

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144

## ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ МАТОВЫХ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.А. Кузнецова<sup>1</sup>, Е.А. Тимошина<sup>1</sup>, Г.Г. Шаповалов<sup>1</sup>, В.Г. Железняк<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.** Рассмотрены основные тенденции развития в области создания матовых износостойких лакокрасочных покрытий для окраски панелей приборов и элементов кабины пилота авиационной техники. Выявлены основные принципы, которыми следует руководствоваться при создании матовых износостойких лакокрасочных покрытий. Рассмотрены основные требования, обуславливающие выбор основных компонентов для получения матового износостойкого покрытия. Выявлены полимерные пленкообразующие и наполнители для разработки составов покрытий в соответствии с проведенным анализом. Определены лидеры в области разработок матовых износостойких покрытий.

**Ключевые слова:** полимерное пленкообразующее, наполнители, адгезия, физико-механические свойства, износостойкость, декоративные свойства

**Для цитирования:** Кузнецова В.А., Тимошина Е.А., Шаповалов Г.Г., Железняк В.Г. Тенденции в области разработки матовых износостойких лакокрасочных покрытий // Труды ВИАМ. 2023. № 10 (128). Ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144.

Scientific article

## TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF MATTE WEAR-RESISTANT PAINT COATINGS

V.A. Kuznetsova<sup>1</sup>, E.A. Timoshina<sup>1</sup>, G.G. Shapovalov<sup>1</sup>, V.G. Zheleznyak<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.** The main development trends in the field of creating matte, wear-resistant paint and varnish coatings for painting instrument panels and aircraft cockpit elements are considered. The basic principles that should be followed when creating matte, wear-resistant paint and varnish coatings have been identified. The basic requirements that determine the selection of the main components for obtaining a matte wear-resistant coating are considered. Polymer film-forming agents and fillers have been identified for the development of coating compositions in accordance with the analysis. Leaders in the development of matte wear-resistant coatings have been identified.

**Keywords:** polymer film-forming agent, fillers, adhesion, physical and mechanical properties, wear resistance, decorative properties

**For citation:** Kuznetsova V.A., Timoshina E.A., Shapovalov G.G., Zheleznyak V.G. Trends in the development of matte wear-resistant paint coatings. *Trudy VIAM*, 2023, no. 10 (128), paper no. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-10-132-144.

### **Введение**

В настоящее время развитие науки и техники требует решения целого ряда задач, связанных с разработкой лакокрасочных материалов, обладающих высоким уровнем эксплуатационных и технологических свойств, а также экологической безопасностью. К качеству и внешнему виду лакокрасочных покрытий, применяемых для защиты авиационной техники, в том числе для декоративной отделки элементов кабины и панелей приборов, предъявляются особые требования [1–7].

К покрытиям, используемым для окраски кабины пилотов, а также бортового оборудования, размещенного в кабине, предъявляются следующие требования: цвет покрытия должен обеспечивать высокий уровень зрительной и общей работоспособности пилота как при естественном, так и при искусственном освещении. На панелях облицовки в кабинах самолетов и вертолетов расположены показывающие части приборов – циферблаты, шкалы и др. В светлое время суток приборы освещаются дневным светом и в глаза пилотов попадают лучи, отраженные от поверхностей шкал и циферблатов; в ночное время приборы освещаются заливающим светом – в этом случае в глаза попадает свет, отраженный от покрытия [8].

Наиболее полно этим требованиям удовлетворяют цвета средней части спектра и малой насыщенности. К ним относятся холодные цвета: зеленый, серо-голубой, темно-серый и др. Для исключения бликов от источников внешнего освещения все покрытия внутри кабины должны быть матовыми. Следует отметить, что в современном авиастроении матовые покрытия различного назначения находят все более широкое применение [9–15].

С целью определения тенденций в области разработки матовых износостойких покрытий проведен анализ научно-технической литературы.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» комплексной научной проблемы 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [16].

### **Основные способы получения матовых покрытий**

Существует много различных способов получения матовых покрытий, которые основаны на создании в них микронеоднородностей с целью увеличения диффузного отражения. Наиболее распространенный способ – создание микрошероховатости путем введения больших концентраций мелкодисперсного наполнителя. Таким образом, неоднородность покрытия способствует увеличению диффузионного отражения света. Недостатком такого способа является ухудшение физико-механических свойств лакокрасочных покрытий. Матирующие добавки могут быть всплывающими (стеараты металлов) и наполняющими – например, различные модификации кремневой кислоты, кремнеземы и др. В качестве матирующих добавок в покрытиях применяют также органические соединения – например, пигментированные шарики на основе мочевино- и фенолформальдегидного олигомера. В обзорной статье [17] проведен анализ получения матовых покрытий, в частности описан способ достижения матовости лаковых покрытий при введении восковых добавок – стеаратов металлов и др.

Простейший способ получения матового покрытия – изменение объемной концентрации пигментов, однако при этом могут ухудшаться физико-механические свойства покрытий. Специалистами РХТУ им. Д.И. Менделеева проведено исследование влияния степени наполнения диоксидом титана алкидно-уретанового

лака на блеск сформированных покрытий. Показано, что с увеличением степени наполнения пигментом снижается блеск, а также эластичность при изгибе [18].

Наличие структурных преобразований в пленках, полученных из растворов полимеров в термодинамически плохо совместимых растворителях, также вызывает сильное рассеяние света и, следовательно, снижает блеск покрытий.

Одним из способов получения матовых покрытий является применение смесей несовместимых растворов полимеров – например, смесей растворов полимеров и сополимеров винилхлорида, полиакрилатов и др. При этом образуется двухфазная полимерная матрица. Каждая фаза в данной матрице характеризуется различными показателями преломления. В результате пучок попадающего света подвергается диффузионному рассеиванию за счет преград в виде микронеоднородностей полимерной структуры. Специалистами НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ исследовано влияние содержания наполнителя на адгезию, физико-механические свойства, а также блеск покрытий, полученных на основе эпоксидно-акрилового пленкообразующего [8]. Разработан состав покрытия, отверждаемого низкомолекулярным полиамидом, для декоративной окраски элементов кабины пилотов, а также приборов из алюминиевых сплавов и полимерных композиционных материалов, в том числе для окраски панелей светопроводов и других деталей [8, 19, 20].

За рубежом широко используется введение в полимерную композицию матирующих добавок. В качестве таких добавок, как правило, используются наполнители с высокой удельной поверхностью. В работе [21] приведены марки различных матирующих добавок, которые применяются для изготовления лакокрасочных материалов. Матирующие добавки торговой марки АСЕМАТТ® – высокоэффективные сорта диоксида кремния, разработанные специально для лакокрасочной промышленности. Применение матирующих добавок позволяет получить матовые покрытия с высокими декоративными свойствами.

В статье [22] представлена альтернатива диоксиду кремния и воску – органический матирующий агент Deuteron, который позволяет получать микронизированные термореактивные полиметилкарбамидные смолы, используемые при создании лакокрасочных материалов.

Одним из способов получения матовых покрытий является создание в пленках микропустот, соизмеримых с длиной волны падающего света, что способствует его диффузионному рассеиванию. В результате снижается интенсивность отраженного света, а следовательно – блеск покрытия [23]. Для получения таких покрытий необходимо использовать различные технологические приемы – например, применять специальные диспергирующие добавки.

Авторами статьи [24] разработаны новые смешивающие и диспергирующие добавки на основе специальных гиперразветвленных полимеров, не содержащих растворители, а также лакокрасочные материалы, отверждаемые ультрафиолетовым светом. В качестве матирующей добавки использован диоксид кремния. Благодаря пигмент-аффинным группам гиперразветвленный полимер адсорбируется на поверхности матирующей добавки, удерживает частицы разделенными и предотвращает флокуляцию частиц матирующей добавки.

Следует отметить, что применение различных наполнителей, уменьшающих блеск покрытия, может приводить к снижению адгезии, прочности при ударе, эластичности и других характеристик. Поэтому для достижения необходимых оптических характеристик особое внимание следует уделять выбору полимерной матрицы, позволяющей получать матовое покрытие при относительно невысокой степени наполнения, при которой формируется покрытие с высокими адгезией, твердостью и физико-механическими свойствами.

### Способы повышения износостойкости и прогнозирования свойств матовых покрытий

Проведенный анализ публикаций научно-технической литературы и опубликованных в открытой печати охранных документов в области разработки матовых износостойких лакокрасочных покрытий показал, что основные направления разработок направлены на повышение декоративных и эксплуатационных свойств покрытий – адгезии, твердости, эластичности, износостойкости, устойчивости к механическим повреждениям и др.

В настоящее время для получения матовых износостойких лакокрасочных покрытий используются органорастворимые и водоразбавляемые полимерные пленкообразующие.

В охранных документах, принадлежащих российским исследователям, которые занимаются разработкой износостойких матовых покрытий, рассмотрены композиции на основе модифицированных эпоксидных, а также алкидных и полиуретановых пленкообразующих.

Лидирующее место в области разработки износостойких лакокрасочных материалов, используемых при изготовлении авиационной техники, принадлежит НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, в котором на протяжении многих лет проводятся работы по созданию декоративных и износостойких лакокрасочных композиций. Разработаны эмали с определенными декоративными и цветовыми характеристиками марок МС-249, ХС-5245 и ВЭ-65М, которые используются для декоративной окраски элементов конструкций, приборов из алюминиевых сплавов и полимерных композитов, в том числе для окраски элементов кабины пилотов, панелей светопроводов и других деталей [25].

Следует отметить, что для получения износостойких покрытий используются также фторопластовые пленкообразующие. Так, специалистами ЗАО «НПК «ЯрЛИ» разработан состав на основе такого пленкообразующего. Компоненты, входящие в состав покрытия, способствуют уменьшению продолжительности высыхания, повышению физико-механических и декоративных свойств, увеличению износостойкости [26]. Российскими специалистами разработан состав барьерного покрытия на основе фторполимера с высокой износостойкостью, прочностью и водостойкостью [27].

Определенный интерес представляют также способы получения алкидно-уретановых эмалей различной цветовой гаммы, разработанные авторами патентов [28, 29]. Такие составы обеспечивают высокие декоративные характеристики, износостойкость, а также устойчивость к механическим нагрузкам.

Учеными РХТУ им. Д.И. Менделеева получена полиуретановая композиция, покрытие на основе которой обладает высокими цветовыми и декоративными характеристиками, объемной микротвердостью и износостойкостью [30].

Имеется достаточное количество отечественных разработок лакокрасочных износостойких составов с применением эпоксидных и полиуретановых составов. Представляет определенный интерес эпоксидно-каучуковая композиция для защитного покрытия, разработанная специалистами ФГУП «НИИСК», включающая эпоксикаучуковый аддукт, олигоэфирэпоксид, пигменты, наполнители, отвердитель. Состав обеспечивает получение покрытия с высокими износостойкостью, прочностью при разрыве, твердостью и улучшенными электроизоляционными свойствами [31].

Следует отметить, что российские ученые при разработке износостойких покрытий большое внимание уделяют выбору наполнителей, входящих в состав лакокрасочного материала. Разработчики НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ для получения износостойких и эрозионностойких покрытий используют волокнистые или игольчатые наполнители, которые в процессе структурообразования способствуют

повышению механической прочности и стойкости к механическим воздействиям. Показано, что применение армирующих и волокнистых наполнителей способствует повышению прочностных характеристик покрытий, износостойкости и эрозионной стойкости [32–34].

Большое внимание российскими учеными уделяется изучению наноразмерных наполнителей в полимерных лакокрасочных системах. В работе [35] исследовано влияние наночастиц диоксида кремния на свойства лакокрасочного покрытия на основе перхлорвиниловой эмали. Изучены механические свойства, текстура и структура лакокрасочного покрытия на основе перхлорвиниловой и глифталевой смол. Обнаружено увеличение прочности на истирание, твердости, модуля упругости разработанного покрытия по сравнению с исходным покрытием.

В работе [36] исследовано влияние добавок диоксида кремния различных концентраций и способов их введения в краску на структуру и механические свойства полученного лакокрасочного материала. В результате проведенных исследований получено износостойкое лакокрасочное покрытие на основе перхлорвиниловой и глифталевой смол путем модификации краски нанодисперсным порошком диоксида кремния. Исследовано влияние добавок диоксида кремния различных концентраций и способов их введения в лакокрасочный материал на структуру и механические свойства полученного покрытия.

Учеными Гродненского университета им. Янки Купалы также проведены работы по повышению декоративных и физико-механических свойств покрытий. Исследована структура и свойства лакокрасочных материалов, модифицированных полыми стеклянными микросферами. Показано, что введение микросфер приводит к уменьшению размеров и количества микротрещин в лакокрасочном покрытии, а также к увеличению его матовости [37].

В работе [38] изучены стойкость и долговечность лакокрасочных покрытий, проведены систематизация и обобщение факторов, определяющих долговечность покрытий. Рассмотрены роль внутренних напряжений, возникающих в защитных покрытиях, и способы оценки их связи с механизмом процесса старения.

Весьма перспективными являются работы, проводимые китайскими учеными [39–42], направленные на разработку износостойких лакокрасочных материалов с повышенными декоративными свойствами, а также с высоким содержанием твердых веществ на основе двухкомпонентных пленкообразующих. Следует отметить, что китайские разработчики лакокрасочных материалов уделяют большое внимание наночастицам, в частности наноксиду алюминия. Применение наноксида алюминия повышает твердость и износостойкость покрытия. В составе композиций для износостойких матовых покрытий также используется сферический матирующий органический порошок, повышающий устойчивость к царапинам и снижающий сопротивление трению.

Хорошо известно, что введение в структуру полимеров фторсодержащих фрагментов способствует повышению гидрофобности, водостойкости, а также матовости покрытий.

В связи с этим большой интерес представляет работа китайских специалистов [43], которые для модификации поверхности диоксида кремния синтезировали водные дисперсии фторполимера, а также использовали в качестве модификатора раствор ( $\beta$ -аминоэтил)- $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилана в воде. Затем полученный водный раствор добавляли непосредственно в форполимер полиуретана также на водной основе для эмульгирования. Активные аминогруппы участвуют в изоцианатной реакции и удлинении цепи макромолекул. Покрытие показало высокие механические характеристики и стабильность свойств матового покрытия.

В статье [44] представлена работа китайских авторов, синтезировавших из полиметилметакрилата микросферы различных размеров. Использование их в покрытиях из полиуретана на водной основе придает покрытию матовый эффект благодаря увеличению шероховатости поверхности.

Большой интерес в области создания декоративных матовых и износостойких покрытий представляют разработки американских ученых.

Особое внимание американские специалисты уделяют разработке покрытий на основе фторсодержащих пленкообразующих. В фирме Cytonix Corporation разработан состав износостойкого покрытия на основе фторированного компонента. В состав такого покрытия входит также промотор адгезии, который может содержать алкоксильную группу, циклодсодержащую структуру и реактивную группу. При его нанесении на поверхность образуется долговечное износостойкое покрытие, устойчивое к атмосферным воздействиям и царапанью. Специалистами фирмы Hontek Corp. запатентованы составы матовых полиуретановых, силиконовых и фторэластомерных композиций. Покрытия на основе этих композиций устойчивы к ультрафиолету, воздействию песка, обладают высокими адгезией, твердостью и механической прочностью [45–49].

Специалистами фирмы Columbia Insurance разработана водная композиция, устойчивая к истиранию и/или сколам, которая содержит латекс с восковыми затравками, гидрофобное восковое соединение, заключенное в полимерную матрицу, с добавлением воска. Декоративное покрытие обладает высокими стойкостью к истиранию и механической прочностью [50].

Следует отметить совместную работу канадских и американских ученых [51], которые исследовали составы и характеристики покрытий, отверждаемых ультрафиолетом, с низким блеском. Такие покрытия созданы с использованием акриловых олигомеров и мономеров с модификацией поверхности диоксидом кремния в качестве матирующего агента.

Определенный интерес представляет статья китайских и американских специалистов [52], которыми разработан и изготовлен модифицированный наполнитель для улучшения износостойкости и антикоррозионных свойств лакокрасочных покрытий. Стекланные чешуйки модифицированы триэтоксисилилпропиламинном, затем на поверхность модифицированных наполнителей привита фитиновая кислота и ионы цинка.

Как выяснилось из анализа научно-технических литературных источников и патентной документации, в европейских странах лидерами в области разработки матовых износостойких лакокрасочных материалов являются в основном специалисты Германии и Нидерландов. Следует отметить известные европейские фирмы: Akzo Nobel Coatings International, Mankiewicz Gebr & Co и BASF Coatings, которые на протяжении многих лет занимаются разработкой лакокрасочных покрытий. Специалистами этих фирм разработаны составы лакокрасочных композиций с повышенной атмосферостойкостью, устойчивостью к царапанью, загрязнениям и агрессивным жидкостям [53–55].

В совместной статье итальянских и американских специалистов [56] приведена оценка долговечности прозрачных автомобильных покрытий, содержащих нанокремнезем. В работе изучалось влияние частиц нанокремнезема на износостойкость и стойкость к царапанью лаковых покрытий.

Среди работ европейских ученых представляет интерес совместная публикация специалистов Франции и Люксембурга – ими разработана модель на основании микрограней, с помощью которой прогнозируют двулучевую функцию отражательной способности по трехмерной функции распределения наклона шероховатости. Расчеты по этой модели основаны на измеренной шероховатости, что выгодно отличает ее от

других известных моделей. Показано, что такой подход позволяет хорошо прогнозировать оптические свойства полиуретановых покрытий [57].

Испанские ученые внесли большой вклад в моделирование матирующего эффекта водных полиуретановых дисперсий. Для прогнозирования блеска представлен полуэмпирический подход к моделированию блеска и реологии покрытий. Исследован матовый гибридный полиуретан на водной основе с самоматирующим агентом и традиционным матирующим агентом на основе диоксида кремния. Полученный блеск сопоставлен со значениями блеска чистых компонентов и динамической вязкостью [58].

В работе [59] испанские специалисты исследовали включения дисперсий фторполимеров на водной основе в рецептурах лакокрасочных материалов, которые действуют как пленкообразующие для матирующих целей. Применение фторполимеров на водной основе в рецептурах лакокрасочных покрытий дает возможность проводить частичную замену матирующих агентов.

При анализе изученной научно-технической литературы и патентно-технической документации выявлены следующие тенденции в области разработки матовых износостойких лакокрасочных покрытий для окраски панелей приборов и элементов кабины пилота:

- повышение адгезии покрытия к различным подложкам путем введения в матрицу модифицирующих составов, а также использования в качестве сшивающего агента полиизоцианатного компонента;
- повышение износостойкости за счет применения полиуретанового пленкообразующего, а также структурообразующих и упрочняющих наполнителей;
- повышение декоративных характеристик покрытий с помощью матирующих добавок;
- снижение токсичности при использовании водоразбавляемых лакокрасочных материалов;
- сокращение технологического цикла формирования покрытия за счет применения катализатора отверждения, ультрафиолетового и электромагнитного излучения.

Повышение вышеуказанных характеристик при создании износостойких лакокрасочных покрытий может быть достигнуто:

- оптимизацией состава полимерного пленкообразующего, отвечающего заданным требованиям по адгезионным и физико-механическим характеристикам;
- применением упрочняющих волокнистых, а также структурообразующих наполнителей для повышения прочностных характеристик и износостойкости;
- оптимизацией соотношения связующее/наполнитель и технологического цикла формирования покрытий;
- при использовании в качестве полимерной матрицы полиуретановых и акриуретановых связующих, а также модифицированных эпоксидных пленкообразующих при разработке матовых износостойких лакокрасочных покрытий для окраски панелей приборов и элементов кабины пилота.

### Заключения

Проведенный анализ показал, что при разработке матовых износостойких покрытий существенным является как выбор связующего (полимерной матрицы) так и входящих в состав покрытия пигментов и наполнителей.

Основными принципами создания матовых износостойких покрытий являются:

- выбор полимерного пленкообразующего, в том числе модифицирующего компонента, обеспечивающего высокую адгезию к защищаемой поверхности, прочность при растяжении, эластичность при изгибе, твердость покрытия;
- использование волокнистых и структурообразующих наполнителей, способствующих формированию более прочной структуры и, соответственно,

достижению более высоких эксплуатационных характеристик (механическая прочность, износостойкость, устойчивость к механическим повреждениям);

– использование матирующих агентов для достижения требуемых декоративных свойств;

Для повышения характеристик разрабатываемых матовых износостойких покрытий необходимо оптимизировать: состав полимерного пленкообразователя, отвечающего заданным требованиям по декоративным, адгезионным, физико-механическим характеристикам и износостойкости; соотношение связующее/наполнитель и технологический цикл формирования покрытий.

#### **Список источников**

1. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение в XXI веке. Перспективы и задачи // Авиационные материалы. Избранные труды ВИАМ 1932–2002. М.: МИСИС–ВИАМ, 2002. С. 23–47.
2. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
3. Железняк В.Г. Современные лакокрасочные материалы для применения в изделиях авиационной техники // Труды ВИАМ. 2019. № 5 (77). Ст. 07. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 17.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
4. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных свойств, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. № 1. С. 96–102.
5. Проблемы защитных ЛКМ: Обзор материалов европейской конференции «Защитные покрытия» («Protective coating»). Дюссельдорф (Германия) // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. № 9. С. 33–35.
6. Кузнецова В.А., Марченко С.А., Емельянов В.В., Железняк В.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидных олигомеров и отвердителей на эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 1 (62). Ст. 07. URL: <http://www.jornal.ru> (дата обращения: 17.08.2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
7. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 5. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
8. Кузнецова В.А., Шаповалов Г.Г., Марченко С.А., Коврижкина Н.А., Силаева А.А. Матовые покрытия на основе двухфазной эпоксидно-акриловой композиции для окраски элементов кабины пилотов и панелей приборов // Труды ВИАМ. 2020. № 12 (94) Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 27.06.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-87-95.
9. Евтюхов Н.З., Дубнова А.Б., Машляковский Л.Н. Матовые покрытия из эпоксидных порошковых ЛКМ низкотемпературного отверждения // Лакокрасочные материалы и их применение. 2008. № 10. С. 20–23.
10. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Кодаченко Е.Н., Железняк В.Г. Исследование влияния химической природы грунтовочного слоя на свойства системы покрытий на основе фторполиуретановой эмали // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 09. URL: <http://www.jornal.viam.ru> (дата обращения: 14.09.2023) DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
11. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Новикова Т.А. Исследование свойств системы лакокрасочного покрытия на основе фторполиуретановой эмали и грунтовки с пониженным содержанием токсичных пигментов // Труды ВИАМ. 2019. № 5 (77). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 06.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-68-75.
12. Кузнецова В.А., Емельянов В.В., Шаповалов Г.Г., Коврижкина Н.А. Применение модификаторов для повышения эксплуатационных свойств лакокрасочных покрытий на основе эпоксидных пленкообразующих (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 12 (106). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 27.06.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-63-72.

13. Чеботарева Е.Г., Огрель Л.Ю. Современные тенденции модификации эпоксидных олигомеров // *Фундаментальные исследования*. 2008. № 4. С. 102–104.
14. Каблов Е.Н. Основные направления развития материалов для авиакосмической техники XXI века // *Перспективные материалы*. 2000. № 3. С. 27–36.
15. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // *Металлург*. 2013. № 12. С. 4–8.
16. 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.
17. Шитова Т.А., Евтохов Н.З., Яковлев А.Д., Шибалович В.С. Способы получения матовых покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 1982. № 3. С. 44–46.
18. Фортунин В.И., Овчинникова Н.Г. Получение и свойства микропористых перхлорвиниловых покрытий // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 1980. № 3. С. 21–22.
19. Федякова Н.В., Павлов А.В., Зеленская А.Д., Щербина А.А. Влияние степени пигментирования на блеск алкидно-уретановых эмалей // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2023. № 4. С. 28–32.
20. Осовская И.И., Зверева В.А. Порошковая полиэфирная краска для полимерных покрытий // *Вестник Тверского государственного университета. Сер.: Химия*. 2018. № 2. С. 111–117.
21. Горбунов Д.Ф. Высокоэффективные матирующие добавки компании Дегусса // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2006. № 2–3. С. 18–19.
22. Титова И.Е. Органический матирующий агент Deuteron – новый подход к созданию покрытий с заданными свойствами // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2008. № 12. С. 32–34.
23. Коврижкина Н.А., Кузнецова В.А., Силаева А.А., Марченко С.А. Способы улучшения свойств лакокрасочных покрытий с помощью введения различных наполнителей (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2019. № 4 (57). С. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
24. Йорю Сю, Гибелхас И. Утопия или реальность? Более высокая дозировка матирующей добавки с выдающимся снижением вязкости в 100%-ных УФ-системах // *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2020. № 10. С. 18–24.
25. Состав для покрытий: пат. 2335521 Рос. Федерация; заявл. 04.07.07; опубл. 10.10.08.
26. Фторопластовый лакокрасочный материал для покрытий: пат. 2532192 Рос. Федерация; заявл. 07.05.13; опубл. 27.10.14.
27. Состав для барьерного покрытия: пат. 462493 Рос. Федерация; заявл. 05.04.11; опубл. 27.10.14.
28. Лакокрасочная композиция алкидно-уретановой эмали: пат. 2351625 Рос. Федерация; заявл. 28.11.07; опубл. 10.04.09.
29. Способ получения алкидно-уретановой эмали: пат. 2346967 Рос. Федерация; заявл. 28.11.07; опубл. 20.02.09.
30. Полиуретановая композиция для покрытий: пат. 2298573 Рос. Федерация; заявл. 11.05.05; опубл. 27.06.05.
31. Эпоксидно-каучуковая композиция для защитных покрытий: пат. 2550864 Рос. Федерация; заявл. 06.08.13; опубл. 20.05.15.
32. Кузнецова В.А., Деев И.С., Железняк В.Г., Силаева А.А. Износостойкое лакокрасочное покрытие с квазикристаллическим наполнителем // *Труды ВИАМ*. 2018. № 3 (63). Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 28.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-68-76.
33. Кузнецова В.А., Марченко С.А., Железняк В.Г., Емельянов В.В. Влияние пространственной структуры армирующего наполнителя на свойства лакокрасочных покрытий // *Труды ВИАМ*. 2020. № 9 (91). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 28.08.2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-96-104.
34. Силаева А.А., Кузнецова В.А., Куршев Е.В., Тимошина Е.А. Влияние размеров армирующего наполнителя на технологические и функциональные свойства ЛКМ // *Материаловедение*. 2022. № 2. С. 32–38.

35. Лыгденов В.Ц., Сызранцев В.В., Бардаханов С.П. и др. Исследование влияния наночастиц диоксида кремния на свойства лакокрасочного покрытия из перхлорвиниловой эмали // Прикладная механика и техническая физика. 2020. Т. 61. № 5. С. 246–254.
36. Номоев А.В., Лыгденов В.Ц., Бардаханов С.П. Влияние нанопорошка диоксида кремния на износостойкость лакокрасочного покрытия // Нанотехнологии в строительстве. 2010. Т. 2. № 3. С. 19–24. URL: <http://www.sciup.org> (дата обращения: 28.08.2023).
37. Валько Н.Г., Глоба А.И., Касперович А.В., Духович Ю.В. Структура и свойства лакокрасочных покрытий, модифицированных полыми стеклянными микросферами // Вестник ГГУ им. Янки Купалы. 2020. Т. 10. № 2. С. 95–102.
38. Мжачих Е.И., Сухарева Л.В., Яковлев В.С. Факторы, определяющие долговечность полимерных покрытий // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2006. Т. 49. № 2. С. 108–109.
39. Nitro-wear resistant matte black paint: pat. CN 102746747; appl. 28.06.12; publ. 05.12.12.
40. Polyurethane transparent matt topcoat, preparation method and use method thereof: pat. CN 101381581; appl. 27.10.08; publ. 11.03.09.
41. Scratch-resistant soft full-matt finishing paint as well as preparation method and application thereof: pat. CN 114702890; appl. 12.04.22; publ. 05.07.22.
42. Polyurethane matte finishing coat for automatically coating wood ware and preparing method thereof: pat. CN 105131824; appl. 01.09.15; publ. 09.12.15.
43. High solid anti-scratching unsaturated polyester matte top-coat for coating wooden products: pat. CN 103173109; appl. 23.12.11; publ. 26.03.13.
44. Ma Hui, Liu Yucun, Guo Jiahu et al. Synthesis of a novel silica modified environmentally friendly waterborne polyurethane matting coating // Progress in Organic Coatings. 2020. Vol. 139. P. 231–242.
45. Tionyou Wang, Zhe Sun, Feifei Liang et al. Poly(methylmethacrylate) microspheres with matting characteristic prepared by dispersion polymerization // International Journal of polymer Analysis and Characterization. 2019. Vol. 24. P. 731–740.
46. Anti wear coatings: pat. US 7268179; appl. 30.09.03; publ. 11.09.07.
47. Abrasion resistant coatings: pat. US 7736745; appl. 24.05.05; publ. 15.01.10.
48. Method of making matte airfoil coatings: pat. US 8124235 B2; appl. 11.01.10; publ. 28.02.12.
49. Scuff resistant and chip resistant architectural compositions: pat. US 11230645; appl. 05.05.17; publ. 25.01.22.
50. Calvez I., Szczepanski C.R., Landry V. Preparation and characterization of low gloss UV-curable coating based on silica surface modification using an acrylate monomer // Progress in Organic Coatings. 2021. Vol. 158. P. 476–483.
51. Fluorinate polyacrylate coating composition, the preparation method therefore and use thereof: pat. EP 3732221; appl. 21.12.18; publ. 23.02.22.
52. Jian Zhang, Wen-Guang Lu, Hui Yan et al. Improvement of wear-resistance and anti-corrosion of waterborne epoxy coating by synergistic modification of glass flake with phytic acid and Zn<sup>2+</sup> // Ceramics International. 2023. Vol. 49. No. 11. P. 17910–17920.
53. Two-component composition for producing flexible polyurethane gel coats: pat. WO 2005030893; appl. 23.09.03; publ. 16.09.04.
54. Aqueous base paint for producing a coating: pat. WO 2016188655; appl. 22.05.15; publ. 01.12.16.
55. Fluorinate polyacrylate coating composition, the preparation method therefore and use thereof: pat. EP 3732221; appl. 21.12.18; publ. 23.02.22.
56. Scrinzi E., Rossi S., Kamarchik P., Deflorian F. Evaluation of durability of nano-silica containing clear coats for automotive applications // Progress in Organic Coatings. 2011. Vol. 71. No. 4. P. 384–390.
57. Wittmann B., Montmitonnet P., Burr A. et al. BRDF and gloss computation of polyurethane coatings from roughness measurements: Modelling and experimental validation // Progress in Organic Coatings. 2021. Vol. 156. P. 365–373.
58. Julio Uribe-Padilla, Moises Graells-Sobre, Juan Salgado-Valle. A novel contribution to the modeling of the matting efficiency of aqueous polyurethane dispersions // Progress in Organic Coatings. 2017. Vol. 109. P. 179–185.
59. Lopez A.B., Bohyrquez S.J., Meeuwisse M. et al. Self-matting waterborne fluoropolymers // Progress in Organic Coatings. 2018. Vol. 116. P. 57–69.

References

1. Kablov E.N. Aviation materials science in the 21st century. Prospects and objectives. *Aviation materials. Selected works of VIAM 1932–2002*. Moscow: MISIS–VIAM, 2002, pp. 23–47.
2. Kablov E.N. New generation materials – the basis of innovation, technological leadership and national security of Russia. *Intellekt i tekhnologii*, 2016, no. 2 (14), pp. 16–21.
3. Zheleznyak V.G. Modern paint and varnish materials for use in aviation equipment products. *Trudy VIAM*, 2019, no. 5 (77), paper no. 07. Available at: <http://www.viam-works.ru>. (accessed: August 17, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
4. Kondrashov E.K., Kuznetsova V.A., Semenova L.V., Lebedeva T.A. The main directions for increasing the performance properties, technological and environmental characteristics of paint and varnish coatings for aviation equipment. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2010, vol. LIV, no. 1. pp. 96–102.
5. Problems of protective coatings: Review of materials of the European conference “Protective coating”. Dusseldorf (Germany). *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2013, no. 9. pp. 33–35.
6. Kuznetsova V.A., Marchenko S.A., Emelyanov V.V., Zheleznyak V.G. Study of the influence of molecular mass of epoxy oligomers and hardeners on the operational properties of paint coatings. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: August 17, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
7. Pavlyuk B.Ph. The main directions in the field of development of polymeric functional materials. *Aviacionnyye materialy i tekhnologii*, 2017, no. S, pp. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
8. Kuznetsova V.A., Shapovalov G.G., Marchenko S.A., Kovrizhkina N.A., Silaeva A.A. Paint coatings on the basis of epoxy and acrylic diphasic polymeric system for coloring of elements of cabin of pilots and dashboards. *Trudy VIAM*, 2020, no. 12 (94), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 27, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-12-87-95.
9. Evtukhov N.Z., Dubnova L.N. Mashlyakovsky Matte coatings made of epoxy powder coatings with low-temperature curing. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2008, no. 10, pp. 20–23.
10. 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: September 14, 2023). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
11. Merkulova Yu.I., Kuznetsova V.A., Novikova T.A. Investigation of properties of coating system based on fluorine polyurethane enamel and primer with low toxic pigment content. *Trudy VIAM*, 2019, no. 5 (77), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru>. (accessed: August 06, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-68-75.
12. Kuznetsova V.A., Yemelyanov V.V., Shapovalov G.G., Kovrizhkina N.A. Use of modifiers for increase of operational properties of paint coatings on the basis of the epoxy film-forming (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 12 (106), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: June 27, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-63-72.
13. Chebotareva E.G., Ogrel L.Yu. Current trends in the modification of epoxy oligomers. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2008, no. 4, pp. 102–104.
14. Kablov E.N. Main directions of development of materials for aerospace technology of the 21st century. *Perspektivnyye materialy*, 2000, no. 3, pp. 27–36.
15. Kablov E.N. Without new materials – there is no future // *Metallurg*, 2013, no. 12, pp. 23–47.
16. 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». *Aviacionnyye materialy i tekhnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
17. Shitova T.A., Evtukhov N.Z., Yakovlev A.D., Shibalovich V.S. Methods for obtaining matte coatings. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 1982, no. 3, pp. 44–46.
18. Fortunin V.I., Ovchinnikova N.G. Preparation and properties of microporous perchlorovinyl coatings. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 1980, no. 3, pp. 21–22.
19. Fedyakova N.V., Pavlov A.V., Zelenskaya A.D., Shcherbina A.A. Influence of degree of a pigmentirovaniye on shine of alkidno-uretanovy enamels. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2023, no. 14, pp. 28–32.
20. Osovskaya I.I., Zvereva V.A. Powder polyester paint for polymer coatings. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Khimiya*, 2018, no. 2, pp. 111–117.

21. Gorbunov D.F. Highly effective matting additives from Degussa. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2006, no. 2–3, pp. 18–19.
22. Titova I.E. Organic matting agent Deuteron – a new approach to creating coatings with specified properties. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2008, no. 12, pp. 32–34.
23. Kovrizhkina N.A., Kuznetsova V.A., Silaeva A.A., Marchenko S.A. Ways to improve the properties of paint coatings by adding different fillers (review). *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2019, no. 4 (57), pp. 41–48. DOI: 10.18577/2071-9140-2019-0-4-41-48.
24. Yoryu Xu, Gibelhas I. Utopia or reality? Higher dosage of matting additive with outstanding viscosity reduction in 100% UV systems. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye*, 2020, no. 10, pp. 18–24.
25. *Composition for coatings*: pat. 2335521 Rus. Federation; appl. 04.07.07; publ. 10.10.08.
26. *Fluoroplastic paint and varnish material for coatings*: pat. 2532192 Rus. Federation; appl. 07.05.13; publ. 27.10.14.
27. *Composition for barrier coating*: pat. 462493 Rus. Federation; appl. 05.04.11; publ. 27.10.14.
28. *Paint and varnish composition of alkyd-urethane enamel*: pat. 2351625 Rus. Federation; appl. 28.11.07; publ. 10.04.09.
29. *Method for producing alkyd-urethane enamel*: pat. 2346967 Rus. Federation; appl. 28.11.07; publ. 20.02.09.
30. *Polyurethane composition for coatings*: pat. 2298573 Rus. Federation; appl. 11.05.05; publ. 27.06.05.
31. *Epoxy-rubber composition for protective coatings*: pat. 2550864 Rus. Federation; appl. 06.08.13; publ. 20.05.15.
32. Kuznetsova V.A., Deev I.S., Zheleznyak V.G., Silaeva A.A. Anti wear coating with quasicrystal filler. *Trudy VIAM*, 2018, no. 3 (63), paper no. 08. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 28, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-68-76.
33. Kuznetsova V.A., Marchenko S.A., Zheleznyak V.G., Emelyanov V.V. Influence of the spatial structure of reinforcing fillers on the properties of the paint coatings. *Trudy VIAM*, 2020, no. 9 (91), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: August 28, 2023). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-9-96-104.
34. Silaeva A.A., Kuznetsova V.A., Kurshev E.V., Timoshina E.A. Influence of the dimensions of the reinforcing filler on the technological and functional properties of paints and varnishes. *Materialovedeniye*, 2022, no. 2, pp. 32–38.
35. Lygdenov V.Ts., Syzrantsev V.V., Bardakhanov S.P. et al. Study of the influence of silicon dioxide nanoparticles on the properties of paint and varnish coating made of perchlorovinyl enamel. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika*, 2020, vol. 61, no. 5, pp. 246–254.
36. Nomoev A.V., Lygdenov V.Ts., Bardakhanov S.P. The influence of silicon dioxide nanopowder on the wear resistance of paint and varnish coatings. *Nanotekhnologii v stroitelstve: nauchnyy internet-zhurnal*, 2010, vol. 2, no. 3, pp. 19–24. URL: <http://www.sciup.org> (accessed: August 28, 2023).
37. Valko N.G., Globa A.I. Kasperovich A.V., Dukhovich Yu.V. Structure and properties of paint and varnish coatings modified with hollow glass microspheres. *Vestnik GGU im. Yanki Kupaly*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 95–102.
38. Mzhachikh E.I., Sukhareva L.V., Yakovlev V.S. Factors that determine the durability of polymer coatings. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Ser.: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2006, vol. 49, no. 2, pp. 108–109.
39. *Nitro-wear resistant matte black paint*: pat. CN 102746747; appl. 28.06.12; publ. 05.12.12.
40. *Polyurethane transparent matt topcoat, preparation method and use method thereof*: pat. CN 101381581; appl. 27.10.08; publ. 11.03.09.
41. *Scratch-resistant soft full-matt finishing paint as well as preparation method and application thereof*: pat. CN 114702890; appl. 12.04.22; publ. 05.07.22.
42. *Polyurethane matte finishing coat for automatically coating wood ware and preparing method thereof*: pat. CN 105131824; appl. 01.09.15; publ. 09.12.15.
43. *High solid anti-scratching unsaturated polyester matte top-coat for coating wooden products*: pat. CN 103173109; appl. 23.12.11; publ. 26.03.13.

44. Ma Hui, Liu Yucun, Guo Jiahu et al. Synthesis of a novel silica modified environmentally friendly waterborne polyurethane matting coating. *Progress in Organic Coatings*, 2020, vol. 139, pp. 231–242.
45. Tionyou Wang, Zhe Sun, Feifei Liang et al. Poly(methylmethacrylate) microspheres with matting characteristic prepared by dispersion polymerization. *International Journal of polymer Analysis and Characterization*, 2019, vol. 24, pp. 731–740.
46. *Anti wear coatings*: pat. US 7268179; appl. 30.09.03; publ. 11.09.07.
47. *Abrasion resistant coatings*: pat. US 7736745; appl. 24.05.05; publ. 15.01.10.
48. *Method of making matte airfoil coatings*: pat. US 8124235 B2; appl. 11.01.10; publ. 28.02.12.
49. *Scuff resistant and chip resistant architectural compositions*: pat. US 11230645; appl. 05.05.17; publ. 25.01.22.
50. Calvez I., Szczepanski C.R., Landry V. Preparation and characterization of low gloss UV-curable coating based on silica surface modification using an acrylate monomer. *Progress in Organic Coatings*, 2021, vol. 158, pp. 476–483.
51. *Fluorinate polyacrylate coating composition, the preparation method therefore and use thereof*: pat. EP 3732221; appl. 21.12.18; publ. 23.02.22.
52. Jian Zhang, Wen-Guang Lu, Hui Yan et al. Improvement of wear-resistance and anti-corrosion of waterborne epoxy coating by synergistic modification of glass flake with phytic acid and Zn<sup>2+</sup>. *Ceramics International*, 2023, vol. 49, no. 11, pp. 17910–17920.
53. *Two-component composition for producing flexible polyurethane gel coats*: pat. WO 2005030893; appl. 23.09.03; publ. 16.09.04.
54. *Aqueous base paint for producing a coating*: pat. WO 2016188655; appl. 22.05.15; publ. 01.12.16.
55. *Fluorinate polyacrylate coating composition, the preparation method therefore and use thereof*: pat. EP 3732221; appl. 21.12.18; publ. 23.02.22.
56. Scrinzi E., Rossi S., Kamarchik P., Deflorian F. Evaluation of durability of nano-silica containing clear coats for automotive applications. *Progress in Organic Coatings*, 2011, vol. 71, no. 4, pp. 384–390.
57. Wittmann B., Montmitonnet P., Burr A. et al. BRDF and gloss computation of polyurethane coatings from roughness measurements: Modelling and experimental validation. *Progress in Organic Coatings*, 2021, vol. 156, pp. 365–373.
58. Uribe-Padilla J., Graells-Sobre M., Salgado-Valle J. A novel contribution to the modeling of the matting efficiency of aqueous polyurethane dispersions. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 109, pp. 179–185.
59. Lopez A.B., Bohyrquez S.J., Meeuwisse M. et al. Self-matting waterborne fluoropolymers. *Progress in Organic Coatings*, 2018, vol. 116, pp. 57–69.

### Информация об авторах

**Кузнецова Вера Аркадьевна**, начальник сектора, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

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

**Георгий Геннадьевич Шаповалов**, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

**Вячеслав Геннадьевич Железняк**, начальник лаборатории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

### Information about the authors

**Vera A. Kuznetsova**, Head of Sector, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

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

**Georgy G. Shapovalov**, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

**Vyacheslav G. Zheleznyak**, Head of Laboratory, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 29.09.2023; получена после доработки 04.10.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 04.10.2023.  
The article was submitted 29.09.2023; received in revised form 04.10.2023; approved and accepted for publication after reviewing 04.10.2023.