, микробиологические повреждения, микромицеты, полимерные материалы, эмали

Для цитирования: Кривушина А.А., Коган А.М., Старцев В.О. Сохраняемость свойств лакокрасочных покрытий после воздействия климатических факторов и микромицетов-деструкторов // Труды ВИАМ. 2024. № 7 (137). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-66-76.

Scientific article

PRESERVATION OF THE PROPERTIES OF PAINT COATINGS AFTER EXPOSURE TO CLIMATIC FACTORS AND MICROMYCETES-DESTRUCTORS

A.A. Krivushina¹, A.M. Kogan¹, V.O. Startsev¹

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 properties of coatings EP-140 and VE-69 were studied for the stability after conducting accelerated laboratory climatic tests and fungal resistance tests. Micromycetes isolated in three climatic zones were used: temperate climate, warm temperate climate and dry subtropical climate. It is noted that the adhesive properties of coatings VE-69 and EP-140 do not change after accelerated climatic tests and exposure to micromycetes from three climatic zones. Changes in decorative properties were revealed. Changes in indicators such as gloss and color were noted.

Keywords: biodeterioration, paint coatings, degrading microorganisms, microbiological resistance, microbiological damage, micromycetes, polymeric materials, enamels

For citation: Krivushina A.A., Kogan A.M., Startsev V.O. Preservation of the properties of paint coatings after exposure to climatic factors and micromycetes-destructors. *Trudy VIAM*, 2024, no. 7 (137), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2024-0-7-66-76.

Введение

Полимерные материалы, в частности лакокрасочные покрытия (ЛКП), во время эксплуатации находятся под постоянным влиянием ряда факторов: климатических, биологических и др. Микробиологические повреждения широкой номенклатуры ЛКП отмечены повсеместно в различных климатических районах. Причина данного явления – жизнедеятельность на поверхности материалов микроорганизмов, в особенности микроскопических плесневых грибов, или микромицетов. Биоповреждения ЛКП можно различить невооруженным глазом, как правило, они выявляются в виде окрашенных пятен или налетов на поверхности. Если же наблюдается более активное развитие микромицетов на поверхности ЛКП, то обнаруживаются бугры, небольшие дыры, трещины и другие изменения, ухудшающие внешний вид изделия [1].

Довольно часто негативное воздействие жизнедеятельности микромицетов дополняется еще и другими внешними факторами окружающей среды. К ним относятся следующие климатические факторы: влияние ультрафиолетового излучения, перепады температур, влажности и т. п. В настоящее время активно ведутся работы по изучению влияния внешних климатических факторов [2–6] и развитию новых методов их исследования по отношению к ЛКП [7–10]. Помимо исследования влияния на ЛКП факторов климата, проводятся работы по изучению способности и активности новых штаммов микроорганизмов вызывать микробиологические повреждения [11–19].

Цель данной работы – изучение изменения свойств – адгезионной прочности, значений блеска, параметров цвета – эмалей марок ЭП-140 и ВЭ-69 после серий климатических лабораторных испытаний, а также исследование грибостойкости с применением микроскопических грибов, выделенных в трех климатических зонах: умеренного, умеренно теплого и сухого субтропического климата.

Материалы и методы

Работу проводили на образцах эмалей ЭП-140 и ВЭ-69 с серым и красным пигментами, как и на предыдущих этапах работы [20]. Проведены лабораторные климатические испытания для оценки влияния последовательного воздействия факторов климата на адгезионную прочность, параметры блеска и цвета образцов. На рис. 1 приведена схема испытаний по трем режимам воздействия.

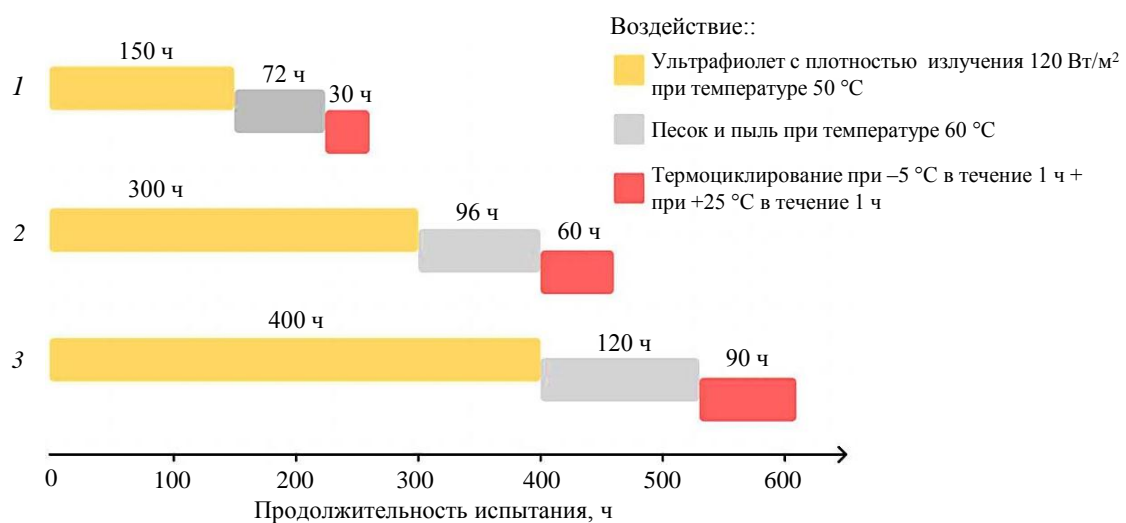


Рис. 1. Схема проведения ускоренных климатических испытаний по режимам 1–3 при различных параметрах воздействия

Далее проведены испытания на воздействие микроорганизмов, выделенных в трех климатических зонах. Полный список видов грибов, применяемых в эксперименте, приведен в таблице. Штаммы микромицетов из группы МЦКИ и ГЦКИ выделены на предыдущих этапах работы с образцов материалов в естественных условиях умеренного (г. Москва) и умеренно теплого климата (г. Геленджик) соответственно. Штаммы микромицетов из группы «Иран» взяты из депозитария НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, выбраны штаммы видов, характерные для сухого субтропического климата. Штаммы поддерживались в коллекции с использованием методов криоконсервации и лиофилизации, которые позволяют сохранить физиологические свойства изучаемых штаммов в течение длительного срока хранения [21].

Список видов микромицетов, применяемых в исследовании

Группа грибов	Условный номер штамма	Вид гриба
МЦКИ	viam193	<i>Purpureocillium takamizusanense</i>
	viam194	<i>Aspergillus flavus</i>
	viam195	<i>Aspergillus niger</i>
	viam196	<i>Aspergillus terreus</i>
	viam197	<i>Aspergillus puulaauensis</i>
ГЦКИ	viam138	<i>Alternaria alternata</i>
	viam139	<i>Arthrinium phaeospermum</i>
	viam144	<i>Fusarium oxysporum</i>
	viam142	<i>Penicillium oxalicum</i>
	viam143	<i>Talaromyces rugulosus</i>
	viam144	<i>Penicillium rugulosum</i>
«Иран»	viam64	<i>Ulocladium botrytis</i>
	viam65	<i>Curvularia spicifera</i>
	viam66	<i>Aspergillus niger</i>
	viam67	<i>Aspergillus flavus</i>
	viam68	<i>Fusarium incarnatum</i>

Исследование влияния микромицетов на сохраняемость свойств эмалей проводили в соответствии с ГОСТ 9.049–91, метод 1. Образцы покрытий обрабатывали в отдельности суспензией спор грибов определенной группы (МЦКИ, ГЦКИ, «Иран»). Для этого споры микроскопических грибов в водном растворе в виде суспензии с помощью пульверизатора наносили на всю поверхность образцов ЛКП. Образцы материалов после обработки экспонировали в специальных климатических камерах, поддерживающих определенный температурный и влажностный режим во время всего эксперимента: температура 29 ± 2 °С и относительная влажность воздуха >90 %. После окончания экспонирования образцы материалов осматривали на предмет присутствия на поверхности мицелия и спороношений микромицетов с применением бинокулярного микроскопа. Оценку грибостойкости проводили по шестибалльной шкале ГОСТ 9.048–89 в зависимости от степени развития микромицетов на поверхности покрытий.

По окончании исследований на грибостойкость проводили оценку свойств ЛКП по следующим методикам: определение блеска (ГОСТ 31975–2013) и цвета (цветового различия) эмалей (ГОСТ Р 52490–2005).

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

Результаты и обсуждение

Сначала проведены ускоренные климатические лабораторные испытания образцов эмалей. Изменение цветовых характеристик покрытий связано с выцветанием

пигмента под действием солнечного излучения, а снижение показателей блеска – с выветриванием поверхности образцов под действием песчано-воздушной смеси. Существенный скачок изменения параметра цветового различия (ΔE) наблюдается после воздействия песка и пыли. В среднем воздействие ультрафиолетового излучения вызвало изменение параметра ΔE на 5–15 %, песка и пыли – на 70–90 %, термоциклирования – на 5–10 %. Изменение блеска и цвета являются первичными сигналами деструкции поверхности эмали.

Далее проведены испытания на воздействие микроорганизмов, выделенных в трех климатических зонах: умеренном, умеренно теплом и сухом субтропическом климате.

В группу МЦКИ входят пять штаммов микроскопических грибов, среди которых четыре вида рода *Aspergillus*, такие как *flavus*, *niger* и *terreus*. Эти виды являются известными деструкторами различных типов материалов, в том числе полимерных [22], поэтому их тест-культуры применяются для испытаний неметаллических материалов и изделий на грибостойкость в лабораторных условиях. Еще один гриб из данной группы – это представитель рода *Purpureocillium*, который встречается в различных местах обитания, обладает довольно высокой устойчивостью к изменениям температурного режима и pH, а также может быть контаминантом различных материалов и изделий.

В группу ГЦКИ входят шесть штаммов микромицетов разных видов, из которых наиболее известные деструкторы и контаминанты – это представители родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*. Вид *Alternaria alternata* – известный сапротрофный вид микромицетов, который способен разлагать различные сложные углеводороды. Неоднократно представители этого вида встречались на полимерных покрытиях, но они способны вызывать микробиологические повреждения и других полимерных материалов. Представители вида *Fusarium oxysporum* также отмечены на неметаллических материалах и способны инициировать микробиологические повреждения [22]. Представители вида *Penicillium oxalicum* и *rugulosum* встречаются на широкой номенклатуре различных полимеров в разных районах и обладают широкими возможностями адаптации к разным субстратам. Вид *Talaromyces rugulosus* является синонимом вида *Penicillium rugulosum*.

В группу «Иран» входит пять штаммов микромицетов разных видов, из которых наиболее известные деструкторы и контаминанты – это представители родов *Aspergillus*, *Fusarium*, *Ulocladium*. Штаммы видов *Aspergillus flavus* и *niger* также относятся и к первой группе микромицетов умеренного климата. Как уже отмечено ранее, это очень распространенные грибы с известной деструктивной активностью. Вид *Ulocladium botrytis* довольно распространенный, он встречается в почве и различных помещениях. Иногда колонии этого вида ошибочно принимают за представителей рода *Alternaria* из-за морфологического сходства. Вид *Ulocladium botrytis* является экстремофильным организмом, способен выживать в ксерофильных экосистемах и щелочно-известковых почвах, а также в ассоциации с древесными видами *Scutia buxifolia* [23]. Вид *Fusarium incarnatum* широко распространен в тропических регионах, встречается в почве, чаще всего известен как патоген сельскохозяйственных культур [24]. Представители вида *Curvularia spicifera* наиболее часто известны как сапротрофы на растениях, а также паразиты ряда растительных культур [25, 26].

По результатам микробиологических испытаний отмечено активное развитие (4–5 баллов по ГОСТ 9.048–89) микромицетов всех трех групп (МЦКИ, ГЦКИ, «Иран») на всех образцах эмалей. Проверка адгезионных свойств эмалей ВЭ-69 и ЭП-140 после испытаний на грибостойкость с применением культур грибов из трех климатических зон и ускоренных климатических испытаний изменений не выявила.

Изменение цвета поверхности эмалей после ускоренных климатических испытаний и микробиологического воздействия приведено на диаграммах на рис. 2–5. Видно, что для эмали ВЭ-69 с красным пигментом наблюдаются большие изменения цвета, чем для той же марки эмали, но с серым пигментом. Наибольшее значение цветового различия для эмали ВЭ-69 с красным пигментом отмечено после воздействия режима 3 климатических лабораторных испытаний и микромицетов группы «Иран» (6 усл. ед.), после режима 2 и воздействия микромицетов группы МЦКИ (5,6 усл. ед.). Для серой эмали ВЭ-69 самые большие показатели изменения цвета отмечаются после режима 3 климатических лабораторных испытаний и микромицетов группы МЦКИ (4 усл. ед.). Если сравнивать по интенсивности воздействия группы микромицетов из разных зон, то в большинстве случаев отмечается наибольшее влияние на показатель цвета микромицетов из группы МЦКИ, т. е. для грибов умеренного климата. Как видно из диаграмм на рис. 2–5, в пяти случаях из шести развитие грибов умеренного климата на поверхности образцов после лабораторных климатических испытаний оказало самое большое воздействие на изменение цвета: при режимах 1 и 2 для красной эмали ВЭ-69 и при всех трех режимах для серой эмали ВЭ-69.

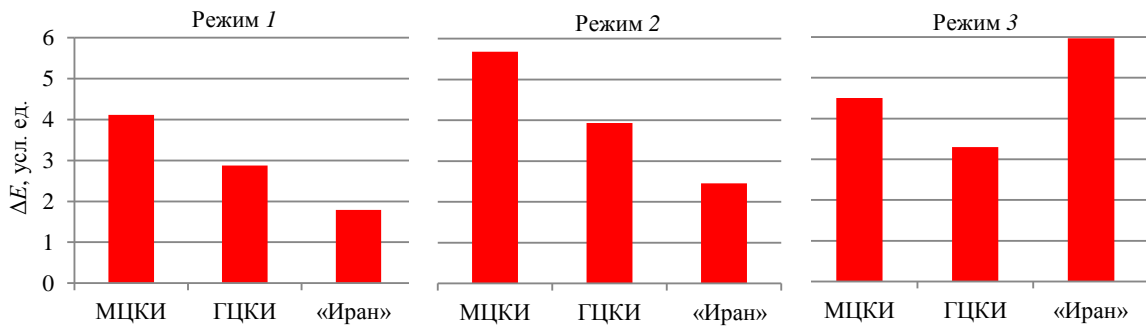


Рис. 2. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

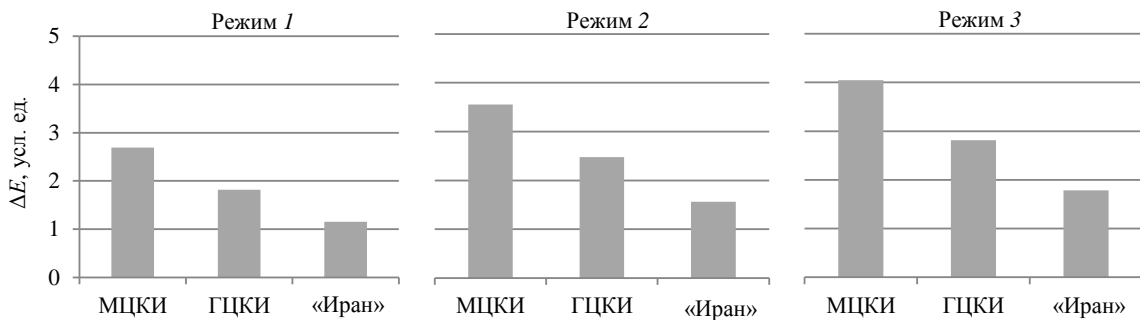


Рис. 3. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

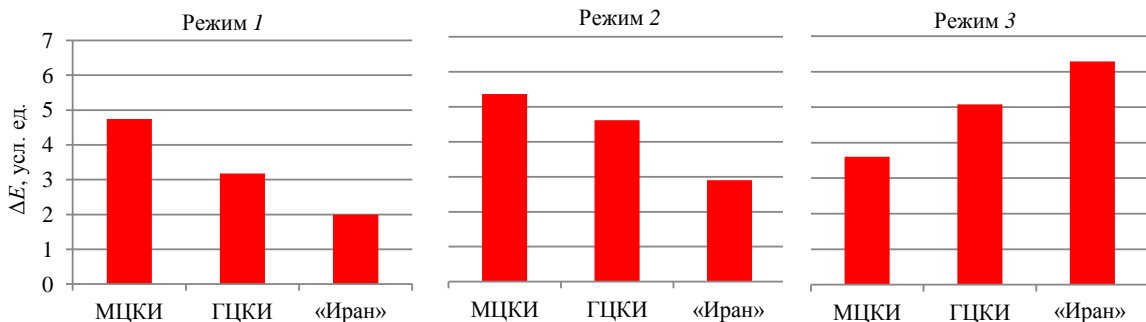


Рис. 4. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

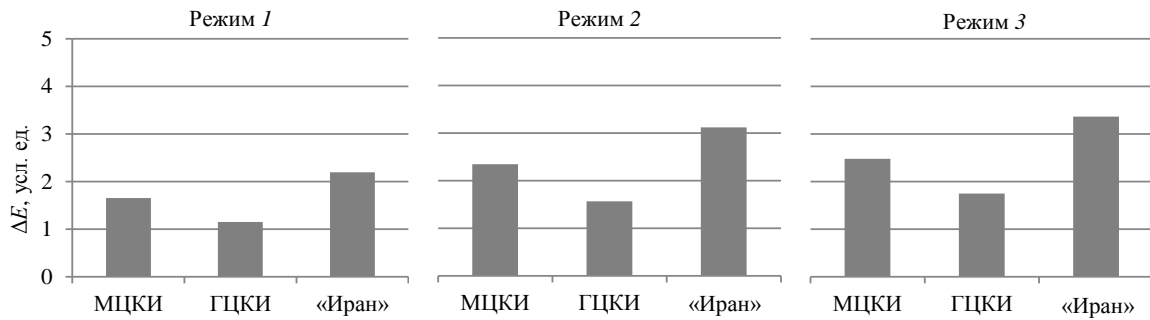


Рис. 5. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

Далее для красной эмали ЭП-140 также наблюдаются бóльшие изменения цвета, чем для этой же марки эмали, но содержащей серый пигмент. Наибольшее значение цветового различия для красной эмали ЭП-140 отмечено после воздействия режима 3 климатических лабораторных испытаний и микромицетов группы «Иран» (6,3 усл. ед.), после режима 2 и воздействия микромицетов группы МЦКИ (5,4 усл. ед.). Для серого покрытия ЭП-140 самое большое изменение цвета отмечается после режимов 2 и 3 и микромицетов группы «Иран» (3,2–3,4 усл. ед.). Что касается сравнения интенсивности воздействия групп микромицетов из разных климатических зон, то в случае покрытия ЭП-140 можно выделить две группы микромицетов, оказавших наибольшее воздействие на показатель изменения цвета – это микромицеты групп МЦКИ и «Иран», т. е. микромицеты умеренного и сухого субтропического климата. В случае красной эмали ЭП-140 наблюдается самое большое воздействие на цвет грибов умеренного климата после режимов 1 и 2, грибов сухого субтропического климата после режима 3. Для образцов серого покрытия ЭП-140 отмечается самое большое изменение цвета после воздействия грибов сухого субтропического климата после всех трех режимов.

Изменение блеска образцов ЛКП после воздействия климатических факторов и микромицетов трех групп приведено на диаграммах на рис. 6–9. Видно, что для красной эмали ВЭ-69 изменения по показателю блеска незначительно различаются между собой при воздействии микроскопических грибов всех трех групп. Величина изменений больше связана с режимом климатических испытаний – так, самые большие изменения блеска отмечены для режима 3 (48–53 %), чуть меньше для режима 2 (40–45 %), наименьшие значения – для режима 1 (25–30 %). Для серой эмали ВЭ-69, напротив, изменения блеска больше отличаются после испытаний на грибостойкость с применением трех групп микроскопических грибов, но более-менее схожи по значениям при трех режимах ускоренных климатических испытаний. Самые большие изменения блеска отмечены после воздействия грибов группы «Иран» (30–44 %), после воздействия микромицетов групп МЦКИ и ГЦКИ значения изменения блеска приблизительно одинаковые: около 20 % – после режимов 1 и 2, 30–33 % – после режима 3.

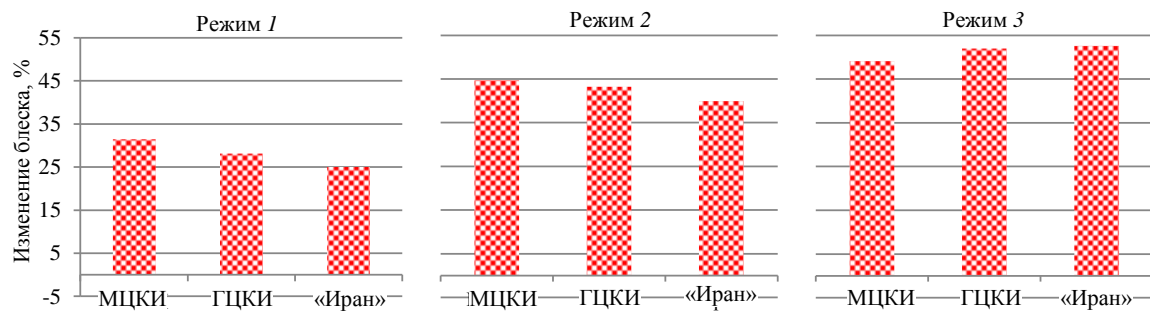


Рис. 6. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

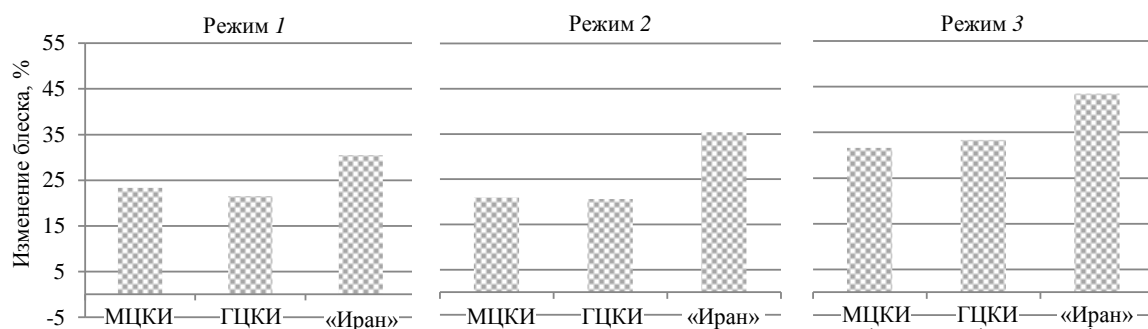


Рис. 7. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

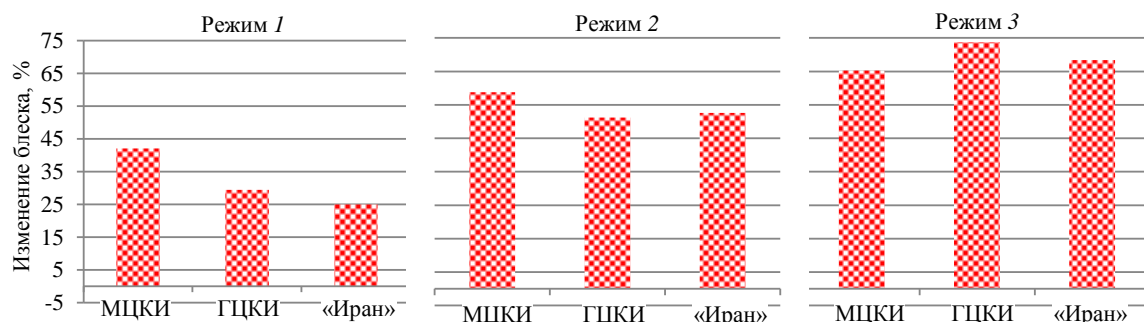


Рис. 8. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

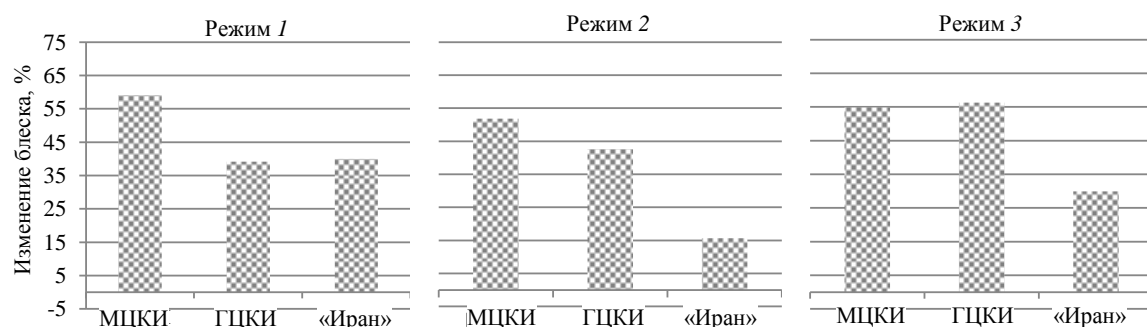


Рис. 9. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом после воздействия климатических факторов и микромицетов из трех климатических зон

Большие изменения показателя блеска отмечены для эмали ЭП-140 в сравнении с предыдущей маркой эмали – ВЭ-69. Так, для красной эмали ЭП-140 эти показатели находятся в диапазоне от 25 до 73 %. Наибольшие значения отмечены после режима 3 (65–73 %), разница между воздействием трех разных групп микромицетов не очень существенная. Для режима 2 показатель изменения блеска находится в диапазоне от 50 до 60 %, разница между воздействием трех разных групп микромицетов также не очень существенная. Для режима 1 показатель изменения блеска находится в диапазоне от 25 до 40 %, при этом самые большие изменения отмечены под воздействием микроскопических грибов группы МЦКИ. Для серой эмали ЭП-140 показатели изменения находятся в диапазоне от 15 до 58 %. Для режима 1 показатель изменения блеска – от 40 до 58 %, при этом наибольшие изменения отмечены под воздействием микромицетов группы МЦКИ. Для режима 2 показатель изменения блеска находится в диапазоне от 15 до 50 %, наибольшие изменения также отмечены после испытаний на грибостойкость с применением микроскопических грибов группы МЦКИ. Для режима 3 показатель изменения блеска – от 30 до 56 %.

Заключения

Исследована сохраняемость свойств эмалей типа ЭП-140 и ВЭ-69 с серым и красным пигментами после серии климатических лабораторных испытаний с последующим определением грибостойкости с применением микроскопических грибов, выделенных в зонах умеренного, умеренно теплого и сухого субтропического климата. Показано, что такой показатель ЛКП, как адгезия эмалей ВЭ-69 и ЭП-140, после проведения ускоренных климатических испытаний и воздействия грибов каждой из трех климатических зон не меняются. Показаны изменения таких свойств, как блеск и цвет. По анализу совокупности полученных данных можно сделать вывод, что наиболее стойкой к воздействию внешних климатических факторов является фторполиуретановая эмаль серого цвета, менее стойкой – эпоксидная эмаль красного цвета, что соответствует наиболее существенному цветовому различию у испытанных образцов. Аналогичный вывод можно сделать по изменению блеска.

Показано, что для красных эмалей ВЭ-69 и ЭП-140 наблюдаются большие изменения цвета, чем для тех же марок, но с серым пигментом. Наиболее значимые изменения цвета эмали ВЭ-69 также отмечены после воздействия микроскопических грибов в умеренном климате. Для эмали ЭП-140 можно выделить две группы микромицетов, оказавших самое большое воздействие на показатель изменения цвета – это микромицеты в умеренном и сухом субтропическом климате. Большие значения изменения блеска отмечены для образцов эмали ЭП-140 в сравнении с образцами эмали ВЭ-69. Изменения по показателю блеска незначительно различаются между собой для испытанных эмалей при воздействии микромицетов из трех климатических зон. Величина изменений блеска больше связана с режимом ускоренных климатических испытаний, предшествующих испытаниям на грибостойкость – наибольшие показатели отмечены для режима 3.

За время проведения испытаний (как ускоренных климатических, так и испытаний на грибостойкость) не выявлено коррозионных повреждений на образцах серых и красных эмалей марок ВЭ-69 и ЭП-140, что свидетельствует о стойкости покрытий на основе данных эмалей на предварительно загрунтованной алюминиевой подложке к влиянию микромицетов и климатических факторов.

Список источников

1. Полякова А.В., Кривушина А.А., Горяшник Ю.С., Бухарев Г.М. Испытания на микробиологическую стойкость в натуральных условиях различных климатических зон // Труды ВИАМ. 2016. № 4 (40). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-11-11.
2. Бузник В.М., Каблов Е.Н. Материалы для освоения Арктики и холодных территорий // Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т. СПб., 2019. Т. 4. С. 21.
3. Каблов Е.Н. Роль фундаментальных исследований при создании материалов нового поколения // Тез. докл. XXI Менделеевского съезда по общей и прикладной химии: в 6 т. СПб., 2019. Т. 4. С. 24.
4. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. 2. Новые подходы к оценке коррозивности приморских атмосфер // Коррозия: материалы, защита. 2016. № 1. С. 1–15.
5. 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). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
6. Старцев О.В., Медведев И.М., Курс М.Г. Твердость как индикатор коррозии алюминиевых сплавов в морских условиях // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 3. С. 16–19.

7. Батраев И.С., Рыбин Д.К., Иванюк К.В., Ульяницкий В.Ю., Штерцер А.А. Износостойкие детонационные покрытия на основе карбида вольфрама для авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 1 (66). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-92-109.
8. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Кодаченко Е.Н., Железняк В.Г. Исследование влияния химической природы грунтового слоя на свойства системы покрытий на основе фторполиуретановой эмали // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 1 (66). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
9. 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: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
10. Меркулова Ю.И., Куршев Е.В., Вдовин А.И., Андреева Н.П. Микроструктурные и электрохимические исследования лакокрасочных покрытий в условиях натуральных климатических испытаний тропического климата Северной Америки // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 2 (67). Ст. 11. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-120-130.
11. Rojas T.I., Aira M.J., Batista A. et al. Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba) // *Grana*. 2012. Vol. 51. Is. 1. P. 44–51.
12. Попихина Е.А., Трепова Е.С. Микодеструкторы строительных материалов // Тез. докл. Четвертого съезда микологов России «Современная микология в России»: в 7 т. М.: Национальная академия микологии, 2017. Т. 6. С. 424–426.
13. Огаркова Г.Р., Буковская Н.Е., Самусенок Л.В., Огарков Б.Н. Биоповреждения пористых строительных материалов ассоциациями специфичных микроорганизмов // Тез. докл. Третьего съезда микологов России «Современная микология в России»: в 3 т. М.: Национальная академия микологии, 2012. Т. 3. С. 224–225.
14. Балюта А.А., Важинская И.С. Стойкость современных строительных материалов к плесневому поражению // Тез. докл. Третьего съезда микологов России «Современная микология в России»: в 3 т. М.: Национальная академия микологии, 2012. Т. 3. С. 210.
15. Катаев А.Д., Кураков А.В. Микробная колонизация и деструкция биоразлагаемых синтетических материалов на основе полигидроксипропаната и полигидроксивалериата в почвах // Тез. докл. третьего съезда микологов России «Современная микология в России»: в 3 т. М.: Национальная академия микологии, 2012. Т. 3. С. 218–219.
16. Гончарова И.А., Сабадаха Е.Н., Тригубович А.М., Черная Н.В. Микологический анализ промышленных материалов, контаминированных микроскопическими грибами // *Труды БГТУ*. Сер.: 2.2020. № 2. С. 163–168.
17. Смоляницкая О.Л. Микромицеты как потенциальные агенты биоповреждения культурных ценностей и стратегия защиты от них в Государственном Эрмитаже: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2007. 26 с.
18. Севастьянов Д.В., Сутубалов И.В., Дасковский М.И., Шеин Е.А. Полимерные биокомпозиты на основе биоразлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 4 (49). С. 42–50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50.
19. Горяева А.Г., Великова Т.Д., Добрусина С.А. Микобиота воздуха и композитов бумаги с полимерными покрытиями в Российской национальной библиотеке // *Микология и фитопатология*. 2010. № 44 (1). С. 10–18.
20. Антипов В.В., Кривушина А.А., Старцев В.О., Коган А.М. Исследование свойств лакокрасочных покрытий после воздействия микромицетов умеренного и умеренно теплого климата // *Труды ВИАМ*. 2023. № 6 (124). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 04.04.2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-130-141.
21. Кривушина А.А., Бобырева Т.В., Яковенко Т.В., Николаев Е.В. Методы хранения микроорганизмов-деструкторов в коллекции ФГУП «ВИАМ» (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 3 (56). С. 89–94. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-3-89-94.
22. Лугаускас А.Ю., Микульскене А.И., Шляужене Д.Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов. М.: Наука, 1987. С. 258–259.

23. Saparrat M.C.N., Arambarri A.M., Balatti P.A. Growth response and extracellular enzyme activity of *Ulocladium botrytis* LPSC 813 cultured on carboxy-methylcellulose under a pH range // *Biology and Fertility of soils*. 2007. Vol. 44. P. 383–386. DOI: 10.1007/s00374-007-0217-7.
24. Lu Y., Qiu J., Wang S. et al. Species diversity and toxigenic potential of *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex isolates from rice and soybean in China // *Plant Disease*. 2021. Vol. 105. No. 9. P. 2628–2636. DOI: 10.1094/PDIS-09-20-1907-RE.
25. Пидопличко Н.М. Грибы-паразиты культурных растений: Определитель: в 3 т. Киев: Наукова думка, 1977. Т. 2. С. 140–142.
26. Manamgoda D.S., Cai L., McKenzie E.H.C. et al. A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the *Bipolaris* – *Cochliobolus* – *Curvularia* Complex // *Fungal Diversity*. 2012. Vol. 56. P. 131–144. DOI: 10.1007/s13225-012-0189-2.

References

1. Polyakova A.V., Krivushina A.A., Goryashnik Yu.S., Buharev G.M. Microbiological resistance tests under nature conditions in variety of climatic zones. *Trudy VIAM*, 2016, no. 4, paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-11-11.
2. Buznik V.M., Kablov E.N. Materials for the development of the Arctic and cold territories. *Reports XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 21.
3. Kablov E.N. The role of fundamental research in the creation of new generation materials. *Reports XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 24.
4. Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. Corrosive aggressiveness of the coastal atmosphere. 2. New approaches to assessing the corrosivity of coastal atmospheres. *Korroziya: materialy, zashchita*, 2016, no. 1, pp. 1–15.
5. 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), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2071-9140-2021-0-4-70-80.
6. Startsev O.V., Medvedev I.M., Kurs M.G. Hardness as the indicator of corrosion of aluminum alloys in sea conditions. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 3, pp. 16–19.
7. Batraev I.S., Rybin D.K., Ivanyuk K.V., Ulianitsky V.Yu., Shtertser A.A. Wear resistant detonation coatings based on tungsten carbide for aviation products. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-92-109.
8. Merkulova Yu.I., Kuznetsova V.A., Kodachenko E.N., Zheleznyak V.G. Study of the influence of the primer layer's chemical nature on the properties of the coating system based on fluoropolyurethane enamel. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
9. 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: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
10. Merkulova Yu.I., Kurshev E.V., Vdovin A.I., Andreeva N.P. Microstructural and electrochemical studies of paint coatings under natural climate tests of tropical climate of North America. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 2 (67), paper no. 11. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-120-130.
11. Rojas T.I., Aira M.J., Batista A. et al. Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba). *Grana*, 2012, vol. 51, is. 1, pp. 44–51.
12. Popikhina E.A., Trepova E.S. Microdestructors of building materials. *Reports Fourth Congress of Russian Mycologists «Modern Mycology in Russia»*: in 7 vols. Moscow: National Academy of Mycology, 2017, vol. 6, pp. 424–426.
13. Ogarkova G.R., Bukovskaya N.E., Samusenok L.V., Ogarkov B.N. Biodamage of porous building materials by associations of specific microorganisms. *Reports Third Congress of Russian Mycologists «Modern Mycology in Russia»*: in 3 vols. Moscow: National Academy of Mycology, 2012, vol. 3, pp. 224–225.

14. Balyuta A.A., Vazhinskaya I.S. Resistance of modern building materials to mold damage. *Reports Third Congress of Russian Mycologists «Modern Mycology in Russia»*: in 3 vols. Moscow: National Academy of Mycology, 2012, vol. 3, p. 210.
15. Kataev A.D., Kurakov A.V. Microbial colonization and destruction of biodegradable synthetic materials based on polyhydroxybutyrate and polyhydroxyvalerate in soils. *Reports Third Congress of Russian Mycologists «Modern Mycology in Russia»*: in 3 vols. Moscow: National Academy of Mycology, 2012, vol. 3, pp. 218–219.
16. Goncharova I.A., Sabadakha E.N., Trigubovich A.M., Chernaya N.V. Mycological analysis of industrial materials contaminated with microscopic fungi. *Trudy BGTU. Ser.: 2*, 2020, no. 2, pp. 163–168.
17. Smolyanitskaya O.L. *Micromycetes as potential agents of biodamage to cultural property and a strategy for protecting against them in the State Hermitage*: thesis abstracts, Cand. Sc. (Bio.). St. Petersburg, 2007, 26 p.
18. Sevastyanov D.V., Sutubalov I.V., Daskovskij M.I., Shein E.A. Polymer biocomposites based on biodegradable binders reinforced by natural fibers (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 42–50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50.
19. Goryaeva A.G., Velikova T.D., Dobrusina S.A. Mycobiota of air and paper composites with polymer coatings in the Russian National Library. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2010, no. 44 (1), pp. 10–18.
20. Antipov V.V., Krivushina A.A., Startsev V.O., Kogan A.M. Study of the paint coatings properties after impact of micromycetes in a moderate and moderate warm climate. *Trudy VIAM*, 2023, no. 6 (124), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: April 04, 2024). DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-130-141.
21. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Yakovenko T.V., Nikolaev E.V. Methods of microorganisms- destructors storage in FSUE «VIAM» collection (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2019, no. 3 (56), pp. 89–94. DOI: 10.18577 / 2071-9140-2019-0-3-89-94.
22. Lugauskas A.Yu., Mikulskienė A.I., Shlauzhenė D.Yu. *Catalog of micromycetes – biodestructors of polymer materials*. Moscow: Nauka, 1987, pp. 258–259.
23. Saparrat M.C.N., Arambarri A.M., Balatti P.A. Growth response and extracellular enzyme activity of *Ulocladium botrytis* LPSC 813 cultured on carboxy-methylcellulose under a pH range. *Biology and Fertility of soils*, 2007, vol. 44, pp. 383–386. DOI: 10.1007/s00374-007-0217-7.
24. Lu Y., Qiu J., Wang S. et al. Species diversity and toxigenic potential of *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex isolates from rice and soybean in China. *Plant Disease*, 2021, vol. 105, no. 9, pp. 2628–2636. DOI: 10.1094/PDIS-09-20-1907-RE.
25. Pidoplichko N.M. *Fungi-parasites of cultivated plants: Key*: in 3 vols. Kyiv: Naukova Dumka, 1977, vol. 2, pp. 140–142.
26. Manamgoda D.S., Cai L., McKenzie E.H.C. et al. A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the *Bipolaris – Cochliobolus – Curvularia* Complex. *Fungal Diversity*, 2012, vol. 56, pp. 131–144. DOI: 10.1007/s13225-012-0189-2.

Информация об авторах

Кривушина Анастасия Александровна, старший научный сотрудник, к.б.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Коган Алексей Маркович, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Старцев Валерий Олегович, начальник лаборатории, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Anastasia A. Krivushina, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Bio.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleksey M. Kogan, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Valery O. Startsev, Head of Laboratory, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 31.05.2024; одобрена и принята к публикации после рецензирования 10.06.2024.
The article was submitted 31.05.2024; approved and accepted for publication after reviewing 10.06.2024.