

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-26-32

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

ПЕНОБЕТОН НА СТЕКЛОЩЕЛОЧНОМ ВЯЖУЩЕМ

Аннотация. Пенобетон на основе стеклощелочного вяжущего – это строительный материал с ячеистой структурой, получаемый с использованием стеклобоя в качестве основного компонента вяжущего и щелочного раствора для его активации. Такой подход позволяет создавать безавтоклавные ячеистые и поризованные бетоны с повышенной стойкостью в агрессивных средах. Разработана технология получения пенобетона на основе стеклощелочного вяжущего. Для этого были изучены технические характеристики ряда пенообразователей, из которых выбран наиболее оптимальный – «Пеностром». Также определены модифицирующие добавки, которые формируют прочность межпоровых перегородок пенобетонного каркаса и выступают в роли стабилизаторов пенной структуры ячеистого массива. Приведены расчеты в таблицах, и выбран оптимальный вариант пенообразователя. Изучены физико-механические характеристики полученного пенобетона. Пенобетон на основе стеклощелочного вяжущего обладает технико-эксплуатационными показателями, отвечающими современным стандартным требованиям. Использование предложенной технологии позволит заменить традиционно применяемый промышленностью дорогостоящий портландцемент, упростить саму технологию, существенно снизив ее энергоемкость. Для приготовления пенобетона на основе стеклощелочного вяжущего рекомендуется тонкий помол стекла, чтобы снизить деформации усадки при твердении. Таким образом, пенобетон на стеклощелочном вяжущем представляет собой перспективное направление в производстве строительных материалов, сочетающее особенности ячеистых бетонов и специфические свойства стеклощелочных композиций.

Ключевые слова: стеклощелочное вяжущее, пенообразователи, технология изготовления, состав пенобетона, результаты испытаний, теплопроводность, сорбционная влажность.

Введение. Энергосбережение и ресурсосбережение всегда были и будут оставаться актуальной глобальной проблемой. Современная наука о строительных материалах все больше фокусируется на исследованиях и разработке новых теплоизоляционных материалов и улучшении существующих. Пенобетон, особенно стеклощелочной пенобетон, является таким современным теплоизоляционным материалом с низкой теплопроводностью. Стеклощелочной пенобетон – это высокоэффективный современный строительный материал. К его основным преимуществам относятся энергосберегающее производство, экологичность (перерабатываемое битое стекло), отличная химическая стойкость и биологическая стабильность, а его характеристики могут регулироваться добавками. Он подходит для широкого спектра применений: от теплоизоляции до строительства в суровых условиях [1–5].

Стеклощелочной пенобетон – это пористый бетон со стеклощелочной связью: порошок битого стекла, смешанный со щелочным раствором. Этот пористый материал имеет закрытые поры и низкую теплопроводность. Использование аморфных или стекловидных материалов является перспективным решением для экономии ресурсов и повышения теплоизоляционных характеристик строительных материалов, поскольку их теплопроводность значительно ниже, чем у кристаллических материалов [6]. Поэтому

разработка стеклосодержащего связующего состава, способного обеспечить прочность при нормальных условиях температуры и влажности или при температуре термообработки не выше 100°C, имеет большое значение. На основе полученного связующего необходимо подобрать подходящий состав, разработать энергосберегающий производственный процесс для пенобетонной конструкционной теплоизоляции и определить области его рационального применения.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- создание теоретической основы для целесообразности производства неавтоклавированного пенобетона на основе измельченного стекла;
- выбор эффективных структурообразующих добавок;
- определение наиболее подходящего состава пенобетона в зависимости от области применения;
- исследование основных физико-механических свойств и эксплуатационной долговечности пенобетона с использованием стеклощелочных связующих.

Ранее авторы разработали составы и производственные процессы для стеклощелочных связующих и изучили их физико-механические свойства [7, 8]. Применение этого связующего в производстве пенобетона является отправной

точкой данного исследования. В целом, разработка геополимерного пенобетона (одним из типов которого является пенобетон на основе стеклощелочного связующего) представляет собой относительно новую область материаловедения в строительстве, поскольку данные о взаимосвязи между составом, структурой и свойствами этих материалов весьма ограничены [9].

Материалы и оборудование 1. Бой оконного и тарного стекла. При получении композиционного вяжущего использовался бой оконного и тарного стекла. Бой стекла сначала предварительно дробился в лабораторной щековой дробилке затем дробленый бой оконного и тарного стекла просеивался сквозь сито с размером отверстий 2,5 мм, а затем просеянный бой измельчался в порошок в шаровой фарфоровой мельнице.

2. Щелочной компонент – натриевая гранулированная щелочь, ГОСТ 4328–77, марки «х.ч.» (табл. 1).

3. **Пенообразователи.** В качестве пенообразующих материалов были использованы синтетические пенообразователи: «Морпен», ТУ 2481-008-22299560-02; «ТЭАС», ТУ 2481-005-45811049-01; «ПБ-формула», ТУ 2481-008-80824910-2012; «Пеностром», ТУ 2481-001-22299560-99. Производитель названных пенообразователей – ООО «Щит», г. Шебекино, Белгородская обл.

Технические характеристики пенообразователей определялись с использованием стандартных методик, согласно ГОСТ Р 50588–2012. При этом изучались параметры: плотность (ρ); pH; кратность пены (K_p) – отношение объема пены к начальному объему пенообразователя; стойкость пены (C_p) – время «таяния» пены; отход жидкости ($O_{ж}$) – время, за которое из столба пены выделится 50 % жидкости; масса сухого остатка после выпаривания жидкой фазы ($M_{ост.}$). Результаты исследований приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики натриевой гранулированной щелочи

Наименование показателя	Норма Химически чистый (х.ч.) ОКП 26 1142 0083 01
1. Массовая доля гидроокиси натрия (NaOH), %, не менее	99
2. Массовая доля углекислого натрия (Na_2CO_3), %, не более	0,8
3. Массовая доля общего азота, %, не более	0,0003
4. Массовая доля кремнекислоты (SiO_2), %, не более	0,002
5. Массовая доля сульфатов (SO_4), %, не более	0,0005
6. Массовая доля фосфатов (PO_4), %, не более	0,0005
7. Массовая доля хлоридов (Cl), %, не более	0,0025
8. Массовая доля алюминия (Al), %, не более	0,0005
9. Массовая доля железа (Fe), %, не более	0,0005
10. Массовая доля кальция и магния в пересчете на Mg, %, не более	0,005
11. Массовая доля калия (K), %, не более	0,01
12. Массовая доля тяжелых металлов (Ag), %, не более	0,0005
13. Массовая доля мышьяка (As), %, не более	0,00004

Таблица 1

Технические характеристики пенообразователей

Наименование	ρ , г/см ³	pH	K_p	C_p , ч.	$O_{ж}$, мин.	$M_{ост.}$ %	Цвет
Морпен	1,026	7,8	5,2	3	30	18	коричневый
ТЭАС	1,032	5,6	5,0	3	20	16,5	коричневый
ПБ-формула	1,017	6,5	4,5	3	15	12,8	прозрачный
Пеностром	1,023	5,3	5,0	3	15	10	коричневый

4. **Жидкое стекло натриевое** – производства ООО «ЛОНТРЕК», г. Москва, ГОСТ 13078–81. Силикатный модуль – 2,75; плотность – 1,42 г/см³.

5. **Силикат-глыба**, модуль 2,81, производитель Торговый дом «Стеклопродукт», г. Шебекино. Является полуфабрикатом при производстве жидкого стекла.

Среди измельчительного оборудования были задействованы лабораторная щековая дробилка и фарфоровая шаровая мельница, объемом

4 л. Тепловую обработку образцов осуществляли в сушильном шкафу ШС-80-01 СПУ, производства ОАО «Смоленское СКТБ СПУ», г. Смоленск. Выдерживались образцы в эксикаторе с водой.

Испытания образцов на прочность при сжатии проводились, согласно ГОСТ 10180–2012 на гидравлическом прессе ПГМ-50МГ4, производства Челябинского СКБ «Стройприбор». Теплопроводность измерялась на приборе ИТС-1 «150», производства ООО НПП «Интерприбор», г. Челябинск.

Основная часть. В процессе получения пенобетона раствор пенообразователя смешивался в рассчитанной пропорции со стеклощелочной массой (вяжущим), стекло и натриевая гранулированная щелочь ГОСТ 4328–77, марки «х.ч.».

Смешивание вначале осуществлялось вручную (шпателем), а после достижения нужной консистенции – в лабораторном миксере со скоростью 250 об/мин. Время перемешивания в миксере составляло 2 мин. Далее полученная пенобетонная масса заполняла металлические формы с ячейками-кубами с размером ребра 3 см и выдерживалась до набора распалубочной прочности в течение двух суток. После распалубки образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 85–90°C в течение 4-х ч. По окончании тепловой обработки образцы доставали из сушильного шкафа и затем подвергались физико-механическим испытаниям.

На первом этапе важно было определить наиболее подходящий пенообразователь и его концентрацию. Среди всех опробованных пенообразователей наиболее эффективно себя проявил «Пеностром». Образцы, полученные с его участием, сохраняли свою ячеистую структуру в течение двух суток после изготовления, при этом пена не оседала, и отход жидкости (синерезис) был минимальным. После этого, взяв за основу данный пенообразователь, был проделан ряд экспериментов по обнаружению оптимальной концентрации пенообразователя и изучения свойств полученного пенобетона.

Предварительные результаты показали, что для того, чтобы достичь плотности менее 1000 кг/м³ (такая ставилась вначале цель), требуется использовать в составе смеси не менее 1 % пенообразователя от стеклощелочной массы, но при этом наблюдалась довольно низкая прочность – не более 1 МПа. Авторы работ [10–12] также получили аналогичные результаты, объясняя это тем, что использование только мелкодисперсного стеклянного порошка в составе пенобетона оказалось неэффективным, приводя к повыше-

нию хрупкости перегородок пор и, следовательно, к значительному снижению прочности. Для устранения этого неблагоприятного эффекта авторы использовали в качестве добавки жидкое стекло, обладающее химическим сродством с измельченным стеклом. В итоге они получили газобетон с прочностью до 2 МПа и плотностью 150–320 кг/м³.

Авторами данного исследования была использована совместная добавка силикат-глыбы и жидкого стекла в соотношении 1:1 (индивидуальные добавки существенного эффекта не дали). Твердая силикат-глыба сначала загружалась в мельницу совместно со стеклобоем, а растворимое жидкое стекло – с щелочным раствором. Остальные операции соответствовали вышеописанным.

Средняя плотность определялась методом замера расстояний противоположных граней сухих образцов с помощью штангенциркуля с точностью до 0,1 мм и взвешиванием на технических электронных весах с точностью до 0,01 г. Истинная плотность определялась пикнометрическим методом и оказалась равной 2,5 г/см³, что соответствует плотности оконного стекла.

Для пористых композитных материалов пористость является ключевой характеристикой, определяющей их основные теплофизические свойства, а, следовательно, и ключевой характеристикой, определяющей эффективность их практического применения. Общую пористость образцов пенобетона рассчитывали стандартными методами в соответствии с ГОСТ 12730.4–2020 и вычисляли по формуле:

$$П = \frac{\rho_{\text{ист}} - \rho_{\text{ср}}}{\rho_{\text{ист}}} \cdot 100 \%,$$

где $\rho_{\text{ист}}$ и $\rho_{\text{ср}}$ – истинная и средняя плотности соответственно.

Как показали результаты (табл. 3), на основании стеклощелочного вяжущего при участии совместных добавок силикатной глыбы и жидкого стекла, а также синтетического пенообразователя «Пеностром», может быть получен пенобетон с плотностью от 1020 до 728 кг/м³ и прочностью на сжатие от 0,4 до 2,15 МПа. При этом составы №№ 2 и 3 соответствуют требованиям ГОСТ 25485–2019.

Для испытаний на теплопроводность был выбран состав № 2. Образцы данного состава были изготовлены в формах размером 150×150×20 мм, согласно руководству по эксплуатации прибора-тепломера ИТС «150». В результате испытаний теплопроводность оказалась равной 0,117–0,119 Вт/(м·К), что соответствует требованиям упомянутого стандарта для ячеистого бетона марки по плотности D500.

Известно, что на теплопроводность материала оказывает влияние его влажность, поэтому важным этапом дальнейших исследований было изучение способности материала поглощать

(сорбировать) влагу из воздуха и в значительной мере определить его теплотехнические свойства, а также характеристики ограждающих конструкций зданий в процессе их эксплуатации.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов пенобетона*

№	Содержание компонентов, мас. %			В/Т	ПО	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Пористость, %
	СЩВ	СГ	ЖС					
1	96,8	1,6	1,6	0,23	1,00	1020	2,15	59,2
2					1,12	828	1,21	66,9
3					1,28	748	1,0	70,0
4					1,44	728	0,4	70,9

*Обозначения: СЩВ – стеклощелочное вяжущее; СГ – силикат-глыба; ЖС – жидкое стекло; В/Т – водотвердое отношение; ПО – пенообразователь (в % от массы СЩВ).

Равновесная сорбционная влажность строительных материалов в значительной степени определяет процесс тепло- и влагопереноса через внешнюю ограждающую конструкцию и, следовательно, тепловое сопротивление в реальных условиях эксплуатации. Поэтому при расчете теплового сопротивления конструкции крайне важно понимать сорбционную влажность материалов, из которых она состоит [13–15].

Для проведения данного эксперимента использовалась методика ускоренного определения сорбционной влажности – ГОСТ 17177–94, а также рекомендации, изложенные в публикациях [16–18]. В эксперименте использовались обломки образцов №№ 2 и 3 (табл. 3) после прочностных испытаний. Их измельчили, затем пробу массой 5 грамм взвесили и поставили высушивать до постоянной массы. Затем емкость с пробой материала поместили в эксикатор над водой и выдерживали в течение суток, а потом в течение трех суток. После истечения времени емкости с образцами взвешивали, затем записывали показатели. Объемы проб материала, одновременно помещенных в эксикатор, не должен превышать 50 % объема воздушного пространства в эксикаторе. Как показали результаты, обе серии образцов в течение суток поглощают от 2,33 до 2,40 % влаги из воздуха. Указанный стандарт не вносит ограничений на сорбционную влажность материалов, однако полученные значения несколько ниже, чем у цементных ячеистых бетонов. Это объясняется тем, что основная масса СЩВ (около 97 %) состоит из боя стекла, не обладающего гигроскопичностью, а поглощает влагу из воздуха лишь щелочная составляющая, содержание которой не превышает 3–3,5 % от массы вяжущего.

Выводы. Из всего выше перечисленного можно сделать вывод что, на основе стеклощелочного вяжущего разработана технология, и получен конструкционно-теплоизоляционный пенобетон со значениями плотности – 728–1020

кг/м³, прочности на сжатие – 0,4–2,15 МПа и теплопроводностью – 0,117–0,119 Вт/(м·К), а также со значениями сорбционной влажности – 2,3–2,4 % за сутки поглощения. Совместная добавка «жидкое стекло-силикатная глыба», которая была применена в данной работе, выполняет структурно-образующую функцию, формируя основу прочного геополимерного каркаса. Она также выступает в роли стабилизатора пенной структуры ячеистого массива. Также необходимо учитывать совместимость работы пенообразователя со щелочью, так как высокий показатель щелочности может препятствовать равномерному появлению пористой структуры из-за быстрого разрушения воздушных пузырьков. Требуется постоянный контроль за равномерностью распределения компонентов в смеси, чтобы обеспечить однородность пористости данного материала. Использование данного бесцементного и безобжигового стеклощелочного вяжущего вместо дорогостоящего портландцемента позволит существенно снизить производственные энергозатраты, получить экологически чистый материал, упростить саму технологию и получить пенобетон, соответствующий стандартным требованиям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kozhukhova N., Teslya A., Kozhukhova M. Nikulin I. The Effect of Different Modifying Methods on Physical, Mechanical and Thermal Performance of Cellular Geopolymers as Thermal Insulation Materials for Building Structures // Buildings. 2022. Vol. 12(2). 241. DOI 10.3390/buildings12020241.
2. Кожухова Н. И. Опыт производства ячеистых бетонов на основе геополимерных вяжущих // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 4. С. 8–23. DOI 10.34031/2071-7318-2023-8-4-8-23.
3. Kozhukhova N.I., Glazkov R.A., Ageeva M.S., Kozhukhova M.I., Nikulin I.S., Zhernovskaya

I.V. Physical, Mechanical and Microstructural Characteristics of Perlite-Based Geopolymers Modified with Mineral Additives // Journal of Composites Science. 2024. Vol. 8 (6). 211. DOI: 10.3390/jcs8060211.

4. Shi J., Bayraktar O.Y., Bayrak B., Bodur B., Oz A., Kaplan G., Aydin A.C. Physical, mechanical and microstructural properties of one-part semi-lightweight geopolymers based on metakaolin modified with gypsum and lime // Materials Chemistry and Physics. 2024. Vol. 313. 128681. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2023.128681

5. Tchakouté H.K., Rüschler C.H., Kong S., Kamseu E., Leonelli C. Geopolymer binders from metakaolin using sodium waterglass from waste glass and rice husk ash as alternative activators: A comparative study // Construction and Building Materials. 2016. 114. Pp. 276–289. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.184

6. Гороховский А.В., Мещеряков Д.В. Бурмистров И.Н. Теплоизоляционный материал на основе боя стекла, подвергнутого механохимической активации. // Стекло и керамика. 2010. № 1. С. 6–9.

7. 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. EDN: TEYUXI

8. Лесовик В.С., Воронцов В.М., Яремчук М.В. Бесцементное и безобжиговое вяжущее и способ его активации // Строительные материалы. 2026. № 1-2. С. 55–59. DOI: 10.31659/0585-430X-2026-843-1-2-55-59 EDN: LTWNKM

9. Zhang Z., Provis J., Reid A., Wang H. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction // Construction and Building Materials. 2014. Vol. 56. Pp. 113–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081.

10. Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Богатова С.Н., Борискин А.С. Ячеистые и поризованные

бетоны на стеклощелочном связующем // Транспортное строительство. 2009. № 8. С. 14–17. EDN: KUIBEV

11. Самченко, С.В., Александрова, О.В., Зайцева А.А. Влияние плотности жидкого стекла на свойства газобетона // Техника и технология силикатов. 2019. № 3. С.78–82.

12. Зайцева А.А., Зайцева Е.И., Самченко С.В. Перспективные теплоизоляционные материалы на основе стеклобоя и жидкого стекла // Техника и технология силикатов. Т. 28. № 1. 2021. С. 17–20. EDN: KFVCDK

13. Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В. Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов // Строительство и реконструкция. 2015. № 4. С. 168–172. EDN: UAXPFL

14. Гагарин В.Г., Пастушков П.П., Реутова Н.А. К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции // Строительство и реконструкция. 2015. № 4. С. 152–155. EDN: UAXPEN

15. Гагарин В.Г., Пастушков П.П. Определение влажности строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8. С. 28–33. EDN: UGYVUD

16. Киселев И.Я. Влияние равновесной сорбционной влажности строительных материалов на сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 8 (187). С. 34–35. EDN: SZSXHD

17. Киселев И.Я. Метод ускоренного определения равновесной сорбционной влажности легких и ячеистых бетонов // Строительные материалы. 2016. № 6. С. 12–14. EDN: WFGMBX

18. Черных В.А., Баранова А.А., Скулин А.С., Коцырь А.И. Определение сорбционной влажности ячеистых бетонов // Современные технологии и научно-технический прогресс. 2021. Т. 1. № 8. С. 203–204. EDN: JYFPCX

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.

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.

Лесовик Руслан Валерьевич, доктор технических наук, профессор, зав. кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 29.12.2025 г.

© Воронцов В.М., Яремчук М.В., Лесовик Р.В., 2026

***Vorontsov V.M., Yaremchuk M.V., Lesovik R.V.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: victorvorontsov2012@yandex.ru

FOAM CONCRETE BASED ON GLASS-ALKALI BINDING

Abstract. Foam concrete based on glass-alkali binder is a building material with a cellular structure obtained using glass waste as the main component of the binder and an alkaline solution for its activation. This approach allows for the creation of non-autoclaved cellular and porous concrete with increased resistance to aggressive environments. A technology has been developed for producing foam concrete based on glass-alkali binder. To achieve this, the technical characteristics of a range of foaming agents were studied, and the most suitable option was selected: Penostrom. It is also determined modifying additives that form the strength of the inter-pore partitions of the foam concrete frame and act as stabilizers of the foam structure of the cellular array. Calculations are given in the tables and the optimal option is selected. The physical and mechanical characteristics of the obtained foam concrete are studied. Foam concrete based on glass-alkaline binder has technical and operational indicators that meet modern standard requirements.

Keywords: glass-alkaline binder, foaming agents, manufacturing technology, foam concrete composition, test results, thermal conductivity, sorption moisture.

REFERENCES

1. Kozhukhova N., Teslya A., Kozhukhova M. Nikulin I. The Effect of Different Modifying Methods on Physical, Mechanical and Thermal Performance of Cellular Geopolymers as Thermal Insulation Materials for Building Structures. Buildings. 2022. Vol. 12(2). 241. DOI: 10.3390/buildings12020241
2. Kozhukhova N. I. Experience in the production of cellular concrete based on geopolymer binders [Opyt proizvodstva yacheistykh betonov na osnove geopolymernykh vyazhushchikh]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 4. Pp. 8–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-8-23 (rus)
3. Kozhukhova N.I., Glazkov R.A., Ageeva M.S., Kozhukhova M.I., Nikulin I.S., Zhernovskaya I.V. Physical, Mechanical and Microstructural Characteristics of Perlite-Based Geopolymers Modified with Mineral Additives. Journal of Composites Science. 2024. Vol. 8 (6). 211. DOI: 10.3390/jcs8060211.
4. Shi J., Bayraktar O.Y., Bayrak B., Bodur B., Oz A., Kaplan G., Aydin A.C. Physical, mechanical and microstructural properties of one-part semi-lightweight geopolymers based on metakaolin modified with gypsum and lime. Materials Chemistry and Physics. 2024. Vol. 313. 128681. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2023.128681
5. Tchakouté H.K., Rüschler C.H., Kong S., Kamseu E., Leonelli C. Geopolymer binders from metakaolin using sodium waterglass from waste glass and rice husk ash as alternative activators: A comparative study. Construction and Building Materials. 2016. 114. Pp. 276–289. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.184
6. Gorokhovskii A.V., Meshcheryakov D.V., Burmistrov I.N. Heat-Insulating Material Based on Glass Cullet Subjected to Mechanochemical Activation [Teploizolyatsionnyi material na osnove boya stekla, podvergnutogo mekhanokhimicheskoi aktivatsii]. Glass and Ceramics. 2010. No. 1. Pp. 6–9. (rus)
7. Vorontsov V.M., Ryabtseva S.V., Yaremchuk M.V. Development of the Composition and Technology for Producing a Glass-Alkali Binder [Razrabotka sostava i tekhnologii polucheniya stekloshchelohnogo vyazhushchego]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2025. No. 6. Pp. 32–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-6-32-38 EDN: TEYUXI (rus)
8. Lesovik V.S., Vorontsov V.M., Yaremchuk M.V. Cement-Free and Non-Fired Binder and Method for Its Activation [Bestsementnoe i bezobzhigovoe vyazhushchee i sposob ego aktivatsii]. Building Materials. 2026. No. 1-2. Pp. 55–59. DOI: 10.31659/0585-430X-2026-843-1-2-55-59 EDN: LTWNKM (rus)
9. Zhang Z., Provis J., Reid A., Wang H. Geopolymer foam concrete: An emerging material for sustainable construction. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 56. Pp. 113–127. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.01.081.
10. Erofeev V.T., Bogatov A.D., Bogatova S.N., Boriskina A.S. Cellular and Porous Concretes on a Glass-Alkali Binder [Yacheistye i porizovannye betony na stekloshchelohnom svyazuyushchem].

Transport Construction. 2009. No. 8. Pp. 14–17. EDN: KUIBEV (rus)

11. Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Zaitseva A.A. Effect of Liquid Glass Density on the Properties of Aerated Concrete [Vliyanie plotnosti zhidkogo stekla na svoistva gazobetona]. Technique and Technology of Silicates. 2019. No. 3. Pp. 78–82. (rus)

12. Zaitseva A.A., Zaitseva E.I., Samchenko S.V. Promising Heat-Insulating Materials Based on Glass Cullet and Liquid Glass [Perspektivnye teploizolyatsionnye materialy na osnove stekloboya i zhidkogo stekla]. Technique and Technology of Silicates. 2021. Vol. 28, No. 1. Pp. 17–20. EDN: KFVCDK (rus)

13. Pastushkov P.P., Pavlenko N.V., Korkina E.V. Using the Calculated Determination of Operational Humidity of Heat-Insulating Materials [Ispol'zovanie raschetnogo opredeleniya ekspluatatsionnoi vlazhnosti teploizolyatsionnykh materialov]. Construction and Reconstruction. 2015. No. 4. Pp. 168–172. EDN: UAXPFL (rus)

14. Gagarin V.G., Pastushkov P.P., Reutova N.A. On the Issue of Assigning the Calculated Humidity of Building Materials According to the Sorption Isotherm [K voprosu o naznachenii raschetnoi vlazhnosti stroitelnykh materialov po izoterme sorbtzii]. Construction and Reconstruction. 2015. No. 4. Pp. 152–155. EDN: UAXPEH (rus)

15. Gagarin V.G., Pastushkov P.P. Determination of the Humidity of Building Materials [Opredelenie vlazhnosti stroitelnykh materialov]. Industrial and Civil Engineering. 2015. No. 8. Pp. 28–33. EDN: UGYVUD (rus)

16. Kiselev I.Ya. Effect of Equilibrium Sorption Humidity of Building Materials on the Thermal Resistance of External Enveloping Structures of Buildings [Vliyanie ravnovesnoi sorbtzionnoi vlazhnosti stroitelnykh materialov na soprotivlenie teploperedache naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktii zdaniy]. Building Materials, Equipment, Technologies of the 21st Century. 2014. No. 8 (187). Pp. 34–35. EDN: SZSXHD (rus)

17. Kiselev I.Ya. Method for Accelerated Determination of Equilibrium Sorption Humidity of Lightweight and Cellular Concretes [Metod uskorenogo opredeleniya ravnovesnoi sorbtzionnoi vlazhnosti legkikh i yacheistyykh betonov]. Building Materials. 2016. No. 6. Pp. 12–14. EDN: WFGMBX (rus)

18. Chernykh V.A., Baranova A.A., Skulin A.S., Kotsyr A.I. Determination of Sorption Humidity of Cellular Concretes [Opredelenie sorbtzionnoi vlazhnosti yacheistyykh betonov]. Modern Technologies and Scientific and Technical Progress. 2021. Vol. 1, No. 8. Pp. 203–204. EDN: JYFPCX (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.

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.

Lesovik, Ruslan V. Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: ruslan_lesovik@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 29.12.2025

Для цитирования:

Воронцов В.М., Яремчук М.В., Лесовик Р.В. Пенобетон на стеклощелочном вяжущем // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 7. С. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-26-32

For citation:

Vorontsov V.M., Yaremchuk M.V., Lesovik R.V. Foam concrete based on glass-alkali binding. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 7. Pp. 26–32. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-7-26-32