

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-32-38

Воронцов В.М., Рябцева С.В., Яремчук М.В.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: victorvorontsov2012@yandex.ru*

РАЗРАБОТКА СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО

Аннотация. При разработке состава бесцементного и безавтоклавного вяжущего были определены три основных компонента – стеклобой, едкая щелочь и пластификатор. В процессе мокрого помола данных компонентов в течение определенного времени из мельничного агрегата выходит вязкая клеящая масса, способная при температурной обработке не более 90 °С отвердевать, формируя при этом плотную и прочную структуру. В результате получено стеклощелочное вяжущее, достигающее механической прочности более 25 МПа за время твердения 22–24 ч с момента окончания формования.

Разработанная технология отличается низкой энергоемкостью, а само вяжущее – высокой механической прочностью, водостойкостью и короткими сроками твердения. С помощью метода математического планирования эксперимента оптимизирован состав вяжущего и получено уравнение регрессии, отражающее зависимость механической прочности вяжущего от соотношения его компонентов. Вяжущее на основе стеклобоя может найти применение при получении материалов строительного назначения.

Ключевые слова: утилизация стеклобоя, состав вяжущего, технология изготовления, результаты испытаний, матрица планирования эксперимента, уравнение регрессии

Введение. В настоящее время портландцемент является основным общестроительным вяжущим материалом. Это объясняется наличием практически неограниченной сырьевой базы для его получения, использования передовых технологий и оборудования, высокими технико-экономическими показателями по его применению. Именно благодаря портландцементу появились высокопрочные бетоны и железобетоны, отвечающие необходимому уровню свойств и долговечности. Однако производство портландцемента довольно материалоемко и энергоемко. На производство 1 т клинкера тратится 1,6 т природного сырья, само производство сопряжено высокотемпературным обжигом, большим расходом топлива и электроэнергии, при этом в атмосферу выбрасывается 579 кг CO₂ на каждую тонну клинкера, что составляет 6–8 % от массы сжигаемого топлива. Последнее обстоятельство негативно влияет на экологическую ситуацию в мире, так как общие выбросы углекислого газа, вызванные производством портландцемента, составляют 7 % общемирового антропогенного загрязнения [1]. Поэтому ученые, инженеры и технологи заняты разработками новых видов вяжущих для замены энергоемкого портландцемента.

Актуальной также является проблема использования твердых бытовых отходов, в частности, утилизация стеклобоя, составляющего около 5 % от общей массы данных отходов. Бой стекла, находящийся в отвалах, не окисляется и не разлагается в атмосферных условиях, он неуклонно пополняет свалки, засоряя окружающую среду,

его накопления сопоставимы с природными геологическими ресурсами, используемыми человечеством [2]. Таким образом, использование стеклобоя позволяет разрешить три важнейших народнохозяйственных проблемы: экологическую – снижение негативного воздействия на окружающую среду; технологическую – разработка перспективного сырьевого ресурса и экономическую – снижение затрат на производство силикатных материалов. При этом стеклобой следует рассматривать как самостоятельный вид сырья, имеющего алюмосиликатную природу и обладающего аморфной структурой, проявляющей высокую химическую активность.

Альтернативой дорогостоящему портландцементу могут стать безобжиговые вяжущие щелочной активации, известные под названием *геополимеры* [3, 4]. Этим термином принято называть неорганические полимеры, полученные в результате химического взаимодействия между щелочными растворами и алюмосиликатными материалами как естественного (горные породы), так и техногенного происхождения (шлаки, золы, стеклобой и др. производственные отходы). Геополимеры пока еще не приобрели широкого распространения, по масштабам сравнимого с распространением портландцемента. Однако к вяжущим щелочной активации в мировой практике проявлен большой интерес, благодаря их высоким технико-эксплуатационным характеристикам: они не вызывают парниковых выбросов в атмосферу в процессе производства, обладают высокими физико-механическими свойствами, устойчивы к действию воды и агрессивных сред,

к температурным перепадам, экономичны, экологичны [5].

Типичным представителем геополимеров можно назвать стеклощелочное вяжущее (СЩВ), полученное мокрым помолом стеклобоя в растворе едкой щелочи. В процессе такого помола происходит разрушение частиц стеклянного боя с одновременным вымыванием из последнего аморфного кремнезема, который в щелочном растворе образует золь (коллоидный раствор), переходящий при нагреве до 90 °С в кремнегель. Известно, что аморфный кремнегель обладает высокой клеящей способностью, вызванной поликонденсацией соседних атомов кремния за счет образования силоксановых связей [6]. Отверждаясь в процессе нагрева, кремнегель скрепляет между собой нерастворившиеся зерна стеклобоя, а в процессе отверждения набирает прочность.

Теоретическими предпосылками проявления вяжущих свойств композиционных материалов на основе стеклобоя послужило то, что силикатные стекла по химическому составу приближаются к алюмосиликатным горным породам типа натролита, морденита и т.п. Как показали некоторые исследования, химическое взаимодействие щелочных алюмосиликатных горных пород под действием растворов щелочей приводит к изменению их химического и вещественного состава. При этом наряду с процессом распада щелочноземельных образований происходит превращение безводных алюмосиликатов в водные [7–9]. По существу, данный процесс аналогичен процессу гидратации минералов портландцементного клинкера, поэтому возникает научная гипотеза о том, что он возможен и при твердении щелочных вяжущих систем.

Измельчение боя стекла в водном растворе щелочи обеспечивает удаление неактивного поверхностного слоя, замедляющего разрушение стекла [10]. В результате интенсивного механического воздействия пленка разрушается и поверхность «обновляется», что приводит к увеличению доли щелочного компонента в растворе. Механическая активация частиц стеклянного боя приводит к уменьшению их размеров, повышению поверхностной энергии, что позволяет осуществиться реакции взаимодействия аморфного кремнезема стекла с щелочным раствором для образования коллоидного силикатного раствора, проявляющего вяжущие свойства. [11, 12].

При разработке состава СЩВ важным моментом является установление соотношения между основными компонентами и выявление интервалов варьирования. Это необходимо для сохранения постоянства состава вяжущего и не-

допущения существенных отклонений в процессе его получения. Для этого рационально использовать математические методы планирования и оптимизации эксперимента.

Целью настоящих исследований являются:

- теоретическое обоснование и практическое осуществление возможности получения бесцементного вяжущего на основе стеклобоя;
- разработка состава и технологии получения СЩВ;
- оптимизация состава СЩВ с применением метода математического планирования эксперимента.

Для осуществления поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- анализ литературных источников в области разработок по производству вяжущих на основе стеклоотходов;
- выявление оптимальных технологических параметров получения СЩВ;
- изучение основных физико-механических характеристик вяжущего и рекомендации к его применению;
- выведение уравнения регрессии, характеризующего зависимость механической прочности вяжущего от его состава и определение интервалов варьирования переменных.

Материалы и методы исследования. При разработке состава СЩВ использовался бой оконного и тарного стекла, гранулированная калиевая едкая щелочь и суперпластификатор Melflux 2651 F. Рядом исследователей [13–17] было установлено, что тонкомолотый стеклобой при контакте с щелочным раствором образует гель поликремниевой кислоты, способный при невысоких температурах (не более 90°С) отвердевать, формируя при этом плотную и прочную структуру. В отличие от упомянутых публикаций, в данной работе предложен способ получения подобного вяжущего не методом механического перемешивания стеклобоя с раствором щелочи, а совместным их помолом в присутствии пластификатора. Предложенный метод основан на процессе взаимодействия боя стекла со щелочью при мокром помоле в ее растворе, что обеспечивает растворение стеклянных частиц не только с их поверхности, но и по всему объему. Роль пластификатора сводится к снижению количества воды затворения и одновременному повышению концентрации раствора щелочи.

Основная часть. Методика изготовления образцов СЩВ сводилась к следующему. Осколки битого стекла пропускались через лабораторную щековую дробилку с шириной выходного отверстия не более 5 мм, дробленка в свою очередь пропусклась сквозь сито с отверстиями 2,5 мм, отобранный отсев (500 г) загружался в

фарфоровую мельницу, емкостью 5 л; туда же заливался раствор едкой щелочи с растворенным в нем же пластификатором. Оптимальной принята концентрация раствора щелочи 13 масс. %, водотвердое отношение составляло 0,2 (установлено опытным путем). В мельнице фактически происходил мокрый помол стеклобоя в щелочном растворе. На выходе из мельницы после определенного времени помола получалась вязкая клеящая масса, которая затем переносилась в металлические кубические формы-ячейки (размер ребра 3 см) и уплотнялась на встряхивающем столике.

Через 18–20 ч после формования полученные образцы извлекались из форм и переноси-

лись в лабораторный сушильный шкаф, где подвергались тепловой обработке (сушке) при температуре 85–90°C. При данной температуре, как показали исследования, полученная стеклощелочная масса способна затвердевать и набирать прочность. Сам процесс тепловой обработки длится не более 4 ч. По ее окончании одна часть образцов из каждой опытной серии подвергалась линейным обмерам сторон и взвешиванию (с целью определения средней плотности), а другая погружалась в воду и выдерживалась там до состояния полного водонасыщения. Эксперимент завершался испытаниями на прочность, которые осуществлялись на гидравлическом прессе ПГМ-100МГ4. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы вяжущего и результаты физико-механических испытаний

№	Состав вяжущего, масс. %				Результаты физико-механических испытаний			
	Стеклобой	Щелочь едкая	Пластификатор Melflux 2651 F	Вода	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа		Коэффициент водостойкости
						в сухом состоянии	в водонасыщенном	
1	84,6	1,7	0,2	13,5	1802	17,5	14,7	0,84
2	82,9	2,0	0,2	14,9	1816	21,6	18,6	0,86
3	82,0	2,3	0,2	15,5	1828	23,1	20,3	0,88
4	81,2	2,4	0,2	16,2	1835	25,8	22,9	0,89
5	80,5	2,6	0,2	16,7	1823	22,5	20,1	0,89

В итоге было получено бесцементное и безавтоклавное вяжущее с механической прочностью более 25 МПа и коэффициентом водостойкости, приближенным к 0,9.

На основании полученных результатов определен состав стеклощелочного вяжущего (масс. %):

Стеклобой	80,5–84,6
Щелочь едкая	1,7–2,6
Пластификатор Melflux 2651 F	0,2
Вода	Остальное,

Данная разработка защищена двумя патентами РФ на изобретение (патенты РФ №№ 2778880 и 2786468).

Разработанный состав и установленные технологические параметры должны обеспечивать получение композиционного вяжущего с заданными физико-механическими свойствами. Для этого необходимо установить интервалы варьирования переменных в целях оптимизации состава вяжущего и прогнозирования его итоговой прочности. Это можно осуществить, используя методы математического планирования эксперимента, которые способны варьировать одновременно все факторы и получать количественные оценки основных эффектов. Применение методов планирования значительно повышает эффективность эксперимента, а выведенное в итоге уравнение регрессии позволяет прогнозировать

конечный результат эксперимента (механическую прочность и др.) при заданном составе исходных компонентов.

В целях установления оптимального состава СЩВ была проведена серия опытов с использованием метода математического планирования эксперимента по схеме двухуровневого трехфакторного эксперимента. При этом количество стеклобоя было заданно постоянным, а входными параметрами обозначены: X_1 – концентрация раствора щелочи в диапазоне, 9–17 %; X_2 – содержание пластификатора по отношению к массе стеклобоя, 0,15–0,17 %; X_3 – водотвердое отношение (отношение массы воды к массе стеклобоя), 0,20–0,22. Выходным параметром (Y) была определена прочность при сжатии, МПа. В соответствии с методикой [18], матрица планирования эксперимента сформировалась следующим образом (табл. 2).

В результате проведенных математических расчетов выведено уравнение регрессии:

$$Y = 87,12 + 0,39x_1 - 341x_3.$$

Используя найденное уравнение, можно рассчитать итоговую прочность СЩВ в зависимости от заданных значений концентрации щелочного раствора (x_1) и водотвердого отношения (x_3). Величиной содержания пластификатора (x_2) можно задаться как постоянной в диапазоне 0,15–0,17 %

по отношению к массе стеклобоя, так как в этих пределах концентрация пластификатора не оказывает влияния на прочность материала. Полученное уравнение регрессии может быть использовано при расчете состава стеклощелочного вяжущего с прогнозной оценкой его качественных

показателей. На рисунках 1–3 отображена зависимость величины механической прочности СЩВ от концентрации щелочи и пластификатора при изменении водотвердого отношения в пределах от 0,20 до 0,22.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№	Факторы в безразмерном виде			Факторы в натуральном виде			Y
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
1	-1	-1	-1	9	0,15	0,20	22,62
2	+1	-1	-1	17	0,15	0,20	24,77
3	-1	+1	-1	9	0,17	0,20	23,12
4	+1	+1	-1	17	0,17	0,20	25,43
5	-1	-1	+1	9	0,15	0,22	14,77
6	+1	-1	+1	17	0,15	0,22	18,16
7	-1	+1	+1	9	0,17	0,22	15,56
8	+1	+1	+1	17	0,17	0,22	20,17

Прочность камня при В/Т=0,2

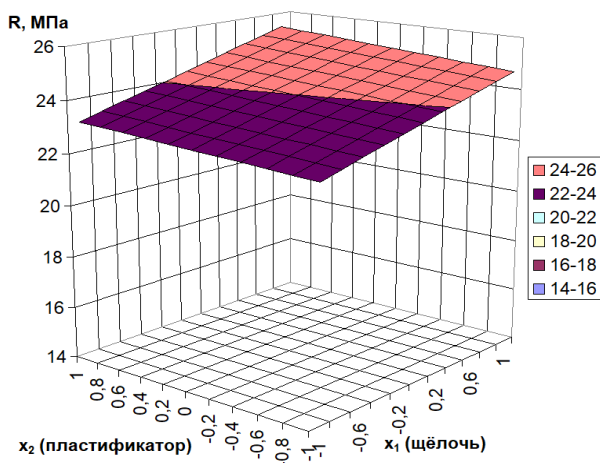


Рис. 1. График изменения прочности при В/Т = 0,2

Прочность камня при В/Т=0,21

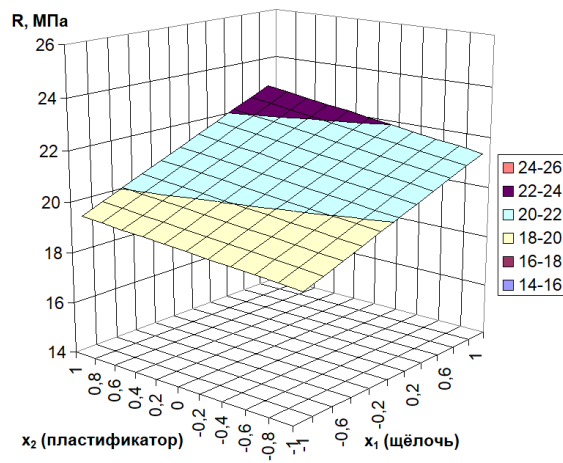


Рис. 2. График изменения прочности при В/Т = 0,21

Прочность камня при В/Т=0,22

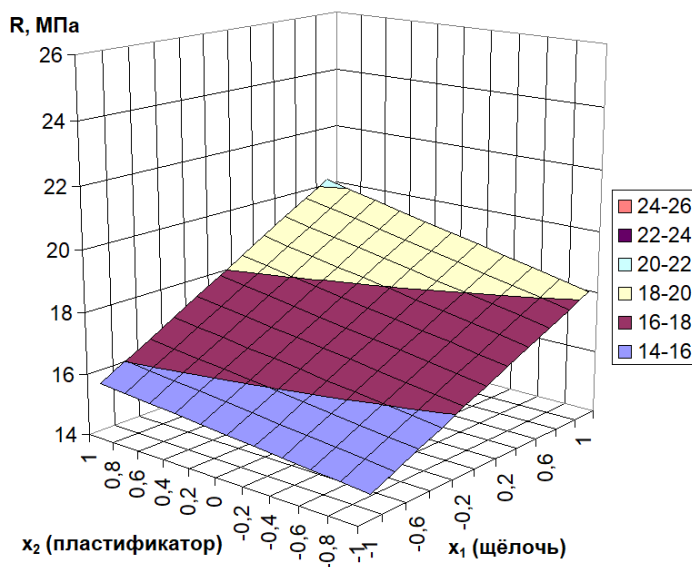


Рис. 3. График изменения прочности при В/Т = 0,22

Выводы. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения бесцементного и безавтоклавного вяжущего на основе стеклобоя и щелочного раствора. Разработана технология получения стеклощелочного вяжущего, которая отличается низкой энергоемкостью. С применением метода математического планирования оптимизирован состав СЩВ и получено уравнение регрессии и графики, отражающие зависимость механической прочности вяжущего от соотношения его компонентов. Вяжущее на основе стеклобоя может найти применение при получении материалов строительного назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К. Энерго-ресурсосбережение в производстве цемента // Современные наукоемкие технологии. 2004. № 1. С. 58–59.
2. Павлушкина Т.К., Кисиленко Н.Г. Использование стекольного боя в производстве строительных материалов // Стекло и керамика. 2011. № 5. С. 27–34.
3. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin : Institute Geopolymer, 2008. 592 p.
4. Sun H., Jain R., Ngugen K., Zuckerman J. Sialite technology – sustainable alternative to Portland cement // Clean Techn Environ Policy. 2010. Vol. 12 Pp. 503–516. DOI: 10.1007/s10098-009-0258-8
5. Чижев Р.В., Кожухова Н.И., Строкова В.В., Жерновский И.В. Алюмосиликатные бесклинкерные вяжущие и области их использования // Вестник БГТУ. 2016. № 4. С. 6–9.
6. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д. Золь-гель технологии. Нанодисперсный кремнезем. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2014. 328 с.
7. Соломатов В.И., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. Цементные композиты, наполненные стеклом // Известия вузов. Строительство. 1997. № 9. С. 72–76.
8. Горлов Ю.П., Меркин А.П., Зейфман М.И. Жаростойкие бетоны на основе композиций из природных и техногенных стекол. М.: Стройиздат, 1986. 144 с.
9. Меркин А.П., Зейфман М.И. Бетоны и изделия на основе кислых вулканических стекол // Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции. Киев, 1979. С. 15–16.
10. Онищук В.И., Жерновая Н.Ф. Физико-химические аспекты формирования структуры ультрадисперсных стекольных суспензий // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. № 3. С. 11–12.
11. Череватова А.В., Пивинский Ю.Е. Материалы на основе высококонцентрированных вяжущих суспензий (ВКВС) // Тезисы докладов Международной конференции молодых ученых по химии и химической технологии. М., 1997. С. 76–77.
12. Четвериков Н.А. Радиационно-защитные композиционные материалы на основе высоковязкой стекольной суспензии // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии. Ч. 5. Инженерная защита окружающей среды: Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 18–19 сент., 2007 г. БГТУ. Белгород, 2007. 229 с.
13. Соломатов В.И. Развитие полиструктурной теории композиционных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1985. № 8. С. 58–64.
14. Соломатов В.И., Выровой В.Н. Физические особенности формирования структуры композиционных строительных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1984. № 8. С. 59–64.
15. Фабрикантова О.Г., Гальченко И.В. Кислотостойкий мелкозернистый бетон автоклавного твердения на основе стекольного вяжущего // Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: Материалы 2 ежегодной научно-практической конференции Северно-Кавказского федерального университета «Университетская наука – региону», Пятигорск, 7–8 апреля, 2014. Ставрополь, 2014. С. 122–126.
16. Кетов П.А., Пузанов С.И., Корзанов В.С. Использование вяжущих свойств дисперсных силикатных стекол при утилизации стеклобоя // Строительные материалы. 2007. № 5. С. 66–67.
17. Богатов А.Д. Структурообразование и свойства строительных материалов на основе отходов стекла // Известия ТулГУ. Серия «Строительные материалы, конструкции и сооружения». Вып. 4, Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. С. 87–100.
18. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии: Учеб. пособие для химико-технологических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1985. 327 с.

Информация об авторах

Воронцов Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: victorvorontsov2012@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рябцева Светлана Васильевна, старший преподаватель кафедры высшей математики.
E-mail: nioly596@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Яремчук Максим Витальевич, аспирант кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций.
E-mail: maks3.1998@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 19.09.2024 г.

© Воронцов В.М., Рябцева С.В., Яремчук М.В., 2025

**Vorontsov V.M., Ryabtseva S.V., Yaremchuk M.V.
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
E-mail: victorvorontsov2012@yandex.ru

CALCULATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF A GLASS-ALKALI BINDER USING MATHEMATICAL EXPERIMENT PLANNING

Abstract. When developing the composition of the cement-free and autoclave-free binder, three main components were identified - cullet, caustic alkali and plasticizer. In the process of wet grinding of these components, a viscous adhesive mass comes out of the mill aggregate for a certain time, capable of curing at a temperature of no more than 90°C, while forming a dense and durable structure. As a result, a glass-alkali binder was obtained, which reaches a mechanical strength of more than 25 MPa during the hardening time of 22–24 hours from the moment of molding.

The developed technology is characterized by low energy consumption, and the binder itself is characterized by high mechanical strength, water resistance and short curing times. Using the method of mathematical planning of the experiment, the composition of the binder was optimized and a regression equation was obtained reflecting the dependence of the mechanical strength of the binder on the ratio of its components. A cullet-based binder can be used in the production of building materials.

Keywords: cullet recycling, binder composition, manufacturing technology, test results, experiment planning matrix, regression equation

REFERENCES

1. Klassen V.K. Energy-resource saving in cement production. [Energo-resursosberejenie v proizvodstve cementa]. Modern science-intensive technologies. 2004. No. 1. Pp. 58–59. (rus)
2. Pavlushkina T.K., Kisilenko N.G. The use of glass fighting in the production of building materials. [Ispolzovanie stekolnogo boja v proizvodstve stroitelnykh materialov]. Glass and ceramics. 2011. No. 5. Pp. 27–34. (rus)
3. Davidovitz J. Geopolymer. Chemistry and applications. Saint-Quentin : Institute Geopolymer, 2008. 592 p.
4. Sun H., Jain R., Ngugen K., Zuckerman J. Sialite technology – sustainable alternative to Portland cement. Clean Techn Environ Policy. 2010. Vol. 12 Pp. 503–516. DOI: 10.1007/s10098-009-0258-8
5. Chizhov R.V., Kozhukhova N.I., Strokova V.V., Zhernovsky I.V. Aluminosilicate linkerless binders and their fields of use [Alumosilicatnye besklinskernye vajuchie i oblasti ich ispolzovania]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 6–9. (rus)
6. Shabanova N.A., Sarkisov P.D. Sol-gel technologies. Nanodisperse silica. [Zol-gel technology. Nanodispersny kremnezem]. M.: BINOM, Laboratory of Knowledge, 2014. 328 p. (rus)
7. Solomatov V.I., Yerofeev V.T., Mitina E.A. Cement composites filled with glass. [Cementnye composity, napolnennye steklom]. Izvestiya vuzov. Construction. 1997. No. 9. Pp. 72–76. (rus)
8. Gorlov Yu.P., Merkin A.P., Zeifman M.I. Heat-resistant concretes based on compositions from natural and man-made glasses. [Garostojkie betony na osnove composity iz prirodnykh i technogennykh stekol]. M.: Stroyizdat, 1986. 144 p. (rus)
9. Merkin A.P., Zeifman M.I. Concretes and products based on acid volcanic glasses. [Betony i izdelia na osnove kislykh vulcanicheskikh stekol]. Slag-alkali cements, concretes and structures: Abstracts of the All-Union Scientific Conference. Kiev, 1979. Pp. 15–16. (rus)
10. Onishchuk V.I., Zhernovaya N.F. Physico-chemical aspects of the formation of the structure of ultrafine glass suspensions. [Fizico-chimicheskie aspekty formirovaniya struktury ultradispersnykh stekolnykh suspenzy]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2010. No. 3. Pp. 11–12. (rus)
11. Cherevatova A.V., Pivinsky Yu.E. Materials based on highly concentrated astringent suspensions

(VKVS) [Materialy na osnove vysokocontsentririrovannykh vajuchich suspenzy (VKVS)]. Abstracts of reports of the International Conference of Young Scientists on Chemistry and Chemical Technology. M., 1997. Pp. 76–77. (rus)

12. Chetverikov N.A. Radiation-protective composite materials based on high-viscosity glass suspension. [Radiatsionno-zachitnye kompozitsionnye materialy na osnove vysokovascyoy stekolnoy suspenzy]. Scientific research, nanosystems and resource-saving technologies in the construction industry. Part 5. Engineering environmental protection: Collection of reports of the International Scientific and practical Conference, Belgorod, September 18-19, 2007. BSTU. Belgorod, 2007. 229 p. (rus)

13. Solomatov V.I. Development of the polystructural theory of composite materials. [Razvitye polystructurnoy teorii kompozitsionnykh materialov]. Izvestiya vuzov. Construction and architecture. 1985. No. 8. Pp. 58–64. (rus)

14. Solomatov V.I., Vyrovoy V.N. Physical features of the formation of the structure of composite building materials. [Fizicheskie osobennosti formirovaniya struktury kompozitsionnykh stroitelnykh materialov]. Izvestiya vuzov. Construction and architecture. 1984. No. 8. Pp. 59–64. (rus)

15. Fabrikantova O.G., Galchenko I.V. Acid-resistant fine-grained autoclave concrete based on

glass binder [Kislotostoykiy melcozernisty beton avtoclavnogo tverdenia na osnove stecolnogo vajuchiego]. Actual problems of construction, transport, mechanical engineering and technosphere safety: Materials of the 2nd annual scientific and practical conference of the North Caucasus Federal University «University Science for the region», Pyatigorsk, April 7-8, 2014. Stavropol, 2014. Pp. 122–126. (rus)

16. Ketov P.A., Puzanov S.I., Korzanov V.S. The use of astringent properties of dispersed silicate glasses in the disposal of cullet. [Ispolzovanie vajuchich svoystv dispersnykh silicatnykh stekol pri utilizatsyi stekloboj]. Building materials. 2007. No.5. Pp. 66–67. (rus)

17. Bogatov A.D. Structure formation and properties of building materials based on glass waste. [Structuroobrazovanie i svoystva stroitelnykh materialov na osnove otchodov stekla]. News of TulSU. The series «Building materials, structures and structures». Issue 4, Tula: TulSU Publishing House, 2003. Pp. 87–100. (rus)

18. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Methods of optimization of experiment in chemical technology. [Metody optimizatsyi experimenta v chimicheskoy technology]. Textbook for chemical and technological specialties of universities. M.: Higher School, 1985. 327 p.(rus)

Information about the authors

Vorontsov, Viktor M. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials Science, Products and Structures. E-mail: victorvorontsov2012@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Ryabtseva, Svetlana V. Senior Lecturer at the Department of Higher Mathematics. E-mail: nioly596@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Yaremchuk, Maxim V. Postgraduate student of the Department of Building Materials Science, Products and Structures. E-mail: maks3.1998@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, Kostyukova str., 46.

Received 19.09.2024

Для цитирования:

Воронцов В.М., Рябцева С.В., Яремчук М.В. Разработка состава и технологии получения стеклощелочного вяжущего // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2025. № 6. С. 32–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-32-38

For citation:

Vorontsov V.M., Ryabtseva S.V., Yaremchuk M.V. Calculation of the optimal composition of a glass-alkali binder using mathematical experiment planning. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 6. Pp. 32–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-32-38