

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-3-157-166

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ,
ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ
ГИДРОКСИЛСОДЕРЖАЩИХ АКРИЛАТНЫХ СОПОЛИМЕРОВ***А.С. Сердцелюбова¹, П.В. Кондаков¹, С.А. Пономаренко¹*

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

Аннотация. Представлены результаты исследования модельных лакокрасочных композиций на основе экспериментальных гидроксилсодержащих органорастворимых акрилатных сополимеров. Проведена оценка химического состава полимерной матрицы методом газовой хромато-масс-спектрометрии, определены технологические свойства составов, анализ физико-механических и декоративных свойств покрытий на их основе, исследована кинетика их отверждения. Определена возможность применения исследуемых сополимеров в составе лакокрасочных материалов для получения покрытий, эксплуатируемых в условиях открытой атмосферы.

Ключевые слова: защитные покрытия, лакокрасочные материалы, акрилатные сополимеры, акрилатные эмали, акрилуретановые материалы, пленкообразующие, пиролитическая хроматография

Для цитирования: Сердцелюбова А.С., Кондаков П.В., Пономаренко С.А. Исследование свойств лакокрасочных покрытий, полученных на основе модельных композиций гидроксилсодержащих акрилатных сополимеров // Труды ВИАМ. 2026. № 3 (157). С. 157–166. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-3-157-166.

Scientific article

**STUDYING THE PROPERTIES OF PAINT AND VARNISH COATINGS BASED
OF HYDROXYL-CONTAINING ACRYLATE COPOLYMERS***A.S. Serdtselyubova¹, P.V. Kondakov¹, S.A. Ponomarenko¹*

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 article presents the study results of model paint and varnish compositions based on experimental hydroxyl-containing organosoluble acrylate copolymers. The chemical composition of the polymer matrix was assessed using gas chromatography-mass spectrometry, was determined the technological properties of the compositions, as well as physical, mechanical and decorative properties of coatings based on them, analyzed kinetics of curing. The possibility of using the studied copolymers in composition of paints and varnishes for obtaining coatings used in atmosphere conditions was determined.

Keywords: protective coatings, paints and varnishes, acrylate copolymers, acrylate enamels, acrylic urethane materials, film-forming, pyrolytic chromatography

For citation: Serdtselyubova A.S., Kondakov P.V., Ponomarenko S.A. Studying the properties of paint and varnish coatings based of hydroxyl-containing acrylate copolymers. *Trudy VIAM*, 2026, no. 3 (157), pp. 157–166. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-3-157-166.

Введение

В связи с интенсификацией выпуска отечественных изделий авиационной техники гражданского и военного назначения совершенствуется и развивается авиационное материаловедение, а вместе с этим и материалы функционального назначения [1–3]. В качестве защитных покрытий для изделий авиационной техники применяют широкий спектр материалов различного химического состава, исходя из области применения той или иной конструкции, а также условий ее эксплуатации и интенсивности воздействующих факторов, таких как абразивный износ, ультрафиолетовое излучение, влажность, рабочие жидкости, ударные нагрузки и влияние коррозионно-активной среды [4, 5].

При создании полимерных защитных покрытий для авиационной техники основополагающим принципом является комплексный подход к разработке состава и технологии его применения в конкретных деталях или конструкциях, обладающих требуемыми свойствами в заданных условиях эксплуатации [6–9].

В настоящее время в условиях нестабильного рынка химической продукции расширение компонентной базы, поиск новых модификаторов и пленкообразующих систем для лакокрасочных материалов (ЛКМ) – актуальные задачи для разработчиков защитных лакокрасочных покрытий (ЛКП).

Весьма востребованным классом пленкообразующих соединений для атмосферостойких защитных ЛКМ, применяемых для окраски внешней поверхности воздушных судов, являются акриловые смолы и их производные – полиакрилатные дисперсии [10]. Эти композиции представляют собой растворы полимеров, получаемые методом радикальной полимеризации акриловых мономеров – реакционноспособных сложных эфиров акриловой или метакриловой кислот. Широкий ассортимент материалов на основе акриловых смол получают путем сополимеризации с неакриловыми мономерами, такими как, например, стирол или малеиновый ангидрид. Соплимеризация акрилатов со стиролом – достаточно частый химический процесс синтеза современных пленкообразующих. По сравнению с акриловыми мономерами стирол имеет низкую стоимость и вместе с тем придает покрытиям повышенную твердость, гидрофобность и химическую стойкость, однако приводит к склонности покрытий к пожелтению и мелению наряду с увеличением хрупкости [11].

Для формирования покрытий из гидроксилсодержащих акриловых смол в условиях комнатной температуры применяют изоцианатные отвердители [12].

Хорошая совместимость с рядом других смол и пластификаторов, а также легкая растворимость во многих растворителях способствовали распространению акриловых смол в качестве пленкообразующей основы при разработке ЛКМ для защитной и декоративной окраски изделий авиационной техники. Так, ранее специалистами ВИАМ синтезированы акриловые сополимеры, на основе которых разработаны лаки марок АК-113, АК-113Ф, АС-16 и АС-82 для окраски внешней поверхности первых реактивных самолетов, а также эмаль марки АС-1115, обладающая повышенной атмосферостойкостью. Сотрудничество с производственным объединением «Оргстекло» привело к разработке гидроксилсодержащего акрилового сополимера, а позднее с его применением была создана эмаль марки АК-1206. Кроме того, известны грунтовки марок АК-069 и АК-070, предназначенные для грунтования собранных изделий перед финишной окраской [13].

В данной работе проведено исследование модельных лакокрасочных композиций на основе экспериментальных гидроксилсодержащих органорастворимых акрилатных сополимеров. Проведен качественный анализ химического состава полимерной матрицы методом газовой хромато-масс-спектрометрии, определены технологические свойства модельных композиций, представлен анализ физико-механических и декоративных свойств покрытий на их основе, исследована кинетика отверждения.

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

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны органорастворимые гидроксилсодержащие акрилатные сополимеры, отверждаемые полиизоцианатами. Свойства сополимеров представлены в табл. 1. Химический состав сополимеров неизвестен, поскольку они являются экспериментальными и предоставлены для опробования в технологии изготовления новых ЛКМ. Данные акрилатные сополимеры послужили пленкообразующей основой для получения модельных лакокрасочных композиций, состав которых приведен в табл. 2.

Таблица 1

Свойства гидроксилсодержащих акрилатных сополимеров

Свойства	Значения свойств для образцов сополимеров	
	1	2
Содержание ОН-групп в расчете на 100 % сополимера	2,6	1,8
Содержание нелетучих веществ, % (по массе)	60	61
Условная вязкость по ВЗ-246 с диаметром сопла 6 мм, с	160	175
Цвет по йодометрической шкале, мг J ₂ /100 см ³ (не более)	3	3
Кислотное число, мг КОН/г (среднее значение)	3,5	3,5
Внешний вид	Вязкая прозрачная жидкость	
Растворимость	В ацетатах, кетонах, ароматических углеводородах	

Таблица 2

Состав лакокрасочных композиций

Компонент	Описание
Пленкообразующее	Гидроксилсодержащий акрилатный сополимер
Растворитель	Углеводород ароматического ряда
Дисперсная фаза	Диоксид титана рутильной модификации со средней дисперсностью 15 мкм
Отвердитель	Раствор изоцианата в органическом растворителе с содержанием изоцианатных групп 15,5–17,0 % (по массе)
Катализатор уретанообразования	Оловоорганическое соединение в растворной форме

Для получения композиций выполняли диспергирование смеси с применением автоматизированного оборудования с керамическими мелющими телами при скорости вращения перемешивающего устройства 500–700 об/мин в течение 2 ч.

Перед формированием покрытий в композиции вводили рассчитанное количество отвердителя с учетом стехиометрических соотношений.

Для формирования покрытий композиции разбавляли органическим растворителем до значений рабочей вязкости, отвечающих времени истечения 15–23 с по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм. Нанесение композиций выполняли методом пневматического распыления на предварительно очищенную и обезжиренную поверхность. Отверждение покрытий проводили при температуре 18–22 °С. Толщина образцов сформированной пленки составила от 20 до 30 мкм.

Исследования покрытий на основе модельных полимерных композиций выполняли с применением следующих методик.

Время высыхания композиций определяли в соответствии с ГОСТ 19007–2023 путем установления времени до достижения ЛКП степени высыхания 3 при воздействии нагрузки массой 200 г.

Для определения времени жизнеспособности в композицию добавляли рассчитанное стехиометрически количество отвердителя с катализатором, доводили до рабочей вязкости, перемешивали, после чего емкость закрывали и оставляли на заданное время при температуре 18–22 °С. Через каждый час проводили оценку рабочей вязкости системы. За время жизнеспособности принимали время, по истечении которого рабочая вязкость системы увеличилась не более чем в 2 раза.

Испытания, имитирующие воздействие погодных условий, проводили в камере ускоренного старения с ультрафиолетовыми лампами мощностью 1,8 кВт в качестве источника света при следующем режиме: облучение лампами при температуре 60 °С с интенсивностью излучения 0,66 Вт/м² в течение 4 ч, конденсация влаги при температуре 50 °С в течение 4 ч. Данный режим повторяли циклично в течение 1000 ч.

Адгезию покрытий к подложке из алюминиевого сплава определяли методом решетчатых надрезов с липкой лентой по ГОСТ 31149–2014.

Оценку внешнего вида ЛКП после экспозиции в камере ускоренного старения проводили посредством измерения цветового различия в соответствии с ГОСТ Р 71216–2024 с помощью портативного спектрофотометра типа Spectro-guide под углом 60 градусов, а также измерения блеска в соответствии с ГОСТ 31975–2017 с помощью портативного блескомера под углом 60 градусов.

Физико-механические свойства определяли с применением следующих стандартов.

Показатель	Нормативный документ
Эластичность при изгибе (ШГ-1)	ГОСТ 6806–2024
Твердость (маятник Б)	ГОСТ 5233–2021
Прочность при ударе (на приборе У-1)	ГОСТ 4765–2024

Качественный анализ химического состава полимерной матрицы сополимеров выполняли методом пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии.

Результаты и обсуждение

При выполнении окрасочных работ важное значение имеют технологические параметры ЛКМ, такие как время высыхания и время жизнеспособности. Данные показатели определяют длительность производственного цикла окраски изделия и вместе с тем косвенно позволяют охарактеризовать интенсивность взаимодействия компонентов ЛКМ. На рис. 1 представлены результаты оценки времени высыхания и времени жизнеспособности лакокрасочных композиций на основе образцов сополимеров 1 и 2.

Установлено, что достижение покрытиями степени высыхания 3 происходит не ранее чем через 48 ч. В связи с этим важно вводить каталитический агент для сокращения этого времени.

Присутствие в сополимерах гидроксильных групп определяет возможность образования сшитой структуры благодаря полимеризационным процессам. Известно, что эффективными катализаторами реакции уретанообразования являются электрофильные реагенты, такие как соединения четырех- и двухвалентного олова [14]. В данном случае применяли раствор дибутилдилаурата олова. Кроме того, с целью установления оптимальной концентрации катализатора в композициях произведена оценка влияния различных дозировок катализатора на сочетание двух технологических показателей: времени высыхания и времени жизнеспособности. Установлено, что введение 4,0–5,0 % (по массе) раствора катализатора в композицию позволяет достичь высыхания ЛКП на уровне 4 ч до степени 3 и обеспечить продолжительность жизнеспособности системы

до 7 ч. В пределах диапазонов концентраций катализатора, приведенных на диаграммах (рис. 1), влияние на технологические показатели модельных композиций является несущественным.

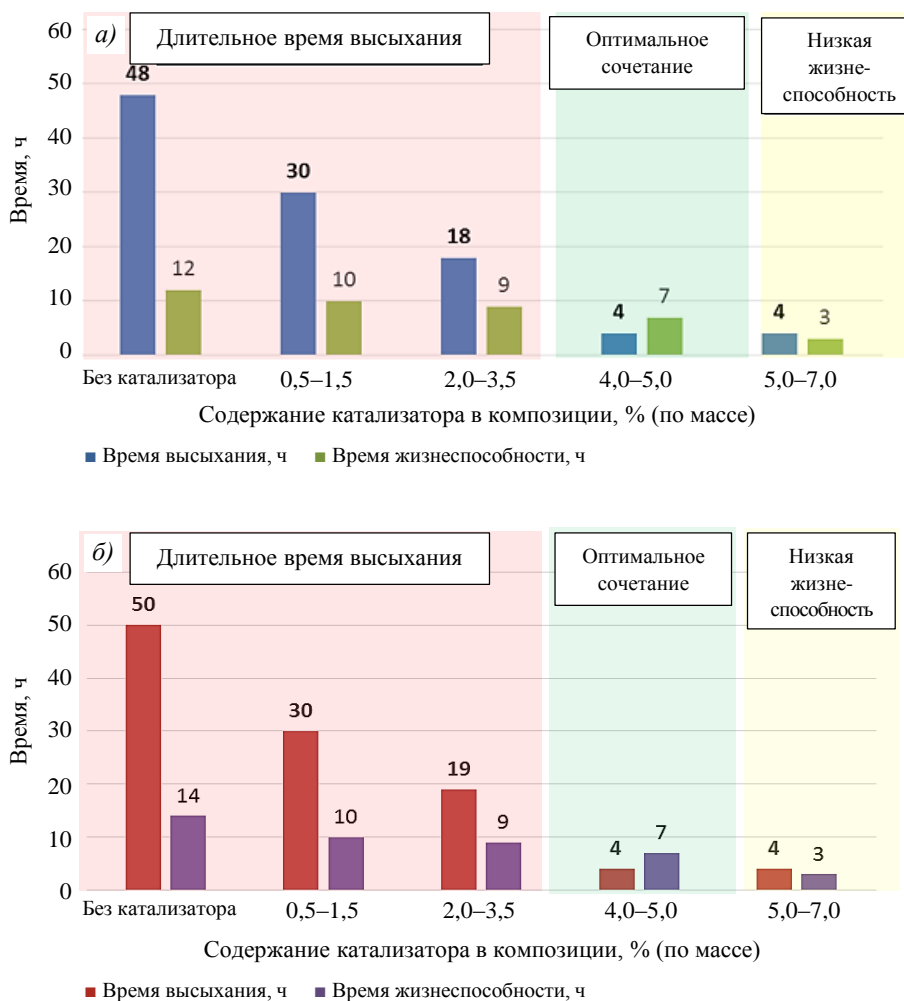


Рис. 1. Оценка времени высыхания и времени жизнеспособности лакокрасочных композиций на основе сополимеров 1 (а) и 2 (б)

Вместе с тем кинетика отверждения покрытий неодинакова. На рис. 2 представлены результаты изменения твердости покрытий на основе лакокрасочных композиций с течением времени. В качестве сравнения приведены данные изменения твердости ЛКП на основе акрилуретановой эмали, серийно применяемой для окраски изделий авиационной техники.

Установлено, что в первые сутки формирования покрытие на основе образца сополимера 1 достигает более высокого значения твердости по сравнению с покрытием, полученным на основе образца сополимера 2.

Обнаруженный эффект удалось объяснить путем оценки химического состава полимерной матрицы образцов сополимеров методом пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии и сопоставлением полученных данных [15, 16]. На рис. 3 представлены пиетрограммы образцов, полученные методом пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии. В результате анализа установлено, что основными продуктами пиролиза в составе пиролизатов обоих образцов сополимеров являются стирол, ксилол (этилбензол) и бутилен, а также углекислый газ, пропилен и этилен.

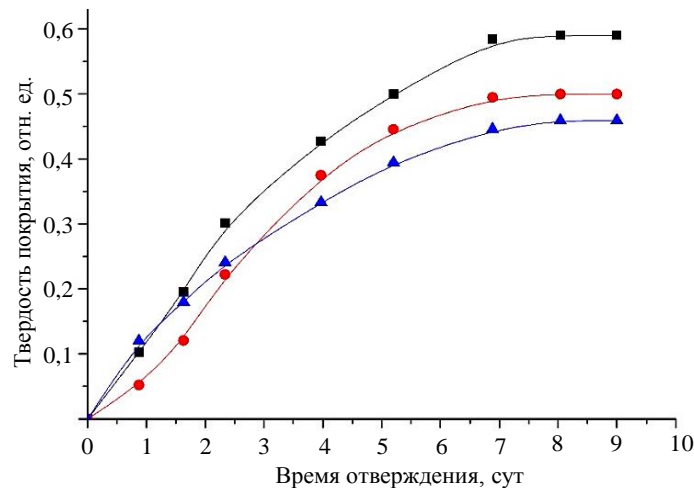


Рис. 2. Кинетика отверждения лакокрасочных покрытий на основе образцов композиций сополимеров 1 (■) и 2 (●) и серийной акрилуретановой эмали (▲)

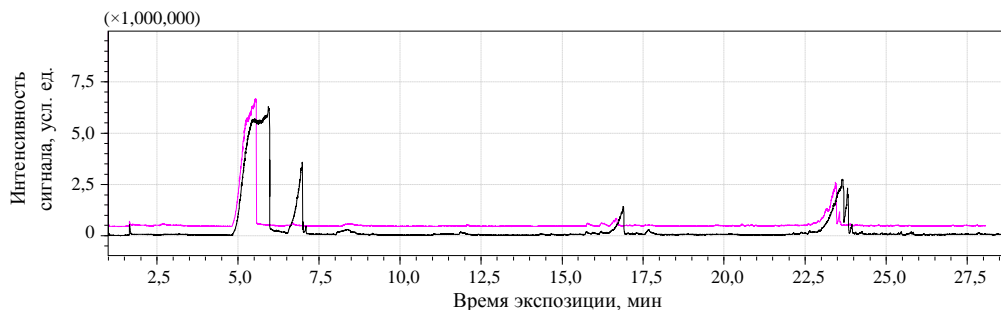


Рис. 3. Пирограммы образцов сополимеров 1 (—) и 2 (—)

Исследование состава пиролизата образца сополимера 1 показывает, что основными соединениями являются стирол, ксилол (этилбензол), бутилакрилат, а также небольшие количества димера (тримера) стирола и продукта взаимодействия бутилакрилата и димера стирола. Кроме того, на пирограмме заметно присутствие соединений с фрагментами метакрилатов – предположительно гидроксипропилметакрилата или гидроксиизопропилметакрилата. В составе пиролизата этого образца среди мономеров наблюдается преобладание стирола и ксилола (этилбензола), несмотря на заметную долю продукта взаимодействия димера стирола с бутилакрилатом, что также позволяет предположить высокую долю стирольных звеньев в составе полимерной матрицы образца – на уровне 80–85 %. Содержание гидроксилсодержащих звеньев оценивается в 1–2 %.

Результаты исследования состава пиролизата позволяют предположить, что образец сополимера 1 является продуктом сополимеризации стирола и бутилакрилата с присутствием звеньев гидроксипропилметакрилата или гидроксиизопропилметакрилата.

На пирограмме образца сополимера 2 присутствуют пики, соответствующие стиrolу, ксилолу (этилбензолу), бутилметакрилату, бутилакрилату, а также димерам и тримерам стирола, в том числе продукту взаимодействия бутилакрилата и димера стирола.

При внимательном рассмотрении на пирограмме можно заметить присутствие соединений с фрагментами метакрилатов – предположительно гидроксипропилметакрилата или эфира метакриловой кислоты и олигомера этиленгликоля. Результаты исследования состава пиролизата позволяют предположить, что образец 2 является сополимером на основе стирола и бутилметакрилата с присутствием звеньев гидроксипропилметакрилата или эфира метакриловой кислоты и олигомера этиленгликоля по нескольким пикам с характерной полосой поглощения $m/z = 89$. Преобладание в составе продуктов

пиролиза стирола и ксилола (этилбензола) среди предполагаемых мономеров (несмотря на заметную долю продукта взаимодействия димера стирола с бутилакрилатом по отношению к тримеру стирола) позволяет предположить преимущественное присутствие стирольных звеньев в составе полимерной матрицы образца – на уровне 80–85 %. Содержание гидроксилсодержащих звеньев оценивается в 1–2 %.

Установлено, что образец сополимера 2 представляет собой продукт сополимеризации бутилметакрилата и стирола с добавкой гидроксиэтилметакрилата или эфира метакриловой кислоты и олигомера этиленгликоля с фрагментами бутилакрилата.

Таким образом, с помощью качественного анализа химического состава образцов методом пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии подтверждена акрилатная природа образцов исследуемых сополимеров. Основное их отличие заключается предположительно в составе присутствующих гидроксилсодержащих компонентов: в сополимере 1 – фрагментов гидроксипропилметакрилата или гидроксиизопропилметакрилата, в сополимере 2 – эфира метакриловой кислоты и олигомера этиленгликоля.

Сопоставление полученных результатов позволяет объяснить причину неодинаковых значений твердости покрытий, полученных с применением образцов сополимеров. Известны способы использования сополимеров этиленгликоля с различной степенью полимеризации в качестве пластификаторов полимеров с целью повышения эластических свойств и снижения температуры стеклования [17, 18]. В результате такая модификация позволяет повысить пластичность полимерных звеньев, вместе с тем сохраняя прочностные характеристики. Таким образом, содержание олигомера этиленгликоля в образце сополимера 2 приводит к пониженным значениям твердости покрытия на его основе по сравнению с образцом на основе сополимера 1. Кроме того, проведены испытания физико-механических свойств и адгезии покрытий на основе модельных композиций и серийно применяемой акрилуретановой эмали. В табл. 3 приведены результаты испытаний.

Установлено, что основные физико-механические показатели и адгезия покрытий на основе модельных лакокрасочных композиций находятся на уровне, соответствующем серийно применяемой акрилуретановой эмали.

Таблица 3

Результаты определения физико-механических свойств и адгезии покрытий

Свойства	Значения свойств для композиции на основе		
	образца сополимера		серийной акрилуретановой эмали
	1	2	
Адгезия к алюминиевому сплаву, балл	0	0	0
Прочность при ударе, см	50	50	50
Эластичность при изгибе, мм	1	1	1

Для оценки потенциальной возможности применения исследуемых сополимеров в составе ЛКМ, эксплуатируемых в условиях открытой атмосферы, проведена экспозиция образцов покрытий в камере искусственных погодных условий и последующая оценка изменения цветовых характеристик и снижения блеска. Результаты представлены на рис. 4.

Установлено, что после ускоренных испытаний образцы ЛКП на основе модельных композиций экспериментальных гидроксилсодержащих акрилатных сополимеров характеризуются едва различимым изменением цвета (ΔE – не более 3). Происходит снижение блеска на 20–25 %, вместе с тем по данному показателю ЛКП на основе исследуемых сополимеров превосходят покрытие на основе серийно применяемой эмали.

Полученные данные позволяют сделать заключение о возможности применения экспериментальных сополимеров при разработке и изготовлении ЛКМ. Вместе с тем для дальнейшего исследования свойств покрытий на их основе важно применять другие методы качественного анализа состава пленкообразующих, в том числе метода инфракрасной спектроскопии.

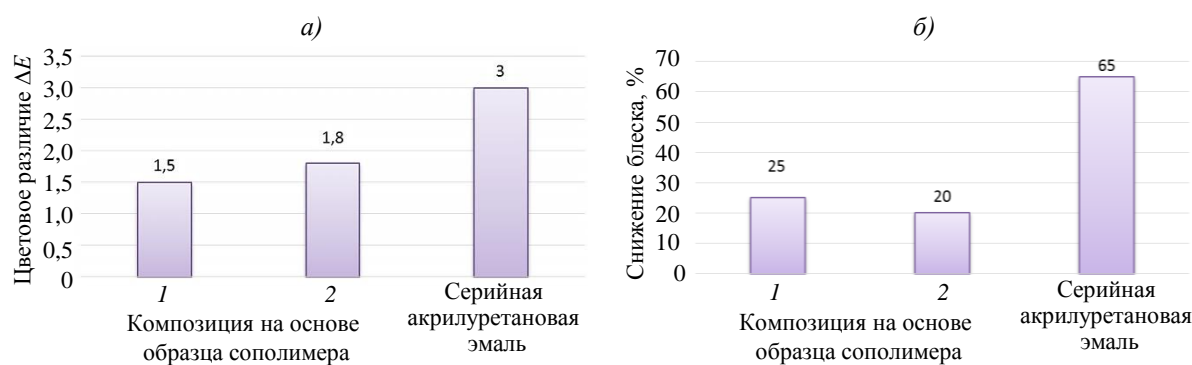


Рис. 4. Изменение цвета (а) и снижение блеска (б) образцов лакокрасочных покрытий после ускоренных испытаний

Заключения

Для достижения оптимального сочетания технологических свойств модельных лакокрасочных композиций на основе экспериментальных гидроксилсодержащих акрилатных сополимеров определена концентрация каталитической системы с 4,0–5,0 % (по массе) раствора катализатора.

Методом пиролитической газовой хромато-масс-спектрометрии исследован химический состав экспериментальных образцов. Ключевым отличием составов образцов является присутствие в образце сополимера 2 олигомера этиленгликоля, который в модельных лакокрасочных композициях проявляет функцию модификатора, повышающего эластические свойства покрытия.

Установлено, что основные физико-механические показатели и адгезия покрытий на основе исследуемых экспериментальных гидроксилсодержащих акрилатных сополимеров находятся на уровне, соответствующем уровню показателей для серийно применяемой акрилуретановой эмали.

Показано, что исследуемые экспериментальные сополимеры могут потенциально применяться в составе ЛКМ для получения покрытий, эксплуатируемых в условиях открытой атмосферы.

Список источников

1. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник Российской академии наук. 2020. Т. 90. № 4. С. 331–334.
2. 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.
3. Каблов Е.Н. Роль государственных научных центров РФ в обеспечении национальной безопасности страны // Перспективные технологии для систем безопасности. 2023. № 1. С. 4–9.
4. Ерофеев В.Т., Смирнов И.В., Воронов П.В., Афонин В.В., Каблов Е.Н. и др. Исследование стойкости полимерных покрытий в условиях воздействия климатических факторов черноморского побережья // Фундаментальные исследования. 2016. № 11-5. С. 911–924.
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. Горбовец М.А., Николаев Е.В., Старцев В.О. Климатические испытания материалов для Арктики. Часть 1. Требования к материалам // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 4 (77). С. 180–188. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 20.04.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-180-188.

7. 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: 17.04.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
8. Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Загора А.Г., Куршев Е.В. Исследование параметров отверждения и защитной способности системы покрытия типа «база/лак» для окраски внешней поверхности авиационной техники // *Авиационные материалы и технологии*. 2023. № 1 (70). С. 93–104. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-93-104.
9. Горбовец М.А., Николаев Е.В., Старцев В.О. Климатические испытания материалов для Арктики. Часть 2. Требования к испытаниям // *Авиационные материалы и технологии*. 2025. № 1 (78). С. 138–147. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 15.04.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-1-138-147.
10. Абросимова Л.Ф., Шакирова О.Г. Антикоррозионный лакокрасочный материал на основе акриловых сополимеров // *Евразийский Союз Ученых*. 2016. № 1 (22). С. 21–23.
11. Мураткина Е.Е. Акриловые сополимеры в производстве ЛКМ для разметки дорог // *Вестник Казанского технологического университета*. 2009. № 1-2. С. 15–17.
12. Брок Т., Гротеклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / под ред. У. Цорля. М.: Пейнт-Медиа, 2007. 548 с.
13. Кондрашов Э.К., Семенова Л.В., Кузнецова В.А. и др. Развитие авиационных лакокрасочных материалов // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2012. № 5. С. 49–55.
14. Швец Н.И., Застрогина О.Б., Минаков В.Т., Матвеева И.А. Влияние карбоксилатов олова на процесс отверждения олигомерного кремнийорганического связующего и свойства трехмерно-армированного материала на его основе // *Авиационные материалы и технологии*. 2016. № 2 (41). С. 40–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-40-44.
15. Пономаренко С.А., Шимкин А.А. Хроматографические методы анализа: возможности применения в авиационной промышленности (обзор) // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2017. № 83 (4). С. 5–13.
16. ГОСТ 28614–90 (ИСО 7270-87). Резина. Идентификация полимеров (отдельных полимеров и смесей) методом пиролитической газовой хроматографии. М.: Изд-во стандартов, 1990. 11 с.
17. Шарабанова И.А., Спиридонова Р.Р., Кочнев А.М. Влияние олигомеров этиленгликоля на свойства полиамидэфиров // *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. № 23. С. 104–108.
18. Коваленко Л.Г. Модифицирование реакционноспособных олигомеров блокированными изоцианатами // *Пластмассы*. 1986. № 11. С. 34–37.

References

1. Kablov E.N. New Generation Materials and Digital Technologies for Their Processing. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2020, vol. 90, no. 4, pp. 331–334.
2. Kablov E.N. The Role of Fundamental Research in the Creation of New Generation Materials. *Reports of the XXI Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*: in 6 vols. St. Petersburg, 2019, vol. 4, p. 24.
3. Kablov E.N. The Role of State Research Centers of the Russian Federation in Ensuring National Security. *Perspektivnye tekhnologii dlya sistem bezopasnosti*, 2023, no. 1, pp. 4–9.
4. Erofeev V.T., Smirnov I.V., Voronov P.V., Afonin V.V., Kablov E.N. et al. Study of the durability of polymer coatings under the influence of climatic factors of the Black Sea coast. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2016, no. 11-5, pp. 911–924.
5. Kablov E.N., Semenova L.V., Eskov A.A., Lebedeva T.A. Complex systems of paint and varnish coatings for the protection of metal polymer composite materials, as well as their contact joints from the influence of aggressive factors. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2016, no. 6, pp. 32–35.

6. Gorbovets M.A., Nikolaev E.V., Startsev V.O. Climate testing of Arctic materials. Part 1. Requirements for materials. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 4 (77), pp. 180–188. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 20, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-4-180-188.
7. 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 17, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
8. Serdtselyubova A.S., Merkulova Yu.I., Zagora A.G., Kurshev E.V. Research of film-forming parameters and protective properties of basecoat/clearcoat system. *Aviation materials and technologies*, 2023, no. 1 (70), pp. 93–104. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 15, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-1-93-104.
9. Gorbovets M.A., Nikolaev E.V., Startsev V.O. Climate testing of Arctic materials. Part 2. Test requirements. *Aviation materials and technologies*, 2025, no. 1 (78), pp. 138–147. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: April 15, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2025-0-1-138-147.
10. Abrosimova L.F., Shakirova O.G. Anticorrosive paint and varnish material based on acrylic copolymers. *Evraziyskiy Soyuz Uchenykh*, 2016, no. 1 (22), pp. 21–23.
11. Muratkina E.E. Acrylic copolymers in the production of paints and varnishes for road markings. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2009, no. 1–2, pp. 15–17.
12. Brock T., Grotteklaus M., Mischke P. *European Paints and Coatings Guide*. Ed. U. Zorrell. Moscow: Paint-Media, 2007, 548 p.
13. Kondrashov E.K., Semenova L.V., Kuznetsova V.A. et al. Development of aviation paints and varnishes. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2012, no. 5, pp. 49–55.
14. Shvets N.I., Zastrogina O.B., Minakov V.T., Matveeva I.A. Influence of tin carboxylates on the process of organosilicic oligomer binder curing and properties of the three-dimensional reinforced material on its base. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2016, no. 2 (41), pp. 40–44. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-2-40-44.
15. Ponomarenko S.A., Shimkin A.A. Chromatographic methods of analysis: application possibilities in the aviation industry (review). *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*, 2017, no. 83 (4), pp. 5–13.
16. State Standard 28614–90 (ISO 7270-87). *Rubber. Identification of polymers (individual polymers and blends) by pyrolytic gas chromatography*. Moscow: Publ. house of standards, 1990, 11 p.
17. Sharabanova I.A., Spiridonova R.R., Kochnev A.M. Effect of ethylene glycol oligomers on the properties of polyamide esters. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, no. 23, pp. 104–108.
18. Kovalenko L.G. Modification of reactive oligomers with blocked isocyanates. *Plastmassy*, 1986, no. 11, pp. 34–37.

Информация об авторах

Сердцелюбова Алевтина Сергеевна, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Кондаков Петр Владимирович, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru
Пonomarenko Сергей Александрович, старший научный сотрудник, к.х.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Alevtina S. Serdtselyubova, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Petr V. Kondakov, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru
Sergey A. Ponomarenko, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Chem.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 21.08.2025; получена после доработки 10.10.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 13.10.2025.
 The article was submitted 21.08.2025; received in revised form 10.10.2025; approved and accepted for publication after reviewing 13.10.2025.