

УДК 629.7.023.222

*В.А. Кузнецова<sup>1</sup>, В.В. Емельянов<sup>1</sup>, Г.Г. Шаповалов<sup>1</sup>, Н.А. Коврижкина<sup>1</sup>***ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ  
НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ (обзор)**

DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-63-72

*Эпоксидные олигомеры являются одними из наиболее распространенных синтетических полимеров, которые в течение уже достаточно длительного времени применяют для изготовления лакокрасочных материалов. Обладая рядом ценных свойств, эпоксидные лакокрасочные материалы имеют и недостатки, для устранения которых используют различные приемы, в том числе физическую и химическую модификации с применением различных моно- и эластомерных, кремний- и фосфорорганических и других соединений. Основное внимание уделено применению различных модификаторов для улучшения эксплуатационных свойств антикоррозионных лакокрасочных покрытий.*

**Ключевые слова:** эпоксидные олигомеры, отвердители, модификаторы, адгезия, водопоглощение, физико-механические свойства, ингибирующие пигменты.

*V.A. Kuznetsova<sup>1</sup>, V.V. Yemelyanov<sup>1</sup>, G.G. Shapovalov<sup>1</sup>, N.A. Kovrizhkina<sup>1</sup>***USE OF MODIFIERS FOR INCREASE  
OF OPERATIONAL PROPERTIES OF PAINT COATINGS  
ON THE BASIS OF THE EPOXY FILM-FORMING (review)**

*Epoxy oligomers are one of the most widespread synthetic polymers who during already enough long time apply to manufacturing of paint and varnish materials. Possessing number of valuable properties, epoxy paint and varnish materials have also shortcomings for which elimination use different receptions, including physical and chemical updatings using different mono- and elastomeric, silicon- and organophosphorous and other connections. The main attention is given to use of different modifiers for improvement of operational properties of anticorrosion paint coatings.*

**Keywords:** epoxy oligomers, hardeners, modifiers, adhesion, water absorption, physicomechanical properties, ingibiruyushchy pigments.

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute»]; e-mail: admin@viam.ru

**Введение**

Условия эксплуатации авиационной техники достаточно сложные и обусловлены резким изменением температуры и влажности при взлете и посадке, воздействием УФ-излучения, влаги, механических знакопеременных нагрузок, а также целым рядом других факторов, приводящих к снижению прочности конструкционных материалов при длительной эксплуатации авиационной техники. Одной из основных причин, вызывающих снижение прочности авиационных конструкций, является возникновение коррозии. Зазоры, щели, микро- и макрополости в конструкциях летательных аппаратов создают благоприятные условия для задержания влаги

и электролитов, а наличие в конструкции крепежных соединений и контактных пар разнородных материалов приводит к развитию коррозии при эксплуатации в различных климатических условиях [1–5]. Поэтому вопросу защиты от коррозии в настоящее время уделяется особое внимание.

Следует отметить, что основным способом защиты от коррозии является применение лакокрасочных покрытий (ЛКП), которые наносят на неметаллические и гальванические антикоррозионные покрытия. Помимо защиты от коррозии, применяемые ЛКП выполняют целый ряд функций, направленных на повышение декоративных, аэродинамических, влагозащитных и других служебных характеристик, необходимых при эксплуатации авиационной техники.

В качестве основных антикоррозионных покрытий применяют эпоксидные лакокрасочные материалы, которые широко используют для изготовления грунтовок, эмалей и шпатлевочных материалов для выравнивания поверхности, а также защитные полимерные составы для защиты крепежа контактных пар комбинированных конструкций [6–9].

Работа выполнена в рамках реализации стратегического 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») [10].

### **Антикоррозионные эпоксидные лакокрасочные покрытия**

Эпоксидные олигомеры являются одними из наиболее распространенных синтетических полимеров, которые в течение уже достаточно длительного времени используют для изготовления лакокрасочных материалов. Эпоксидные олигомеры, применяемые в качестве полимерной основы для ЛКП, обладают целым рядом ценных свойств: высокими адгезией, твердостью и механической прочностью, стойкостью к резкому перепаду температур, действию химических реагентов (особенно щелочей, растворителей) и ионизирующих излучений, а также хорошими диэлектрическими свойствами. Это связано с химическим строением эпоксидных олигомеров. Структура молекул эпоксидных соединений характеризуется наличием этиленоксидных (эпоксидных) групп, имеющих форму трехчленных кислородсодержащих циклов, а также гидроксильных групп, что открывает широкие возможности для выбора отвердителей и модификаторов [11–15].

Обладая рядом ценных свойств, эпоксидные лакокрасочные материалы имеют и недостатки, к которым, в частности, относят недостаточно высокую эластичность, способствующую снижению долговечности покрытия. Это связано с тем, что при эксплуатации покрытий происходит их старение, возникают высокие внутренние напряжения, нередко приводящие к охрупчиванию и отслаиванию ЛКП. Благодаря химическому строению олигомера и наличию в его структуре полярных функциональных групп эпоксидные смолы в чистом виде позволяют в широком диапазоне регулировать характеристики, в том числе благодаря применению различных отвердителей [16–19].

Для устранения недостатков, присущих эпоксидным смолам, используют различные приемы, например их физическую и химическую модификации с применением различных мономерных и эластомерных, кремний- и фосфорорганических и других соединений.

Химическая модификация эпоксидных пленкообразующих заключается в изменении строения их структуры путем введения компонентов, встраивающихся

в состав полимерной сетки. Например, добавление активных разбавителей (лапроксидов) в эпоксидные пленкообразующие придает отвержденной смоле эластичность благодаря увеличению межзловых фрагментов и повышает при этом гибкость цепей макромолекул, а введение в эпоксидное пленкообразующее галоген- и фосфорорганических соединений повышает негорючесть.

Физической модификации достигают путем добавления в эпоксидный олигомер соединений, не вступающих в химическое взаимодействие с полимерной основой (например, путем добавления пластификаторов) [19–21]. В работе [20] исследовано влияние пластификации на процессы структурообразования лакокрасочных материалов. Показано, что введение пластификатора влияет на процесс структурообразования и свойства ЛКП, а также на характер надмолекулярных структур.

В данной работе представлен анализ публикаций, посвященных модификации эпоксидных ЛКП. Основное внимание уделено грунтовочным покрытиям, поскольку эпоксидные пленкообразующие, как в нашей стране, так и за рубежом, чаще всего используют для антикоррозионных защитных покрытий.

Основные направления разработок эпоксидных ЛКП связаны с повышением их адгезии к защищаемой поверхности, физико-механических свойств, водо-, топливо- и коррозионной стойкости, а также стойкости к воздействию агрессивных сред. Особое внимание уделено снижению токсичности используемых компонентов и повышению технологичности при их использовании.

Анализ научно-технической литературы и патентно-технической документации в области разработок лакокрасочных материалов на основе модифицированных эпоксидных пленкообразующих проводили по следующим направлениям:

- антикоррозионные и топливостойкие грунтовки;
- антикоррозионные защитные полимерные составы.

#### *Антикоррозионные грунтовки*

Для изготовления лакокрасочных материалов, в частности антикоррозионных грунтовок, наиболее широко используют диановые эпоксидные смолы с молекулярной массой 900–1600 а.е.м.

Для отверждения эпоксидных смол, применяемых для изготовления лакокрасочных материалов, используют соединения с подвижными атомами водорода или другими функциональными группами, способными реагировать с эпоксидными или гидроксильными группами эпоксидных олигомеров в процессе структурообразования. В качестве отвердителей для эпоксидных лакокрасочных материалов чаще всего выбирают аминные отвердители со сравнительно небольшой молекулярной массой. Покрытия, отверждаемые алифатическими аминами, содержат большое число свободных гидроксильных групп, что обеспечивает высокую адгезию, стойкость к действию растворов щелочей, однако снижает водостойкость и эластичность покрытий.

К недостаткам отверждения аминами следует отнести их токсичность и большой экзотермический эффект, приводящий к местным перегревам и образованию внутренних напряжений или пузырей. Для устранения данных недостатков отверждение проводят аддуктами (продуктами взаимодействия избытка амина с эпоксидными олигомерами), которые не только облегчают работу, но и улучшают некоторые свойства продуктов реакции (например, эластичность) [22–24].

В мировой практике аддукты широко применяют для отверждения эпоксидных лакокрасочных материалов, что связано с их несомненными

преимуществами – низкой летучестью, повышенной активностью при значительно более низком экзотермическом эффекте отверждения и низкой склонностью к карбонизации. Отвердитель марки УП-0633М удобен для отверждения различных наполненных рецептур, поскольку обладает хорошей разбавляющей способностью и умеренной активностью, а традиционный отвердитель марки ДТБ-2 в настоящее время часто используют в лакокрасочных составах. Из огромного разнообразия оснований Манниха, применяемых в мире, в России производят недорогой и доступный отвердитель марки АФ-2 и ускоритель УП-606/2. Отвердитель АФ-2 обладает высокой активностью и способностью отверждать эпоксидные покрытия при низкой температуре в условиях высокой влажности [25].

Использование в качестве отвердителей ароматических аминов способствует повышению термостойкости покрытий благодаря наличию в их структуре бензольных колец, при этом происходит достаточно интенсивное пожелтение покрытий. Существенными недостатками таких ЛКП являются их токсичность и недостаточно высокая водостойкость.

Для отверждения эпоксидных ЛКП достаточно широко применяют (вместо аминных) низкомолекулярные полиамиды (полиаминоамиды). Благодаря хорошей совместимости полиамидов с эпоксидными смолами эпоксидно-полиамидные покрытия менее чувствительны к влажности воздуха. Использование низкомолекулярных полиамидов для отверждения эпоксидных лакокрасочных материалов, имеющих разветвленное строение, способствует внутренней пластификации, повышению физико-механических свойств и термостойкости. Однако эпоксидно-полиамидные композиции имеют существенный недостаток, ограничивающий их использование в качестве грунтовочного покрытия, – они обладают недостаточно высокой адгезией к анодированным алюминиевым сплавам, поэтому практически не применяются для их защиты [26, 27]. Одним из способов улучшения эксплуатационных свойств покрытий, в частности адгезии к анодированным алюминиевым сплавам, является использование модификаторов.

Модификацию эпоксидных пленкообразующих широко применяют при разработке антикоррозионных грунтовок – для защиты как алюминиевых сплавов, так и различных сталей.

Ранее было показано, что одним из способов повышения долговечности эпоксидных покрытий является их пластификация, физико-химическая сущность которой состоит в изменении вязкости системы и увеличении гибкости молекул и подвижности надмолекулярных структур. Наиболее распространенным пластификатором эпоксидных ЛКП является дибутилфталат, который одновременно используют и в качестве разбавителя эпоксидных смол.

Однако такие пластификаторы склонны к миграции из структуры эпоксидной композиции при их отверждении и эксплуатации, поскольку они химически не связаны с эпоксидным пленкообразующим, что в конечном итоге приводит к резкому снижению физико-механических свойств и охрупчиванию покрытий.

Для повышения физико-механических свойств покрытий в качестве долговечных пластифицирующих добавок используют флексибилизаторы – олигомеры и полимеры, способные вступать в химическое взаимодействие с модифицируемым эпоксидным олигомером (химическая модификация) [28].

В работах [29, 30] приводятся данные о возможности эластификации эпоксидных пленкообразующих за счет использования длинноцепочечных аминов, в частности низкомолекулярных полиамидов, карбоксилатных каучуков, полиэфиров с концевыми карбоксильными группами.

Вопросы модификации и отверждения эпоксидных олигомеров низкомолекулярными полисульфидными каучуками и полиамидами достаточно широко изучены. Результаты исследования используют для создания топливостойких и антикоррозионных грунтовок [31]. Изучение эпоксидных пленкообразующих, модифицированных полисульфидными каучуками, показало, что эпоксидные олигомеры в присутствии аминов способны к химическому взаимодействию. Эпоксидно-полисульфидные ЛКП обладают целым рядом ценных свойств: повышенной прочностью, устойчивостью к действию различных химических реагентов, топливостойкостью, хорошими физико-механическими свойствами и высокой адгезией к различным подложкам [32].

Усилиями отечественных и зарубежных исследователей изучены фазовая структура и диффузионные свойства многих бинарных систем типа «каучук–эпоксидный олигомер» и материалов на их основе. Исследованы химические процессы в смесях реакционноспособных каучуков и эпоксидных олигомеров различной природы, а также в отвержденных материалах на их основе. Кроме того, объектами изучения неоднократно становились их физико-механические, адгезионные и защитные свойства. Отмечаются высокая ударопрочность, эластичность, износостойкость и стойкость к воздействию различных агрессивных сред таких олигомеров [33–39].

Особенно большое внимание уделяется модификации эпоксидных смол бутadiен-акрилонитрильными каучуками, содержащими карбоксильные группы [40]. Следует отметить работу, где рассмотрены особенности получения эпоксидно-каучуковых композиций и предложен систематический подход к изучению реакционноспособных эпоксидно-каучуковых систем [41]. Показано, что в смесях каучука со статистически распределенными карбоксильными группами и дианового эпоксидного олигомера протекают химические реакции между карбоксильными, эпоксидными и вторичными гидроксильными группами, приводящие к образованию пространственно-сшитых структур. Разработаны принципы формирования общих многокомпонентных полимерных сеток на основе диановых эпоксидных смол с гибкоцепными активными модификаторами.

На основании многочисленных исследований, связанных с модификацией эпоксидных пленкообразующих, разработаны высокоэффективные грунтовки, в том числе топливостойкие. Такие грунтовочные покрытия применяют для защиты внешней и внутренней поверхностей планера, а также внутренней поверхности топливных баков самолетов от коррозии в сложных условиях эксплуатации [42–47].

В настоящее время большое внимание уделяют использованию алкоксисиланов для отверждения эпоксидных покрытий, модифицированных эластомерами. В процессе проведения исследований установлено, что в присутствии  $\gamma$ -аминопропилтриэтоксисилана (продукт АГМ-9) происходит химическое взаимодействие амино- и этокси групп отвердителя с эпоксидными группами олигомера и карбоксильными группами каучука. В первую очередь протекает реакция карбоксильных и аминогрупп, а остальные реакции осуществляются одновременно. При этом установлено значительное каталитическое действие продукта АГМ-9 на взаимодействие карбоксильных и эпоксидных групп [48]. Высокая степень отверждения эпоксидно-каучуковых композиций в присутствии АГМ-9 позволяет использовать их в качестве полимерной основы для покрытий, устойчивых к воздействию воды и агрессивных сред. В связи с полученным эффектом применения продукта АГМ-9 коллективом Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева синтезирован более стабильный отвердитель марки АСОТ-2 для отверждения модифицированных эпоксидных композиций [49–51].

Исследованы грунтовочные композиции на основе эпоксидного олигомера, модифицированного акриловым сополимером и термодинамически несовместимого с эпоксидным олигомером. При этом особое внимание уделяется изменению фазовой структуры исследуемых грунтовочных покрытий в зависимости от продолжительности отверждения и изучению влияния фазовой структуры на адгезионную прочность покрытий. Проведенные исследования показали, что получение грунтовочных покрытий с определенной гетерогенной структурой, достигаемой благодаря модификации эпоксидного олигомера акриловым сополимером и отвержденной  $\gamma$ -аминотриэтоксисиланом, способствует получению структуры покрытия, обеспечивающей высокую адгезионную прочность в системах покрытий [52].

В работах [53, 54] представлены исследования по изучению эпоксидно-аминных полимерных систем, модифицированных кремнийорганическими эпоксиуретанами. Рассмотрены эпоксидные олигомеры с молекулярной массой, не превышающей 1200 а.е.м. Большого модифицирующего эффекта при введении низкомолекулярных каучуков достигают при предварительном получении эпоксидно-каучуковых аддуктов благодаря использованию эластомеров с функциональными группами. Изучены адгезионная прочность и водопоглощение покрытий. Увеличение адгезионной прочности связывают с повышением гибкости формирующейся полимерной сетки в связи с ростом содержания полидиметилсилоксануретановых фрагментов, что способствует более благоприятному расположению полимерных цепей относительно адгезионно-активных центров подложки.

Интересными с точки зрения модификации являются также работы по изучению процесса формирования, структуры и свойств расслоившихся ЛКП. Исследован процесс расслоения композиций, представляющих собой растворы смесей термодинамически несовместимых пленкообразователей в общем растворителе. Предложена схема разработки лакокрасочных композиций для получения многослойного покрытия для одноразового нанесения с использованием принципа самопроизвольного расслоения. В качестве модификатора, несовместимого с эпоксидным олигомером, исследован жидкий каучук ПДИ-ЗАК [55–57].

### *Антикоррозионные защитные полимерные составы*

Одними из основных требований к покрытиям крепежных соединений летательных аппаратов являются их высокие коррозионная стойкость и водостойкость, которые в основном обеспечивают сохранение конструкционной прочности соединительных элементов из полимерных композиционных материалов и защиту от коррозии изделий, изготовленных из сплавов разнородных металлов [58].

В России проводятся работы по созданию защитных полимерных составов. Это особенно актуально в связи с внедрением в конструкции авиационной техники полимерных композиционных материалов (углепластиков), которые при контакте с металлами способствуют развитию коррозии.

В качестве связующих для антикоррозионных защитных покрытий широко применяют модифицированные эпоксидные пленкообразователи. Для получения защитных полимерных составов чаще всего используют жидкие смолы. Это связано с тем, что защитные полимерные составы можно наносить на крепежные элементы, зазоры и крепежные отверстия, поэтому такие материалы должны содержать минимальное количество растворителя (не более 5 %), а также обладать достаточно высокими эластичностью и водостойкостью [59, 60].

В настоящее время в качестве пленкообразователей для защитных полимерных составов широко используют эпоксидно-кремнийорганический сополимер, модифицированный бутадиен-нитрильным эластомером. Для обеспечения высокой адгезии ко всем защищаемым материалам применяют кремнийорганический амин. При этом образуется сетчатый полимер с высокими эластичностью и адгезией [61].

При разработке антикоррозионных защитных составов большое внимание уделяют замене токсичных хроматных пигментов на нетоксичные. В настоящее время в качестве ингибиторов коррозии широко применяют органические соединения, замедляющие процесс коррозионного разрушения металлов (органические ингибиторы). Использование органических ингибиторов зависит от состава пленкообразующего. Компанией Cytec Technology Corp. (США) разработаны водоразбавляемые бесхроматные композиции для соединения конструкций, содержащие эпоксидную смолу, отвердитель, ингибитор коррозии – органические соединения из группы аминобензотриазольных, бензотриазольных, фенилмалеимидных, меркаптобензоимидазольных соединений, а также неорганические соединения, содержащие ион из группы (ванадат натрия, молибдаты, соединения церия и их комбинации) [62].

Компанией Metall Coatings International Inc. (США) разработана бесхроматная композиция для коррозионной защиты крепежа (стального) на основе водоразбавляемых связующих, которая обладает стабильностью свойств при продолжительном сроке хранения, содержит эпоксидную смолу и отвердитель. В качестве ингибиторов коррозии использованы органические соединения [63].

Учеными португальского университета Авейро разработаны «умные» покрытия для активной защиты от коррозии на основе многофункциональных микро- и наноконтейнеров (микрокапсул). В статье [64] представлен краткий обзор работ в области многоуровневых защитных систем, основанных на контролируемом выпуске антикоррозионных элементов из «умных» микро- и наноконтейнеров (или нанорезервуаров), включенных в полимер или гибридную полимерную матрицу. Наноконтейнер (или нанорезервуар) является наноразмерным объемом, заполненным активной субстанцией, содержащейся в поре или раковине, что препятствует прямому контакту между агентом и окружающей средой. В качестве полимерной основы также могут быть использованы эпоксидные олигомеры.

Российскими учеными разработаны защитные полимерные антикоррозионные составы покрытий барьерного типа на основе эпоксидного олигомера, модифицированного полисульфидным эластомером. Такие покрытия содержат наполнители чешуйчатого типа на основе  $\alpha$ -оксида железа, которые образуют защитный барьерный слой, препятствующий проникновению коррозионной среды к поверхности металла [65].

### **Заключения**

Анализ результатов исследований показал, что применение различных модификаторов в составе эпоксидных лакокрасочных материалов позволяет значительно улучшить эксплуатационные свойства ЛКП.

В рецептурах антикоррозионных грунтовок и защитных полимерных составов наиболее широко используют модифицированные эпоксидные пленкообразователи.

Достаточно часто в качестве модифицирующих компонентов эпоксидных пленкообразователей применяют низкомолекулярные каучуки и каучуки со средней молекулярной массой. В достаточно большом количестве публикаций представлены исследования микроструктуры эпоксидно-каучуковых композиций, оказывающей существенное влияние на свойства покрытий.

Основными принципами создания высокоэффективных антикоррозионных грунтовок и защитных полимерных составов являются:

- выбор отверждающего агента и модификатора (оптимизация состава полимерного пленкообразователя, отвечающего заданным требованиям по адгезионным, физико-механическим характеристикам, топливо- и водостойкости);
- подбор ингибирующих компонентов, обеспечивающих максимально высокий уровень защитных свойств (при выборе бесхроматных ингибирующих пигментов).

**Библиографический список**

1. Каблов Е.Н., Петрова А.П. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 75 лет поиска, творчества, открытий. М.: Наука, 2007. 343 с.
2. Каблов Е.Н. Авиационное материаловедение: итоги и перспективы // Вестник Российской академии наук. 2002. Т. 72. № 1. С. 3–12.
3. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6. С. 520–530.
4. Фомина М.А., Каримова С.А. Анализ коррозионного состояния материалов планера самолетов типа «Су» после длительных сроков эксплуатации // Коррозия: материалы, защита. 2014. № 9. С. 20–24.
5. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 2 (35). С. 76–87. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-2-76-87.
6. 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: 24.06.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-5-62-67.
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. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 315–327.
9. Козлова А.А., Кондрашов Э.К. Системы лакокрасочных покрытий для противокоррозионной защиты магниевых сплавов // Авиационные материалы и технологии. 2014. № 2. С. 44–47. DOI: 10.18577/2071-9140-2014-0-2-44-47.
10. 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.
11. Еселев А.Д., Бобылев В.А. Эпоксидные смолы и отвердители для производства лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. 2005. № 10. С. 16–25.
12. Благонравова А.А., Непомнящий А.И. Лаковые эпоксидные смолы. М.: Химия, 1970. 248 с.
13. Лакокрасочные покрытия / пер. с англ. под ред. Х.В. Четфилда. М.: Химия, 1988. 640 с.
14. Рейбман А.И. Защитные лакокрасочные покрытия. Л.: Химия, 1978. 296 с.
15. Гольдберг М.М. Материалы для лакокрасочных покрытий. М.: Химия, 1972. 343 с.
16. Бобылев В.А. Состояние и перспективы развития эпоксидных материалов. Специальные смолы // Композитный мир. 2006. № 6. С. 14–17.
17. Лапицкая Т.В., Лапицкий В.А. Эпоксидные материалы // Композитный мир. 2006. № 7. С. 16–17.
18. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты. М.: ООО «Пэйнт медиа», 2006. 200 с.
19. Чеботарева Е.Г., Огрель Л.Ю. Современные тенденции модификации эпоксидных олигомеров // Фундаментальные исследования. 2008. № 4. С. 102–104.
20. Майорова Н.В., Карякина М.И., Каргин В.А. и др. Влияние пластификации на процессы структурообразования и свойства лакокрасочных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 1969. № 3. С. 17–19.
21. Баев А.А., Микитаев А.К. Снижение горючести эпоксидных смол с использованием галогенсодержащих эпоксисоединений // Пластические массы. 1986. № 2. С. 51–53.
22. Кириллов А.Н., Софьина А.Н., Гарипов Р.М., Дебердеев Р.Я. Модификация эпоксиминовых композиций эпоксипуретановыми олигомерами // Лакокрасочные материалы и их применение. 2003. № 4. С. 25–28.
23. Проблемы защитных ЛКМ: обзор материалов европейской конференции «Защитные покрытия» («Protective coating»), Дюссельдорф (Германия) // Лакокрасочные материалы и их применение. 2013. № 9. С. 33–35.

24. Жаворонок Е.С., Сенчихин И.Н., Пчелинцев И.Е., Ролдугин В.И. Определение оптимального режима эпоксиаминных систем по ТТТ-диаграммам // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2018. Т. 60. № 2. С. 140–146.
25. Мошинский Л.Я. Эпоксидные смолы и отвердители. Тель-Авив: Аркадия Пресс Лтд, 1995. С. 40–42.
26. Чеботаревский В.В., Еселев А.Д., Смирнова Л.И., Габитов И.З. Новые эпоксидно-полиамидные грунты и эмали // Лакокрасочные материалы и их применение. 1970. № 3. С. 22–25.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Состав для защитного покрытия: пат. 2402585 Рос. Федерация; заявл. 31.03.09; опубл. 27.10.10.
31. 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.
32. Лялюшко Д.С. Модификация эпоксидных олигомеров карбоксилатными бутадие-акрилонитрильными каучуками с целью создания авиационных топливостойких покрытий: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1983. С. 13–14.
33. 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.
34. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Котова А.В. Особенности получения эпоксидно-каучуковых композиций на основе жидких бутадие-нитрильных каучуков и эпоксидных олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1998. № 11. С. 27–28.
35. Пыриков А.В., Лойко Д.П., Кочергин Ю.С. Модификация эпоксидных смол жидкими полисульфидными и карбоксилатными бутадиеновыми каучуками // Клеи. Герметики. Технологии. 2010. № 1. С. 28–33.
36. Кузнецова В.А., Козлова А.А., Железняк В.Г., Шаповалов Г.Г. Влияние эластомерных модификаторов на свойства металлополимерных композиций // Труды ВИАМ. 2019. № 8 (80). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 24.06.2021). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-8-46-55.
37. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Бару Р.Л. Химические превращения и реокинетика в системе карбоксилсодержащий каучук–эпоксидный олигомер // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50. № 1. С. 43–47.
38. Жаворонок Е.С., Сенчихин И.Н. Оценка плотности сшивки густосетчатого полимера с учетом жесткости фрагмента цепи между узлами сетки // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2019. Т. 61. № 4. С. 282–288.
39. Чалых А.Е., Кочнова З.А., Жаворонок Е.С. Совместимость и диффузия в системах эпоксидные олигомеры–жидкие карбоксилатные каучуки // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2001. Т. 43. № 12. С. 2147–2155.
40. Чалых А.Е., Жаворонок Е.С., Кочнова З.А. Взаимодействие карбоксилсодержащего нитрильного каучука и эпоксидного олигомера // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2010. Т. 52. № 5. С. 880–887.
41. 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.
42. Состав для покрытий по металлу: пат. 2260610 Рос. Федерация; заявл. 13.05.04; опубл. 20.09.05.

43. Состав для защитного покрытия полимерных композиционных материалов: пат. 2480499 Рос. Федерация; заявл. 04.07.11; опубл. 10.01.13.
44. Композиция для антикоррозионного защитного покрытия: пат. 2284342 Рос. Федерация; заявл. 28.04.05; опубл. 27.09.06.
45. Composition for priming covering: pat. 100007 JP; filed 10.07.05; publ. 19.04.07.
46. Covering for inner surface of large-size containers: pat. 101210147 CN; filed 21.12.07; publ. 02.07.08.
47. Water deluting composition for coverings: pat. 0242387 WO; filed 27.11.01; publ. 30.05.02.
48. Захарова А.А. Исследование процесса отверждения эпоксидных олигомеров аминоалкоксисиланами: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1981. С. 3–7.
49. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Захарова А.А., Голова Н.А. Отверждение эпоксидных олигомеров аминоалкоксисиланами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. № 5. С. 24–28.
50. 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.
51. Северный В.В., Карюгин М.А., Кисин А.В., Сокольская И.Б. Анализ структурного состава олигоорганосилоксанов с помощью спектроскопии ЯМР Si // Заводская лаборатория. 1990. № 6. С. 61–64.
52. Кузнецова В.А., Деев И.С., Семенова Л.В. Влияние модификации эпоксидных пленкообразующих композиций на их фазовую микроструктуру и адгезию к алюминиевому сплаву // Авиационные материалы и технологии. 2016. № 1 (40). С. 72–77. DOI: 10.18577/2071-9140-2016-0-1-72-78.
53. Ведякин С.В., Шодэ Л.Г., Смехов Ф.М., Цейтлин Г.М. Модификация эпоксиаминных систем кремнийорганическими эпоксиуретанами // Лакокрасочные материалы и их применение. 1991. № 2. С. 1–3.
54. Ведякин С.В., Шодэ Л.Г., Цейтлин Г.М. Эпоксиуретановые олигомеры, модифицированные кремнийорганическими карбофункциональными гликолями // Лакокрасочные материалы и их применение. 1990. № 6. С. 12–16.
55. Стрекачинская Л.С. Изучение процесса формирования, структуры и свойств расслаившихся лакокрасочных покрытий: автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1980. С. 6–10.
56. Грозинская З.П., Стрекачинская Л.С., Верховланцев В.В. Улучшение некоторых характеристик покрытий за счет расслаивания пленкообразователя // Лакокрасочные материалы и их применение. 1980. № 5. С. 30–32.
57. Стрекачинская Л.С., Верховланцев В.В., Грозинская З.П. Закономерности расслаивания растворов смесей олигомеров // Лакокрасочные материалы и их применение. 1980. № 4. С. 13–15.
58. Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Шаповалов Г.Г., Чесноков Д.В. Тенденции развития в области антикоррозионных полимерных составов для защиты от коррозии крепежных соединений контактных пар комбинированных конструкций (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 1 (46). С. 25–31. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-25-31.
59. Снопков А.Ю., Глазер Е.А., Цейтлин Г.М. и др. Покрытия на основе эпоксидных смол, модифицированных каучуками // Лакокрасочные материалы и их применение. 1989. № 3. С. 66–71.
60. Полимерная композиция для антикоррозионной защиты сварных соединений: пат. 2273653 Рос. Федерация; заявл. 05.10.2004; опубл. 10.04.06.
61. Композиция для антикоррозионного покрытия: пат. 2574512 Рос. Федерация; заявл. 10.11.14; опубл. 10.02.16.
62. Beskhrmatny primer composition: pat. 2008118950 US; filed 26.09.08; publ. 02.10.08.
63. A waterborne epoxy corrosion resistant primer comprises a waterborne epoxy, a curing agent, and a non-chromate containing corrosion-inhibiting pigment: pat. US 6758887; filed 29.11.02; publ. 06.07.04.
64. Zheludkevich M.L., Tedim J., Ferreira V.G.S. «Smart» coating for active corrosion protection based on multifunctional micro and nanocontainers // Electrochimica Acta. 2012. Vol. 82. Nov. P. 314–323.
65. Композиция для нанесения: пат. 2284342 Рос. Федерация; заявл. 28.04.05; опубл. 27.09.06.