

Научная статья

УДК 629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-96-111

МОДИФИКАЦИЯ ЭПОКСИДНЫХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ И ОТВЕРДИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ (обзор)

В.А. Кузнецова¹, А.А. Силаева¹, В.Г. Железняк¹, С.А. Марченко¹

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

Аннотация. Проведен анализ опыта применения различных подходов для достижения необходимых характеристик лакокрасочных покрытий на основе эпоксидных пленкообразующих за счет модификации компонентов пленкообразующей системы. Рассмотрены пути модификации отвердителей эпоксидных пленкообразующих и самих смол, описано влияние модификаторов на свойства покрытий. Большое внимание уделено, в частности, аминным отвердителям как наиболее распространенным отвердителям эпоксидных смол. Среди модификаторов эпоксидных олигомеров для получения покрытий выделены уретансодержащие, кремнийорганические олигомерные продукты и каучуки.

Ключевые слова: эпоксидные эмали, отвердители, модификаторы, система лакокрасочных покрытий, адгезия, физико-механические свойства, электроизоляционные свойства, химическая стойкость

Для цитирования: Кузнецова В.А., Силаева А.А., Железняк В.Г., Марченко С.А. Модификация эпоксидных пленкообразующих и отвердителей, применяемых для лакокрасочных покрытий (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 5 (111). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-96-111.

Scientific article

MODIFICATION OF EPOXY FILM-FORMING AND THE HARDENERS FOR COATINGS (review)

V.A. Kuznetsova¹, A.A. Silaeva¹, V.G. Zheleznyak¹, S.A. Marchenko¹

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

Abstract. In this work the analysis of experience of application of different approaches for achievement of necessary characteristics of coatings on the basis of epoxy film-forming at the expense of component modification of film-forming system is carried out. Ways of modification of hardeners for epoxy film-forming and epoxy resins are considered, influence of modifying agents on properties of coatings is described. The great attention is given in particular to amine hardeners, as to the most widespread hardeners of epoxies. Among modifiers of epoxy oligomers for receiving coatings uretan-containing, organic silicon oligomer products and rubbers are allocated.

Keywords: epoxy top coat, hardener, modifying agent, coating system, adhesion, physical mechanical properties, electroisolating coatings, chemical resistant

For citation: Kuznetsova V.A., Silaeva A.A., Zheleznyak V.G., Marchenko S.A. Modification of epoxy film-forming and the hardeners for coatings (review). *Trudy VIAM*, 2022, no. 5 (111), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2022-0-5-96-111.

Введение

Практически все отрасли промышленности, выпускающие продукцию, используют лакокрасочные материалы (ЛКМ) для защиты конкретных изделий от воздействия внешних факторов, вызывающих разрушение, а также для придания им определенных декоративных характеристик [1–3].

Следует отметить, что современные ЛКМ широко применяют для защиты авиационной техники, эксплуатируемой в различных климатических районах. Практически все поверхности деталей, узлов, агрегатов и летательного аппарата в целом защищают лакокрасочными покрытиями. В зависимости от назначения и условий эксплуатации деталей, узлов и агрегатов, входящих в конструкцию, к лакокрасочным покрытиям предъявляются специфические требования, обеспечивающие ее защиту и работоспособность [4–6].

В настоящее время перед разработчиками ЛКМ стоят новые задачи по усовершенствованию и повышению их технологических, эксплуатационных свойств и долговечности покрытий, полученных на их основе [7]. Среди всех видов ЛКМ, изготавливаемых на основе синтетических смол, очень часто и широко используют эпоксидные пленкообразующие. Это связано с тем, что в структуру молекулы эпоксидных смол встроены этиленоксидные кольца, имеющие форму трехчленных кислородсодержащих циклов. Такая функциональная группа при определенных условиях взаимодействует с подвижным атомом водорода отвердителя (амин, амида и других соединений) с образованием гидроксильной группы. В полимерной цепи эпоксидных олигомеров присутствуют также гидроксильные группы, что открывает широкие возможности для выбора отверждающих компонентов при формировании структуры покрытия [8–10].

В данной работе проведен анализ отечественных публикаций с 1970 по 2021 г. в области модификации эпоксидных пленкообразующих и отвердителей для получения функциональных лакокрасочных покрытий. Статья выполнена 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») [11].

Модификация эпоксидных олигомеров, используемых в системах функциональных лакокрасочных покрытий

Разнообразие областей применения лакокрасочных покрытий на основе эпоксидных эмалей и предъявляемые к ним требования вызывают необходимость создания широкого ассортимента ЛКМ в зависимости от их назначения [12–15]. Улучшение физико-механических свойств эпоксидных пленкообразующих, используемых для получения эмалей, путем их модификации является весьма актуальной задачей.

Для изготовления лакокрасочных покрытий при отверждении эпоксидных пленкообразующих используют отвердители, катализаторы, а также модифицирующие компоненты, выполняющие роль сшивающего агента. Структурообразование покрытия при отверждении может протекать за счет взаимодействия реакционноспособных групп отвердителей с эпоксидными или гидроксильными группами [16–18].

Немаловажным фактором, влияющим на процесс образования полимерной сетки, является температурный режим ее формирования. Композиции, отверждаемые алифатическими полиаминами, кислотами и основаниями Льюиса, изоцианатами,

а также эпоксиэфирами, способны отверждаться в естественных условиях, а композиции, где используют ангидриды, феноло-, карбамидо- и меламиноформальдегидные олигомеры и другие модификаторы, отверждаются с применением искусственной сушки [19–21].

Основными характеристиками, регламентирующими выбор модификаторов и отвердителей при разработке эпоксидных ЛКМ, являются:

- температурный диапазон эксплуатации покрытия;
- условия эксплуатации покрытия (воздействие окружающей среды);
- температурный режим формирования покрытия.

С применением эпоксидных пленкообразующих на основе разнообразных отвердителей и модификаторов разработаны лакокрасочные покрытия различного назначения: химически стойкие, водостойкие, электроизоляционные и теплостойкие, обладающие высокой адгезией к металлическим и неметаллическим поверхностям, а также стойкие к агрессивным средам [22].

В данной работе представлен анализ публикаций о модификации эпоксидных пленкообразующих и отвердителей, используемых для получения лакокрасочных покрытий. Основное внимание уделено разработке модифицированных эпоксидных пленкообразующих, которые могут применяться для получения покрытий, устойчивых к действию агрессивных жидкостей и масел, а также эрозионно-, износ-, водостойких и электроизоляционных покрытий.

Для отверждения эпоксидных олигомеров, используемых для получения таких покрытий, часто применяют первичные и вторичные ди- и полиамины.

Модификация отвердителей

Широкое применение эпоксидных олигомеров в производстве лакокрасочных материалов и покрытий вызвало появление большого числа работ, связанных с подбором и синтезом новых отвердителей, способных ускорить процесс отверждения и привести к повышению эксплуатационных свойств эпоксидных лакокрасочных покрытий.

Полиамины очень часто используют в промышленности для отверждения эпоксидных ЛКМ, поскольку они обладают высокой активностью при отверждении даже в естественных условиях. Однако жизнеспособность таких композиций невысокая, к тому же процесс структурообразования при отверждении полиаминами существенно зависит от влажности воздуха. В условиях повышенной влажности при естественном отверждении достаточно часто формируются мутные и липкие покрытия, что обусловлено образованием карбонатов аминов на воздухе [23–25].

Эффективным средством повышения эксплуатационных свойств эпоксидных покрытий является модификация аминных отвердителей [26]. Разработаны модифицированные тетрафункциональные отвердители с первичными аминогруппами: ОТМ-1 – на основе промышленного сырья и ОТМ-2 – с использованием отходов производства. Определены адгезионные и защитные свойства покрытий. Установлено, что композиции на основе модифицированных отвердителей обладают более высокой адгезионной прочностью по сравнению с композицией, отвержденной диэтилентриамином (ДЭТА).

Один из способов модификации аминных отвердителей (ДЭТА, ТЭТА, ПЭПА и др.) – блокировка первичных аминогрупп альдегидами или кетонами с образованием альд- или кетиминнов. Основной целью такой блокировки является повышение стабильности эпоксидных композиций. Отмечается, что применение кетиминных отвердителей способствует повышению адгезионной прочности покрытий [27, 28].

В работе [29] представлена кинетика отверждения эпоксидных материалов, в том числе эмали ЭП-569. Проведена сравнительная оценка адгезии, водопоглощения и физико-механических свойств покрытий, отверждаемых полиамидным и кетиминным отвердителями, а также показано, что замена полиамидного отвердителя на кетиминный отвердитель КИ-1 не снижает эксплуатационных свойств покрытий. Применение кетиминных отвердителей позволяет получать эпоксидные покрытия высокого качества в экстремальных условиях. При использовании полифункциональных компонентов принцип частичной блокировки дает возможность проводить химическую модификацию с участием свободных функциональных групп при введении в состав олигомера целевых фрагментов, улучшающих прочностные, адгезионные или другие свойства покрытий. Такой путь модификации открывает возможность конструирования сетчатых полимеров из заранее сформированных блоков различной структуры. В ряде случаев использование заблокированных компонентов, активизирующихся под влиянием влаги, позволяет наносить покрытия в условиях высокой влажности и даже на мокрые поверхности.

Перспективным направлением в плане модификации аминных отвердителей является разработка отвердителей на основе аминированного эпоксидного олигомера типа ЭПАМ (продукт взаимодействия олигомера ЭД-20 и аммиака). Полученные отвердители активны в диапазоне температур от 20 до 120 °С, образуя за достаточно короткое время покрытия с высокими физико-механическими показателями. Исследованы физико-механические свойства покрытий на основе эмали ЭП-140, а также электроизоляционные свойства покрытия на основе эмали ЭП-525, отверждаемых отвердителями аминного типа, в том числе отвердителями ЭПАМ. Проведенные исследования показали перспективность использования отвердителей типа ЭПАМ для отверждения эпоксидных эмалей [31, 32].

В работе [33] исследованы модифицированные аминные отвердители, полученные на основе полиэтиленполиаминов. Установлена принципиальная возможность целенаправленного изменения химической структуры сшивающих агентов, используемых для отверждения эпоксидных ЛКМ. Такая модификация отвердителей может быть реализована путем введения в их молекулы различных жестких или гибких фрагментов, что заметным образом влияет на эксплуатационные свойства эпоксидных покрытий.

Для отверждения эпоксидных лакокрасочных покрытий широко применяют аминоалкоксисиланы, в частности отвердитель АСОТ-2, что позволяет повысить стойкость их систем к маслам, гидравлическим жидкостям и различным топливам [34–36].

Кроме того, для улучшения свойств лакокрасочных покрытий на основе эпоксидных олигомеров используют реакционноспособные олигомеры с повышенной сегментальной подвижностью цепей. В работе [37] показано, как синтезирован реакционноспособный олигомер на основе олигооксиэтиленгликоля (ОЭГ), адипиновой кислоты и эпоксидного олигомера ЭД-20. Эпоксидированные ОЭГ хорошо совмещаются с эпоксидными олигомерами в любых соотношениях. Введение в состав эпоксидного пленкообразующего реакционноспособного олигомера (эпоксидированного ОЭГ) снижает температуру отверждения и повышает эластичность покрытий [38, 39].

Для отверждения эпоксидных смол могут быть использованы различные элементоорганические соединения, в частности кремний-, титанорганические и др. Применение таких отвердителей способствует повышению термостойкости покрытий. Из титанорганических соединений чаще всего используют эфиры ортотитановой

кислоты (титанаты) [40]. Металлсодержащие органические соединения в производстве ЛКМ способны улучшать свойства лакокрасочных покрытий: ускорять высыхание пленок, повышать их твердость и стойкость к действию различных факторов. Алкоголяты алюминия и поливалентных металлов можно применять в качестве отверждающих агентов в лакокрасочных покрытиях на основе эпоксидных олигомеров. Лаковые покрытия с отвердителями такого типа стойки при хранении. Они приобретают сетчатую структуру только при повышенных температурах. Пленки таких лаковых покрытий светлые, устойчивые к действию воды, растворителей и обладают высокой гидрофобностью. Исследованы процессы отверждения эпоксидного олигомера с молекулярной массой 380 хелатами алюминия с применением метода инфракрасной спектроскопии. Такие исследования позволили установить механизм взаимодействия эпоксидного олигомера с хелатами алюминия в тонких пленках. Показано, что процесс отверждения протекает не только благодаря реакциям гидроксильных или эпоксидных групп и алкоксигрупп, но и за счет взаимодействия лиганда с эпоксигруппами, что приводит к образованию пространственного полимера, содержащего химически связанный металл, с высокой степенью сшивки [41].

Для отверждения эпоксидных ЛКМ также широкое применение находят низкомолекулярные полиамиды (полиаминоамиды), которые образуются при взаимодействии димеризованных жирных кислот высыхающих масел с полиэтиленполиамидами. Полиамиды имеют разветвленное строение, менее токсичны по сравнению с аминными отвердителями. Использование полиамидных отвердителей в эпоксидных эмалях повышает физико-механические свойства и теплостойкость покрытий. Применение в качестве пленкообразующего смолы Э-49 при отверждении полиамидом позволило существенно повысить максимально допустимую температуру эксплуатации покрытий и их эрозионную стойкость при газоабразивном изнашивании [42–44].

Наряду с отвердителями аминного типа для отверждения эпоксидных олигомеров используют также ангидриды карбоновых кислот. В лакокрасочной промышленности эти отвердители применяют для получения электроизоляционных и кислотостойких покрытий. В частности, имеются публикации о разработке карбоксилсодержащих отвердителей на основе олигоэфиров различной природы, которые имеют преимущества по сравнению с ангидридами и образуют с эпоксидными олигомерами полимерные покрытия с высокими эксплуатационными свойствами при отверждении при температуре 150 °С. При использовании карбоксилсодержащих олигоэфиров в качестве отвердителей эпоксидных пленкообразующих получены покрытия, отличающиеся высокой адгезионной прочностью и кислотостойкостью. Для повышения устойчивости эпоксидных покрытий к действию щелочей и растворителей применяют полимерные композиции на основе эпоксидных смол, отверждаемых циклоалифатическим изофорондиамином, алифатическим триметилгексаметилендиамином и производными триметилгексаметилендиамина [45].

Модификация эпоксидных пленкообразующих

К перспективным направлениям модификации эпоксидных олигомеров можно отнести применение простых и сложных полиэфиров с концевыми карбоксильными или гидроксильными группами, которые участвуют в образовании блок-сополимеров при отверждении эпоксидных олигомеров. В этом случае основной блок состоит из отвержденного эпоксидного олигомера, а другой блок – сегмент модификатора. Для повышения эластичности покрытий следует использовать в качестве

модифицирующего компонента реакционноспособные соединения, которые принимают участие в процессе структурообразования, что способствует повышению прочности, а также стабильности эксплуатационных свойств отвержденных композиций [46].

Эпоксидные смолы и композиции, модифицированные соединениями, содержащими изоцианатные фрагменты, в настоящее время представляют значительный научный и практический интерес. Однако только некоторые из них находят широкое применение. Уретановые фрагменты в молекулярной структуре эпоксидных звеньев олигомерных молекул обуславливают улучшение прочностных и деформационных характеристик модифицированных эпоксидных покрытий, что, в свою очередь, способствует повышению износостойкости и физико-механических свойств отвержденных покрытий [47, 48].

В работе [49] представлена технология синтеза эпоксиуретановых олигомеров (ЭУО) на основе эпоксиизоцианата. Данный способ модификации дает возможность синтезировать олигомеры с низкими молекулярной массой и вязкостью. Это обстоятельство позволяет получать эпоксидно-аминные композиции с высоким содержанием нелетучих веществ. Результаты исследования показали, что наиболее высокими защитными и физико-механическими характеристиками обладают покрытия, модифицированные олигомером, полученным на основе простого полиэфира Лапрол 503. Применение ЭУО в безрастворных эпоксидно-аминных композициях дает возможность повысить эластичность и ударную прочность покрытий, а использование фосфорсодержащих эпоксиуретановых олигомеров способствует увеличению стойкости покрытий в кислых средах и повышению их огнестойкости.

Интересной представляется модификация эпоксидных олигомеров диизоцианатными полимерами на основе линейных полисилоксанов, обладающих высокими гидрофобностью и термостойкостью. Исследованы ЭУО, модифицированные полидиметилсилоксановыми карбофункциональными гликолями с молекулярной массой от 200 до 1200, для определения влияния силоксановой цепи на свойства лакокрасочного покрытия. Проведенные исследования показали, что использование в качестве модифицирующих компонентов полиизоцианатов на основе толуилендиизоцианата и высокомолекулярных диметилсилоксановых карбофункциональных гликолей при отверждении диэтилентриамином позволяет получать покрытия с повышенными физико-механическими свойствами, высокой гидрофобностью и низким водопоглощением [50–52].

Для повышения влагозащитных свойств эпоксидных покрытий в качестве модификаторов могут использоваться фторкремнийорганические сополимеры [53]. Исследованы полимерные композиции на основе эпоксидной смолы и фторкремнийорганических сополимеров. Проведенные исследования показали, что применение данных сополимеров, содержащих в своем составе звенья с разной функцией по отношению к модифицируемой матрице, а также целенаправленный подбор их состава является перспективным методом повышения гидрофобности и влагостойкости модифицированных эпоксидных покрытий и способствует снижению водопоглощения эпоксидной композиции более чем в 2 раза.

Для модификации эпоксидных пленкообразующих могут быть использованы полианилины. Исследовано влияние добавления их в малых количествах (до 1 % (по массе)) на физико-механические свойства эпоксидных покрытий. В работе применяли эпоксидный олигомер со средней молекулярной массой 400 и массовой долей эпоксидных групп 21,5 %. В качестве сшивающего агента использовали аминный отвердитель, в качестве его модифицирующей добавки – полианилин. Показано, что

его применение в качестве модификатора приводит к повышению физико-механических свойств отвержденных покрытий [54].

Для повышения работоспособности эпоксидных покрытий может использоваться модификация низкомолекулярными полимерными соединениями, обладающими большой подвижностью молекулярных цепей, в частности жидкими каучуками. Эластомерные модификаторы могут быть как совместимы с эпоксидным олигомером, так и несовместимы.

Совместимые каучуки оказывают пластифицирующее или флексибилизирующее действие. Очень часто для этих целей используют реакционноспособные каучуки с небольшой молекулярной массой – до 1200. В таких модифицированных композициях система «эпоксидный олигомер–каучук» является гомогенной и после отверждения пластифицирующий компонент встраивается в эпоксидную сетку. Повышение деформационных свойств эпоксидного покрытия осуществляется вследствие проявления высокой эластичности благодаря гибкости цепей эластомера.

К несовместимым эластомерным модификаторам относятся ограниченно совместимые с эпоксидным олигомером каучуки, которые образуют двухфазные полимерные системы. В этих композициях эпоксидный олигомер является непрерывной фазой, в которой распределена дисперсная фаза каучука, обеспечивающая повышенную устойчивость покрытия к ударным нагрузкам. Этот принцип используется при разработке покрытий, устойчивых к знакопеременным динамическим нагрузкам, а также при газоабразивной и газокapельной эрозии [55–57].

Перспективное направление модификации эпоксидных пленкообразующих – применение жидких каучуков, представляющих собой карбоксилированные сополимеры олигобутадиена с акрилонитрилом. Характерной особенностью модифицированных каучуками эпоксидных полимеров является меньшая, чем у исходных материалов, чувствительность к содержанию отвердителя, высокая стойкость к действию динамических нагрузок и температурных перепадов, а также повышенная стойкость к абразивному износу. Изучены закономерности формирования сетчатых структур в системах «карбоксилсодержащий бутадиен–нитрильный каучук–эпоксидный олигомер». Установлено, что при химическом взаимодействии олигомеров протекают реакции между эпоксидными, карбоксильными и гидроксильными группами, приводящие к удлинению макромолекулярных цепей, формированию точек разветвлений и образованию трехмерной сетчатой структуры. Рассмотрено влияние температуры и соотношения компонентов на характеристики формирующейся структуры [58, 59].

Стабильными эксплуатационными свойствами и эластичностью обладают полимеры, полученные при совмещении эпоксидного олигомера с тиоколами, карбоксилсодержащими каучуками [60, 61]. Согласно современным представлениям модификация эпоксидной смолы низкомолекулярными тиоколами, карбоксилсодержащими олигомерами и другими каучуками, имеющими реакционноспособные группы, основана на образовании статистических блок-сополимеров между жесткими макромолекулами эпоксидного компонента и эластичными звеньями добавок. На основе эпоксидно-тиоколовых композиций разработаны эрозионностойкие покрытия, устойчивые к воздействию воды и различных топлив [62].

Использование реакционноспособных жидких каучуков, выделяющихся в отдельную тонко диспергированную фазу, химически связанную с жесткой матрицей полимера, позволяет получать эпоксиполимеры, характеризующиеся высокими значениями энергии разрушения. При приложении ударной нагрузки к полимерной

системе диспергированная фаза каучука поглощает энергию и замедляет скорость распространения трещины в материале [63–65].

Большого модифицирующего эффекта достигают при предварительном получении эпоксидно-каучуковых аддуктов за счет применения эластомеров с реакционноспособными концевыми группами. При использовании низкомолекулярных каучуков с молекулярной массой ≤ 1200 образуются гомогенные системы. Исследованы свойства покрытия на основе эпоксидных сетчатых полимеров, содержащих модифицирующий полидиметилсилоксануретановый фрагмент, а также адгезионная прочность покрытий и водопоглощение. Установлено, что структурная модификация эпоксидных олигомеров полидиметилсилоксановыми фрагментами с толуилдиуретановыми группами на концах обеспечивает гидрофобизацию покрытий при чрезвычайно малых количествах модификатора, а при содержании полидиметилсилоксануретанового фрагмента в количестве 15–25 % (по массе) ускоряет отверждение покрытий, увеличивает их адгезионную прочность и стабильность адгезионных связей при экспозиции в воде [66, 67].

Интересным направлением модификации эпоксидных пленкообразующих является создание расслаивающих покрытий на основе эпоксидно-каучуковых композиций. Структурные особенности таких композиций определяются термодинамической совместимостью эпоксидно-анилинового олигомера и олигодиеуретанэпоксида ПДИ-ЗАК. Исследованы структурные особенности бинарных смесей, отвержденных аминофенольным отвердителем АФ-2 с применением метода электронной микроскопии. Результаты проведенных исследований показали, что отвержденная пленка является трехслойной. Поверхностный слой состоит из эластичного компонента, содержащего кристаллическую фазу, а нижний – из жесткого, аморфного компонента. В результате изучения закономерностей расслоения системы «ПДИ-ЗАК–эпоксидный олигомер» выявлены соотношения пленкообразователей, обеспечивающих формирование покрытий с оптимальными свойствами, установлены основные технологические режимы формирования покрытия [68–70].

Структурные особенности эпоксидно-каучуковой композиции, ее способность к расслаиванию в сочетании с образованием химических связей между слоями и отдельными надмолекулярными образованиями являются, по-видимому, причиной высокой стойкости этой композиции в условиях кавитационно-эрозионного воздействия.

На основе эпоксидно-каучуковых композиций разработаны покрытия с повышенной устойчивостью к гидроэрозионному воздействию [71].

В качестве модификатора эпоксидных пленкообразующих могут быть использованы акриловые сополимеры. При отверждении указанной полимерной композиции отвердителем образуется двухфазная полимерная система «сетка в сетке», при формировании которой каждая фаза характеризуется своим значением показателя преломления. В результате образуется «мутная» полимерная среда, в которой при прохождении света значительная доля светового потока рассеивается диффузно на микронеоднородностях в объеме пленки покрытия. Такие полимерные системы могут применяться при разработке матовых покрытий, обладающих высокими декоративными свойствами [72].

Следует отметить, что в качестве пленкообразователя электроизоляционных лакокрасочных покрытий также могут быть использованы модифицированные эпоксидные смолы, например электроизоляционный лак ЭП-9114, который представляет собой раствор эпоксидного олигомера, модифицированного МЭС-9 (мономер метилового эфира соевого масла). В качестве отвердителя используется

аддукт ИМЭП-1. Это водостойкое покрытие успешно применяется для защиты плат печатного монтажа.

Для получения электроизоляционных покрытий применяют карбоксилсодержащие отвердители на основе олигоэфиров различной природы. Изучены свойства полифункциональных кислых олигоэфиров и эпоксидных покрытий на их основе. Проведен анализ полимерных покрытий, пригодных для обеспечения защиты печатных узлов от неблагоприятных внешних воздействий, и в первую очередь от влаги воздуха, а также электроизоляционных и токопроводящих покрытий. Следует отметить, что среди них особое внимание уделяется модифицированным эпоксидным покрытиям [73].

Заключения

Результаты анализа публикаций о модификации эпоксидных пленкообразующих и отвердителей, используемых для получения лакокрасочных покрытий, свидетельствуют, что химическая структура эпоксидных олигомеров открывает широкие возможности для повышения технологических и эксплуатационных свойств эпоксидных ЛКМ.

Эффективным способом повышения эксплуатационных свойств эпоксидных покрытий является модификация как отвердителей, так и эпоксидного пленкообразующего. Применение модификаторов в составе отвердителей существенно влияет на технологические характеристики лакокрасочных композиций, в частности на температуру структурообразования, изменяет частоту пространственной сетки отвержденной эпоксидной композиции, т. е. оказывает влияние на вязкоупругие характеристики покрытия, а также на его адгезионные и физико-механические свойства.

Кроме того, модификация эпоксидного пленкообразующего направлена на улучшение следующих эксплуатационных свойств эпоксидных покрытий: термостойкость, эрозионная стойкость, устойчивость к действию агрессивных жидкостей, а также на повышение долговечности покрытий в условиях эксплуатации.

Модификация эпоксидных олигомеров каучуками позволяет решать ряд важных технических задач по повышению деформационно-прочностных характеристик, особенно ударной прочности, а также адгезионных и защитных свойств.

Таким образом, выбор модифицирующих компонентов в эпоксидных композициях (оптимизация состава полимерного пленкообразователя) способствует обеспечению максимально высокого уровня технологических и эксплуатационных свойств эпоксидных лакокрасочных покрытий.

Список источников

1. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных материалов в машиностроении. М.: Машиностроение, 1978. 295 с.
2. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. СПб.: Химиздат, 2010. 445 с.
3. Кондрашов Э.К. Лакокрасочные материалы и покрытия на их основе в машиностроении. М.: Пэйнт-Медиа, 2021. 255 с.
4. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
5. Kablov E.N. Chemistry in Aviation Materials Science // Russian Journal of General Chemistry. 2011. Vol. 81. No. 5. P. 967–969.
6. 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.

7. Еселев А.Д., Бобылев В.А. Эпоксидные смолы и отвердители для производства лакокрасочных материалов // ЛКМ и их применение. 2005. № 10. С. 16–25.
8. Мошинский Л.Я. Эпоксидные смолы и отвердители. Тель-Авив: Аркадия Пресс Лтд, 1995. С. 40–142.
9. Филичкина В.Н. Современное состояние и тенденции развития производства и потребления эпоксидных смол // Химическая промышленность за рубежом: обзорн. информ. М.: НИИТЭХИМ, 1988. Вып. 8. 18 с.
10. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты. М.: Пэйнт медиа, 2006. 200 с.
11. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 7–17.
12. 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: 17.10.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
13. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия // Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 315–327.
14. Павлюк Б.Ф. Основные направления в области разработки полимерных функциональных материалов // Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
15. Проблемы защитных ЛКМ. Обзор материалов европейской конференции «Защитные покрытия» (Protective coating), Дюссельдорф // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. № 9. С. 33–35.
16. Еселев А.Д., Бобылев В.А. Эпоксидные смолы: вчера, сегодня, завтра // Лакокрасочная промышленность. 2009. № 9. С. 15–17.
17. Шахмалиев А.М., Ин Шен Кан, Билалов Я.М. и др. Модификация эпоксидного олигомера реакционноспособным олигомером // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 1. С. 7–9.
18. Амосова З.В. Синтез и исследование эпоксидных олигомеров и полимеров. М.: НИИТЭХИМ, 1979. 97 с.
19. Мошинский Л.Я., Белая Э.С. Отвердители для эпоксидных смол. М.: НИИТЭХИМ, 1983. 62 с.
20. Катнов В.Е., Степин С.Н. Влияние отвердителя на свойства эпоксидных покрытий // Материалы научной сессии КГТУ. Казань, 2009. С. 25.
21. Смехов Ф.М., Кардаш Н.С., Шодэ Л.В. и др. Свойства эпоксидных покрытий с различными отвердителями аминного типа // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 1. С. 9–11.
22. Финкельштейн М.И. Промышленное применение эпоксидных лакокрасочных материалов. Л.: Химия, 1983. 120 с.
23. Отвердители эпоксидных смол: обзор информ. М.: НИИТЭХИМ, 1976. 47 с.
24. Сорокин М.В., Кочнова З.А., Шодэ Л.Г. Химия и технология пленкообразующих веществ. М.: Химия, 1989. 477 с.
25. Мирер Е.В., Шодэ Л.Г., Тартаковская А.М., Кузина С.И. Гетерофазный гидролиз кетиминных аддуктов эпоксидных олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 1. С. 9–11.
26. Смехов Ф.М., Кардаш Н.С., Шодэ Л.Г. и др. Свойства эпоксидных покрытий с различными отвердителями аминного типа // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 5. С. 36–39.
27. Сорокин М.Ф., Оносова Л.А., Тарасов А.В., Шодэ Л.Г. Эпоксидные материалы на основе модифицированных аминных отвердителей // Лакокрасочные материалы и их применение. 1988. № 3. С. 4–6.
28. Ведякин С.В., Шодэ Л.Г., Смехов Г.М., Цейтлин Г.М. Модификация эпоксиаминных систем кремнийорганическими эпоксиуретанами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1991. № 2. С. 1–3.

29. Алексашина О.Ф., Молотов И.Ю., Шигорин В.Г. и др. Свойства эпоксидно-кетиминных покрытий и опыт применения отвердителя КИ-1 // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 5. С. 13–16.
30. Шодэ Л.Г., Сеницина О.В., Волощук К.А. и др. Особенности отверждения эпоксидных покрытий блокированными отвердителями (кетиминами) // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 6. С. 9–12.
31. Шодэ Л.Г., Дудина Л.В., Мирошник В.М. Отвердители эпоксидных олигомеров типа ЭПАМ // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 5. С. 16–19.
32. Сорокин М.Ф., Шодэ Л.Г., Дудина Л.В. и др. Новые отвердители эпоксидных олигомеров на основе эпоксидных олигомеров и аммиака // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 2. С. 13–15.
33. Шоде Л.Г., Смехов Ф.М., Кузина С.И. и др. Модифицированные полиэтиленполиамины в качестве отвердителей эпоксидных олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 1. С. 4–6.
34. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Захарова А.А., Голова Н.А. Отверждение эпоксидных олигомеров аминоалкоксисиланами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. № 5. С. 19–20.
35. Кочнова З.А., Беляев А.В., Цейтлин Г.М. Отверждение эпоксидных олигомеров с участием аминопропилтриэтоксисиланов // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 1. С. 24–27.
36. Акопова Т.А., Пономаренко О.П., Олихова Ю.В., Осипчик В.С. Изучение влияния кремнийорганических модификаторов на свойства эпоксисодержащих связующих // Успехи химии и химической технологии. 2012. Т. XXVI. № 3 (32). С. 70–72.
37. Арван А.С., Коваленко В.М., Шешуков А.В., Шрейнер С.А. Улучшение свойств эпоксидных покрытий путем отверждения их аминозэфирами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1974. № 4. С. 53–54.
38. Сухарева Л.А., Миронова Т.А., Федякова Н.В. и др. Свойства и структура модифицированных эпоксидно-полиаминных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 5. С. 50–52.
39. Жаворонок Е.С., Сенчихин И.Н., Колесникова Е.Ф. и др. Особенности отверждения смесей дианового и алифатического эпоксидных олигомеров с различной реакционной способностью // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2010. Т. 52. № 4. С. 706–714.
40. Петрова И.А., Кобозева И.А., Саврасова Э.М. Механизм отверждения эпоксидных олигомеров хелатами алюминия в тонких пленках // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 1. С. 30–33.
41. Кириллов А.Н., Гарипов Р.М., Дебердеев Р.Я. Применение элементоорганических эпоксиуретановых олигомеров для модификации эпоксиаминных покрытий // VIII Междунар. конф. по химии и физикохимии олигомеров «Олигомеры-2002»: тезисы докладов. Черногловка, 2002. С. 248.
42. Кочнова З.А., Шодэ Л.Г. Отвердители для эпоксидных пленкообразователей // Лакокрасочные материалы и их применение. 1995. № 3–4. С. 42–47.
43. Мостовой А.С., Панова Л.Г. Исследование возможности использования низкомолекулярного полиамида марки ПО-300 в качестве отвердителя «холодного» отверждения для эпоксидных олигомеров // Пластические массы. 2016. № 1–2. С. 16–18.
44. Кондрашов Э.К., Владимирский В.Н., Бейдер Э.Я. Эрозионностойкие лакокрасочные покрытия. М.: Химия, 1989. 135 с.
45. Шибалович В.В., Яковлев А.Д. Применение аминокислотных отвердителей в эпоксидных лакокрасочных составах // Лакокрасочные материалы и их применение. 1979. № 5. С. 30–32.
46. Михеев В.В., Иванова Р.Р. Отверждение эпоксидных олигомеров уретансодержащими полиаминами // Лакокрасочные материалы и их применение. 2003. № 12. С. 8–11.
47. Логунов Г.И., Николаев В.Н. Эпоксидные олигомеры, отвержденные олигоуретанакрилатом и олигоуретананаллилатом // Лакокрасочные материалы и их применение. 1982. № 3. С. 19–20.

48. Кириллов А.Н., Софьина С.Ю., Гарипов Р.М., Дебердеев Р.Я. Модификация эпоксиаминных композиций эпоксиуретановыми олигомерами // Лакокрасочные материалы и их применение. 2003. № 4. С. 25–28.
49. Кириллов А.Н., Гарипов Р.М., Дебердеев Р.Я. Влияние эпоксиуретановых модификаторов на свойства эпоксидных лаковых покрытий // IX Всерос. конф. «Структура и динамика молекулярных систем»: сборник статей. Йошкар-Ола, 2002. С. 236–239.
50. Прилуцкая Н.В., Смахов Ф.М., Шустер С.В. Модификация эпоксидных композиций эпоксиэфирами для покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 1985. № 1. С. 30–32.
51. Липсон Г.Я. Коллоидно-химические свойства гетерогенных систем на основе эпоксидного олигомера и реакционноспособных модификаторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. С. 13–18.
52. Мочалова Е.Н. Формирование структуры и свойств эпоксиаминных композиций в присутствии реакционноспособных и инертных модификаторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1999. 15 с.
53. Паршина М.С., Солдатов М.А., Макарова В.А. и др. Влияние химической структуры фторорганических сополимерных модификаторов на влагостойкость эпоксидной смолы аминного отверждения // Лакокрасочные материалы и их применение. 2018. № 3. С. 15–19.
54. Курбатов В.Г., Ильин А.А., Индейкин Е.А. Влияние добавки полианилина на физико-механические свойства эпоксидных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2011. № 1–2. С. 49–51.
55. Снопков А.Ю., Глезер Е.А., Яковлев А.Д. Покрытия на основе эпоксидных смол, модифицированных каучуками // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 3. С. 66–71.
56. Терновых А.М. Разработка и исследование защитных полимерных покрытий на основе эпоксидных и каучуковых олигомеров с повышенной адгезионной стойкостью: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1985. С. 3–15.
57. Каблов В.Ф. Системная технология каучук-олигомерных композиций // Сборник статей X Междунар. конф. по химии и физикохимии полимеров. Волгоград: Волгоградск. гос. техн. ун-т, 2009. С. 162–19.
58. Чалых А.Е., Жаворонок Е.С., Кочнова З.А., Киселев М.Р. Структурообразование в бинарных смесях карбоксилсодержащий каучук–эпоксидный олигомер // Химическая физика. 2009. Т. 28. № 6. С. 91–96.
59. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Котова А.В. Особенности получения эпоксидно-каучуковых композиций на основе жидких бутадиен-нитрильных каучуков и эпоксидных олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1998. № 11. С. 27–28.
60. Кузнецова В.А., Железняк В.Г., Куршев Е.В., Емельянов В.В. Исследование топливо- и водостойкости покрытий на основе наполненных эпоксидно-тиоколовых полимерных композиций // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 2 (63). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 24.06.2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-93-102.
61. Жаворонок Е.С. Многокомпонентные полимерные сетки на основе эпоксидных олигомеров с активными полифункциональными группами: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 2019. С. 35–39.
62. Состав для защитного покрытия: пат. 2290421 Рос. Федерация. № 2005124341/04; заявл. 01.08.05; опубл. 27.12.06.
63. Состав для защитного покрытия полимерных композиционных материалов: пат. 2480499 Рос. Федерация. № 2011127312/05; заявл. 04.07.11; опубл. 27.04.13.
64. Сторожук И.П., Павлюкович Н.Г. Модифицированные тиоколовые композиции и их применение в качестве гидроизоляционных и защитных лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2017. № 5. С. 29–33.

65. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С. Совместимость и диффузия в системах эпоксидные олигомеры–жидкие карбоксилатные каучуки // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2001. Т. 43. № 12. С. 1–9.
66. Ван Нган Н., Костромина Н.В., Осипчик В.С. и др. Полисилоксансодержащие эпоксиуретановые олигомеры и покрытия на их основе // Пластические массы. 2019. № 3–4. С. 3–6.
67. Кузнецова В.А. Эрозионнотойкая композиция на основе трехфазной полимерной системы «эпоксидный олигомер–каучук–армирующий наполнитель»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1999. 24 с.
68. Стрекачинская Л.С., Верхоланцев В.В., Грозинская З.П. Закономерности расслоения растворов смесей полимеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1980. № 4. С. 13–15.
69. Грозинская З.П., Стрекачинская Л.С., Верхоланцев В.В. Улучшение некоторых характеристик покрытий за счет расслаивания пленкообразователя // Лакокрасочные материалы и их применение. 1979. № 5. С. 30–32.
70. Шлеомензон Ю.Б., Морозова И.И., Павлова В.П. и др. Структура эпоксидно-каучуковой композиции // Лакокрасочные материалы и их применение. 1979. № 2. С. 8–10.
71. Кузнецова В.А. Влияние эластомерного модификатора на механические и вязкоупругие свойства эпоксидно-каучуковых композиций для эрозионнотойких покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2020. № 2 (59). С. 56–62. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-56-62.
72. Кузнецова В.А., Деев И.С., Семенова Л.В. Влияние модификации эпоксидных пленкообразующих композиций на их фазовую микроструктуру и адгезию к алюминиевым сплавам // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 1 (40). С. 72–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-1-72-78.
73. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. 265 с.

References

1. Chebotarevsky V.V., Kondrashov E.K. *Technology of paints and varnishes in mechanical engineering*. Moscow: Mashinostroenie, 1978, 295 p.
2. Yakovlev A.D. *Chemistry and technology of paint coatings*. St. Petersburg: Khimizdat, 2010, 445 p.
3. Kondrashov E.K. *Paint and varnish materials and coatings based on them in mechanical engineering*. Moscow: Paint-Media, 2021, 255 p.
4. Kablov E.N. Aviation materials science: results and prospects. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2002, vol. 72, no. 1, pp. 3–12.
5. Kablov E.N. Chemistry in Aviation Materials Science. *Russian Journal of General Chemistry*, 2011, vol. 81, no. 5, pp. 967–969.
6. Kondrashov E.K., Kuznetsova V.A., Semenova L.V., Lebedeva T.A. The main directions of improving the operational properties, technological and environmental characteristics of paint coatings for aviation equipment. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2010, vol. LIV, no. 1, pp. 96–102.
7. Eselev A.D., Bobylev V.A. Epoxy resins and hardeners for the production of paints and varnishes. *Paints and varnishes and their application*, 2005, no. 10, pp. 16–25.
8. Moshinsky L.Ya. *Epoxy resins and hardeners*. Tel Aviv: Arkadia Press Ltd, 1995, pp. 40–142.
9. Filichkina V.N. Modern state and trends in the development of production and consumption of epoxy resins. *Chemical industry abroad*. Moscow: NIITEKhim, 1988, is. 8, 18 p.
10. Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S., Chalykh A.E. *Epoxy resins and hardeners: industrial products*. Moscow: Paint media, 2006, 200 p.
11. Kablov E.N. The strategic directions of development of materials and technologies of their processing for the period to 2030. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 7–17.
12. 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: October 17, 2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.

13. Semenova L.V., Malova N.E., Kuznetsova V.A., Pozhoga A.A. Paint and varnish materials and coatings. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. S, pp. 315–327.
14. Pavlyuk B.Ph. The main directions in the field of development of polymeric functional materials. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. S, pp. 388–392. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-388-392.
15. Problems of protective paints and varnish coatings. Review of materials of the European conference "Protective coatings" (Protective coating), Düsseldorf. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2013, no. 9, pp. 33–35.
16. Eseev A.D., Bobylev V.A. Epoxy resins: yesterday, today, tomorrow. *Lakokrasochnaya promyshlennost*, 2009, no. 9, pp. 15–17.
17. Shakhmaliev A.M., Ying Shen Kang, Bilalov Ya.M. et al. Modification of an epoxy oligomer with a reactive oligomer. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 1, pp. 7–9.
18. Amosova Z.V. *Synthesis and study of epoxy oligomers and polymers*. Moscow: NIITEKhim, 1979, 97 p.
19. Moshinsky L.Ya., Belaya E.S. *Epoxy resin hardeners*. Moscow: NIITEKhim, 1983, 62 p.
20. Katnov V.E., Stepin S.N. Influence of the hardener on the properties of epoxy coatings. *Proceedings of the scientific session of Kazan State Technical University*. Kazan, 2009, p. 25.
21. Smekhov F.M., Kardash N.S., Shode L.V. et al. Properties of epoxy coatings with various amine-type hardeners. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 1, pp. 9–11.
22. Finkelstein M.I. *Industrial application of epoxy paints and varnishes*. Leningrad: Khimiya, 1983, 120 p.
23. *Epoxy resin hardeners: review inform*. Moscow: NIITEKHIM, 1976, 47 p.
24. Sorokin M.V., Kochnova Z.A., Shode L.G. *Chemistry and technology of film-forming substances*. Moscow: Khimiya, 1989, 477 p.
25. Mirer E.V., Shode L.G., Tartakovskaya A.M., Kuzina S.I. Heterophase hydrolysis of ketimine adducts of epoxy oligomers. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 1, pp. 9–11.
26. Smekhov F.M., Kardash N.S., Shode L.G. et al. Properties of epoxy coatings with various amine-type hardeners. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1989, no. 5, pp. 36–39.
27. Sorokin M.F., Onosova L.A., Tarasov A.V., Shode L.G. Epoxy materials based on modified amine hardeners. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1988, no. 3, pp. 4–6.
28. Vedyakin S.V., Shode L.G., Smekhov G.M., Zeitlin G.M. Modification of epoxyamine systems with organosilicon epoxyurethanes. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1991, no. 2, pp. 1–3.
29. Aleksashina O.F., Molotov I.Yu., Shigorin V.G. et al. Properties of epoxy-ketimine coatings and experience with the use of KI-1 hardener. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 5, pp. 13–16.
30. Shode L.G., Sinitsina O.V., Voloshchuk K.A. Peculiarities of curing epoxy coatings with blocked hardeners (ketimines). *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1989, no. 6, pp. 9–12.
31. Shode L.G., Dudina L.V., Miroshnik V.M. Hardeners for epoxy oligomers of the EPAM type. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1989, no. 5, pp. 16–19.
32. Sorokin M.F., Shode L.G., Dudina L.V. etc. New hardeners of epoxy oligomers based on epoxy oligomers and ammonia. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1989, no. 2, pp. 13–15.
33. Shode L.G., Smekhov F.M., Kuzina S.I. Modified polyethylenepolyamines as hardeners for epoxy oligomers. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 1, pp. 4–6.
34. Sorokin M.F., Kochnova Z.A., Zakharova A.A., Golova N.A. Curing of epoxy oligomers with aminoalkoxysilanes. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1986, no. 5, pp. 19–20.
35. Kochnova Z.A., Belyaev A.V., Zeitlin G.M. Curing of epoxy oligomers with the participation of aminopropyltriethoxysilanes. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 1, pp. 24–27.
36. Akopova T.A., Ponomarenko O.P., Olikhova Yu.V., Osipchik V.S. Study of the effect of organosilicon modifiers on the properties of epoxy-containing binders. *Uspekhi khimii i khimicheskoy tekhnologii*, 2012, vol. XXVI, no. 3 (32), pp. 70–72.
37. Arvan A.S., Kovalenko V.M., Sheshukov A.V., Shreiner S.A. Improving the properties of epoxy coatings by curing them with amino esters. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1974, no. 4, pp. 53–54.
38. Sukhareva L.A., Mironova T.A., Fedyakova N.V. et al. Properties and structure of modified epoxy-polyamine coatings. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1989, no. 5, pp. 50–52.

39. Zhavoronok E.S., Senchikhin I.N., Kolesnikova E.F. Peculiarities of curing mixtures of dianolic and aliphatic epoxy oligomers with different reactivity. *Vysokomolekulyarnye soyedineniya. Series B*, 2010, vol. 52, no. 4, pp. 706–714.
40. Petrova I.A., Kobozeva I.A., Savrasova E.M. The mechanism of curing epoxy oligomers by aluminum chelates in thin films. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1990, no. 1, pp. 30–33.
41. Kirillov A.N., Garipov R.M., Deberdeev R.Ya. Application of organoelement epoxyurethane oligomers for modification of epoxyamine coatings. *VIII Intern. conf. on chemistry and physicochemistry of oligomers "Oligomers-2002"*. Chernogolovka, 2002, p. 248.
42. Kochnova Z.A., Shode L.G. Hardeners for epoxy film formers. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1995, no. 3–4, pp. 42–47.
43. Mostovoy A.S., Panova L.G. Investigation of the possibility of using low molecular weight polyamide grade PO-300 as a "cold" curing hardener for epoxy oligomers. *Plasticheskiye massy*, 2016, no. 1–2, pp. 16–18.
44. Kondrashov E.K., Vladimirsky V.N., Beider E.Ya. *Erosion resistant coatings*. Moscow: Khimiya, 1989, 135 p.
45. Shibalovich V.V., Yakovlev A.D. The use of amino acid hardeners in epoxy paint and varnish compositions. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1979, no. 5, pp. 30–32.
46. Mikheev V.V., Ivanova R.R. Curing of epoxy oligomers by urethane-containing polyamines. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2003, no. 12, pp. 8–11.
47. Logunov G.I., Nikolaev V.N. Epoxy oligomers cured with oligourethane acrylate and oligourethanallylate. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1982, no. 3, pp. 19–20.
48. Kirillov A.N., Sof'ina S.Yu., Garipov R.M., Deberdeev R.Ya. Modification of epoxyamine compositions with epoxyurethane oligomers. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2003, no. 4, pp. 25–28.
49. Kirillov A.N., Garipov R.M., Deberdeev R.Ya. Influence of epoxyurethane modifiers on the properties of epoxy lacquer coatings. *IX All-Rus. conf. "Structure and dynamics of molecular systems"*. Yoshkar-Ola, 2002, pp. 236–239.
50. Prilutskaya N.V., Smekhov F.M., Shuster S.V. Modification of epoxy compositions with epoxy esters for coatings. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1985, no. 1, pp. 30–32.
51. Lipson G.Ya. *Colloidal-chemical properties of heterogeneous systems based on epoxy oligomer and reactive modifiers*: thesis abstract, Cand. Sc. (Tech.). Moscow, 1985, pp. 13–18.
52. Mochalova E.N. *Formation of the structure and properties of epoxyamine compositions in the presence of reactive and inert modifiers*: thesis abstract, Cand Sc. (Tech.). Moscow, 1999, 15 p.
53. Parshina M.S., Soldatov M.A., Makarova V.A. Influence of the chemical structure of organofluorine copolymer modifiers on the moisture resistance of amine-cured epoxy resin. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2018, no. 3, pp. 15–19.
54. Kurbatov V.G., Ilyin A.A., Indeikin E.A. Influence of polyaniline additive on the physical and mechanical properties of epoxy coatings. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2011, no. 1–2, pp. 49–51.
55. Snopkov A.Yu., Glezer E.A., Yakovlev A.D. Coatings based on epoxy resins modified with rubber. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1989, no. 3, pp. 66–71.
56. Ternovykh A.M. *Development and study of protective polymer coatings based on epoxy and rubber oligomers with increased adhesive resistance*: thesis abstract, Cand. Sc. (Tech.). Moscow, 1985, pp. 3–15.
57. Kablov V.F. System technology rubber-oligomeric compositions. *X Int. conf. on chemistry and physicochemistry of polymers*. Volgograd: Volgograd State Tech. University, 2009, pp. 162–19.
58. Chalykh A.E., Zhavoronok E.S., Kochnova Z.A., Kiselev M.R. Structure formation in binary mixtures of carboxyl-containing rubber–epoxy oligomer. *Khimicheskaya fizika*, 2009, vol. 28, no. 6, pp. 91–96.
59. Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S., Kotova A.V. Features of obtaining epoxy-rubber compositions based on liquid butadiene-nitrile rubbers and epoxy oligomers. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1998, no. 11, pp. 27–28.
60. Kuznetsova V.A., Zheleznyak V.G., Kurshev E.V., Yemelyanov V.V. Research of fuel- and water resistance of coatings based on the filled epoxy-thiokol polymeric compositions. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 2 (63), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: June 24, 2021). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-2-93-102.

61. Zhavoronok E.S. *Multicomponent polymer networks based on epoxy oligomers with active polyfunctional groups*: thesis abstract, Dr. Sc. (Chem.). Moscow, 2019, pp. 35–39.
62. *Composition for protective coating*: pat. 2290421 Rus. Federation, no. 2005124341/04; filed 01.08.05; publ. 27.12.06.
63. *Composition for protective coating of polymer composite materials*: pat. 2480499 Rus. Federation, no. 2011127312/05; filed 04.07.11; publ. 27.04.13.
64. Storozhuk I.P., Pavlyukovich N.G. Modified thiokol compositions and their use as waterproofing and protective paintwork materials. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2017, no. 5, pp. 29–33.
65. Chalykh A.E., Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S. Compatibility and diffusion in the systems epoxy oligomers–liquid carboxylate rubbers. *Vysokomolekulyarnye soyedineniya*. Ser. A. 2001, vol. 43, no. 12, pp. 1–9.
66. Van Ngan N., Kostromina N.V., Osipchik V.S. et al. Polysiloxane-containing epoxyurethane oligomers and coatings based on them. *Plasticheskiye massy*, 2019, no. 3–4, pp. 3–6.
67. Kuznetsova V.A. *Erosion-resistant composition based on the three-phase polymer system "epoxy oligomer-rubber-reinforcing filler"*: thesis abstract, Cand. Sc. (Tech.). Moscow, 1999, 24 p.
68. Strekachinskaya L.S., Verkholtantsev V.V., Grozinskaya Z.P. Patterns of stratification of solutions of polymer mixtures. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1980, no. 4, pp. 13–15.
69. Grozinskaya Z.P., Strekachinskaya L.S., Verkholtantsev V.V. Improvement of some characteristics of coatings due to delamination of the film former. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1979, no. 5, pp. 30–32.
70. Shleomenzon Yu.B., Morozova I.I., Pavlova V.P. et al. Structure of epoxy-rubber composition. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1979, no. 2, pp. 8–10.
71. Kuznetsova V.A. Influence of the elastomeric modifier on mechanical and viscoelastic properties of epoxy and rubber compositions for erosion resistant coatings. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2020, no. 2 (59), pp. 56–62. DOI: 10.18577/2071-9140-2020-0-2-56-62.
72. Kuznetsova V.A., Deev I.S., Semenova L.V. Influence of modification of epoxy film-forming compositions on their phase microstructure and adhesion to aluminium alloy. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2016, no. 1 (40), pp. 72–78. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-1-72-78.
73. Yakovlev A.D., Yakovlev S.A. *Paint and varnish functional coatings*. St. Petersburg: Khimizdat, 2016, 265 p.

Информация об авторах

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

Силаева Анна Александровна, инженер 1 категории, к.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

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

Марченко Сергей Андреевич, инженер 1 категории, 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

Anna A. Silaeva, First Category Engineer, Candidate of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

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

Sergei A. Marchenko, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 23.12.2021; одобрена и принята к публикации после рецензирования 28.12.2021.

The article was submitted 23.12.2021; approved and accepted for publication after reviewing 28.12.2021.