

---

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ**

---

## **BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS**

Известия вузов. Строительство. 2022. № 7. С. 39–48.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (7): 39–48.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 691.327:666.973

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-7-39-48

### **ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ К МЕТАЛЛИЧЕСКИМ КОНСТРУКЦИЯМ МЕТОДАМИ ФОТОЭЛЕКТРОКОЛОРИМЕТРИИ**

**Анатолий Петрович Пичугин<sup>1</sup>, Александр Владимирович Пчельников<sup>1</sup>,  
Владимир Федорович Хританков<sup>2</sup>, Ольга Евгеньевна Смирнова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,  
Новосибирск, Россия

**Аннотация.** Методами фотоэлектроколориметрии исследованы адгезионные характеристики полимерных лакокрасочных материалов с наноразмерными добавками, что является важным параметром функционирования защитных покрытий. Установлено различное влияние наноразмерных добавок на адгезию к металлическим поверхностям конструкций и оборудования, что, в конечном счете, оказывается на эффективности эксплуатационных свойств. При исследовании процесса взаимодействия лакокрасочной композиции в присутствии бинарных составов наноразмерных добавок с металлическими поверхностями установлено влияние на коррозионную стойкость композиций, что коррелирует с адгезионной прочностью покрытий. Введение углеродных нанодобавок в сочетании с другими компонентами позволяет получить эффективный состав лакокрасочной композиции, обладающей высокими показателями адгезии, подтверждаемыми другими физико-химическими методами исследований.

**Ключевые слова:** фотоэлектроколориметрия, пропускание света окрашенными растворами, акриловые лакокрасочные материалы, металлическая поверхность, адгезионные свойства ЛКМ, наноразмерные добавки, углеродные нанотрубки, кремнезоль, оксид висмута

**Для цитирования:** Пичугин А.П., Пчельников А.В., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. Изучение адгезионных свойств полимерсодержащих композиций к металлическим конструкциям методами фотоэлектроколориметрии // Известия вузов. Строительство. 2022. № 7. С. 39–48. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-7-39-48.

Original article

## STUDY OF ADHESIVE PROPERTIES OF POLYMER-CONTAINING COMPOSITIONS TO METAL STRUCTURES BY PHOTOLELECTROCOLORIMETRY METHODS

**Anatoly Petrovich Pichugin<sup>1</sup>, Alexander Vladimirovich Pchelnikov<sup>1</sup>,**  
**Vladimir Fedorovich Khritankov<sup>2</sup>, Olga Evgenievna Smirnova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia

**Abstract.** The adhesion characteristics of polymer paint and varnish materials with nanoscale additives, which is an important parameter of the functioning of protective coatings, have been studied by photoelectrocolorimetry methods. Various effects of nanoscale additives on adhesion to metal surfaces of structures and equipment have been established, which ultimately affects the efficiency of operational properties. When studying the process of interaction of the paint composition in the presence of binary compositions of nanoscale additives with metal surfaces, the effect on the corrosion resistance of the compositions was established, which correlates with the adhesive strength of the coatings. The introduction of carbon nanoadditives in combination with other components makes it possible to obtain an effective composition of the paint composition with high adhesion rates, confirmed by other physico-chemical research methods.

**Keywords:** photoelectrocolorimetry, light transmission by colored solutions, acrylic paints, metal surface, adhesive properties of coatings, nanoscale additives, carbon nanotubes, silica, bismuth oxide

**For citation:** Pichugin A.P., Pchelnikov A.V., Khritankov V.F., Smirnova O.E. Study of adhesive properties of polymer-containing compositions to metal structures by photoelectrocolorimetry methods. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (7): 39–48. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-7-39-48.

**Введение.** Один из самых эффективных способов повышения эксплуатационных качеств защитных покрытий – наномодификация. Использование наноразмерных добавок, введенных в небольших количествах в материал (до 1 %), позволяет улучшить технологические и эксплуатационные свойства изделий на их основе и является перспективным направлением в области создания новой конкурентоспособной продукции. При создании защитных покрытий с повышенными эксплуатационными свойствами необходимо уделять особое внимание образующимся в результате межмолекулярным реакциям [1–3].

**Цель работы** заключается в определении методами фотоэлектроколориметрии влияния наноразмерных добавок на адгезионные свойства акриловой защитной композиции.

**Теоретический анализ.** Методы фотоэлектроколориметрии достаточно широко используются для измерения поглощения света или пропускания окрашенных растворов. Фотоэлектрические методы измерения интенсивности окраски связаны с использованием фотоэлементов, в которых световая энергия преобразуется в электрическую, что обеспечивает высокую точность измерений.

Теоретической основой фотоэлектроколориметрических исследований является закон Бугера – Ламберта – Бера, определяющий ослабление парал-

лельного монохроматического пучка света при проходе его в поглощающей среде и выражающийся следующей формулой [4–8]:

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon cl,$$

где  $D$  – оптическая плотность раствора;

$I_0$  – интенсивность входящего пучка света;

$I$  – интенсивность света, прошедшего через раствор;

$\varepsilon$  – молярный коэффициент поглощения;

$c$  – концентрация окрашенного вещества, моль/л;

$l$  – толщина светопоглощающего раствора, см.

Использование метода фотоэлектроколориметрии для изучения адгезии полимерных композиций к неорганическим материалам объясняется тем, что данный способ, отличающийся достаточной точностью, является вполне доступным и простым при проведения исследований [9–11].

**Методика испытаний и определение адгезии акрилового полимера с нанодобавками к металлической поверхности.** На первом этапе испытаний предварительно было определено влияние различных красителей на адсорбцию полимерных акриловых композиций и выбран нейтральный по отношению к этому материалу краситель. Главным критерием для выбора красителя являлась его инертность к акриловой композиции и адсорбционная способность к металлической поверхности. В табл. 1 приводятся основные характеристики этих красителей.

Для выявления отвечающего требованиям инертного красителя необходимо было провести предварительные исследования, которые показали, что наиболее приемлемым видом красителя для акриловых композиций являются водные растворы метиленового синего и Трилона Б (динатриевой соли

Таблица 1. Основные свойства органических красителей

Table 1. Basic properties of organic dyes

Название красителя	Молекулярная формула	Молекулярная масса	Класс, группа	Изменение окраски
Конго красный	C <sub>32</sub> H <sub>24</sub> O <sub>6</sub> N <sub>2</sub> S <sub>2</sub> Na <sub>2</sub>	642,7	Полиазокрасители	3,0–5,2
Родамин 6Ж	C <sub>26</sub> H <sub>27</sub> O <sub>3</sub> N <sub>2</sub> Cl	450,5	Родамина	Адсорбцион. индикатор
Родамин С	C <sub>28</sub> H <sub>31</sub> O <sub>3</sub> N <sub>2</sub> Cl	478,5	Родамина	-/-
Метиловый фиолетовый	C <sub>24</sub> H <sub>28</sub> NCl	393,9	Триарилметановый	0,13–0,5; 1,0–1,5; 2,0–3,0
Метиленовый синий (метиленовый голубой)	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> N <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O	373,9	Тиазиновый	Ок. восст. индикатор
Трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетракускусной кислоты)	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	372,24	Комплексон III	Красно-фиолетовая

Таблица 2. Адсорбция акрилового полимера разными красителями

Table 2. Adsorption of acrylic polymer by different dyes

Наименование красителя	Концентрация раствора красителя, мг/мл	Оптическая плотность		Разность оптических плотностей $\Delta D = D_0 - D_1$	Адсорбция красителя $A, \%$
		исходная $D_0$	равновесная $D_1$		
Конго красный	0,05	0,800	0,615	0,185	23,1
Родамин 6Ж	0,05	0,318	0,272	0,046	14,5
Родамин С	0,20	2,880	2,820	0,060	2,1
Метиловый фиолетовый	0,10	0,421	0,268	0,153	36,3
Метиленовый синий	0,05	0,284	0,284	0,000	0,0
Метиленовый синий	0,20	1,324	1,324	0,000	0,0
Трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты)	0,10	1,000	1,000	0,000	0,0
Трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты)	0,20	1,340	1,340	0,000	0,0

этилендиаминтетрауксусной кислоты). Однако метиленовый синий не адсорбировался на стальных образцах, поэтому все дальнейшие исследования осуществлялись на красителе Трилон Б 10 % концентрации. В табл. 2 приведены результаты адсорбции отверженной акриловой композиции с наноразмерными добавками при различных красителях.

Изучение адсорбционной активности металлических поверхностей осуществлялось параллельно. Такой подход позволил определить относительные величины адгезии, создающие возможность установить взаимодействие металлической подложки с полимером при введении различных нанодобавок.

Методика проведения испытаний принята аналогичной в работе с некоторыми изменениями, вызванными постановкой решаемых задач [5, 6]. Последовательность операций следующая: отверженный акриловый полимер с наноразмерными добавками измельчался до фракций 2,5–5,0 мм; навеска материала 1 г (в трех параллелях) встряхивалась в течение 15 мин в 20 мл раствора красителя. После выдерживания в течение суток определялась концентрация раствора, для чего отбиралась проба в 10 мл раствора и помещалась в кювету фотоэлектроколориметра.

Параллельно из приготовленных лакокрасочных композиций с нанодобавками готовились составы, которыми окрашивались со всех сторон стальные пластины размером 20×20×2 мм и после высыхания до образования твердой глянцевой пленки на поверхности образцов подвергались испытаниям в различных коррозионных средах.

Все измерения выполнялись на фотоэлектроколориметре КФК-3-«ЗОМЗ».

Для выяснения величины и характера изменений адгезионной связи между полимером и металлической подложкой образцы подвергались воз-

действиям агрессивных сред по ускоренному режиму с часовым кипячением. В качестве разрушающих сред принятые:

каустическая сода 20 % раствор (PH 3)	выдержка 1 ч;
лимонная кислота 20 % раствор (PH 12)	выдержка 1 ч;
тормозная жидкость DOT4	выдержка 1 ч;
растворитель № 646	выдержка 10 мин.

Такая обработка давала возможность нарушать сцепление полимерного защитного покрытия с металлической поверхностью и получать открытые участки образцов, что способствовало интенсивной адсорбции красителя из раствора. В табл. 3 приведены результаты адсорбции водным раствором Трилона Б после обработки кипячением в некоторых химических реагентах.

Таблица 3. Результаты испытаний наномодифицированных покрытий  
Table 3. Test results of nanomodified coatings

Расшифровка	Разрушающая среда	Оптическая плотность ( $D$ ), Б	Изменение оптической плотности ( $\Delta D$ )	Коэффициент светопропускания $\tau$ , %	Приращение открытой поверхности, % $\Delta S_0 = S'_0 - S_0$	Адгезия, % $A = 100 - \Delta S_0$
Эталонный раствор Трилон Б	–	0	1,0	100		
1	2	3	4	5	6	7
Без добавок	Кауст. сода	0,141	0,859	65,5	25,18	74,92
	Лим. кислота	0,180	0,82	65,3	32,7	67,3
	Торм. жидкость	0,234	0,766	57,9	43,08	56,92
	Растворитель	0,190	0,81	63,5	34,62	65,38
УНТ 0,1 %	Кауст. сода	0,063	0,937	83	10,2	89,8
	Лим. кислота	0,125	0,875	74,5	22,08	77,92
	Торм. жидкость	0,076	0,924	83,4	12,7	87,3
	Растворитель	0,100	0,9	79	17,31	82,69
УНТ 0,5 %	Кауст. сода	0,112	0,888	76,8	19,62	80,38
	Лим. кислота	0,141	0,859	72,4	25,19	74,81
	Торм. жидкость	0,075	0,925	83,7	12,5	87,5
	Растворитель	0,044	0,956	89	6,54	93,46
Оксид висмута 0,5 %	Кауст. сода	0,115	0,885	76,4	20,2	79,8
	Лим. кислота	0,119	0,881	71,8	20,96	79,04
	Торм. жидкость	0,136	0,864	72,1	24,23	75,76
	Растворитель	0,121	0,879	75,9	21,35	78,65
Оксид висмута 1 %	Кауст. сода	0,086	0,914	81,7	14,62	85,38
	Лим. кислота	0,076	0,924	83,2	12,7	87,3
	Торм. жидкость	0,140	0,86	71,2	25	75
	Растворитель	0,085	0,915	82	14,42	85,58

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
УНТ 0,1 % + оксид висмута 1 %	Кауст. сода	0,075	0,925	87	12,5	87,5
	Лим. кислота	0,120	0,88	73,2	21,15	78,85
	Торм. жидкость	0,078	0,922	83,4	13,08	86,92
	Растворитель	0,091	0,909	81,4	15,58	84,42

Время выдержки определено по результатам предварительных исследований. После предварительной выдержки в разрушающих средах определено изменение оптической плотности ( $D$ , Б) и коэффициента светопропускания ( $\tau$ , %) раствора Трилона Б, после выдержки в нем образцов с наномодифицированными лакокрасочными покрытиями, подвергнутыми воздействию разрушающих сред. Время выдержки в растворе Трилон Б (1 ч) принято по результатам предварительных исследований.

Для определения адгезии вначале вычислялась адсорбция раствора Трилона Б на образцах. Адсорбция определялась по измерению оптических плотностей водного раствора Трилона Б до и после выдержки в нем образца, измерение которых производилось на фотоэлектроколориметре КФК-3-«ЗОМЗ»:

$$a = \frac{\Delta D_0 - \Delta D_1}{\Delta D_0} \cdot 100 \%,$$

где  $\Delta D_0$  – исходная плотность раствора Трилона Б;

$\Delta D_1$  – равновесная плотность раствора Трилона Б после контактирования с образцом.

Раствор Трилона Б не поглощается испытываемыми лакокрасочными покрытиями, т.е. его адсорбция связана в основном только со свойствами и активностью покрытия, его способностью создавать прочный контакт.

Тогда отношение адсорбции раствора Трилона Б до выдержки образцов в разрушающей среде ( $a_n$ ) и после выдержки в разрушающей ( $a'_n$ ) к начальной адсорбции Трилона Б к металлической подложке образца без покрытия ( $a_0$ ) будет являться открытой поверхностью металлической подложки с нанесенным на нее лакокрасочным покрытием (табл. 3):

$$S_0 = \frac{a_n}{a_0} \cdot 100 \%; \quad S'_0 = \frac{a'_n}{a_0} \cdot 100 \%,$$

где  $S_0$ ,  $S'_0$  – открытая поверхность металлической подложки до выдержки образца в разрушающей среде и после.

Находим относительную величину показателя адгезии  $A$ :

$$A = 100 - (S'_0 - S_0) \text{ или } A = 100 - \Delta S (\%),$$

где  $\Delta S = S'_0 - S_0$  – приращение открытой поверхности металла после выдержки в разрушающей среде.

По результатам предварительных исследований, в нашем случае начальная адсорбция Трилона Б к металлической подложке  $a_0 = 52\% = \text{const}$ . Адсорбция раствора Трилона Б до выдержки образцов в разрушающей среде  $a_n \approx 1\% = \text{const}$ . В связи с этим  $S_0 = \text{const} = 1,92\%$ .

Полученные результаты свидетельствуют о различной адгезионной способности акриловой защитной композиции с наноразмерными добавками к поверхности стальных образцов и, следовательно, различной активности их по отношению к данному полимеру. Так, наибольшей адгезией обладают составы с добавкой углеродных нанотрубок и оксида висмута. Наименьшей адгезией к полимерному связующему характеризуются композиции без нанодобавок. Данные предположения подтверждаются результатами физико-механических исследований [12–14].

По результатам экспериментальных исследований в лабораторных и производственных условиях, составлена табл. 4, учитывающая долговечность наномодифицированных покрытий в различных эксплуатационных условиях АПК. Доказано, что лучшие результаты по изучению адгезии методами фотоэлектролориметрии хорошо коррелируют с оптимальными сочетаниями наномодifikаторов в составе эмали АК-1301 и степенью улучшения эксплуатационных показателей.

Таблица 4. Эксплуатационная стойкость наномодифицированных покрытий в различных условиях

Table 4. Operational resistance of nanomodified coatings in various conditions

Эксплуатационная характеристика	Параметр оценки	Эксплуатационные показатели		Степень улучшения, %
		Эмаль АК-1301	Эмаль АК-1301 с нанодобавками	
Адгезия	Адгезионная прочность, МПа	2,2	>4,5 (УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 %)	>104
Огнестойкость	Время до воспламенения, с	12	41 (УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 %)	242
	Температура воспламенения, °C	110	185 (УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 %)	168
Антистатичность	Тангенс угла диэлектрических потерь	0,017	0,007 (УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 %)	119
	Электрическая проводимость, Ом	$10^{-12}$	<10 <sup>-5</sup> (УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 %)	>760
Тепловая защита	Теплоизолирующая способность, °C	31	66 1.УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 % 2.УНТ 0,1 % $\text{SiO}_2$ 1 %	1) 208 2) 213
Радиационная защита	Радиационная загрязненность поверхности, Альфа част./см <sup>2</sup> · мин	0,72	0,26 ( $\text{SiO}_2$ 0,5 % Цеолит 1 %)	277
Химическая стойкость	Набухание покрытия, %	0,27	0,21 (УНТ 0,1 % $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 1 %)	30

Сравнение результатов фотоэлектроколориметрических исследований с физико-механическими, реологическими, термомеханическими исследованиями дает полное право считать введение наноразмерных частиц рациональным рецептурно-технологическим приемом для обеспечения повышенной стойкости защитных покрытий. Отмеченные при этом повышенные показатели прочности и других свойств в сочетании с высокой адгезией свидетельствуют об усиливающем влиянии бинарных нанодобавок на акриловую композицию и, следовательно, о взаимодействии их с модифицированным полимерным покрытием (табл. 4).

При совместном введении нанодобавок оксида висмута и УНТ происходит положительное влияние на свойства лакокрасочных покрытий и усиление их адгезионной прочности к металлическому покрытию. Это связано с изменением структуры и степени кристаллизации акрилового полимера и свидетельствует об усиливающем влиянии нанодобавок за счет перекристаллизации линейной и глобулярной надмолекулярных структур в сетчатые и фибриллярные, что способствует увеличению адгезионной прочности до 4,5–5,2 МПа.

#### **Список источников**

1. Липатов Ю.С. Межфазные явления в полимерах: Моногр. Киев: Наук. думка, 1980. 260 с.
2. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел: Моногр. М.: Наука, 1973. 280 с.
3. Пичугин А.П., Банул В.В., Пчельников А.В. Эффективная полимерная защита металлических объектов агропромышленного комплекса: Моногр. Новосибирск: НГАУ-РАЕН, 2022. 125 с.
4. Гагарин А.П. Бугера–Ламберта–Бера закон // Физическая энциклопедия: [в 5 т.] / гл. ред. А.М. Прохоров. М.: Сов. энциклопедия, 1988. 707 с.
5. Булатов М.И., Калинкин И.П. Практическое руководство по фотометрическим и спектрофотометрическим методам анализа. Л.: Химия, 1976. 375 с.
6. Краснов Е.А., Дудко В.В., Андреева Т.И. и др. Физико-химические методы исследования. Томск, 1989. 111 с.
7. Чакчир Б.А., Алексеева Г.М. Фотометрические методы анализа: Метод. указания. СПб.: Изд-во СПХФА, 2002. 44 с.
8. Основы аналитической химии. В 2-х кн. / под ред. акад. Ю.А. Золотова. Кн. 2. Методы химического анализа. М.: Вышш. шк., 1999. 496 с.
9. Книгина Г.И. и др. Об использовании метода фотоэлектроколориметрии для изучения адгезии полимера к минеральному наполнителю // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1968. № 3. С. 54–56.
10. Пичугин А.П., Князева В.П. Фотоэлектроколориметрическое изучение взаимодействия наполнителей с полимером // Вопросы гидромелиорации сельскохозяйственных земель в условиях Дальнего Востока: сб. науч. тр. Благовещенск: БСХИ-ПСХИ, 1973. С. 75–82.
11. Пименов Е.Г., Пичугин А.П. и др. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного заполнителя бетонов // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 10-11. С. 22–31.
12. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров: Моногр. М.: Изд-во «Химия», 1978. 330 с.

13. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Банул В.В., Кудряшов А.Ю. Влияние наноразмерных добавок на адгезионную прочность защитных полимерных покрытий // Строит. материалы. 2018. № 1-2. С. 39–44.
14. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е. Роль нанодобавок в формировании прочного контактного слоя защитных покрытий // Строит. материалы. 2022. № 7. С. 24–30.

### References

1. Lipatov Yu.S. Interphase phenomena in polymers: Monograph. Kiev: Naukova dumka, 1980. 260 p. (In Russ.).
2. Deryagin B.V., Krotova N.A., Smilga V.P. Adhesion of solids: Monograph. Moscow: Nauka, 1973. 280 p. (In Russ.).
3. Pichugin A.P., Banul V.V., Pchelnikov A.V. Effective polymer protection of metal objects of the agro-industrial complex: Monograph. Novosibirsk, NGAU-RAEN, 2022. 125 p. (In Russ.).
4. Gagarin A. P. Booger – Lambert – Bera law. Physical Encyclopedia: [in 5 vol.]. Chief editor A.M. Prokhorov. Moscow: Soviet Encyclopedia, 1988. 707 p.
5. Bulatov M.I., Kalinkin I.P. Practical guide to photometric and spectrophotometric methods of analysis. Leningrad: Chemistry, 1976. 375 p. (In Russ.).
6. Krasnov E.A., Dudko V.V., Andreeva T.I. et al. Physico-chemical methods of research. Tomsk, 1989. 111 p. (In Russ.).
7. Chakchir B.A., Alekseeva G.M. Photometric methods of analysis: Methodological guidelines. St. Petersburg: Publishing house of SPHFA, 2002. 44 p. (In Russ.).
8. Fundamentals of analytical chemistry. In 2 books. Ed. Academician Yu.A. Zolotov. Book 2. Methods of chemical analysis. Moscow: Higher School, 1999. 496 p. (In Russ.).
9. Knigina G.I. et al. On the use of the photoelectrocolorimetry method to study the adhesion of polymer to mineral filler. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura = News of Universities. Construction and Architecture.* 1968; (3): 54–56. (In Russ.).
10. Pichugin A.P., Knyazeva V.P. Photoelectrocolorimetric study of the interaction of fillers with polymer. Issues of hydro-reclamation of agricultural lands in the conditions of the Far East: Collection of scientific papers. Blagoveshchensk: BSHI-PSHI, 1973. P. 75–82. (In Russ.).
11. Pimenov E.G., Pichugin A.P. et al. Physico-chemical studies of the processes of reducing the open porosity of a large aggregate of concrete. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo = News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2016; (10-11): 22–31. (In Russ.).
12. Malkin A.Ya., Askadskiy A.A., Kovriga V.V. Methods of measuring mechanical properties of polymers: Monograph. Moscow: Publishing house “Chemistry”, 1978. 330 p. (In Russ.).
13. Pichugin A.P., Khritankov V.F., Banul V.V., Kudryashov A.Yu. The influence of nanoscale additives on the adhesive strength of protective polymer coatings. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials.* 2018; (1-2): 39–44. (In Russ.).
14. Pchelnikov A.V., Pichugin A.P., Khritankov V.F., Smirnova O.E. The role of nano-additives in the formation of a strong contact layer of protective coatings. *Stroitel'nyye materialy = Building Materials.* 2022; (7): 24–30. (In Russ.).

### Информация об авторах

**А.П. Пичугин** – доктор технических наук, профессор, gmunsa@mail.ru

**А.В. Пчельников** – кандидат технических наук, доцент

**В.Ф. Хританков** – доктор технических наук, профессор

**О.Е. Смирнова** – кандидат технических наук, доцент

**Information about the authors**

**A.P. Pichugin** – DSc, Professor, gmunsa@mail.ru

**A.V. Pchelnikov** – PhD, Ass. Professor

**V.F. Khritankov** – DSc, Professor

**O.E. Smirnova** – PhD, Ass. Professor

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.05.2022

The article was submitted 23.05.2022

Одобрена после рецензирования 23.06.2022

Approved after reviewing 23.06.2022

Принята к публикации 30.06.2022

Accepted for publication 30.06.2022