

Получение совмещенной эпоксидианово-акриловой дисперсии

Раиса Г. Домниченко¹ raisa-domnichenko@ya.ua
 Галина Ю. Вострикова² vostr76-08@live.ru
 Сергей С. Никулин³ nikulin_sergey48@mail.ru

¹ Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20 А, г. Луганск, 91011, Луганская Народная Республика

² Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия

³ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Современное состояние развития экономики РФ обуславливает появление ряда актуальных проблем, связанных с совершенствованием производства и повышением уровня экологически безопасной продукции, в частности лакокрасочных материалов в сочетании с высокими эксплуатационными свойствами покрытий на их основе. В обзоре рассматриваются достоинства и недостатки водных дисперсий на основе полимеров в присутствии различных модификаторов, которые широко используются в лакокрасочной промышленности. Основным преимуществом покрытий на водной основе является снижение пожароопасности при проведении окрасочных работ, из-за отсутствия органических растворителей в рецептуре, повышается экологическая безопасность и безопасность этих покрытий для здоровья человека. В данной статье рассматривается проблема условий стабильности смешанных материалов эпоксидно-акрилового типа и установление связи между составом пленкообразующей основы и эксплуатационными свойствами покрытий. Цель данного исследования – создание новых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов на основе смешанных эпоксидно-акриловых пленкообразователей для покрытий с повышенной твердостью, износостойкостью, эластичностью и адгезией. Проведен анализ основных типов пленкообразователей на водной основе. Предложено использовать смешанные системы пленкообразователей на основе эпоксидно-акриловых дисперсий. Стандартными методами установлено, что совмещением дисперсий акрилового и эпоксидного типов удастся достичь существенного повышения износостойкости композиций (практически в 2 раза) по сравнению с износостойкостью материалов на акриловой основе. Адгезия покрытий к подложкам различной природы (кроме кирпичной) возрастает с увеличением содержания эпоксидиановой компоненты. С точки зрения эксплуатационных свойств, покрытие на основе акрил-эпоксидного материала может быть более эффективнее, чем акриловое и использоваться в условиях повышенной влажности. Подтверждено повышение эксплуатационных свойств этих материалов в сравнении с акрилатными системами. Необходимо отметить, что дополнительной задачей при разработке любых строительных материалов является доступность в цене. Известно, что не все дисперсии являются дешевыми, так например, в присутствии силиконовых полимеров, дисперсии обладают высокой стоимостью, поэтому их используют только при необходимости. Нами для улучшения эксплуатационных свойств и снижения стоимости защитных лакокрасочных покрытий было предложено использовать композиционные материалы, в состав которых вошли стирол-акриловые и эпоксидные водные дисперсии. В дальнейшем планируется создать «умные» материалы, свойства которых будут зависеть от функциональных наполнителей.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, водные дисперсии, эмульсия, эпоксидная смола, акриловая дисперсия, пленкообразующие основы, пористость, влагопоглощение, латекс

Obtaining a combined epoxy-acrylic dispersion

Raisa G. Domnichenko¹ raisa-domnichenko@ya.ua
 Galina Yu. Vostrikova² vostr76-08@live.ru
 Sergey S. Nikulin³ nikulin_sergey48@mail.ru

¹ Luhansk State University named after Vladimir Dal, 20A Molodezhny sq., Luhansk, 91011, Luhansk People's Republic

² Voronezh State Technical University, 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia

³ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The current state of development of the economy of the Russian Federation causes the appearance of a number of urgent problems related to improving production and increasing the level of environmentally safe products, in particular paints and varnishes combined with high performance properties of coatings based on them. In this regard, the advantages and disadvantages of aqueous dispersions based on polymers in the presence of various modifiers that are widely used in the paint and varnish industry were analyzed. This article discusses the problem of stability conditions for mixed materials of epoxy-acrylic type and the establishment of a relationship between the composition of the film-forming base and the performance properties of coatings. The purpose of this study is to create new water-dispersion paints and varnishes based on mixed epoxy-acrylic film-formers for coatings with increased hardness, wear resistance, elasticity and adhesion. The analysis of the main types of water-based film-forming agents is carried out. It is proposed to use mixed systems of film-formers based on epoxy-acrylic dispersions. It was established by standard methods that by combining dispersions of acrylic and epoxy types it is possible to achieve a significant increase in the wear resistance of the compositions (almost 2 times) in comparison with the wear resistance of materials based on acrylic. The adhesion of coatings to substrates of various nature (except for brick) increases with an increase in the content of the epoxy component. In terms of performance, acrylic epoxy can be more effective than acrylic and can be used in humid environments. An increase in the performance properties of these materials in comparison with acrylate systems has been confirmed. It should be noted that an additional task in the development of any building materials is affordability. It is known that not all dispersions are cheap, for example, in the presence of silicone polymers, dispersions are expensive, so they are used only when necessary. To improve operational properties and reduce the cost of protective coatings, we proposed using composite materials, which included styrene-acrylic and epoxy aqueous dispersions. In the future, it is planned to create “smart” materials whose properties will depend on functional fillers.

Keywords: paints and varnishes, aqueous dispersions, emulsion, epoxy resin, acrylic dispersion, film-forming bases, porosity, moisture absorption, latex

Для цитирования

Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение совмещенной эпоксидианово-акриловой дисперсии // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 278–283. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-278-283

For citation

Domnichenko R.G., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. Obtaining a combined epoxy-acrylic dispersion. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 278–283. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-278-283

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Проанализировав рынок промышленных лакокрасочных материалов в России и за рубежом можно сделать вывод, что в мире происходит рост производства систем на основе водных дисперсий полимеров.

В настоящее время дисперсии органических смол в водной среде широко используются в качестве пленкообразующих систем для покрытий, как для внутренних, так и внешних работ по минеральным субстратам. Основным типом полимерного материала, который используется в производстве эмульсий являются сополимеры на основе акриловой, метакриловой кислот и полистирола [1]. Эти материалы характеризуются высокой атмосферостойкостью, но в то же время непригодны для получения покрытий на металлических и пластиковых субстратах. Традиционно для решения таких задач используются системы на основе эпоксидных смол с добавлением органических растворителей и пластификаторов, что обеспечивает высокую твердость и адгезию. В то же время, эпоксидные материалы оказываются недостаточно атмосферостойкими [2].

Таким образом, формируется потребность в материалах, которые бы обладали преимуществами как акриловых, так и эпоксидных полимерных покрытий. Пленкообразователи на основе водных дисперсий акриловых смол являются экономически привлекательными, а совершенствование эксплуатационных параметров этих материалов возможно при условии совершенствования их состава.

Предложено использовать смешанные материалы на основе стирол-акриловых и эпоксидных водных дисперсий. Задача исследований заключалась в определении условий стабильности смешанных материалов данного типа и установление связи между составом пленкообразующей основы и эксплуатационными свойствами покрытий.

Цель работы – создание новых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов на основе смешанных эпоксидно-акриловых пленкообразователей для покрытий с повышенной твердостью, износостойкостью, эластичностью и адгезией.

Материалы и методы

Основной задачей было установление оптимального соотношения между количеством акриловой и эпоксидиановой дисперсии исходя из физико-химических свойств смешанных композиций. Варьирование концентраций смешанных дисперсий происходило с шагом 20 об. %.

В качестве пленкообразующей стирол-акриловой основы нами была выбрана универсальная дисперсия акрилового латекса Ucar D 450 и водная дисперсия эпоксидиановой смолы (пат. Украины 78249). Полученная дисперсия с высокой седиментационной стабильностью (до 240 суток) была смешана в различных соотношениях с указанным стирол-акрилатным материалом.

Показано, что при увеличении содержания латекса Ucar D 450 (таблица 1) происходит повышение пористости композиции, максимальная пористость характерна для пленки на основе смеси 80 об. ч. латекса и 20 об. ч. эпоксидиановой смолы. Форма зависимости пористости от состава композиции позволяет сделать вывод о решающем влиянии кинетики высыхания композиции на структуру лаковой пленки. При совмещении систем происходит повышение общего содержания воды в композиции, и ее загустение. В этих условиях, при высыхании на подкладке процесс удаления воды не успевает завершиться в полной мере до начала гелеобразования, что приводит к образованию пор типа каверн в структуре покрытия при содержании латексной компоненты 80 об. %. При этом пористость такой пленки превышает пористость пленки чистого латекса (таблица 1).

Тем не менее, пористость чистой латексной пленки значительно выше, чем из полученной эпоксидной дисперсии, введение латекса до 20–30 об. % существенно не влияет на общую пористость композиции.

Таблица 1.

Пористость совмещенных композиций и взаимодействие композиций с жидкой и парообразной водой

Table 1.

The porosity of the combined compositions and the interaction of the compositions with liquid and vaporous water

Показатель Indicator	Содержание латексной дисперсии в системе, об. % Content of latex dispersion in the system, vol. %					
	0	20	40	60	80	100
Пористость, об. % Porosity, vol. %	1,30	1,35	1,40	1,55	1,80	1,70
Угол смачивания водой, град. Wetting angle with water, deg.	67	64	62	60	58	56
Водопогло- щение, мас. % Water absorption, wt. %	1,18	1,25	1,37	1,45	1,56	1,43
Влагопогло- щение, об. % Water absorption, vol. %	0,58	0,63	0,72	0,94	1,16	1,15

Тенденция увеличения дефектности покрытия при увеличении содержания латекса в композиции подтверждается значениями угла смачивания водой, а также водо- и влагопоглощения свободных пленок (таблица 1).

Результаты этих опытов указывают на повышенное родство латексной пленки к воздействию жидкой воды, что обусловлено как наличием в ней остатков большого количества поверхностно-активных веществ, используемых для стабилизации эмульсий подобного типа, так и большим родством к воде стирол-акрилового полимера в сравнении с эпоксидным. Этот факт повышает влагопоглощение латексной пленки по сравнению с эпоксидной, но концентрационная зависимость при этом отличается от зависимости с пористостью (отсутствует характерный максимум), поскольку капиллярной конденсации жидкой воды в крупных порах покрытия не происходит. Зависимость водопоглощения от содержания латекса, полностью повторяет зависимость пористости от этого фактора.

Как и в случае с пористостью, можно заключить, что введение в эпоксидиановую систему дисперсии Ucar D 450 в количестве 20–30 об. % не приводит к существенному снижению устойчивости системы к воздействию жидкой и парообразной воды. Введение латекса влияет на прочностные свойства пленки, что достигается за счет увеличения ее эластичности (таблица 2).

Таблица 2.
Механические свойства покрытий

Table 2.
Mechanical properties of coatings

Показатель	Содержание латексной дисперсии в системе, об. % Content of latex dispersion in the system, vol. %					
	0	20	40	60	80	100
Жесткость, од. Stiffness, od.	80	70	64	59	55	50
Износостойкость, кг/мкм Wear resistance, kg/μm	28	23	21	18	16	12
Эластичность, мм Elasticity, mm	6	3	2	2	1	1
Стойкость к удару, кг/см Impact resistance, kg/cm	60	80	95	110	140	180

Повышение устойчивости пленки к удару объясняется увеличением ее способности к пластической деформации во время действия скоростной нагрузки. За счет введения латекса напряжение в пленке в этот момент релаксирует в большей степени, чем в случае с чистой эпоксидной смолой.

Снижение износостойкости при введении латекса объясняется пониженной жесткостью пленки, таким образом, при контакте мелких частиц абразива с поверхностью выносятся большая часть материала, чем в случае сравнительно жесткой эпоксидной смолы.

Введение латексной компоненты значительно увеличивает эластичность покрытия уже при концентрациях последней 20 об. %, при этом жесткость и износостойкость материала остаются на высоком уровне. Таким образом, результаты измерений механических свойств покрытий указывают на оптимальное содержание латексной дисперсии на уровне 20–30 об. %.

Для получения модельных красящих композиций была создана рецептура водно-дисперсной краски, в состав которой входил карбонатный наполнитель (Normcal 20, Somcalcite, Турция), пигмент диоксид титана рутильной модификации (RGU, Kronos, Германия) загуститель (ПБА-22 омут. ПАО «Дашуковские бентониты» Украина), диспергатор анионного типа (Axillat 32-S – натриевая соль полиакриловой кислоты) [2, 6]. Выбор компонентов был обусловлен необходимостью сравнения стабильности и потребительских свойств модельной композиции с уже существующими импортными аналогами. После смешивания в состав композиции была введена водная дисперсия отвердителя (полиэтиленполиамины) в количестве 8 масс. % от содержания эпоксидиановой смолы в системе и получение водно-дисперсионной краски с различным соотношением пленкообразователей, которые не содержат летучих органических растворителей (таблица 3).

Таблица 3.
Рецептуры водно-дисперсионных эпоксидно-акриловых композиций

Table 3.
Formulations of water-dispersed epoxy-acrylic compositions

Компонент Component	Номер композиции				
	1	2	3	4	5
Дисперсия UcarD 450 Dispersion UsarD 450	20	15	10	5	0
Дисперсия ЕД-20 Dispersion UD 20	0	5	10	15	20
Наполнитель Normcal 20 Filler Nomaxal 20	30	30	30	30	30
Пигмент диоксид титана Pigment titanium dioxide	7	7	7	7	7
Загуститель ПБА-22 Thickener PBA 22	3	5	5	8	8
Диспергатор Axillat 32 S Dispersant Ahillat 32 S	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Вода Water	38,5	36,5	36,5	33,5	33,5
Отвердитель Hardener	0	0,4	0,8	1,2	1,6
Итого Total	100	100,4	100,8	101,2	101,6

При совмещении эпоксидной и акриловой основы астабилизации или загустения композиции не происходит. После смешивания полимерных дисперсий и приготовления полуфабриката материал может храниться до введения отвердителя до полугода, что приближает его по этой характеристике к стирол-акриловой дисперсии. Физико-химические и эксплуатационные характеристики покрытий на основе смеси дисперсий определяли стандартными методами [7–14].

Результаты и обсуждение

Отверждения покрытия происходит за счет удаления воды за короткий промежуток времени (от 20 мин. до 1 ч), исключается пожароопасность при проведении окрасочных работ, повышается экологическая безопасность и безопасность этих покрытий для здоровья человека вследствие отсутствия органических растворителей в рецептуре. Второй причиной может служить то, что покрытие на водной основе по эксплуатационным свойствам не уступает покрытиям на основе органических растворителей, а наоборот, обладают высокой атмосферостойкостью, паропроницаемостью (что является важным для фасадных материалов), декоративными свойствами, легкостью колерования, возможность получения рельефа и текстурных покрытий и т. д.

Выходной (полуфабрикатной) формой водно-дисперсионных пленкообразователей является эмульсия или дисперсия полимеров в водной среде. Наиболее часто дисперсный полимер находится в состоянии частиц сферической формы со средним диаметром 0,05–0,3 мкм [1]. Коагуляционная и седиментационная стабильность системы достигается за счет стерической и электростатической стабилизации при использовании поверхностно-активных веществ, которые адсорбируются на поверхности капель мономера в случае использования конденсационных методов получения систем, или вводятся в систему во время получения вторичных дисперсий [2].

Формирование пленки из такой дисперсии происходит вследствие ряда процессов [3]: 1) удаление до 70–80% дисперсионной среды вследствие высыхания системы и дестабилизации эмульсии (образование геля); 2) приближения и контакта между частицами диспергированной фазы; 3) удаления остаточной воды, слипание и деформация частиц полимера под действием капиллярных сил, что приводит к образованию сплошной пленки. При этом стабилизирующее дисперсию поверхностно-активное вещество выдавливается на поверхность пленки, либо остается в ее объеме [4].

В случае использования термопластических материалов (которые не образуют после отверждения пространственной молекулярно-сшитой полимерной сетки) процесс прекращается на третьей стадии. В тех случаях, когда используются реактопластические материалы (на основе эпоксидных, алкидных или полиуретановых систем или их смесей) возникает дополнительная стадия формирования пленки, которая происходит за счет сшивания полимерных частиц, преимущественно за межфазными границами, под влиянием соответствующих отвердителей. При этом важным фактором для образования сплошной пленки является предварительное удаление жидкой воды из системы, что гарантирует отсутствие пустот, заполненных воздухом в готовом покрытии. Системы с дополнительным отверждением, таким образом, обязательно должны быть спроектированы с учетом определенной задержки действия сшивающего отвердителя. Особенностью реактопластических пленкообразователей является тот факт, что они могут использоваться в виде суспензий, то есть получения твердых пленок на их основе будет происходить не путем сливания частиц, а путем создания связей между отдельными твердыми частичками полимера под действием отвердителя. Свойства отвержденных покрытий могут гибко регулироваться за счет использования смешанных пленкообразователей.

В ходе работы установлено, что совмещением дисперсий акрилового и эпоксидного типов удастся достичь существенного повышения износостойкости композиций (практически в 2 раза) по сравнению с износостойкостью материалов на акриловой основе. В то же время при содержании эпоксидной дисперсии более 75% эластичность покрытий существенно ухудшается, что недопустимо при использовании на гибких поверхностях (пластиковых и др.). Адгезия покрытий к подложкам различной природы (кроме кирпичной) возрастает с увеличением содержания эпоксидиановой компоненты. Для смешанных систем значение этого показателя выше, чем для отдельно акриловой и эпоксидной эмульсий. Особого внимания заслуживает показатель адгезии к пластикам, что может быть мерой способности материала образовывать покрытие без необходимости полной зачистки уже окрашенной подложки, а также с целью ремонта старых покрытий на основе различных полимеров. Эта способность с увеличением содержания эпоксидной составляющей повышается [15–20].

С точки зрения эксплуатационных свойств, покрытие на основе эпоксидно-акрилового материала может быть более эффективнее,

чем акриловое, использоваться в условиях повышенной влажности, быть более стойкими к влажной уборке и т. п. При введении эпоксидной компоненты повышенная температура размягчения свидетельствует о снижении "липкости" покрытия в летних условиях, что обычно приводит к уменьшению пылеудержания и склонности к контактному деформациям.

С точки зрения эксплуатационных свойств, оптимальными являются: композиция № 3 – пригодна преимущественно для механических нагрузок динамического характера (покрытия полов и др.); № 4 – для статических нагрузок (покрытия подоконников, оконных рам и т. п.).

Заключение

В работе представлены результаты получения износостойких композиционных материалов, себестоимость которых, включая стоимость компонентов, значительно ниже приблизительно до 50% по сравнению с чисто акриловыми композициями. Полученные системы могут служить основой различных лакокрасочных покрытий, наноситься на поверхности различными способами (ручным, пневматическим и безвоздушным) и быть востребованными при покрытии любой подложки (металл, полимер, дерево).

Литература

- 1 Халецкий В. Водно-дисперсионные лакокрасочные материалы на основе акриловых полимеров для минеральных поверхностей. 2014.
- 2 Хорохордин А. М., Хорохордина Е. А., Рудаков О. Б. Эпоксидные композиции в строительстве (обзор) // Научный Вестник ВГАСУ. 2017. № 1. С. 14.
- 3 Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Химиздат, 2017. 446 с.
- 4 Jarray A., Gerbaud V., Hemati M. Polymer-plasticizer compatibility during coating formulation: A multi-scale investigation // *Progress in Organic Coatings*. 2016. V. 101. P. 195-206. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.08.008
- 5 Домниченко Р.Г., Вострикова Г.Ю., Никулин С.С. Получение эпоксидно-акриловых водно-дисперсионных покрытий // *Химия, физика и механика материалов*. 2019. № 3 (22). С. 14–22.
- 6 Ai D., Mo R., Wang H., Lai Y. et al. Preparation of waterborne epoxy dispersion and its application in 2K waterborne epoxy coatings // *Progress in Organic Coatings*. 2019. V. 136. P. 105258. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.105258
- 7 Xu S., Girouard N., Schueneman G., Shofner M.L. et al. Mechanical and thermal properties of waterborne epoxy composites containing cellulose nanocrystals // *Polymer*. 2013. V. 54. № 24. P. 6589-6598. doi: 10.1016/j.polymer.2013.10.011
- 8 ГОСТ 15140–78. Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии (с Изменениями № 1, 2, 3).
- 9 ГОСТ 6806–73 (СТ СЭВ 2546–80). Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе (с Изменениями № 1, 2).
- 10 ГОСТ 24621–2015 (ISO 868:2003). Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Shore).
- 11 ГОСТ 20811–75. Материалы лакокрасочные. Методы испытаний покрытий на истирание (с Изменениями № 1, 2, 3).
- 12 ГОСТ 15088–2014. Пластмассы. Метод определения температуры размягчения термопластов по Вика.
- 13 Wang Z., Han E., Liu F., Qian Z. et al. Waterborne epoxy nanocoatings modified by nanoemulsions and nanoparticles // *Journal of Materials Science & Technology*. 2014. V. 30. № 10. P. 1036-1042. doi: 10.1016/j.jmst.2014.01.004
- 14 Saldivar-Guerrera E. Handbook of Synthesis, Characterization and Processing of organic Composites. John Wiley and Sons, 2013. 644 p.
- 15 Вострикова Г.Ю., Никулина Н.С., Дмитренков А.И., Филимонова О.Н. и др. Перспектива применения модифицированной нефтеполимерной смолы для повышения показателей древесных материалов // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2016. № 4. С. 34–38.
- 16 Соколов Л.И. Переработка и использование нефтесодержащих отходов. М.: Инфра-Инженерия. 2017. 128 с.
- 17 Булатов М.А. Комплексная переработка многокомпонентных жидких систем. М.: Мир. 2012. 304 с.
- 18 Никулина Н.С., Вострикова Г.Ю., Дмитренков А.И., Никулин С.С. Модификация низкомолекулярного сополимера из побочных продуктов производства бутадиенового каучука // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2019. Т. 62. № 1. С. 114–119.
- 19 Girouard N., Schueneman G.T., Shofner M.L., Meredith J.C. Exploiting colloidal interfaces to increase dispersion, performance, and pot-life in cellulose nanocrystal/waterborne epoxy composites // *Polymer*. 2015. V. 68. P. 111-121. doi: 10.1016/j.polymer.2015.05.009
- 20 Никулина Н.С., Никулин С.С. Сополимеризация непредельных соединений, содержащихся в кубовом остатке очистки возвратного растворителя производства полибутадиена в присутствии хлорида алюминия // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2013. № 4. С. 41–43.

References

- 1 Khaletskiy V. Water-dispersive paints and varnishes based on acrylic polymers for mineral surfaces. 2014. (in Russian).
- 2 Horokhordin A.M., Horokhordin E.A., Rudakov O.B. Epoxy compositions in construction (review). Scientific Bulletin of VGASU. 2017. no. 1. pp. 14. (in Russian).
- 3 Yakovlev A.D. Chemistry and technology of paint and varnish coatings. Khimizdat, 2017. 446 p. (in Russian).
- 4 Jarray A., Gerbaud V., Hemati M. Polymer-plasticizer compatibility during coating formulation: A multi-scale investigation. *Progress in Organic Coatings*. 2016. vol. 101. pp. 195-206. doi: 10.1016/j.porgcoat.2016.08.008
- 5 Domnichenko R.G., Vostrikova G.Yu., Nikulin S.S. Obtaining epoxy-acrylic water-dispersion coatings. Chemistry, physics and mechanics of materials. 2019. no. 3 (22). pp. 14-22. (in Russian).

- 6 Ai D., Mo R., Wang H., Lai Y. et al. Preparation of waterborne epoxy dispersion and its application in 2K waterborne epoxy coatings. *Progress in Organic Coatings*. 2019. vol. 136. pp. 105258. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.105258
- 7 Xu S., Girouard N., Schueneman G., Shofner M.L. et al. Mechanical and thermal properties of waterborne epoxy composites containing cellulose nanocrystals. *Polymer*. 2013. vol. 54. no. 24. pp. 6589-6598. doi: 10.1016/j.polymer.2013.10.011
- 8 GOST 15140-78. Paints and varnishes. Methods for determining adhesion (with Amendments No. 1, 2, 3). (in Russian).
- 9 GOST 6806-73 (ST SEV 2546-80). Paints and varnishes. Method for determining the elasticity of the film in bending (with Amendments No. 1, 2). (in Russian).
- 10 GOST 24621-2015 (ISO 868: 2003). Plastics and ebonite. Determination of indentation hardness with a durometer (Shore hardness). (in Russian).
- 11 GOST 20811-75. Paints and varnishes. Abrasion test methods for coatings (with Amendments No. 1, 2, 3). (in Russian).
- 12 GOST 15088-2014. Plastics. Vicat method for determining the softening temperature of thermoplastics. (in Russian).
- 13 Wang Z., Han E., Liu F., Qian Z. et al. Waterborne epoxy nanocoatings modified by nanoemulsions and nanoparticles. *Journal of Materials Science & Technology*. 2014. vol. 30. no. 10. pp. 1036-1042. doi: 10.1016/j.jmst.2014.01.004
- 14 Saldivar-Guerrera E. *Handbook of Synthesis, Characterization and Processing of organic Composites*. John Wiley and Sons, 2013. 644 p.
- 15 Vostrikova G.Yu., Nikulina N.S., Dmitrenkov A.I., Filimonova O.N. et al. Prospects for the use of modified petroleum resin to improve the performance of wood materials. *Industrial production and use of elastomers*. 2016. no. 4. pp. 34-38. (in Russian).
- 16 Sokolov L.I. *Processing and use of oily waste*. Moscow, Infra-Engineering. 2017. 128 p. (in Russian).
- 17 Bulatov M.A. *Complex processing of multicomponent liquid systems*. Moscow, Mir. 2012. 304 p. (in Russian).
- 18 Nikulina N.S., Vostrikova G.Yu., Dmitrenkov A.I., Nikulin S.S. Modification of a low molecular weight copolymer from by-products of butadiene rubber production. *Izvestia of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2019. vol. 62. no. 1. pp. 114-119. (in Russian).
- 19 Girouard N., Schueneman G.T., Shofner M.L., Meredith J.C. Exploiting colloidal interfaces to increase dispersion, performance, and pot-life in cellulose nanocrystal/waterborne epoxy composites. *Polymer*. 2015. vol. 68. pp. 111-121. doi: 10.1016/j.polymer.2015.05.009
- 20 Nikulina N.S., Nikulin S.S. Copolymerization of unsaturated compounds contained in the distillation residue of the purification of the return solvent of polybutadiene production in the presence of aluminum chloride. *Industrial production and the use of elastomers*. 2013. no. 4. pp. 41-43. (in Russian).

Сведения об авторах

Раиса Г. Домниченко ст. преподаватель, кафедра товаро-ведения и экспертизы товаров, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20 А, г. Луганск, 91011, Луганская Народная Республика, raisa-domnichenko@ya.ua

Галина Ю. Вострикова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, vostr76-08@live.ru

Сергей С. Никулин д.т.н., профессор, кафедра технологии органических соединений и переработки полимеров и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nikulin_sergey48@mail.ru

Вклад авторов

Раиса Г. Домниченко написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Галина Ю. Вострикова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Сергей С. Никулин консультация в ходе исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Raisa G. Domnichenko senior lecturer, commodity science and examination of goods department, Luhansk State University named after Vladimir Dal, 20A Molodezhny sq., Luhansk, 91011, Luhansk People's Republic, raisa-domnichenko@ya.ua

Galina Yu. Vostrikova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State Technical University, 84, 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh, 394006, Russia, vostr76-08@live.ru

Sergey S. Nikulin Dr. Sci. (Engin.), chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nikulin_sergey48@mail.ru

Contribution

Raisa G. Domnichenko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Galina Yu. Vostrikova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Sergey S. Nikulin consultation during the study

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/01/2021	После редакции 09/02/2021	Принята в печать 02/03/2021
Received 01/06/2019	Accepted in revised 10/07/2019	Accepted 10/08/2019