

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-1-186-196

## ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ОКРАСКИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНТЕРЬЕРА ПАССАЖИРСКОГО САЛОНА ВОЗДУШНОГО СУДНА

А.А. Козлова<sup>1</sup>, М.А. Шунина<sup>1</sup>, И.А. Козлов<sup>1</sup>

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

**Аннотация.** Приведены результаты информационного поиска и рассмотрены основные тенденции в области создания пожаробезопасных лакокрасочных материалов и покрытий на их основе для окраски элементов интерьера авиационной техники. Определены основные требования, предъявляемые к покрытиям для интерьера, а также к выбору компонентов для получения пожаробезопасных интерьерных лакокрасочных материалов и покрытий. Выявлены наиболее перспективные направления в области разработки и исследований пожаробезопасных лакокрасочных покрытий.

**Ключевые слова:** лакокрасочные материалы, пожаробезопасные покрытия, покрытия для интерьера авиационной техники, горючесть, адгезия, защитно-декоративная окраска, тепловыделение, дымообразование

**Для цитирования:** Козлова А.А., Шунина М.А., Козлов И.А. Тенденции в области разработки пожаробезопасных лакокрасочных покрытий для окраски элементов интерьера пассажирского салона воздушного судна // Труды ВИАМ. 2026. № 1 (155). С. 186–196. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-1-186-196.

Scientific article

## TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF FIRE-RESISTANT PAINTWORK COATINGS FOR PAINTING ELEMENTS OF AIRCRAFT PASSENGER CABIN INTERIORS

A.A. Kozlova<sup>1</sup>, M.A. Shunina<sup>1</sup>, I.A. Kozlov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

**Abstract.** This article presents the results of information search and discusses the main tendencies in the field of creation of fireproof paint and varnish materials and coverings on their basis for painting interior elements of aviation engineering. The research defines the main requirements for interior coatings, and for choice of components for obtaining fire-resistant interior paint and varnish materials and coverings. The most promising research and development for fire-resistant paint coatings are identified.

**Keywords:** paint and varnish materials, fire-resistant coatings, aircraft interior coatings, flammability, adhesion, protective-decorative painting, heat generation, smoke generation

**For citation:** Kozlova A.A., Shunina M.A., Kozlov I.A. Trends in the development of fire-resistant paintwork coatings for painting elements of aircraft passenger cabin interiors. *Trudy VIAM*, 2026, no. 1 (155), pp. 186–196. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-1-186-196.

## Введение

Детали интерьера пассажирского салона авиационной техники изготавливают из пожаробезопасных конструкционных материалов, которые должны выдерживать возгорание и выделять минимальное количество дыма при горении [1–3]. Несмотря на то что в мировой практике используются преимущественно пленочные декоративно-отделочные материалы, лакокрасочные материалы (ЛКМ) остаются наиболее простым решением при придании поверхностям определенных свойств. Помимо повышения долговечности, износостойкости, ремонтпригодности деталей интерьера пассажирских вертолетов и самолетов, придания им декоративного вида для повышения комфорта пассажиров, ЛКМ также должны отвечать требованиям по пожаробезопасности – по горючести, тепловыделению и дымообразованию.

За рубежом стандарты пожаробезопасности установлены Федеральным авиационным управлением. Для интерьера воздушного судна регламент FAR 25.853 содержит требования к воспламеняемости для материалов, используемых во многих воздушных судах, эксплуатируемых в Соединенных Штатах. В частности, в регламенте FAR 25.853 требуется, чтобы время горения материала не превышало 15 с, длина горения не превышала 6 дюймов, а продолжительность капельного пламени не превышала 3 с. На территории Российской Федерации аналогичные требования по пожарной безопасности интерьерных материалов изложены в Нормах летной годности НЛГ-23, НЛГ-25, НЛГ-27 (в соответствии с Авиационными правилами АП-23, АП-25 и АП-27). Обзор отечественных и зарубежных требований авиационных норм подробно и широко представлен в работе [4]. При проведении анализа научно-технической информации обнаружено, что достаточно много внимания уделяется оценке пожарной опасности лакокрасочных покрытий промышленного назначения, а также используемых в судостроении, железнодорожном транспорте и атомной энергетике [5, 6]. Большая работа по оценке пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения проведена специалистами НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ: осуществлен анализ методов испытаний, определены перспективы развития и выявлены методические особенности проведения испытаний [4, 7].

Широко известно, что для получения пожаробезопасных лакокрасочных покрытий в качестве пленкообразующего используют галогенсодержащие эпоксидные смолы или органоразбавляемые полимеры с введением антипиренов различной природы. Однако с учетом того, что в настоящее время расширяется потребление ЛКМ на водной основе, отечественная лакокрасочная промышленность следует мировой тенденции по исследованиям и разработке ЛКМ на основе водно-дисперсионных и водоразбавляемых полимеров взамен органоразбавляемых. Применение таких материалов на водной основе положительно сказывается на воздухе рабочей зоны, так как значительно снижается содержание вредных летучих органических соединений. Поэтому в данном обзоре рассмотрены решения, связанные с созданием водоосновных лакокрасочных композиций, позволяющих получить защитно-декоративное покрытие методом пневматического распыления, а также нанесением кистью или валиком.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации 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») [8].

## Пленкообразующие системы для пожаробезопасных лакокрасочных материалов

Специалистами НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ для защитно-декоративной окраски деталей интерьера авиационной техники создана пожаробезопасная водоразбавляемая эмаль ВЭ-67 (ТУ 1-595-15-1010–2008). Система лакокрасочных

покрытий на основе этой эмали соответствует нормам АП-25 по горючести, дымообразованию и тепловыделению, обладает достаточно высокими физико-механическими свойствами [9, 10]. Эмаль разработана на основе водоразбавляемого акрилового сополимера растворного типа. Сополимер – это уникальный продукт согидролиза акриловой и метакриловой кислот, метилметакрилата, бутилакрилата и (мет)акрилата кальция. Применение сополимера в качестве основы эмали позволило получить материал для окраски интерьера с хорошими реологическими свойствами и укрывистостью, повышенными водо- и морозостойкостью, а также физико-механическими характеристиками. В настоящее время выпуск сополимера прекращен, однако в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ проводятся работы по его восстановлению и синтезу новых водоразбавляемых сополимеров. Разработка ЛКМ на их основе – одно из направлений развития «зеленых» технологий, применение которых при создании материалов и комплексных систем защиты является одним из базовых принципов при разработке материалов нового поколения для сложных технических систем [11]. Внедрение таких материалов обеспечит авиационную промышленность России современными пожаробезопасными ЛКМ на основе отечественного сырья и снизит зависимость от иностранных поставщиков.

Для получения пожаробезопасных лакокрасочных покрытий наибольшее распространение получили водно-дисперсионные ЛКМ, основные требования к которым изложены в ГОСТ 52020–2003 [12].

Акриловые дисперсии получают путем полимеризации сложных эфиров акриловой (либо этиленкарбоновой) кислоты и представлены на отечественном рынке довольно широко. Водные дисперсии сополимера (мет)акрилата, стабилизированные анионной эмульгирующей системой, формируют прочную пленку с хорошей водо-, свето- и погодоустойчивостью [13].

Водные композиции на основе одно- и двухкомпонентных полиуретанов являются относительно новым экологичным видом полиуретановых ЛКМ, которые находят все большее применение при окраске изделий из древесины, пластмасс, металлов и других материалов [14–17]. Водное двухкомпонентное полиуретановое покрытие состоит из полиизоцианатного отвердителя с низкой вязкостью (изоцианатный компонент), содержащего –NCO-группы, и водного полиольного компонента, содержащего –ОН-группы [18]. Для интерьеров авиационной техники использование полиуретановой дисперсии на водной основе представляет несомненный интерес при получении лакокрасочных покрытий, так как покрытия на ее основе обладают достаточно высокой эластичностью и устойчивостью к механическому истиранию. К недостаткам лакокрасочных покрытий на основе полиуретановых дисперсий относятся их высокая стоимость, низкая стойкость к воде и маслу, а длительное время наступления набора заданных механических свойств (от 7 до 28 сут), обусловленное механизмом отверждения покрытий, может отсрочить начало эксплуатации окрашенной детали или изделия. Модификация полиуретановых ЛКМ на водной основе стала неизбежной тенденцией в их развитии – например, повышение скорости высыхания или повышение водостойкости, что возможно путем введения в структуру полимера гидрофильных функциональных групп.

Улучшить свойства полиуретановых дисперсий можно также путем их сочетания в композициях с акриловыми дисперсиями в различном соотношении. В качестве примера можно привести запатентованное решение для защитно-декоративной окраски поверхностей интерьера авиационной техники, где в качестве пленкообразующего применяется смесь водной эмульсии сополимера (мет)акрилата и водной полиуретановой дисперсии [19]. Замена части полиуретанового пленкообразующего на акриловый сополимер позволит также снизить стоимость конечной продукции.

Для получения лакокрасочных покрытий авиационного назначения особую ценность представляют фторсодержащие полимеры в виду того, что они долговечны и устойчивы к различным воздействиям. В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ

разработана фторопласто-эпоксидная эмаль ВЭ-46 (ТУ 1-595-9-273–2021), обладающая высокими эксплуатационными характеристиками. За рубежом ведущим производителем фторполимеров является компания Asahi Glass Company [20], выпускающая серию фторполимеров торговой марки Lumiflon™. Основой фторполимера является регулярный сополимер фторэтилена и винилового эфира. Изменяя структуру функциональных групп, производитель получает различные модификации полимера. Наибольший интерес среди указанной серии вызывают фторсодержащие полиуретановые полимеры на водной основе, позволяющие получать покрытия с исключительной стойкостью к внешним воздействиям.

Среди зарубежных охраняемых решений также следует отметить изобретение [21], описывающее композицию на основе водной дисперсии фторсодержащей смолы, имеющей в своем составе антипирен, для получения лакокрасочного покрытия для интерьера авиационной техники. Композиция покрытия не содержит соединений с реакционноспособной или обратимо блокируемой функциональностью изоцианата или в пересчете на общую массу композиции – менее 1 % (по массе). Получаемое покрытие огнестойко и устойчиво к воздействию загрязняющих веществ.

В охранных документах на лакокрасочные композиции для создания пожаробезопасных покрытий также упоминаются и другие галогенсодержащие полимеры – например, на основе галогенированного или галогенсульфированного (со)полимера 4-метилпентена-1, содержащего химически связанные хлор, бром и/или серу в различных соотношениях [22]. Реже встречаются лакокрасочные композиции на основе алкидных эмульсий или алкидных смол. Например, патент [23] раскрывает состав на основе водоразбавляемой дисперсии и алкидной эмульсии, полученной перемешиванием алкидной смолы при температуре 61–99 °С с эмульгатором неионного типа с гидрофильно-липофильным балансом 14–20 и/или анионным эмульгатором с последующим порционным введением воды: сначала 5–50 % (по массе) от общего количества воды, а затем через 5–120 мин 50–95 % (по массе). Неионные и анионные эмульгаторы, предназначенные для получения пленкообразующих веществ, на территории РФ не разрабатывались. В качестве водоразбавляемого пленкообразующего могут применяться полимерные эмульсии на акриловой основе: сополимера поливинилацетата с дибутилмалеинатом, поливинилацетата, сополимера акрилата с поливинилацетатом и других; смешанных азотно-кислых эфиров целлюлозы с фталатными группами [24]; жидкого натриевого стекла и стиролакриловой дисперсии [25]; смеси алкидной и меламиноформальдегидной смол [26]; перфторалкилэтилакрилата, модифицированного силаном/хлорорганической эмульсией фторполимера [27]; акриуретановой смолы [28] и эпоксидных олигомеров [29, 30].

Тем не менее наибольшее распространение при составлении рецептур покрытий для интерьера авиационного назначения за рубежом получило сочетание полиуретановой и акриловой дисперсий на водной основе.

### Антипирены

Зачастую в составы лакокрасочных композиций, предназначенных для получения пожаробезопасных покрытий для интерьера, вводят антипирены различной природы [31, 32]. В качестве антипиренов обычно применяют галогенсодержащие органические соединения с бромом и хлором. Антипирены с йодом проявляют меньшую стабильность, чем их бромированные и хлорированные аналоги, поэтому они применяются крайне редко. При изучении патентной технической литературы выявлено, что в качестве антипиренов заявлены фосфат меламина [33], гидроксид алюминия [34], водная эмульсия бромсодержащей эпоксидной смолы [35], борат цинка [20].

Эффективность снижения горючести полимеров галогенсодержащими соединениями усиливается в присутствии оксидов некоторых металлов. Галогенсодержащие антипирены могут применяться в смеси с оксидом сурьмы, который способствует

образованию синергического эффекта. При этом образуются галогениды и оксигалогениды сурьмы, которые при температуре воспламенения находятся в газообразном состоянии и разбавляют горючие газы, ограничивая подвод кислорода в зону горения [36].

Обширную группу применяемых на практике замедлителей горения составляют фосфорсодержащие соединения, которые могут быть органическими и неорганическими. Фосфорилирование карбоцепных полимеров – одно из перспективных направлений снижения горючести, так как введение атома фосфора в боковые цепи макромолекул полимеров улучшает термостабильность и позволяет синтезировать полимеры с пониженной горючестью, высокими адгезией и коррозионной стойкостью [37, 38]. В работе [39] показаны последние достижения в области изучения полимерных композиций на основе фосфорсодержащих полимеров.

При изучении охранных документов обнаружено [35], что для замедления горения бромированные эпоксидные полимеры могут быть включены в составы для лакокрасочных покрытий на водной основе при условии, что они представлены в виде водных эмульсий, которые можно получить из органической жидкой фазы, а затем ее эмульгирования в воде. Утверждается, что такие композиции особенно подходят для покрытий интерьера самолета – в частности, для нанесения на композитные подложки.

В настоящее время наблюдается тенденция к использованию многокомпонентных антипиренов, в том числе наноструктурированных, обладающих хорошей термостойкостью и нелетучестью, не выделяющих токсичные компоненты, а также не оказывающих влияние на механические, термические и технологические свойства полимерных материалов [40–42]. Однако отмечено [40], что использование нанодобавок, обладающих рядом преимуществ в сравнении с традиционными антипиренами, вызывает трудности при их диспергировании и равномерном распределении в полимерной матрице. В последние годы проведено обширное исследование нескольких новых наноантипиренов, в основном включающих неорганические (слоистый диметаллический гидроксид (LDH), монтмориллонит (MMT) и нано- $\text{TiO}_2$ ) и углеродные наноматериалы (углеродные нанотрубки и оксид графена), а также гибридные органическо-неорганические материалы (полисилоксаны (POSS) и металлоорганические каркасы (MOF)) и т. д. [43–46].

Интерес также представляют антипирены типа сомономеров, которые эффективно внедряются в полимерную сеть [47, 48].

### Технологии получения интерьерных лакокрасочных покрытий

Среди мировых тенденций следует остановиться на способе получения покрытия под воздействием ультрафиолетового (УФ) излучения. Применение УФ-отверждаемых покрытий в некоторых развитых странах мира составляет ~10 % всех материалов в области отделочных работ. В Японии доля использования данной технологии при проведении окрасочных работ водо- и органоразбавляемыми ЛКМ достигает 50 %. При создании экологичных и пожаробезопасных лакокрасочных покрытий данной технологии уделяется большое внимание. В основе технологии отверждения под воздействием УФ-излучения лежит реакция полимеризации, идущая по радикальному механизму. Среди преимуществ покрытий на водной основе, полученных методом УФ-отверждения, выделяют низкую себестоимость производства, невысокую рабочую вязкость растворов, возможность применения нетоксичных и негорючих материалов. Благодаря таким преимуществам технологии с применением УФ-отверждаемых полимеров на водной основе получили быстрое развитие в мировой практике [49].

Однако в результате патентного поиска не выявлена информация об отечественных разработках в области создания водоразбавляемых полимеров, пригодных для отверждения по указанной технологии, а также необходимых для такого способа отверждения фотоинициаторов на водной основе, способных запустить полимеризацию

в широком диапазоне длин волн. В отечественной промышленности отсутствует серийное производство таких химических соединений.

В результате анализа патентной литературы обнаружено, что, описывая технологию получения покрытий с помощью УФ-полимеризации, авторы отмечают непродолжительную стадию сушки нанесенного на подложку покрытия для удаления избыточного количества воды перед стадией отверждения и, как следствие, снижения больших затрат на энергию. Сушка осуществляется либо на воздухе при температуре окружающей среды, либо при невысокой температуре (до 40–50 °С) и принудительной конвекции [50]. Такой длительный и многостадийный процесс окрашивания деталей не будет приветствоваться на производстве, поэтому основными технологиями нанесения остаются пневматическое распыление, нанесение кистью или валиком.

### **Заключения**

По результатам анализа изученной патентной технической литературы установлено, что водоразбавляемые ЛКМ в последнее время находят все большее применение в связи с их преимуществами в санитарно-техническом и пожарном отношении по сравнению с материалами на основе органических растворителей. Для удовлетворения международных требований по пожарной безопасности материалов, применяемых в салоне пассажирского воздушного судна, ЛКМ на водной основе представляют значительный интерес в связи с их низкими показателями по горючести, тепловыделению и дымообразованию. При этом далеко не все типы пленкообразующих могут соответствовать этим значениям без применения антипиренов в составе ЛКМ.

Кроме того, в рассмотренных охранных документах при выборе пленкообразователей основное внимание авторы уделяют акрилатам и полиуретановым дисперсиям. Но следует отметить, что промышленное производство качественных стабильных полиуретановых дисперсий на водной основе в РФ отсутствует или развито крайне слабо, а галогенсодержащие полимеры можно применять исключительно в виде добавок, с помощью которых можно регулировать пожаротехнические характеристики (горючесть, дымообразование и тепловыделение) получаемых покрытий. Поэтому в настоящее время наиболее доступными полимерами, пригодными для получения покрытий с требуемыми свойствами, являются акриловые дисперсии.

В целом основные тенденции в развитии пожаробезопасных покрытий для интерьеров направлены на повышение экологичности путем перехода к материалам с низким содержанием или полным отсутствием вредных летучих органических соединений, улучшение характеристик пожаробезопасности и эксплуатационных характеристик (таких как стойкость к воздействию воды), применение нанотехнологий для повышения стойкости к воздействию огня.

### **Список источников**

1. Вешкин Е.А., Сатдинов Р.А., Баранников А.А. Современные материалы для салона самолета // Труды ВИАМ. 2021. № 9 (103). С. 33–42. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 28.03.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
2. Гарашенко А.Н., Кульков А.А., Страхов В.Л. Влияние срока эксплуатации на огнезащитную эффективность вспучивающихся покрытий и огнестойкость конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 2 (67). С. 97–110. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 28.03.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-97-110.
3. Кан А.Ч., Железина Г.Ф., Кулагина Г.С., Аюпов Т.Р. Пожаробезопасность конструкционных органопластиков, армированных арамидными тканями // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 4 (69). С. 51–60. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 28.03.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-51-60.

4. Барботько С.Л. Требования авиационных норм и методы оценки пожарной безопасности авиационных материалов: история, современное состояние и перспективы развития // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2014. Вып. 3 (12). С. 23–33.
5. Константинова Н.И., Цариченко С.Г., Кривошапкина О.В., Колесников В.В. К вопросу пожарной опасности лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2014. № 6. С. 18–22.
6. Невзоров Г.Н., Дринберг А.С., Недведский Г.Р. и др. Разработка специальных покрытий для внутренних помещений судов и кораблей пониженной горючести // Тез. докл. V Всерос. науч.-практ. конф. с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне». СПб., 2019. С. 115–117.
7. Барботько С.Л., Вольный О.С., Кириенко О.А., Шуркова Е.Н. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2018. 408 с.
8. 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.
9. Кондрашов Э.К. Лакокрасочные материалы и покрытия на их основе в машиностроении. М.: Пэйнт-Медиа, 2021. С. 141.
10. Водоразбавляемая композиция для лакокрасочного покрытия: пат. 2338766 Рос. Федерация; заявл. 27.08.07; опубл. 20.11.08.
11. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // Тез. докл. XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Екатеринбург: УрО РАН, 2016. С. 25–26.
12. ГОСТ Р 52020–2003. Материалы лакокрасочные водно-дисперсионные. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. 15 с.
13. Павликова С.М., Анисимова С.В., Шурыгина Ю.Н. Акриловые и стиролакриловые водные дисперсии в составах лакокрасочных материалов для окраски металлов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2017. № 4. С. 24–28.
14. Карпов С.В., Джалмуханова А.С., Бадамшина Э.Р. Синтез и исследование свойств вододисперсионных полиуретанов, модифицированных неполным нитратом В-циклодекстрина // Сб. тез. докл. академического форума молодых ученых стран Большой Евразии «Континент науки». М.: Центр научно-технических решений, 2023. С. 217–218.
15. Noble K.L. Waterborne polyurethanes // Progress in Organic Coatings. 1997. Vol. 32. No. 1–4. P. 131–136.
16. Lee Y., Luo X., Hu S. et al. Corrosion protection studies of crude glycerol-based waterborne polyurethane coating on steel substrate // Journal of The Electrochemical Society. 2016. Vol. 163. Is. 3. P. 54–61.
17. Lei L., Zhong L., Lin X. et al. Synthesis and characterization of waterborne polyurethane dispersions with different chain extenders for potential application in waterborne ink // Chemical Engineering Journal. 2014. Vol. 253. P. 518–525.
18. 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: 22.04.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
19. Halogen-free, non-intumescent, fire retardant coating composition: pat. 3963012 EP; appl. 24.04.20; publ. 07.06.23.
20. Solvent-soluble fluoropolymer resin for coatings that can be cured at room temperature or at elevated temperatures. URL: <http://www.agcchem.com> (дата обращения: 05.04.2025).
21. Aqueous coating composition for aircraft interior and aircraft interior: pat. 2016079265 JP; appl. 15.10.14; publ. 16.05.16.
22. Модифицированный галогенированный и галогенсульфированный (co)полимер 4-метилпентена-1, связующее, композиция и изделия на его основе: пат. 2252227 Рос. Федерация; заявл. 04.10.02; опубл. 20.05.05.

23. Водно-дисперсионная лакокрасочная композиция: пат. 2154078 Рос. Федерация; заявл. 12.01.99; опубл. 10.08.00.
24. Сложные смешанные азотнокислые эфиры целлюлозы с фталатными группами в качестве полимерной основы клеев, лаков, красок, покрытий, твердых ракетных топлив и способ их получения: пат. 2170235 Рос. Федерация; заявл. 19.04.96; опубл. 10.07.01.
25. Композиционная одноупаковочная силикатная краска: пат. 2645502 Рос. Федерация; appl. 14.06.16; опубл. 21.02.18.
26. Водоразбавляемая лакокрасочная композиция для покрытий: пат. 2087505 Рос. Федерация; заявл. 11.01.95; опубл. 20.08.97.
27. Aqueous fluorocarbon coating for painting metal base materials: pat. 102408808 CN; appl. 16.09.11; publ. 24.07.13.
28. Water-based primer coating composition for aluminum substrate: pat. 2016519141 JP; appl. 10.03.15; publ. 20.04.17.
29. Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение эпоксидно-акриловых водно-дисперсионных покрытий // *Химия, физика и механика материалов*. 2019. № 3 (22). С. 14–22.
30. Шинкарева Е.В. Лакокрасочные композиционные материалы на основе водных эпоксидных эмульсий // *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*. 2019. Т. 55. № 3. С. 329–337.
31. Халтуринский Н.А. Горение полимеров, механизм действия антипиренов // *Успехи химии*. 1984. № 2. С. 334–339.
32. Зарипов И.И., Вихарева И.Н., Буйлова Е.А., Берестова Т.В., Мазитова А.К. Добавки для понижения горючести полимеров // *Нанотехнологии в строительстве*. 2022. № 14 (2). С. 156–161.
33. Водно-дисперсионная краска: пат. 2209223 Рос. Федерация; заявл. 17.12.01; опубл. 27.07.03.
34. Aqueous flame retardant compositions and aqueous coating compositions comprising such flame retardant compositions: pat. 20220054346 KR; appl. 17.11.20; publ. 31.12.24.
35. Flame-retardant, isocyanate-free coating composition: pat. 7189392 JP; appl. 23.11.20; publ. 21.12.22.
36. Фадеев С.С., Богданова В.В., Сафропенко Е.Д. Ингибирование горения полимеров. Исследование механизма действия синергических смесей оксид сурьмы – галогенсодержащие соединения. М.: НИИТЭхим, 1988. 39 с.
37. Каблов В.Ф., Кейбал Н.А. Полимерные материалы с функционально-активными компонентами. Исследования и технологии (часть 1). Волгоград: ВПИ (филиал) ВолгГТУ, 2018. 406 с.
38. Буравов Б.А., Тужиков О.О., Аль-Хамзави А.Х.Д. и др. Современные тенденции в разработке антипиренов для полимерных композиций. Состав, свойства, применение // *Известия ВолгГТУ. Сер.: Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов*. 2020. № 12 (247). С. 7–24.
39. Аль-Хамзави А.Х.Д. Фосфорсодержащие олигоэфирметакрилатные связующие для армированных пластиков пониженной горючести: дис. ... канд. техн. наук. Волгоград, 2023. 137 с.
40. Евтушенко Ю.М., Григорьев Ю.А., Кучкина И.О. и др. Влияние комплексного антипирена на физико-химические свойства ортофталевой ненасыщенной смолы // *Пластические массы*. 2020. № 1-2. С. 26–29.
41. Rodrigues J., Shimpi N.G. Nanostructured flame-retardants: An overview // *Nano-Structures & Nano-Objects*. 2024. Vol. 39. P. 101253.
42. Singh M.K., Rangappa S.M., Misra M. et al. Recent advancements in nanostructured flame-retardants: Types, mechanisms, and applications in polymer composites // *Nano-Structures & Nano-Objects*. 2025. Vol. 42. P. 101468.
43. Tu Z., Ou H., Ran Y. et al. Preparation and flame retardant properties of organic montmorillonite synergistic intumescent flame retardant polypropylene // *Journal of loss prevention in the process industries*. 2024. Vol. 87. P. 105226
44. Sankeshi S., Ganapathiraju J., Bajaj P. et al. 2D-nanostructures as flame retardant additives: Recent progress in hybrid polymeric coatings // *Nano-Structures & Nano-Objects*. 2024. Vol. 40. P. 101346.
45. Qiu X., Wu C., Lin J. et al. Construction of MOFs-based nanocomposites and their application in flame retardant polymers: A review // *Polymer degradation and stability*. 2024. Vol. 229. P. 110982.

46. Liu C., Zhuang D., Zhou Y. et al. Mechanically reinforced and flame-retardant epoxy resin nanocomposite based on molecular engineering of POSS // *Polymer testing*. 2025. Vol. 143. P. 108719.
47. Greiner L., Kukla P., Eibl S., Döring M. Phosphorylated salicylic acid as flame retardant in epoxy resins and composites // *Journal of renewable materials*. 2022. Vol. 10. Is. 7. P. 1931–1950.
48. Greiner L., Kukla P., Eibl S., Döring M. Phosphorus containing polyacrylamides as flame retardants for epoxy-based composites in aviation // *Polymers*. 2019. Vol. 11. Is. 2. P. 284.
49. Кондрашов Э.К., Козлова А.А. УФ-квантовые технологии формирования защитно-декоративных и функциональных полимерных покрытий. Часть I. Пленкообразователи УФ-полимеризуемых покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2022. № 10 (546). С. 20–26.
50. Никалин Д.М., Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Козлова А.А. Водоразбавляемые полиуретановые лакокрасочные материалы по металлическим поверхностям. Патентный обзор // *Российский химический журнал*. 2019. Т. 63. № 2. С. 10–16.

### References

1. Veshkin E.A., Satdinov R.A., Barannikov A.A. Modern materials for the aircraft cabin. *Trudy VIAM*, 2021, no. 9 (103), pp. 33–42. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 28, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-9-33-42.
2. Garashchenko A.N., Kulkov A.A., Strakhov V.L. The effect of the service life on the flame-retardant efficiency of the bulging coatings and the fire resistance of structures. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 2 (67), pp. 97–110. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 28, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-97-110.
3. Kan A.Ch., Zhelezina G.F., Kulagina G.S., Ayupov T.R. Fire safety of structural organic plastics reinforced with aramid fabrics. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 4 (69), pp. 51–60. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 28, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-51-60.
4. Barbotko S.L. Requirements of aviation standards and methods for assessing the fire safety of aviation materials: history, current status, and development prospects. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii*, 2014, is. 3 (12), pp. 23–33.
5. Konstantinova N.I., Tsarichenko S.G., Krivoschapkina O.V., Kolesnikov V.V. On the fire hazard of paints and varnishes. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2014, no. 6, pp. 18–22.
6. Nevzorov G.N., Drinberg A.S., Nedvedskiy G.R. et al. Development of special coatings for the interior spaces of ships and vessels with reduced flammability. *Reports of the 5th All-Rus. sc. and pract. Conf. with the participation of young people «Innovative materials and technologies in design»*. St. Petersburg, 2019, pp. 115–117.
7. Barbotko S.L., Volny O.S., Kiriyyenko O.A., Shurkova E.N. *Fire safety assessment of polymeric materials for aviation purposes*. Ed. E.N. Kablov. Moscow: VIAM, 2018, 408 p.
8. 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.
9. Kondrashov E.K. *Paints and Varnishes and Coatings Based on Them in Mechanical Engineering*. Moscow: Paint-Media, 2021, p. 141.
10. *Water-Borne Paint and Varnish Coating Composition*: pat. 2338766 Rus. Federation; appl. 27.08.07; publ. 20.11.08.
11. Kablov E.N. The Role of Chemistry in Creating Next-Generation Materials for Complex Technical Systems. *Reports of the XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry*. Ekaterinburg: UB of RAS, 2016, pp. 25–26.
12. State Standard R 52020–2003. *Water-Dispersible Paints and Varnishes. General Specifications*. Moscow: Publ. House of Standards, 2003, 15 p.
13. Pavlikova S.M., Anisimov S.V., Shurygina Yu.N. Acrylic and styrene acrylic aqueous dispersions in paint and varnish compositions for metal painting. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2017, no. 4, pp. 24–28.

14. Karpov S.V., Dzhalnukhanova A.S., Badamshina E.R. Synthesis and study of the properties of water-dispersion polyurethanes modified with partial nitrate of B-cyclodextrin. *Reports of the academic forum of young scientists from the countries of Greater Eurasia «Continent of Science»*. Moscow: Center for Scientific and Technical Solutions, 2023, pp. 217–218.
15. Noble K.L. Waterborne polyurethanes. *Progress in Organic Coatings*, 1997, vol. 32, no. 1–4, pp. 131–136.
16. Lee Y., Luo X., Hu S. et al. Corrosion protection studies of crude glycerol-based waterborne polyurethane coating on steel substrate. *Journal of The Electrochemical Society*, 2016, vol. 163, is. 3, pp. 54–61.
17. Lei L., Zhong L., Lin X. et al. Synthesis and characterization of waterborne polyurethane dispersions with different chain extenders for potential application in waterborne ink. *Chemical Engineering Journal*, 2014, vol. 253, pp. 518–525.
18. 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 22, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2023-0-4-92-100.
19. *Halogen-free, non-intumescent, fire retardant coating composition*: pat. 3963012 EP; appl. 24.04.20; publ. 07.06.23.
20. *Solvent-soluble fluoropolymer resin for coatings that can be cured at room temperature or at elevated temperatures*. Available at: <http://www.agcchem.com> (accessed: April 05, 2025).
21. *Aqueous coating composition for aircraft interior and aircraft interior*: pat. 2016079265 JP; appl. 15.10.14; publ. 16.05.16.
22. *Modified halogenated and halogensulfonated (co)polymer of 4-methylpentene-1, binder, composition and articles based on it*: pat. 2252227 Rus. Federation; appl. 04.10.02; publ. 20.05.05.
23. *Water-dispersion paint and varnish composition*: pat. 2154078 Rus. Federation; appl. 12.01.99; publ. 10.08.00.
24. *Complex mixed nitrate esters of cellulose with phthalate groups as a polymer base for adhesives, varnishes, paints, coatings, solid rocket propellants and the method for producing them*: pat. 2170235 Rus. Federation; appl. 19.04.96; publ. 10.07.01.
25. *Composite single-pack silicate paint*: pat. 2645502 Rus. Federation; appl. 14.06.16; publ. 21.02.18.
26. *Water-based paint and varnish composition for coatings*: pat. 2087505 Rus. Federation; appl. 11.01.95; publ. 20.08.97.
27. *Aqueous fluorocarbon coating for painting metal base materials*: pat. 102408808 CN; appl. 16.09.11; publ. 24.07.13.
28. *Water-based primer coating composition for aluminum substrate*: pat. 2016519141 JP; appl. 10.03.15; publ. 20.04.17.
29. Domnichenko R.G., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. Production of epoxy-acrylic water-dispersion coatings. *Khimiya, fizika i mekhanika materialov*, 2019, no. 3 (22), pp. 14–22.
30. Shinkareva E.V. Composite paints and varnishes based on aqueous epoxy emulsions. *Izvestiya Natsionalnoy akademii nauk Belarusi. Seriya khimicheskikh nauk*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 329–337.
31. Khalturinsky N.A. Combustion of polymers, mechanism of action of flame retardants. *Uspekhi khimii*, 1984, no. 2, pp. 334–339.
32. Zaripov I.I., Vikhareva I.N., Buylova E.A., Berestova T.V., Mazitova A.K. Additives for reducing the flammability of polymers. *Nanotekhnologii v stroitelstve*, 2022, no. 14 (2), pp. 156–161.
33. *Water-dispersion paint*: pat. 2209223 Rus. Federation; appl. 17.12.01; publ. 27.07.03.
34. *Aqueous flame retardant compositions and aqueous coating compositions comprising such flame retardant compositions*: pat. 20220054346 KR; appl. 17.11.20; publ. 31.12.24.
35. *Flame-retardant, isocyanate-free coating composition*: pat. 7189392 JP; appl. 23.11.20; publ. 21.12.22.
36. Fadeev S.S., Bogdanova V.V., Safropenko E.D. *Inhibition of polymer combustion. Study of the mechanism of action of synergistic mixtures of antimony oxide and halogen-containing compounds*. Moscow: NIITEKhim, 1988, 39 p.

37. Kablov V.F., Keibal N.A. *Polymer materials with functionally active components. Research and technology* (part 1). Volgograd: VPI (branch) of VolGTU, 2018, 406 p.
38. Buravov B.A., Tuzhikov O.O., Al-Hamzavi A.Kh.D. et al. Modern trends in the development of flame retardants for polymer composites. Composition, properties, application. *Izvestiya VolgGTU. Ser.: Khimiya i tekhnologiya elementoorganicheskikh monomerov i polimernykh materialov*, 2020, no. 12 (247), pp. 7–24.
39. Al-Hamzawi A.H.D. *Phosphorus-Containing Oligoether Methacrylate Binders for Reinforced Plastics with Low Flammability*: thesis, Cand. Sci. (Tech.). Volgograd, 2023, 137 p.
40. Evtushenko Yu.M., Grigoriev Yu.A., Kuchkina I.O. et al. Effect of a Complex Flame Retardant on the Physicochemical Properties of Unsaturated Orthophthalic Resin. *Plasticheskie massy*, 2020, no. 1–2, pp. 26–29.
41. Rodrigues J., Shimpi N.G. Nanostructured flame-retardants: An overview. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 2024, vol. 39, p. 101253.
42. Singh M.K., Rangappa S.M., Misra M. et al. Recent advancements in nanostructured flame-retardants: Types, mechanisms, and applications in polymer composites. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 2025, vol. 42, p. 101468.
43. Tu Z., Ou H., Ran Y. et al. Preparation and flame retardant properties of organic montmorillonite synergistic intumescent flame retardant polypropylene. *Journal of loss prevention in the process industries*, 2024, vol. 87, p. 105226
44. Sankeshi S., Ganapathiraju J., Bajaj P. et al. 2D-nanostructures as flame retardant additives: Recent progress in hybrid polymeric coatings. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 2024, vol. 40, p. 101346.
45. Qiu X., Wu C., Lin J. et al. Construction of MOFs-based nanocomposites and their application in flame retardant polymers: A review. *Polymer degradation and stability*, 2024, vol. 229, p. 110982.
46. Liu C., Zhuang D., Zhou Y. et al. Mechanically reinforced and flame-retardant epoxy resin nanocomposite based on molecular engineering of POSS. *Polymer testing*, 2025, vol. 143, p. 108719.
47. Greiner L., Kukla P., Eibl S., Döring M. Phosphorylated salicylic acid as flame retardant in epoxy resins and composites. *Journal of renewable materials*, 2022, vol. 10, is. 7, p. 1931–1950.
48. Greiner L., Kukla P., Eibl S., Döring M. Phosphorus containing polyacrylamides as flame retardants for epoxy-based composites in aviation. *Polymers*, 2019, vol. 11, is. 2, p. 284.
49. Kondrashov E.K., Kozlova A.A. UV quantum technologies for the formation of protective, decorative and functional polymer coatings. Part I. Film-forming agents for UV-polymerizable coatings. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2022, no. 10 (546), pp. 20–26.
50. Nikalin D.M., Serdtselyubova A.S., Merkulova Yu.I., Kozlova A.A. Water-based polyurethane paints and varnishes for metal surfaces. Patent review. *Rossiyskiy khimicheskii zhurnal*, 2019, vol. 63, no. 2, pp. 10–16.

**Информация об авторах**

**Козлова Алеся Александровна**, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Шунина Маргарита Александровна**, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Козлов Илья Андреевич**, заместитель начальника Научно-исследовательского отделения, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Information about the authors**

**Alesya A. Kozlova**, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Margarita A. Shunina**, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Ilya A. Kozlov**, Deputy Head of Scientific-Research Bureau, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 16.05.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 21.05.2025.

The article was submitted 16.05.2025; approved and accepted for publication after reviewing 21.05.2025.