

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-27-33

Бондаренко Д.О.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

E-mail: di_bondarenko@mail.ru

ПОДБОР И АНАЛИЗ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ЗАЩИТНОГО И ДЕКОРАТИВНОГО СЛОЯ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Аннотация. В связи с тем, что при современном жилищном строительстве значительно выросли расходы на отделочные работы, необходима разработка защитно-декоративных покрытий, обладающих архитектурно-художественными достоинствами и высокими эксплуатационными свойствами при незначительном удорожании. Необходима разработка качественного многослойного монолитизированного композита с высокой степенью адгезии функциональных слоев друг к другу. Отходы стекольной промышленности различных фракций и красящие соли металлов предложено использовать для декоративного слоя, что позволяет получать практически неограниченную цветовую гамму покрытия при плазмохимическом модифицировании. Обоснован выбор применения боя высокоглинозёмистого огнеупора и глинозёмистого цемента в защитном слое ввиду их высокой термической устойчивости к резким перепадам температур. Предложены составы защитного слоя на основе вяжущих компонентов и декоративного слоя с использованием измельченного цветного тарного стекла и красящих солей металлов, увлажненных 5-% водным раствором жидкого стекла, что даёт возможность значительно расширить сырьевую базу для получения функциональных покрытий на бетоне. Определена температура разогрева расплава и кинетика его остывания с целью выявления рациональных скоростей и длительности высокотемпературной обработки для дальнейшего создания покрытий. Выявлены рациональные скорости плазменной обработки композиционного материала для формирования покрытий различной фактуры.

Ключевые слова: цементный композит, защитно-декоративные покрытия, цветные стеклянные бытовые отходы, цветные соли металлов, глинозёмистый цемент, бой высокоглинозёмистого огнеупора.

Введение. При всем многообразии выпускаемых строительных материалов и изделий спектр применяемых сырьевых компонентов остается весьма ограниченным, а повышение качества продукции и придание им эмерджентных (несвойственных) свойств, происходит в основном за счет применения различных видов модифицирования. Анализ современных научных исследований позволяет предположить, что оптимизировать структуру и улучшить эксплуатационные характеристики композитов возможно путем применения эпигенетической модификации поверхности материалов [1–6]. Наиболее распространенным способом данной модификации является пропитка готовых изделий различными функциональными растворами, обеспечивающими гидрофобные, биозащитные и другие свойства, однако при этом происходит удорожание конечного продукта.

Недостаточно распространенными являются методы химической и термической обработки поверхности, которые позволяют достичь уникальных характеристик материалов, но обладающих рядом недостатков [7–14]. Плазмохимическое модифицирование приводит к значительному термоудару, дегидратации гидросиликатов в цементном камне и его разупрочнению, что снижает эксплуатационные показатели защитно-декоративного покрытия на изделиях из бетона и

силикатных материалах, в частности прочность сцепления и морозостойкость, а использование специально подобранных глазурей и пигментов могут существенно повысить себестоимость готового изделия [15–17].

Совокупность данных проблем, а также различные фазово-структурные трансформации при эпигенетической плазмохимической модификации требуют тщательного подбора состава (наполнителей и агентов) как матрицы композита, так и покрытия. Решение данной проблемы возможно за счёт рационального выбора сырьевых компонентов и варьирования рецептурно-технологических факторов.

Использование плазменной струи позволит существенно интенсифицировать процессы образования стекловидного защитно-декоративного покрытия с повышенными техническими и эксплуатационными показателями, а применение различных отходов стекольной промышленности и красящих солей металлов предоставит возможность значительно расширить базу получения разнообразных видов декора на лицевой поверхности материалов.

Материалы и методы. Для получения различных составов защитного покрытия были использованы цемент ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» и глинозёмистый

цемент ВГЦ-1-35 производства ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод» (табл. 1), а также бой высокоглинозёмистого огнеупора

КЛ-1,1 производства АО «Теплохиммонтаж» (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав цементного клинкера

Цемент	Содержание оксидов, масс. %					
	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Прочее
ЦЕМ I 42,5Н	5,16	66,34	22,33	0,51	4,42	1,24
ВГЦ-1-35	63,57	17,91	2,43	15,27	0,15	0,67

Таблица 2

Химический состав огнеупора

Содержание оксидов, масс. %		
Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Прочее
90	1	9

Для получения различных составов декоративного покрытия были использованы тарные стёкла различной цветовой гаммы, выпускаемые отечественной промышленностью, химический

состав которых исследован рентгенофлуоресцентным методом на спектрометре APL 9900 «Thermo scientific» (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав цветных тарных стёкол

Цвет тарного стекла	Массовое содержание, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	Co ₃ O ₄
Зелёное	70,5	3,3	10,0	2,0	13,2	0,2	0,3	0,3	0,4	–
Коричневое	71,7	1,9	8,0	4,0	13,0	0,3	0,7	0,2	–	–
Синее	67,5	5,2	4,7	2,2	17,2	0,9	2,0	0,12	0,03	0,062
Оливковое	72,0	2,3	5,8	4,0	15,5	0,2	–	0,5	–	–

Также для расширения цветовых характеристик покрытий использовали красящие соли металлов – кобальта, никеля, меди и хрома согласно нормативным документам и жидкое натриевое стекло с силикатным модулем 2,8 по ГОСТ 13078–81.

В качестве высокотемпературного источника в работе использован многофункциональный плазменный комплекс с температурой плазменной струи 6000 °С.

Кинетику остывания расплава определяли с помощью платино-платинородиевых термопар, которые заформовывали на глубину 2000 и 4000 мкм от поверхности композита. Температуру разогрева расплава на поверхности композита определяли оптическим пирометром «Проминь».

Основная часть. Формирование качественного многослойного монолитизированного композита с высокой степенью адгезии функциональных слоев друг к другу, в первую очередь, зависит от характеристик базовой матрицы композита. Основой композиционного отделочного материала является стеклобетон, на который один за другим будут наноситься защитный и декоративный слои. Ранее были подобраны эффективные составы цементных композитов с использованием отходов стекольной промышленности.

Рассмотрен состав стеклобетона с соотношением «цемент : наполнитель» 1:3, наполнитель (бой стекла) брали разного фракционного состава. Наилучшие результаты на прочность получены для составов с фракцией стекла 0,63–0,8 и 0,8–1,25, которые взяты в качестве матрицы композита для получения защитно-декоративных покрытий путем плазмохимического модифицирования (табл. 4). Кроме того, теплопроводность стеклобетона ниже, чем у мелкозернистого бетона, а прочностные характеристики являются достаточными для отделочного материала. Таким образом, использование боя цветных тарных стёкол в композиционных материалах, подвергаемых высокотемпературной обработке, будет способствовать уменьшению отвода тепла в бетонную матрицу и, как следствие, позволит увеличить термостойкость и прочность готовых изделий.

С целью минимизации последствий термического удара разработаны составы защитного покрытия на основе глинозёмистого цемента и портландцемента с боем высокоглинозёмистого огнеупора разного фракционного состава. Также подобраны составы декоративного покрытия с использованием измельченного цветного тар-

ного стекла и красящих солей металлов, увлажненных 5-% водным раствором жидкого стекла

(табл. 5). Это даёт возможность значительно расширить сырьевую базу для получения функциональных покрытий на бетоне.

Таблица 4

Составы и характеристики стеклобетона

№ состава	Состав стеклобетона, %		В/Ц	Характеристики стеклобетона			
	Портландцемент (ЦЕМ I 42,5Н)	Бой стекла (фр. стекла)		Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)
1	25	75 (0,63–0,8)	0,4	20,6	1,75	1676	0,226
2	25	75 (0,8–1,25)	0,4	19,8	1,72	1643	0,276

Таблица 5

Составы защитного и декоративного покрытий

№ состава	Защитное покрытие, %			Декоративное покрытие, увлажненное 5-% водным раствором жидкого стекла		
	Портландцемент	Бой высокоглинозёмистого огнеупора (фракционный состав, мм)	Глинозёмистый цемент	Присыпка боем высокоглинозёмистого огнеупора (фракционный состав, мм)	Присыпка смесью цветных тарных стёкол (фракционный состав, мм)	Красящие соли металлов, мас. %
1	25	75 (0,25–0,63)	–	0,25–0,63	–	0,5–3,0
2	25	75 (0,25–0,63)	–	0,63–0,8	–	0,5–3,0
3	25	75 (0,63–0,8)	–	0,63–0,8	–	0,5–3,0
4	25	75 (0,63–0,8)	–	0,8–1,25	–	0,5–3,0
5	–	–	100	–	0,25–0,63	–
6	–	–	100	–	0,63–0,8	–
7	–	–	100	–	0,8–1,25	–

Перед оплавлением на стеклобетон наносили защитный и декоративный слои, затем оплавливали со скоростью 1 мм/с и определяли температуру расплава по толщине покрытия

(табл. 6) и кинетику его остывания (рис. 1). Для изучения данных характеристик были выбраны составы № 3 и № 6 (табл. 5).

Таблица 6

Распределение температур по толщине покрытия

№ состава	Температура расплава на поверхности, °С	Температура на глубине 2000 мкм, °С	Температура на глубине 4000 мкм, °С
3	2075	1543	471
6	2010	1498	386

Анализ измерения температуры (рис. 1) показал, что поверхность композита разогревается до 2000 °С с образованием расплава за считанные секунды, остывание лицевой поверхности до 200 °С осуществляется в течение 6–7 минут. Образование расплава и формирование покрытия происходит как на поверхности композита, так и

на глубине 2000 мкм. Поверхностный слой стеклобетона (4000 мкм) при минимальной скорости плазменной обработки не прогревается выше 500 °С, что является безопасным и прочностные характеристики композиционного материала не ухудшаются.

Анализ влияния скорости оплавления показал, что для формирования сплошного покрытия

с ровным разливом рациональными скоростями являются 5 и 10 мм/с, при этом композит прогревается на 3000–4000 мкм, а для формирования

волнистого или бугристого покрытия – 20 и 25 мм/с, композит прогревается на 2000–2500 мкм.

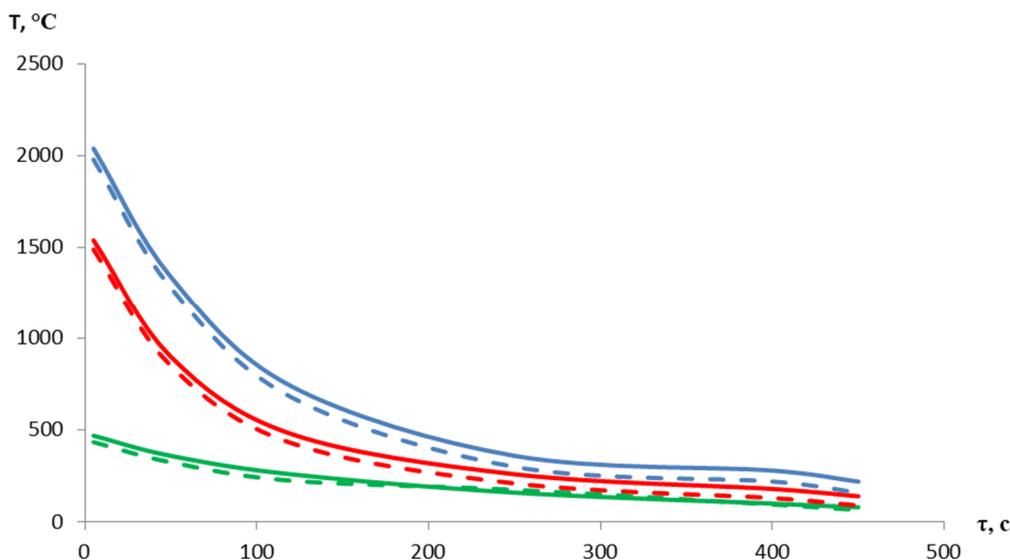


Рис. 1. Кинетика остывания расплава по толщине:

— состав № 3; --- состав № 6;
— (---) на поверхности; — (---) на глубине 2000 мкм; — (---) на глубине 4000 мкм

Выводы. В ходе работы предложены составы защитного и декоративного покрытий на основе различных сырьевых компонентов. Определена температура разогрева расплава и кинетика его остывания с целью выявления рациональных скоростей и длительности высокотемпературной обработки для дальнейшего создания защитно-декоративных покрытий.

Выявлены рациональные скорости плазменной обработки композиционного материала для формирования покрытий различной фактуры: для формирования сплошного покрытия с ровным разливом – 5 и 10 мм/с, для формирования волнистого или бугристого покрытия – 20 и 25 мм/с.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках реализации Стипендии Президента РФ СП-3948.2021.1 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Strokova V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Epicrystal modification of construction composites of different purpose with application of granulated nanostructured aggregate // *Nanotechnologies in Construction-a Scientific Internet-journal*. 2016. Vol. 8. Issue 5. P. 42–59. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-42-59.
2. Строчкова В.В., Огурцова Ю.Н., Ботман Л.Н. Влияние характеристик активного компо-

нента на степень пропитки мелкозернистого бетона при эпикристаллизационном модифицировании // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2015. № 6. С. 97–101.

3. Кожухова М.И., Флорес-вивиан И., Рао С., Строчкова В.В., Соболев К.Г. Комплексное силосановое покрытие для супергидрофобизации бетонных поверхностей // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 26–30.

4. Strokova V.V., Baskakov P.S., Ayzenshtadt A.M., Nelyubova V.V. Creation of biocidal coatings using the stabilization of silver nanoparticles in aqueous acrylic dispersions // *International Journal of Technology*. 2020. Vol. 11. Issue 1. P. 5–14. DOI: 10.14716/ijtech.v11i1.3346.

5. Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И. Способы окрашивания лицевой поверхности строительных материалов // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. 2019. № 11. С. 174–178.

6. Strokova V., Nelyubova V., Rykunova M. Investigation of fungicidal activity of biocides by method of direct contact with test cultures // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 251. Article number 01018. DOI: 10.1051/matecconf/201825101018.

7. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Semenovych M.A. Thermal plasma in construction industry // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 688. Article number 012010. DOI:10.1088/1755-1315/688/1/012010.

8. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1698. Article number 070022. DOI: 10.1063/1.4937892.

9. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture // Glass Physics and Chemistry. 2018. Vol. 44. Issue 3. P. 251–253. DOI: 10.1134/S1087659618030185.

10. Volokitin G., Vlasov V., Skripnikova N., Volokitin O., Shekhovtsov V. Plasma technologies in construction industry // Key Engineering Materials. 2018. Vol. 781. P. 143–148. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.781.143.

11. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Кочурин Д.В., Брагина Л.Л., Яловенко Т.А. Листовые строительные стёкла с защитно-декоративными покрытиями // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 1. С. 11–16. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-11-16.

12. Bondarenko N.I., Chuev S.A., Dogaeva L.A., Jalovenko T.A. Chipboards with plasma protective decorative coatings // Materials Science Forum. 2020. Vol. 974. P. 90–95. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.90.

13. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., Sinitsyn V.A., Vaschenko S.P., Kuz'min V.I. Plasma treatment of

wood. Thermophysics and Aeromechanics. 2016. Vol. 23. Issue 1. P. 119–124. DOI: 10.1134/S0869864316010121.

14. Fedosov S.V., Akulova M.V., Shchepochkina Yu.A. Tinting glaze with iron-containing compounds on nonfired inorganic materials // Glass and Ceramics. 2005. Vol. 62. Issue 1–2. P. 30–31. DOI: 10.1007/S10717-005-0026-0.

15. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Бураков Н.М., Брагина Л.Л. Исследование влияния плазмохимического модифицирования на макро- и микроструктуру поверхностного слоя автоклавных стеновых материалов // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 1. № 2. С. 4–10. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-2-4-10.

16. Zdorenko N.M., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I., Dorokhova E.S. Increase of competitiveness of wall construction materials with use of plasma technologies // International Journal of Applied and Fundamental Research. 2014. Issue 2. 2 p.

17. Бессмертный В.С., Соколова О.Н., Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Брагина Л.Л., Макаров А.В., Кочурин Д.В. Плазмохимическое модифицирование блочных теплоизоляционных материалов с декоративным покрытием // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 3. С. 85–92. DOI: 10.34031/article_5ca1f6331ec888.51255959.

Информация об авторах

Бондаренко Диана Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: di_bondarenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 23.08.2021 г.

© Бондаренко Д.О., 2021

Bondarenko D.O.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: di_bondarenko@mail.ru*

SELECTION AND ANALYSIS OF RAW MATERIALS FOR A PROTECTIVE AND DECORATIVE LAYER OF COMPOSITE MATERIAL

Abstract. *With modern housing construction, the cost of finishing work has increased significantly. The development of protective and decorative coatings is necessary, with architectural and artistic advantages and high performance properties with a slight increase in cost. It is necessary to develop a high-quality multilayer monolithic composite with a high degree of adhesion of functional layers to each other. Glass industry waste of various fractions and coloring salts of metals are proposed to be used for a decorative layer, which allows to obtain an almost unlimited color gamut of the coating during plasma chemical modification. The choice of application of high-alumina refractory and alumina cement in the protective layer is justified due to their high thermal resistance to sudden temperature changes. Compositions of a protective layer based on binders and a decorative layer using crushed colored container glass and coloring metal salts moistened with a 5% aqueous solution of liquid glass have been proposed, which makes it possible to significantly expand the raw material base for obtaining functional coatings on concrete. The melt heating temperature and the kinetics of its*

cooling are determined in order to identify rational rates and duration of high-temperature treatment for further coating creation. Rational rates of plasma processing of composite material for the formation of coatings of various textures are revealed.

Keywords: cement composite, protective and decorative coatings, non-ferrous glass household waste, non-ferrous metal salts, alumina cement, breakage of high-alumina refractory.

REFERENCES

1. Strokovaya V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Epicrystal modification of construction composites of different purpose with application of granulated nanostructured aggregate. *Nanotechnologies in Construction-a Scientific Internet-journal*. 2016. Vol. 8. No. 5. Pp. 42–59. DOI: 10.15828/2075-8545-2016-8-5-42-59.
2. Strokovaya V.V., Ogurtsova Y.N., Botsman L.N. Influence of active component characteristics on the degree of impregnation of fine-grained concrete in the epicrystalline modification [Vliyaniye kharakteristik aktivnogo komponenta na stepen' propitki melkozernistogo betona pri epikristallizatsionnom modifitsirovani]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2015. Vol. 6. Pp. 97–101. (rus)
3. Kozhukhova M.I., Flores-Vivian I., Rao S., Strokovaya V.V., Sobolev K.G. Complex siloxane coating for super-hydrophobicity of concrete surfaces [Kompleksnoye siloksanovoye pokrytiye dlya supergidrofobizatsii betonnykh poverkhnostey]. *Construction Materials*. 2014. No. 3. Pp. 26–30. (rus)
4. Strokovaya V.V., Baskakov P.S., Ayzenshtadt A.M., Nelyubova V.V. Creation of biocidal coatings using the stabilization of silver nanoparticles in aqueous acrylic dispersions. *International Journal of Technology*. 2020. Vol. 11. No. 1. Pp. 5–14. DOI: 10.14716/ijtech.v11i1.3346.
5. Bondarenko D.O., Bondarenko N.I. Methods of coloring the facial surface of construction materials [Sposoby okrashivaniya litsevoy poverkhnosti stroitel'nykh materialov]. *Resource-energy efficient technologies in the construction complex of the region*. 2019. No 11. Pp. 174–178. (rus)
6. Strokovaya V., Nelyubova V., Rykunova M. Investigation of fungicidal activity of biocides by method of direct contact with test cultures. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 251. Article number 01018. DOI: 10.1051/mateconf/201825101018.
7. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Skripnikova N.K., Volokitin G.G., Semenovikh M.A. Thermal plasma in construction industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 688. Article number 012010. DOI:10.1088/1755-1315/688/1/012010.
8. Volokitin O., Volokitin G., Skripnikova N., Shekhovtsov V. Plasma technology for creation of protective and decorative coatings for building materials. *AIP Conference Proceedings*. 2016. Vol. 1698. Article number 070022. DOI: 10.1063/1.4937892.
9. Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Prospects of application of low-temperature plasma in construction and architecture. *Glass Physics and Chemistry*. 2018. Vol. 44. No. 3. Pp. 251–253. DOI: 10.1134/S1087659618030185.
10. Volokitin G., Vlasov V., Skripnikova N., Volokitin O., Shekhovtsov V. Plasma technologies in construction industry. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 781. Pp. 143–148. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.781.143.
11. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Kochurin D.V., Bragina L.L., Yakovenko T.A. Sheet construction glass with protective and decorative coatings [Listovyye stroitel'nyye stokla s zashchitno-dekorativnymi pokrytiyami]. *Construction Materials and Products*. 2019. Vol. 2. No. 1. Pp. 11–16. DOI: 10.34031/2618-7183-2019-2-1-11-16. (rus)
12. Bondarenko N.I., Chuev S.A., Dogaeva L.A., Jalovenko T.A. Chipboards with plasma protective decorative coatings. *Materials Science Forum*. 2020. Vol. 974. Pp. 90–95. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.90.
13. Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V., Sinitsyn V.A., Vaschenko S.P., Kuz'min V.I. Plasma treatment of wood. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2016. Vol. 23. No. 1. Pp. 119–124. DOI: 10.1134/S0869864316010121.
14. Fedosov S.V., Akulova M.V., Shepochkina Yu.A. Tinting glaze with iron-containing compounds on nonfired inorganic materials. *Glass and Ceramics*. 2005. Vol. 62. No. 1–2. Pp. 30–31. DOI: 10.1007/S10717-005-0026-0.
15. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Burlakov N.M., Bragina L.L. Investigation of influence of plasmochemical modification on macro- and microstructure of surface layer of autoclave wall materials [Issledovaniye vliyaniya plazmokhimicheskogo modifitsirovaniya na makro- i mikrostrukturu poverkhnostnogo sloya avtoklavnykh stenovykh materialov]. *Construction Materials and Products*. 2018. Vol. 1. No. 2. Pp. 4–10. DOI: 10.34031/2618-7183-2018-1-2-4-10. (rus)
16. Zdorenko N.M., Bondarenko N.I., Borisov I.N., Izofatova D.I., Dorokhova E.S. Increase of competitiveness of wall construction materials with use of plasma technologies. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2014. No. 2. Pp. 2.

17. Bessmertnyy V.S., Sokolova O.N., Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Bragina L.L., Makarov A.V., Kochurin D.V. Plasmachemical modification of thermal insulated blocks with deco-

rative coating [Plazmokhimicheskoye modifitsirovaniye blochnykh teploizolyatsionnykh materialov s dekorativnym pokrytiyem]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. Vol. 3. Pp. 85–92. (rus)

Information about the authors

Bondarenko, Diana O. PhD. E-mail: di_bondarenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 23.08.2021

Для цитирования:

Бондаренко Д.О. Подбор и анализ сырьевых компонентов для защитного и декоративного слоя композиционного материала // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 12. С. 27–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-27-33

For citation:

Bondarenko D.O. Selection and analysis of raw materials for a protective and decorative layer of composite material. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 12. Pp. 27–33. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-12-27-33