

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПИГМЕНТНОЙ ПАСТЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИАМИННОГО ОЛИГОМЕРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ КАТОДНОГО ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

© Ю. В. Чурилов, А. А. Силаева, А. В. Макаров, А. М. Должанская

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,  
125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9  
E-mail: yuriychurilov@gmail.com

Поступила в Редакцию 17 марта 2022 г.

После доработки 25 января 2023 г.

Принята к публикации 25 января 2023 г.

*Разработана технология получения пигментной пасты, наполненной  $TiO_2$  и техническим углеродом, для катодного электроосаждения из эпоксиаминного олигомера. Покрытия для катодного электроосаждения характеризуются высокой адгезионной прочностью, высокой прочностью при ударе, коррозионной стойкостью не менее 720 ч в 3%-ном растворе NaCl, что обусловлено применением в составе пасты антикоррозионного наполнителя  $Zn_3(PO_4)_2$ . Получение покрытий белого цвета из пасты на основе эпоксиаминного олигомера и заблокированного изоцианата затруднено из-за частичной деструкции пленкообразователя. Требуется дальнейший тщательный подбор катализатора для данной водоразбавляемой системы.*

Ключевые слова: эпоксиаминные олигомеры; катодное электроосаждение; коррозионностойкие грунтовки; пигментная паста; диоксид титана

DOI: 10.31857/S0044461822090055; EDN: PRZUGC

Электроосаждение является экономичным, экологичным и безопасным методом нанесения покрытий, позволяющим наносить покрытия на участки изделий сложной конфигурации, которые невозможно качественно окрасить другими методами. В настоящее время отечественные предприятия не выпускают материалы для нанесения этим методом, поэтому исследования в данной сфере являются актуальными.

Основной электрохимический процесс катодного электроосаждения — электролиз воды, в результате которого прикатодное пространство подщелачивается (рН стремится к 14). При этом происходит регенерация аминных групп, первоначально нейтрализованных кислотой, потеря растворимости олигомера в щелочной среде, осаждение его на катоде и электроосмотическое обезвоживание образовавшегося осадка. Последующее термоотверждение приводит к формированию сшитого трехмерного полимерного покрытия [1]. Данный метод технологически схож с гальваническим процессом осаждения металлов, хотя

имеет и принципиальные отличия. Гальванический процесс основан на восстановлении на электроде ионов металла, тогда как метод электроосаждения полимерных электролитов основан на способности полиэлектролитов изменять свою растворимость в зависимости от рН среды, которая в свою очередь изменяется во время электролиза на катоде. В качестве полимерного электролита используют пленкообразующие аминоксодержащие олигомеры. В водорастворимом состоянии олигомер переходит при взаимодействии с уксусной или муравьиной кислотой с образованием водорастворимых четвертичных аммониевых солей [2].

Повсеместному внедрению этого метода способствуют такие факторы, как низкий расход лакокрасочных материалов, воспроизводимость качества покрытий, взрывобезопасность благодаря использованию водоразбавляемых материалов, которые характеризуются практически нулевым уровнем содержания летучих органических веществ. Этот процесс нане-

сения покрытий может быть полностью автоматизирован и позволяет создать замкнутый безотходный технический процесс.

Одно из главных достоинств этого метода состоит в возможности получения на изделиях любой конфигурации равномерного по толщине покрытия. Сегодня данный метод используется в автомобильной промышленности, в том числе для грунтования кузовов автомобилей [3].

Для улучшенной адгезии, эластичности и коррозионной стойкости покрытий в качестве пленкообразователя применяют двухкомпонентную композицию, которая состоит из эпоксидной смолы, модифицированной глицидиловыми эфирами и аминами, и блокированного изоцианата. Лакокрасочные материалы для катодного электроосаждения поставляются в виде двухупаковочной системы: водная эмульсия связующего BASF TM Cathogard (сухой остаток 30–50%) и пигментная паста (сухой остаток ~50–65%). Смешение их проводится у потребителя перед заполнением ванны [4].

Цель исследования — разработка технологии получения пигментированной системы, наполненной техническим углеродом и  $\text{TiO}_2$ , на основе немодифицированного эпоксиаминного олигомера, исследование процесса электроосаждения покрытий из разработанных композиций и изучение их физико-химических, механических и защитных свойств.

### Экспериментальная часть

Пигментная паста представляет собой суспензию пигментов и наполнителей в растворе пленкообразующего. В качестве пленкообразующего использовали нейтрализованные уксусной кислотой экспериментальные образцы водных растворов эпоксиаминного аддукта, полученные в РХТУ им. Д. И. Менделеева, рН которых находится в диапазоне 5–6, массовая доля нелетучих веществ  $27 \pm 4\%$  [5].

Для получения пигментных паст использовали в качестве пигментов технический углерод (сажа) П701 (АО «Ивановский техуглерод и резина»), П803 (АО «Ивановский техуглерод и резина»),  $\text{TiO}_2$  марки Р-02 (ПАО «Крымский титан») (табл. 1). В качестве наполнителей использовали тальк марки ТП (ООО «Тальксиб»),  $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$  марки ЦФМ (ООО «Завод Кронакрил»), катализаторы ТИВ Кат 218, ТИВ Кат 232 и ТИВ Кат 248 (ТИВ Chemicals AG).

Определение массовой доли нелетучих веществ образцов эпоксиаминного аддукта, а также полученных паст и композиций для получения покрытий определяли по методике<sup>1</sup> при температуре  $120^\circ\text{C}$ . рН

среды водных растворов эпоксиаминного аддукта, пигментных паст и композиций определяли с помощью рН-метра лабораторного АНИОН 4100 (ООО НПП «Инфраспек-Аналит») по методике.<sup>2</sup> рН образцов растворов эпоксиаминного аддукта удовлетворяет допустимому пределу значений от 5 до 6 [2, 6], следовательно, данные образцы могут быть использованы для получения материалов для катодного электроосаждения [7].

Для получения гладкого и бездефектного покрытия определяли растворимость пигментов для определения критической объемной концентрации пигмента непосредственно в растворе эпоксиаминного аддукта. Определение растворимости проводили по методике,<sup>3</sup> определение критической объемной концентрации пигмента — по методике.<sup>4</sup>

Пасты изготавливали на лабораторном исследовательском диссольтвере ЛДУ-3 МПР (ООО «Лаботекс», мощность привода Mitsubishi 0.55 кВт, частота вращения вала  $\leq 7000$  об·мин<sup>-1</sup>). В емкость диссольтвера загружали раствор эпоксиаминного аддукта, пигменты и наполнители, проводили перемешивание при низком сдвиговом напряжении в течение не менее 30 мин с помощью диско-зубчатого перемешивающего устройства ( $d = 50$  мм, ООО «Лаботекс»), затем проводили диспергирование с применением бисера из  $\text{ZrO}_2$  (ООО «ПРОХИМ»,  $D = 1.0\text{--}1.2$  мм, удельный вес  $6.01\text{--}6.08$  г·см<sup>-3</sup>, твердость по Моосу 9) на дисковой мешалке с концентрическими дисками ( $d = 55$  мм, ООО «Лаботекс») в течение 1.5–2 ч при скорости вращения  $2000\text{--}3000$  об·мин<sup>-1</sup> до достижения степени дисперсности не более 20 мкм по гриндометру «Клин» (ООО «Градиент-Техно») по методике.<sup>5</sup> Определяли условную вязкость паст с помощью вискозиметра по ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм (ООО «Константа») по методике,<sup>6</sup> удельную электропроводность кондуктометром Milwaukee MW802 рН/ЕС/ТДС (Milwaukee Electronics Corp)

<sup>1</sup> ГОСТ 31939–2012. Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ.

<sup>2</sup> ГОСТ 33776–2016. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды.

<sup>3</sup> ГОСТ 21119.8–75. Общие методы испытаний пигментов и наполнителей. Определение маслосемкости.

<sup>4</sup> ГОСТ 16872–78. Пигменты неорганические. Методы определения относительной красящей способности (или эквивалентной красящей способности) и цвета в разбеле цветных пигментов.

<sup>5</sup> ГОСТ 31973–2013. Материалы лакокрасочные. Метод определения степени перетира.

<sup>6</sup> ГОСТ 8420–74. Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости.

**Таблица 1**  
Характеристики пигментов

Показатель	Технический углерод П-701	Технический углерод П-803	TiO <sub>2</sub> P-02	TiO <sub>2</sub> P-02
Растворимость, г/100 г эпоксиаминного аддукта	1.377	1.891	0.214	0.268
Критическая объемная концентрация пигмента, %	30.05	22.72	60.8	52.41

по методике,<sup>1</sup> соотношение пигмент/связующее (г/г) путем высушивания проб последовательно при 120°C в сушильном шкафу SNB200 (Memmert GmbH), затем при 400°C в муфельной печи МП-0 (завод «Электродело» Министерства просвещения РСФСР) до постоянной массы и определения соотношения масс остатков после выдержки при нагревании. ζ-Потенциал композиций был определен на анализаторе размера частиц и ζ-потенциала Nanotrack Wave II (Microtrac Retsch GmbH). Для получения и дальнейшего исследования покрытий были приготовлены композиции пигментных паст на основе водного раствора синтезированного эпоксиаминного аддукта и 15%-ной эмульсии связующего BASF TM Cathogard.

Получение покрытий проводили на лабораторной установке для катодного электроосаждения с ванной объемом 0.5 л. В качестве анода использовали нерастворимый анод из нержавеющей стали 08X10H20T (AISI303). Режим электроосаждения при постоянном напряжении 120–240 В и продолжительностью 120 с. Катодами служили металлические пластины из стали 08КП (AISI A622) площадью 0.2 дм<sup>2</sup>, обезжиренные и подготовленные согласно требованиям.<sup>2</sup> После окраски образцы промывали обессоленной водой, полученной путем дистилляции с помощью аквадистиллятора ДЭ-4М (ООО «Завод «Электромедоборудование»). Для формирования покрытий проводили термоотверждение электроосажденных осадков при температуре 180–200°C в течение 20 мин. В указанных условиях формировались бездефектные ровные покрытия, удовлетворяющие по внешнему виду требованиям,<sup>3</sup> толщину покрытий

<sup>1</sup> ГОСТ 31770–2012. Мед. Метод определения электропроводности.

<sup>2</sup> ISO 1513:2010. Paints and varnishes — Examination and preparation of tests samples.

<sup>3</sup> ISO 4628-1:2016. Paint and varnishes — Evaluation of degradation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and intensity of uniform changes in appearance — Part 1: General introduction and designation system. ГОСТ Р 51691–2008. Материалы лакокрасочные. Эмали.

определяли с помощью толщиномера QNIX 4500 (Automation Dr. Nix GmbH & Co. KG) по методике,<sup>4</sup> блеск покрытий под углом 60° — прибором БУК micro-TRI-gloss (БУК Gardner GmbH) по методике,<sup>5</sup> адгезию методом решетчатого надреза — адгезиметром Cross-cut (БУК Gardner GmbH) по методике,<sup>6</sup> прочность при прямом и обратном ударе — прибором Константа У-1А (ООО «Константа») по методике,<sup>7</sup> устойчивость к воздействию 3% NaCl — по методике,<sup>8</sup> метод А. Также определяли расход композиций, необходимый для определения максимального количества материала для получения 1 м<sup>2</sup> покрытия заданной толщины. Долю гель-фракции в покрытиях определяли по методике<sup>9</sup> с помощью аппарата Сокслета, в качестве растворителя использовали ацетон (х.ч., АО «ЭКОС-1»). Свойства пигментных паст представлены в табл. 2.

### Обсуждение результатов

Пасты для материалов для катодного электроосаждения могут быть изготовлены в органической и водной среде, поскольку эпоксиаминный аддукт может быть растворен в этилцеллозольве или переведен в водорастворимое состояние [8–15]. С точки зрения дальнейшего совмещения пигментных паст с водной эмульсией пленкообразующего целесообразно проводить диспергирование в среде водного раствора эпоксиаминного аддукта.

<sup>4</sup> ГОСТ 31993–2013. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия.

<sup>5</sup> ГОСТ 31975–2017. Материалы лакокрасочные. Метод определения блеска лакокрасочных покрытий под углом 20°, 60° и 85°.

<sup>6</sup> ГОСТ 31149–2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза.

<sup>7</sup> ГОСТ 4765–73. Материалы лакокрасочные. Метод определения прочности при ударе.

<sup>8</sup> ГОСТ 9403–80. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные.

<sup>9</sup> ГОСТ 18964–80. Смолы фенолформальдегидные твердые. Технические условия.

**Таблица 2**  
Свойства пигментных паст

Состав пасты по массе	pH	Вязкость, с	Степень перетира, мкм	Нелетучие вещества	Пигмент/связующее
Технический углерод П-701:эпоксиминовый аддукт (1:9)	5.30	17.2	50	31.41	0.663
Технический углерод П-803:эпоксиминовый аддукт (1:9)	5.49	47.0	15	44.92	0.989
Технический углерод П-803:тальк:эпоксиминовый аддукт (1:0.5:8.5)	5.84	50.0	15	48.88	1
Технический углерод П-803:тальк:фосфат цинка:эпоксиминовый аддукт (1:0.5:0.5:8)	5.75	53.0	15	51.05	1.1
P-02:эпоксиминовый аддукт (1:2.3)	5.27	10.97	20	43.64	2.114
P-02:эпоксиминовый аддукт (1:1.5)	6.00	23.49	20	57.71	1.996

Составы пигментных паст были выбраны с учетом растворимости и рассчитанной критической объемной концентрации пигмента. При диспергировании пасты на основе технического углерода П-701 наблюдались сложности в получении необходимой степени диспергирования, поэтому в дальнейшем использовали технический углерод марки П-803. При увеличении степени наполнения черных паст наблюдается закономерное увеличение их вязкости. Тальк и  $Zn_3(PO_4)_2$  были выбраны как одни из наиболее используемых компонентов антикоррозионных грунтовок с различными механизмами ингибирования коррозионных процессов.

$\zeta$ -Потенциалы поверхностей частиц дисперсной фазы превышают 60 мВ, что свидетельствует об эффективно проведенном процессе диспергирования и подтверждает возможность введения паст в эмульсию для электроосаждения [16].

Покрyтия, полученные при осаждении пигментных паст без катализатора, обладают ровной и гладкой поверхностью, прочность при ударе покрытий составила не менее 100 см, адгезия — 0–1 балл. Характеристики материала представлены в табл. 3.

С увеличением количества пигментной пасты в лакокрасочной системе масса осаждаемого материала за одинаковое количество времени снижается. Это свидетельствует о влиянии степени наполненности материала на скорость его осаждения. При соотношении пасты и эмульсии связующего BASF TM Cathogard 1:15 покрытие полностью укрывает подложку и имеет удовлетворительный внешний вид.

Снижение блеска соответствует увеличению степени наполнения композиций и подтверждает, что пигментная часть осаждается вместе с пленкообразующим.

Различия в соотношении компонентов в покрытии и в лакокрасочном материале могут быть обусловлены размерами частиц пигментов ( $TiO_2$  и технического углерода), различной степенью их сродства с эпоксиминовым аддуктом.

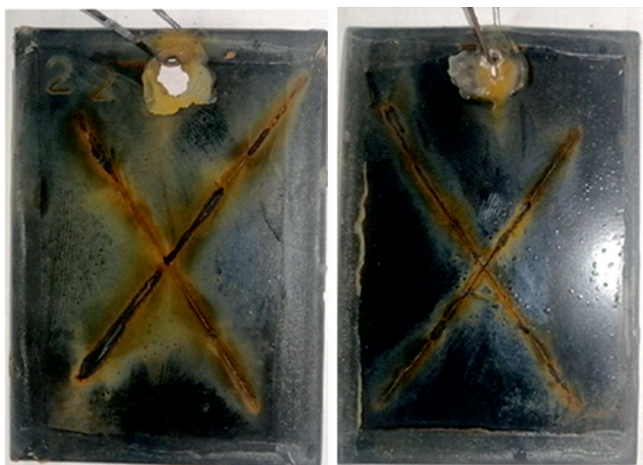
Для увеличения коррозионной стойкости в черную композицию [технический углерод П-803:эпоксиминовый аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard (1:15) был добавлен  $Zn_3(PO_4)_2$ . Пластины были выдержаны в 3%-ном растворе NaCl в течение 720 ч. Распространение коррозии от надреза на покрытие на основе композиции без  $Zn_3(PO_4)_2$  и композиции с  $Zn_3(PO_4)_2$ , имеющих одинаковую степень наполнения, составило 5 и 3 мм от надреза соответственно (см. рисунок).

Увеличение коррозионной стойкости подтверждает осаждение  $Zn_3(PO_4)_2$  в ходе электроосаждения в количестве, достаточном для увеличения защитных свойств покрытия.

Пигментные пасты являются частью двухкомпонентной системы, изготовленной на основе эпоксиминового олигомера. В промышленности пигментная паста смешивается с эмульсией связующего непосредственно перед процессом нанесения. Отвердитель присутствует только в эмульсии связующего, поэтому функциональных групп отвердителя должно быть достаточно для отверждения пленкообразователя как компонента пасты [4]. Для подтверждения данного тезиса были определены доли гель-фракции в покрытиях после термоотверждения на основе пигментированных композиций и ненаполненной эмульсии. Доля гель-фракции в покрытиях на основе пигментированных композиций [93% для пигментированной техническим углеродом без  $Zn_3(PO_4)_2$ , 94% для пигментированной  $TiO_2$  без

Таблица 3  
Характеристики покрытий

Состав композиций по массе	Расход материала, г·см <sup>-2</sup>	Толщина, мкм	Блеск, единицы блеска	Внешний вид покрытий	Адгезия, балл	Прочность при ударе, см
[Технический углерод П-701:эпоксиаминный аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:60	30.09	6	56.00	Не определяли	1	100
[Технический углерод П-701:эпоксиаминный аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:30	20.56	5	42.08	Покрытие осадилось неравномерно, укрывистость недостаточная, есть дефекты, цвет черный	0	100
[Технический углерод П-701:эпоксиаминный аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15	17.58	3	13.40	Покрытие осадилось равномерно, укрывистость достаточная, но не однородна, цвет черный	0	100
[Технический углерод П-803:эпоксиаминный аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:30	Не определяли	11	35.79	Покрытие осадилось равномерно, укрывистость недостаточная, имеются дефекты в виде включений, цвет черный	0	100
[Технический углерод П-803:эпоксиаминный аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15	13.87	10	6.65	Покрытие осадилось равномерно, укрывистость достаточная, дефекты отсутствуют, цвет черный	0	100
[Технический углерод П-803:эпоксиаминный аддукт (1:0.5:8.5)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15 + 0.6% ПВ Кат 218	16.65	11	26.64	Покрытие осадилось неравномерно, укрывистость недостаточная, имеются дефекты, цвет черный	1	100
[Технический углерод П-803:эпоксиаминный аддукт (1:0.5:8.5)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15	15.48	11	24.03	Покрытие осадилось равномерно, укрывистость достаточная, имеются дефекты, цвет черный	0	100
[TiO <sub>2</sub> P-02:талк:Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> :эпоксиаминный аддукт (1:0.5:0.5:8)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:60	52.63	28	29.66	Покрытие осадилось неравномерно, укрывистость недостаточная, цвет желтый	0	100
[TiO <sub>2</sub> P-02:талк:Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> :эпоксиаминный аддукт (1:0.5:0.5:8)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15	33.75	23	24.96	Покрытие осадилось равномерно, укрывистость достаточная, цвет желтый	0	100
[TiO <sub>2</sub> P-02:эпоксиаминный аддукт (1:2.3)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15	39.74	24	20.60	Покрытие осадилось равномерно, укрывистость достаточная, цвет желтый	0	100
[TiO <sub>2</sub> P-02:эпоксиаминный аддукт (1:1.5)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15 + 0.6% ПВ Кат 218	43.52	27	45.22	Покрытие осадилось равномерно, отвердилось не до конца, имеются дефекты, цвет светло-желтый	3	45 прямой <10 обратный
[TiO <sub>2</sub> P-02:эпоксиаминный аддукт (1:1.5)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard 1:15 + 0.6% ПВ Кат 218	40.78	29	39.7	Покрытие осадилось неравномерно, отвердилось не до конца, укрывистость достаточная, имеются дефекты, цвет светло-желтый	2	45 прямой <10 обратный



а б

Образцы после выдержки в растворе NaCl.

*а* — покрытие на основе композиции [технический углерод П-701:эпоксиаминовый аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard (1:15) без  $Zn_3(PO_4)_2$ , *б* — покрытие на основе композиции [технический углерод П-803:эпоксиаминовый аддукт (1:9)] + 15%-ная эмульсия связующего BASF TM Cathogard (1:15) с  $Zn_3(PO_4)_2$ .

$Zn_3(PO_4)_2$ ; 95.5% для пигментированной техническим углеродом с  $Zn_3(PO_4)_2$ ] выше, чем доля гель-фракции покрытия на основе ненаполненного материала (91.5%). Полученные значения подтверждают предположение о том, что функциональных групп отвердителя должно быть достаточно для отверждения олигомера в пигментной пасте.

При температуре 200°C предположительно происходит частичная деструкция пленкообразователя, что вызывает пожелтение покрытия. Это особенно сильно проявляется в ненаполненных и светлых композициях. Поэтому покрытия, наполненные  $TiO_2$ , имеют желтый оттенок. В подобные уретановые двухкомпонентные системы рекомендуется вводить катализаторы ТИВ Kat 218, ТИВ Kat 232 или ТИВ Kat 248, что позволяет увеличить скорость реакции при термоотверждении и за счет этого снизить температуру отверждения [17, 18], что в свою очередь снизит долю протекающих процессов деструкции. Необходимо учитывать минимальный предел температуры отверждения покрытия, определяемый температурой разблокировки блокирующего агента. Однако использование именно данных катализаторов привело к изменению качества получаемых покрытий: ухудшению адгезии и прочности при ударе. Для всех покрытий, полученных при добавлении катализатора, характерно присутствие дефектов в виде участков без покрытий. Снижение значений прочности при ударе и адгезии покрытий на основе композиций с  $TiO_2$

свидетельствует о том, что покрытия не отверждены в полной мере. В свою очередь прочность черной композиции после добавления катализатора составляет не менее 100 см, что свидетельствует о большей степени завершенности реакции отверждения покрытия. Для выяснения механизма катализа необходимы более детальные исследования с применением различных систем катализаторов.

## Выводы

Полученные пигментные пасты технического углерод П-803:эпоксиаминовый аддукт (1:9), технический углерод П-803:тальк:эпоксиаминовый аддукт (1:0.5:8.5),  $TiO_2$  P-02:тальк:фосфат цинка:эпоксиаминовый аддукт (1:0.5:0.5:8),  $TiO_2$  P-02:эпоксиаминовый аддукт (1:2.3),  $TiO_2$  P-02:эпоксиаминовый аддукт (1:1.5) стабильны, композиции подвергаются электроосаждению и термоотверждению, при достаточном соотношении пигментной пасты и эмульсии материал обеспечивает укрывистость покрытий. Результаты физико-механических, химических испытаний и доли гель-фракции (91% для ненаполненных систем, 93–95.5% для наполненных систем) в покрытии подтверждают, что при термоотверждении группы отвердителя эмульсии взаимодействуют с группами эпоксиаминового аддукта пасты, а увеличенная коррозионная стойкость доказывает, что  $Zn_3(PO_4)_2$ , используемый в качестве наполнителя черной пигментной пасты, оседает на подложке. Катализаторы ТИВ Kat 218, ТИВ Kat 232 и ТИВ Kat 248 не позволяют снизить температуру отверждения покрытий с 200 до 180°C с сохранением исходных свойств, система покрытий эпоксиаминовый олигомер–блокированный изоцианат требует дальнейшего подбора оптимального катализатора. Получение покрытий белого цвета затруднено из-за частичной деструкции пленкообразователя.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## Информация об авторах

Чурилов Юрий Витальевич  
SPIN-код: 3234-4880  
Силаева Анна Александровна, к.т.н.  
SPIN-код: 8104-5527  
Макаров Алексей Викторович  
SPIN-код: 1095-2607  
Должанская Алина Максимовна  
SPIN-код: 5326-3114

## Список литературы

- [1] Квасников М. Ю., Крылова И. А. Окраска методом электроосаждения на рубеже веков // Лакокрасоч. материалы и их применение. 2001. № 4. 2001. С. 10–15.
- [2] Квасников М. Ю., Романова О. А., Уткина И. Ф., Смирнов К. Н., Киселёв М. Р., Королёв Ю. М., Крылова И. А., Антипов Е. М., Силаева А. А. Получение металлополимерных покрытий совместным электроосаждением на катоде полимерных электролитов и металлов // Высокомолекуляр. соединения. Сер. А. 2015. Т. 57. № 4. С. 361–361.  
<http://doi.org/10.7868/S2308112015040094>  
[Kvasnikov M. Yu., Romanova O. A., Smirnov K. N., Utkina I. F., Kiselev M. R., Korolev Yu. M., Krylova I. A., Antipov E. M., Silaeva A. A. Obtainment of a metal-polymer coating via the simultaneous combination of electrodeposition on the cathode of oligomeric electrolytes and electrodeposition of metals // Polym. Sci. Ser. A. 2015. V. 57. N 4. P. 473–479.  
<http://dx.doi.org/10.1134/S0965545X15040094>].
- [3] Квасников М. Ю. Получение лакокрасочных покрытий методом электроосаждения // Промышленные покрытия. 2008. № 3–4. С. 56–61.
- [4] Müller B., Poth U. Coating Formulation: An International Textbook, 2nd Revised Ed. Hanover: Vincentz Network, 2011. P. 220–221.
- [5] Чурилов Ю. В., Должанская А. М., Силаева А. А., Родионова Н. А., Точилкина Е. О., Квасников М. Ю. Синтез водорастворимых эпоксиаминных олигомеров и получение покрытий на их основе методом катодного электроосаждения // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Химия. 2021. 14 (3). С. 360–370.  
<http://doi.org/10.17516/1998-2836-0244>
- [6] Müller B., Poth U. Coating Formulation: An International Textbook. 2nd Revised Ed. Hanover: Vincentz Network, 2011. P. 230.
- [7] Pat. US 20140262791 A1 (publ. 2014). Electrodeposition of an autodepositable polymer.
- [8] Ranjbara Z., Moradian S. The effect of molecular weight of epoxy resin on the reposition behaviour of water-borne epoxy-amine adducts // Iran. Polym. J. 2004. N 13 P. 69–75.
- [9] Pat. US 6020069 A (publ. 2000). Cathodic electrocoating composition containing an epoxy resin chain extended with primary amine.
- [10] Пат. РФ 2495070 (опубл. 2013). Лакокрасочная композиция с высокой рассеивающей способностью для получения методом электроосаждения на катоде химстойких износостойких покрытий с повышенной твердостью и антикоррозионной защитой.
- [11] Пат. РФ 2600638 (опубл. 2016). Способ получения гидрофобных лакокрасочных покрытий методом анодного электроосаждения с улучшенными защитными свойствами и повышенной рассеивающей способностью.
- [12] Пат. РФ 2566145С2 (опубл. 2011). Красящая композиция и способ формирования покрывной пленки с ее применением.
- [13] Pat. WO 2013089903 A1 (publ. 2013). Resin based post rinse for improved throwpower of electrodepositable coating compositions on pretreated metal substrates.
- [14] Pat. US 7906002 (publ. 2011). Method for forming surface-treating film.
- [15] Pat. KR 20190096677 A (publ. 2019). Electrodeposition resin composition and electrodeposition coating kit comprising the same.
- [16] Kumar A., Dixit C. K. Methods for characterization of nanoparticles // Advances in Nanomedicine for the Delivery of Therapeutic Nucleic Acids. 2017. P. 43–58.  
<http://doi.org/10.1016/B978-0-08-100557-6.00003-1>
- [17] Pat. US 20200270758 A1 (publ. 2020). Method of improving the corrosion resistance of a metal substrate.
- [18] Pat. EP 2757123 A2 (publ. 2014). Clear electrodepositable primers for radiator coatings.