

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-83-89

Бондаренко Н.И., Басов В.О., Даценко А.О.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: bondarenko-71@mail.ru*

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕКЛООТХОДОВ

Аннотация. В работе исследовалась возможность использования стеклоотходов в качестве вяжущего вещества для стеклобетона. На сегодняшний день строительная промышленность предъявляет к вяжущим материалам новые требования, наряду с совершенствованием производства портландцемента ведутся исследования по изучению новых видов вяжущих. Утилизация стеклобоя обусловлена не только экологическими, но и экономическими предпосылками. В работе проводились исследования свойств стекол для получения вяжущих. С помощью рентгенофлуоресцентного метода исследован химический состав тарного и листового стекол, определены основные оксиды исходного сырья. Подобран активирующий компонент для композиционного вяжущего. На основании экспериментальных данных установлено, что наиболее целесообразно применение в качестве активатора жидкого стекла в количестве 5 % от массы композиционного вяжущего. Установлено, что стеклянный наполнитель необходимо использовать в сочетании с цементом для получения композиционного вяжущего, так как для стеклопорошков щелочные агенты Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 не работают как активаторы. Определены оптимальные составы композиционного вяжущего и подробно исследованы прочностные свойства полученных образцов. Составы с активатором Na_2SiO_3 показали наибольшие показатели по прочности, чем составы с активатором Na_2CO_3 .

Ключевые слова: стеклобой, стеклобетон, цемент, композиционные вяжущие, щелочной активатор.

Введение. Вяжущие вещества – основа современного строительства, которые широко применяются для производства бетонов, штукатурных и кладочных растворов [1–4].

Цементобетон и железобетон на сегодняшний день являются самыми востребованными материалами в строительстве. Сейчас широко используется модифицированный бетон, который получают с применением комплексных добавок [5, 6], к таким бетонам относят полимербетон, стеклобетон и другие. Данные материалы обладают такими высокими характеристиками, как прочность, морозостойкость, коррозионная стойкость, трещиностойкость [7–9]. Применение композиционных материалов повышает эксплуатационные свойства конструкций.

Использование различных видов отходов как составляющей строительных материалов повлекло за собой увеличение внимания к проблеме утилизации несортированного стеклобоя [10–12]. Изготовление цемента считается энергоёмким производством, так как связано с большими расходами топлива и сырья. Разработка составов и материалов для строительной промышленности с применением стеклоотходов вызвано экологическими и экономическими положениями.

Проблемы рационального использования цемента в бетоне и изделиях на его основе являются весьма актуальными, в этой связи необходима разработка композиционных материалов с использованием смешанных вяжущих, а также

внедрение такой технологии, которая гарантировала бы высокие эксплуатационные характеристики композитов [13].

Материалы и методы. Для проведения экспериментальных исследований были использованы следующие сырьевые материалы: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н производства ЗАО «Белгородский цемент» (ГОСТ 10178–85); песок Корочанского месторождения (ГОСТ 8736–2014); вода (ГОСТ 23732–2011), стеклобой листового и тарного стекол. Исследование химического состава стекол проводили на спектрометре APL 9900 «Thermo scientific» рентгенофлуоресцентным методом. Для эксперимента использовался стеклопорошок с $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Для обеспечения в водном растворе высокощелочной среды ($\text{pH} \geq 13$) были выбраны два вида активирующих агентов: жидкое стекло Na_2SiO_3 и карбонат натрия Na_2CO_3 . Щелочной активатор использовался в виде водного раствора. Испытания образцов на прочностные характеристики проводили на гидравлическом прессе П-10.

Основная часть. SiO_2 , Na_2O и Al_2O_3 являются основными оксидами исходного сырья, от содержания которых зависит механизм структурообразования в щелочалюмосиликатных вяжущих, а также от их соотношений в щелочеактивированной системе [14]. Натрий-кальций-силикатное стекло может рассматриваться как аморфный алюмосиликатный материал, содержащий в

своем составе щелочные и щелочноземельные компоненты. Растворимость кристаллического кремнезёма, как и аморфного, в нейтральной и кислой среде была минимальна, тогда как в щелочной среде резко возрастала. Это объясняется

формированием в системе легкорастворимых щелочных силикатов.

Для исследований применялся стеклобой зелёной тары и бой листового стекла, химический состав стёкол представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав стекол

	Содержание оксидов, мас. %								
	SiO ₂	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃
Листовое стекло	71,3	15,0	1,5	4,2	7,5	0,3	0,1	0,1	–
Тарное стекло	68,8	14,2	3,3	3,5	9,2	0,6	–	0,3	0,1

На основании обзора литературных данных для исследований выбраны два вида активирующего агента: жидкое стекло и сода [4, 15–20]. С целью определения наиболее эффективного активирующего агента заформованы составы вяжущего на основе стекла с разными активаторами. Для эксперимента использовался стеклопорошок с $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ в количестве 100 % и щелочной активатор в виде водного 5-% раствора. После формования образцы подвергались сушке при температуре 50 °С в течение 9 часов, далее набор прочности происходил при нормальных условиях твердения.

В ходе эксперимента исследована зависимость характера образования структуры алюмосиликатной вяжущей системы от химической природы активирующего компонента. При взаимодействии силикатного стекла со щелочами идёт образование анионов SiO_3^{2-} , SiO_4^{4-} , $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$, а также силикатов щелочных металлов [21]. По-

вышение растворимости кремнезёма при взаимодействии со щелочами идёт с образованием легкорастворимых щелочных силикатов, дополнительно переводящих SiO_2 в раствор, в результате чего образуется жидкое стекло.

Растворы едких щелочей стабилизируют систему, так как щелочи химически связывают коллоидный кремнезем. Растворы щелочных силикатов содержат в своем составе значительное количество кремниевой кислоты, которая склонна к полимеризации.

Измельченный стеклобой при взаимодействии с водой не проявляет вяжущих свойств независимо от наличия в его составе большого количества щелочи [22]. Для изучения кинетики изменения во времени прочностных характеристик вяжущих систем на основе тарного и листового стёкол с различным типом щелочных активаторов были определены показатели прочности для затвердевших систем в разном возрасте твердения (рис. 1).

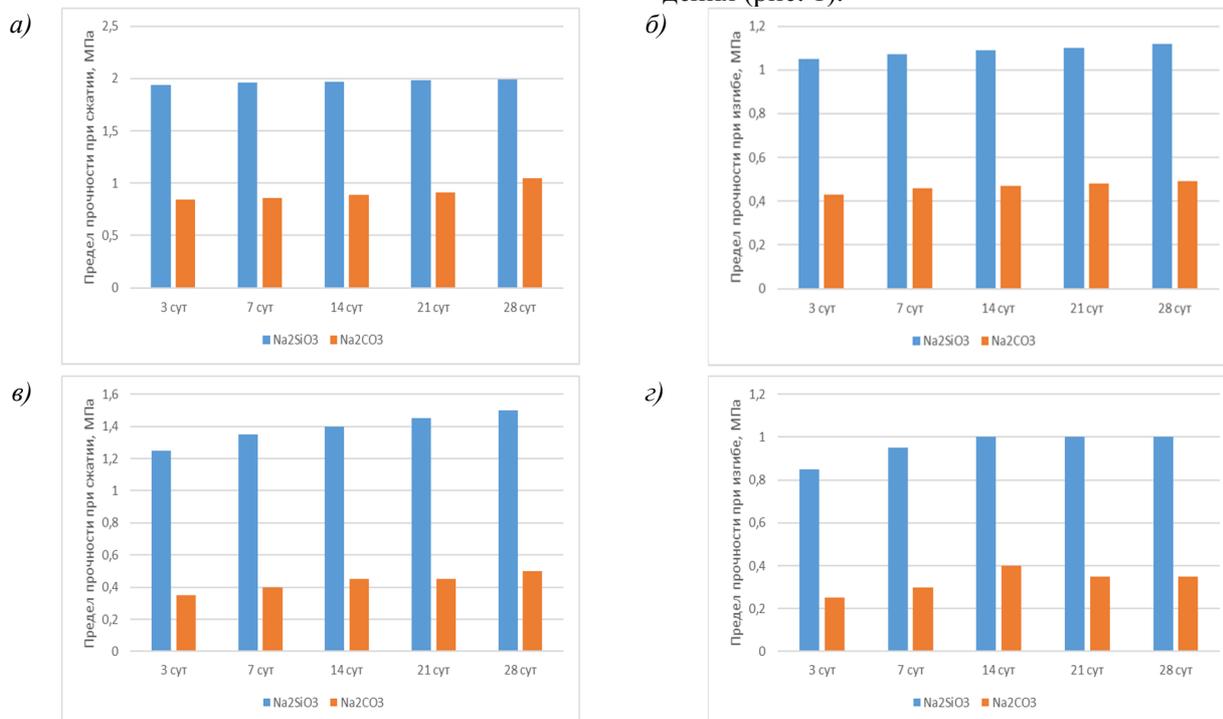


Рис. 1. Кинетика набора прочности образцов с активаторами на основе: а, б – стеклопорошка тарного стекла; в, г – стеклопорошка листового стекла

В ходе проведённых исследований было установлено, что экспериментальные составы, активированные Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 показали низкую прочность на всех этапах твердения. Кроме этого, составы, активированные Na_2CO_3 имели на

поверхности серьезные высолы (рис. 2, а), что говорит о том, что часть вводимого в состав активатора не прореагировала со стеклопорошком. Отсюда следует, что данный компонент обладает низкой активирующей способностью.

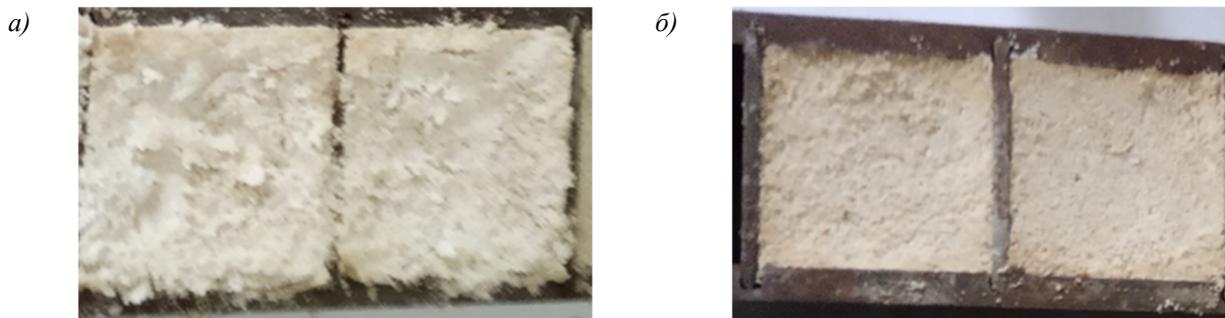


Рис. 2. Внешний вид образцов на основе тарных стёкол, активированных 5-% раствором:

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для листовых и тарных стекол щелочные агенты Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 не работают как активаторы, поэтому стеклянный наполнитель нужно использовать в комбинации с цементом для получения композиционного вяжущего.

На первом этапе эксперимента было установлено, что прочностные характеристики у тарного стекла больше. Для проведения дальнейших

исследований заформованы образцы на основе тарного стекла, цемента без активирующего агента и образцы на основе тарного стекла, цемента с активирующими агентами. Активирующий агент применялся в виде 3 %-го и 5 %-го растворов (табл. 2). Экспериментальные образцы подвергались сушке при температуре 70°C в течение 10 часов, далее набор прочности происходил при нормальных условиях твердения.

Таблица 2

Экспериментальные составы композиционных вяжущих на основе тарного стекла

№ состава	Цемент, %	Стеклопорошок, %	Сода (Na_2CO_3), %	Жидкое стекло (Na_2SiO_3), %
1	100	–	–	–
2	90	10	–	–
3	80	20	–	–
4	70	30	–	–
5	90	10	3	–
6	90	10	5	–
7	80	20	3	–
8	80	20	5	–
9	70	30	3	–
10	70	30	5	–
11	90	10	–	3
12	90	10	–	5
13	80	20	–	3
14	80	20	–	5
15	70	30	–	3
16	70	30	–	5

Для изучения прочностных характеристик экспериментальных образцов композиционного вяжущего на основе тарного стекла с различным типом щелочных активаторов были определены показатели прочности для затвердевших систем в возрасте твердения 28 суток.

Варьирование концентрации щелочного активатора осуществляется с целью определения целесообразности применения его в композиционном вяжущем, а также оптимального его со-

держания, при котором можно достичь максимальной прочности на изгиб и на сжатие, а также не приводящего к высолообразованию в процессе эксплуатации.

Определение прочностных характеристик показало, что наибольшую прочность имели составы с жидким стеклом, чем составы со щелочным активатором соды. Наименьшая прочность была у образцов без активаторов (табл. 3, составы 1–4), что говорит о целесообразности

применения активаторов в составе композиционного вяжущего. На основании экспериментальных данных видно, что оптимальными являются

составы, где содержание активирующего агента составило 5 % от массы композиционного вяжущего (табл. 3, состав 6, 12).

Таблица 3

Показатели прочности образцов композиционных вяжущих на основе тарного стекла

№ состава	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа
1	38,0	0,091
2	30,0	0,078
3	22,0	0,051
4	18,7	0,036
5	33,0	0,81
6*	38,0*	0,89*
7	29,0	0,36
8	30,0	0,45
9	30,0	0,12
10	35,0	0,17
11	36,0	1,3
12*	41,9*	1,7*
13	32,0	0,9
14	33,0	1,3
15	16,8	0,5
16	20,0	0,8

* – оптимальный состав

Как видно из таблицы 3, образцы с активатором Na_2SiO_3 имели наибольшую прочность как на сжатие, так и на изгиб, нежели образцы с активатором Na_2CO_3 .

Выводы. В ходе проведённых исследований можно сделать вывод о том, что для листовых и тарных стёкол щелочные агенты Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 не работают как активаторы, поэтому стеклянный наполнитель необходимо использовать в комбинации с цементом для получения композиционного вяжущего. Определение прочностных характеристик композиционного вяжущего показало, что наибольшую прочность имели составы с жидким стеклом, чем составы с содой. Наименьшую прочность показали образцы без активаторов, что говорит о целесообразности применения данных активаторов в составе композиционного вяжущего. Установлено, что образцы с активатором Na_2SiO_3 имели наибольшую прочность как на сжатие, так и на изгиб, нежели образцы с активатором Na_2CO_3 . Следовательно, Na_2SiO_3 обладает наибольшей активирующей способностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ключев С.В. Применение композиционных вяжущих для производства фибробетонов // Технологии бетонов. 2012. № 1–2 (66–67). С. 56–57.
2. Володченко А.А. Влияние искусственных гидросиликатов кальция на процессы твердения и свойства неавтоклавных силикатных материалов на основе нетрадиционного алюмосиликат-

ного сырья // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 2. С. 19–28. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19-28.

3. Вишневская Я.Ю., Трунов П.В., Калатоци В.В., Бондаренко Д.О. Перспективы повышения эффективности фибробетонов за счет применения композиционных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 3. С. 35–37.

4. Кожухова Н.И., Чижов Р.В., Жерновский И.В., Логанина В.И., Строкова В.В. Особенности структурообразования геополлимерной вяжущей системы на основе перлита с использованием различных видов щелочного активатора // Строительные материалы. 2016. № 3. С. 61–64. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-735-3-61-64.

5. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Федорцов В.А. Повышение коррозионной стойкости цементных композитов активными добавками // Строительство и реконструкция. 2020. № 2 (88). С. 51–60. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-51-60.

6. Логанина В.И., Жерновский И.В., Жегера К.В., Структурообразование цементного камня в присутствии добавки на основе аморфных алюмосиликатов // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 142–148.

7. Bondarenko D.O., Strokova, V.V. Operating properties of the coating, depending on the composition during plasma-chemical modification // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. Article number 012141. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012141.

8. Bondarenko, N.I., Bondarenko, D.O. Processes of forming protective and decorative coatings

on concrete at plasma treatment // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Article number 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012038.

9. Strokova V., Bondarenko D. Heating rate and liquid glass content influence on cement brick dehydration // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. P. 286–289. DOI: 10.1007/978-3-030-22974-0_68.

10. Бондаренко Д.О., Строкова В.В. Использование отходов промышленности для покрытий на мелкозернистом бетоне // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 256–259.

11. Бондаренко Н.И., Бондаренко Д.О., Евтушенко Е.И. Исследование химического взаимодействия стекловолокна с продуктами гидратации цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 12. С. 119–125. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-119-125.

12. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Valuiskikh K.A. Smalt based on the broken colored container glasses // Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 95. P. 274–279. DOI: 10.1007/978-3-030-54652-6_41.

13. Бондаренко Н.И. Исследование термических свойств стеклобетона // Научные технологии функциональных материалов: тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции. СПб.: СПбГИКиТ, 2019. С. 77–78.

14. Ерофеев В.Т., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Оценка и прогнозирование физико-химического сопротивления стеклощелочных композитов и методы его повышения // Известия вузов. Строительство. 2017. № 6 (702). С. 5–14.

15. Kozhukhova N.I., Fomina E.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V., Chizhov R.V. The utilization ef-

iciency of natural aluminosilicates in composite binders // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 670–671. P. 182–186. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.182.

16. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymers perlite binder vs. type of alkali activating agent // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. Issue 20. P. 12275–12281.

17. Голосова А.С., Клименко Н.Н., Делицын Л.М. Влияние вида щелочного активатора на структуру и механические свойства композиций на основе отходов ТЭК // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 4 (214). С. 51–53.

18. Строкова Я.А., Клименко Н.Н. Комплексная щелочно-щелочноземельная активация гранулированного доменного шлака // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 4 (214). С. 130–132.

19. Fernandez-Jimenez A., Palomo A., Sobrados I., Sanz J. The role played by the reactive alumina content in the alkaline activation of fly ashes // Microporous Mesoporous Materials. 2006. Vol. 91. P. 111–119. DOI:10.1016/j.micromeso.2005.11.015.

20. Liu Z., Zhang D., Li L., Wang J., Shao N., Wang D. Microstructure and phase evolution of alkali-activated steel slag during early age // Construction and Building Materials. 2019. Vol. 204. P. 158–165. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.213.

21. Айлер Р. Химия кремнезема. М.: Мир, 1982. 416 с.

22. Малявский Н.И. Щелочносиликатные утеплители. Свойства и химические основы производства // Российский химический журнал. 2003. № 4. С. 39–45.

Информация об авторах

Бондаренко Надежда Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: bondarenko-71@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Басов Владислав Олегович, бакалавр 3-го курса кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: jeigjb@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Даценко Алёна Олеговна, магистрант 2-го курса кафедры технологии стекла и керамики. E-mail: alenadacenko@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 22.09.2021 г.

© Бондаренко Н.И., Басов В.О., Даценко А.О., 2022

***Bondarenko N.I., Basov V.O., Dacenko A.O.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov.

*E-mail: bondarenko-71@mail.ru

DEVELOPMENT OF BINDING COMPOSITIONS USING GLASS WASTE

Abstract. The possibility of using glass waste as a binder for glass concrete is investigated. Today, the construction industry makes new demands on binders, along with the improvement of the production of Portland cement. The research is underway to study new types of binders. Disposal of glass waste is due to environmental and economic prerequisites. In the work, studies of the properties of glasses for obtaining binders are carried out. Using the X-ray fluorescence method, the chemical composition of container and sheet glass has been investigated, and the main oxides of the feedstock have been determined. An activating component has been selected for a composite binder. On the basis of experimental data, it is found that the most expedient use as an activator of water glass in an amount of 5% by weight of the composite binder. It is found that glass filler must be used in combination with cement to obtain a composite binder, since alkaline agents Na_2CO_3 and Na_2SiO_3 do not work as activators for glass powders. The optimal compositions of the composite binder have been determined and the strength properties of the obtained samples have been studied in detail. Compositions with an activator Na_2SiO_3 shows the highest strength indicators than compositions with an activator Na_2CO_3 .

Keywords: cullet, glass concrete, cement, composite binders, alkaline activator.

REFERENCES

1. Kluyev S.V. Composite binders use for the production of fiber-concretes [Primenenie kompozitsionnykh vyazhushchih dlya proizvodstva fibrobetonov]. Concrete Technologies. 2012. No. 1–2 (66–67). Pp. 56–57. (rus)
2. Volodchenko A.A. Influence of artificial calcium hydrosilicates on the hardening processes and properties of non-autoclave silicate materials based on unconventional aluminosilicate raw materials [Vliyanie iskusstvennykh gidrosilikatov kal'tsiya na processy tverdeniya i svoystva neavtoklavnykh silikatnykh materialov na osnove netraditsionnogo alyumosilikatnogo syr'ya]. Construction Materials and Products. 2020. Vol. 3. No. 2. Pp. 19–28. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-2-19-28. (rus)
3. Vishnevskaya J.Yu., Trynov P.V., Kalatozi V.V., Bondarenko D.O. Prospects for efficiency fiber reinforced concrete through the use of composite binders [Perspektivy povysheniya effektivnosti fibrobetonov za schet primeneniya kompozitsionnykh vyazhushchikh]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2013. No. 3. Pp. 35–37. (rus)
4. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Loganina V.I., Strokova V.V. Features of structure formation of a geo-polymeric binding system on the basis of perlite with the use of different types of alkali activators [Features of the structure formation of a geopolymer binding system based on perlite using various types of alkaline activator]. Construction Materials. 2016. No. 3. Pp. 61–64. DOI: 10.31659/0585-430X-2016-735-3-61-64. (rus)
5. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Fedortsov V.A. The increasing of corrosive resistance of cement composites by active additives [Povyshenie korrozionnoj stojkosti cementnykh kompozitov aktivnymi dobavkami]. Building and reconstruction. 2020. No. 2 (88). Pp. 51–60. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-88-2-51-60. (rus)
6. Loganina V.I., Zhernovskiy I.V., Zhegera K.V. Pattern formation of cement stone in the presence of additive based on amorphous aluminum silicates [Strukturoobrazovanie cementnogo kamnya v prisutstvii dobavki na osnove amorfnykh alyumosilikatov]. Bulletin of Civil Engineers. 2016. No. 3 (56). Pp. 142–148. (rus)
7. Bondarenko D.O., Strokova, V.V. Operating properties of the coating, depending on the composition during plasma-chemical modification. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 341. Article number 012141. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012141.
8. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O. Processes of forming protective and decorative coatings on concrete at plasma treatment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 945. Article number 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/945/1/012038.
9. Strokova V., Bondarenko D. Heating rate and liquid glass content influence on cement brick dehydration. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2019. Pp. 286–289. DOI: 10.1007/978-3-030-22974-0_68.
10. Bondarenko D.O., Strokova V.V. Application of industrial waste for coatings on fire-grained concrete [Ispol'zovaniye otkhodov promyshlennosti dlya pokrytiy na melkozernistom betone]. Resource-efficient technologies in the construction complex of the region. 2018. No. 10. Pp. 256–259. (rus)
11. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Evtushenko E.I. Study of the chemical interaction of glass fiber with cement hydration products [Issledovaniye khimicheskogo vzaimodeystviya steklovolokna s produktami gidratatsii tsementa]. Bulletin of BSTU

named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 119–125. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-119-125. (rus)

12. Bondarenko N.I., Bondarenko D.O., Valuskiikh K.A. Smalt based on the broken colored container glasses. Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. Vol. 95. Pp. 274–279. DOI: 10.1007/978-3-030-54652-6_41.

13. Bondarenko N.I. Investigation of the thermal properties of glass concrete [Issledovaniye termicheskikh svoystv steklobetona]. Functional materials high technology: Abstracts VI International scientific and technical conference. SPb.: SPbGIKIT, 2019. Pp. 77–78. (rus)

14. Erofeev V.T., Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Assessment and forecasting of physical and chemical resistance of glass alkali composites and methods of his increase [Ocenka i prognozirovaniye fiziko-himicheskogo soprotivleniya stekloshchelochnykh kompozitov i metody ego povysheniya]. News of higher educational institutions. Construction. 2017. No. 6 (702). Pp. 5–14. (rus)

15. Kozhukhova N.I., Fomina E.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V., Chizhov R.V. The utilization efficiency of natural aluminosilicates in composite binders. Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 670–671. Pp. 182–186. DOI:10.4028/www.scientific.net/AMM.670-671.182.

16. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. type of alkali activating agent. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. Vol. 11. No. 20. Pp. 12275–12281.

Information about the authors

Bondarenko, Nadezhda I. PhD. E-mail: bondarenko-71@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Basov, Vladislav O. Student. E-mail: jeigjb@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Dacenko, Alena O. Student. E-mail: alena-dacenko@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 22.09.2021

Для цитирования:

Бондаренко Н.И., Басов В.О., Даценко А.О. Разработка составов вяжущих с использованием стеклоотходов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 1. С. 83–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-83-89

For citation:

Bondarenko N.I., Basov V.O., Dacenko A.O. Development of binding compositions using glass waste. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 1. Pp. 83–89. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-1-83-89