

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Belov V.V., Barkaya T.R., Kulyaev P.V. Creep fine carbonate concrete at different stress levels // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 4 (16), pp. 5–12.

**УДК 699.844**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОБОЯ КАК ВТОРИЧНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ  
В СОСТАВЕ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

***Е.А. Зеленов, В.В. Белов***

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Зеленов Е.А., Белов В.В., 2022

**Аннотация.** Рассмотрены возможности разработки ресурсосберегающей технологии производства бетонных смесей с использованием стеклобоя в качестве крупного заполнителя для изготовления монолитных полов. Изучены способы применения стеклобоя в качестве материала для строительства, перспективы его использования в качестве заполнителя для бетонов. Показано, что стекольный бой, плотность которого ниже плотности традиционных заполнителей, может служить отличным сырьем и выступать в качестве заполнителя бетона, а также способствовать сокращению затрат на добычу природных ресурсов и уменьшению энергии для их переработки.

**Ключевые слова:** стекло, стеклобетон, отходы стекла, заполнитель, свойства.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-4-12-20**

В настоящее время одним из перспективных направлений является разработка энергоресурсосберегающих технологий, в которых вместо первичных применяются вторичные сырьевые материалы. Это позволяет уменьшить объемы отходов в окружающей среде и вовлечь их в ресурсный цикл, сократив при этом объемы использования первичных природных ресурсов.

Стекланные отходы – одни из основных. Они представляют собой трудноутилизируемый материал, имеющий различный дисперсный состав, который практически не используется повторно.

В строительстве бетон может применяться как в любых конструкциях, несущих и самонесущих, так и в изделиях декоративных и отделочных. В настоящее время товарооборот бетона сокращается из-за кризиса, пандемии и нехватки ресурсов. Встает вопрос о внедрении новых энергоресурсосберегающих технологий, которые позволят увеличить объемы производства и снизить потребность в первичных природных ресурсах.

Стеклобой может быть использован не только при производстве стеклотары, но и в сфере производства строительных материалов, в том числе теплоизоляционных (стеклокерамзита, стеклоблоков, пеностекла, ячеистого бетона) [1–3].

Ресурсная база несортированного боя технических стекол представляется весьма значительной для производства строительных материалов, в том числе для производства бетонной смеси с заполнителем из стекольного боя.

В качестве потенциальных потребителей стеклобоя могут выступать предприятия по выпуску строительных материалов, изделий и конструкций.

Возможность использования стеклобоя при производстве строительных материалов различного назначения доказана перечнем исследований, проводимых в разные годы во многих научно-исследовательских организациях и ведущих технических вузах Российской Федерации [4, 5].

Стеклобой широко используется в качестве заменителя природного сырья. В первую очередь речь идет о частичной замене шихты стеклобоем, которая позволяет ощутимо сократить расход сырьевых материалов, снизить энергетические затраты и сэкономить топливо.

Измельченный стеклобой может быть использован при производстве цветной декоративной облицовочной плитки, декоративном оформлении жилых и промышленных зданий и сооружений, для внутренней отделки помещений, создания декоративных панно и фасадной облицовочной и теплоизоляционной керамики (плитки, плит, блоков и кирпича). Кроме того, он может применяться в качестве компонента глазури для покрытия плитки.

Стеклобой используется при производстве пеностекла. Способ получения последнего включает предварительное измельчение стеклобоя, его мокрый помол с получением стекольной вяжущей суспензии, формование, вспенивание, выдержку при температуре вспенивания и отжиг. В частности, существует аналог гранулированного пеностекла – заполнитель искусственный пористый, применяемый при приготовлении легких и силикатных бетонов.

В ближайшем зарубежье на базе Карагандинского государственного технического университета имени Абылкаса Сагинова проводятся эксперименты с целью изучения замещения части цемента в составе тяжелого бетона мелкодисперсным стеклом [6].

Бой стекла применяется в дорожном строительстве в составе асфальтобетона или так называемого гласфальта (от англ. glass – стекло, asphalt – асфальт) [7]. Стеклобой используется в качестве заполнителя при производстве дорожных и тротуарных покрытий [8], а также для получения стеклянных микрошариков, которые могут быть использованы в том числе при изготовлении световозвращающих устройств для дорог [9].

Известен способ производства плит для защиты и предупреждения случайного повреждения прокладываемых в траншеях электрических кабелей, в которых отходы в виде битого измельченного стекла применяются в качестве наполнителя [10].

В западных странах также создаются новые материалы на основе стеклобоя. В Америке изобретены белые и цветные кирпичи, сделанные из стеклобоя и макулатуры, а также материал тиксит, получаемый из дробленого стеклобоя, строительного бутового камня и глины. В Великобритании известно применение стеклобоя в качестве материала или основы для дренажа для многослойных конструкций в пределах проезжей части автомобильной дороги [11].

В НИУ МГСУ с конца XX века проводились различные исследования [12–14] возможности применения тонкоизмельченного боя искусственных стекол в качестве наполнителей и заполнителей для бетона и для получения вяжущих как автоклавного, так

и неавтоклавного твердения. Были получены новые строительные материалы, которые характеризовались высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В частности, элементы мощения, изготовленные по вибропрессовой технологии, имели прочность при сжатии от 35 до 60 МПа, морозостойкость  $F_1$  более 250 циклов и характеризовались высокой коррозионной стойкостью по отношению к солям, кислотам, щелочам. В строительном университете также велась разработка состава вяжущего для получения конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона неавтоклавного твердения со следующими показателями: марки по плотности – D600–D800, классы по прочности – B1,5–B2,5, теплопроводность – 0,12–0,16 Вт/м°C [14].

В настоящее время в НИУ МГСУ проводятся исследования с целью создания безавтоклавных, экологически чистых, энергосберегающих технологий производства новых видов строительных материалов, в том числе теплоизоляционных, на основе стекольного боя [15, 16]. Работы ведутся в области создания строительных растворов, мелкозернистых бетонов и поризованных теплоизоляционных материалов на основе стеклобоя, подборов их составов и технологий изготовления. Так, был разработан способ изготовления конструкционно-теплоизоляционных изделий методом электропрогрева, включающий приготовление смеси на основе жидкого стекла, стеклобоя и полистирола [14].

В статьях [17, 18] приведены примеры того, как использование вторичных видов сырья помогает снизить затраты на добычу и обработку необходимых ресурсов. Во-первых, используются отходы в 2–3 раза дешевле природного сырья, во-вторых, расход энергии уменьшается на 10–40 %.

Исследования [19] показали, что каждая тонна переработанного стекла экономит более тонны природного сырья, в том числе около 650 кг песка, 186 кг соды и около 200 кг известняка; данная экономия распространяется на всю сырьевую цепочку, включая добычу сырья и его перевозку. Авторы статьи [20] столкнулись с проблемой вторичного использования стеклобоя в нашей стране. Она заключается в неорганизованности сбора стеклянного боя, сложности и трудоемкости процесса сбора, очистки, сортировки стеклянного сырья.

В статье [21] подчеркнуто, что использование стеклобоя позволяет получить бетоны с характеристиками, превосходящими по прочности обычные бетоны на песчаном заполнителе. Такое увеличение прочности будет достигаться за счет поверхностной кристаллизации крупного заполнителя. Кроме того, в статье [21] говорится о возможности использования тонкодисперсного стекла, но уже в виде вяжущего или с дальнейшей переработкой в пеностекло. Экспериментально установлено [17], что мелкие и крупные фракции стекла применять нецелесообразно по причине большей вероятности протекания силикатно-щелочной реакции, однако ее можно подавить при помощи добавок или путем предварительной термообработки.

Авторы статей [17, 18] считают наиболее эффективным использование пеностекла в качестве заполнителя. Это позволит получить широкий диапазон свойств.

Существуют не только плюсы использования стекла в бетоне, но и минусы. Взаимодействие натрий-кальциевого стекла с цементным камнем создает серьезную проблему при использовании стеклобоя в качестве наполнителя. В результате этой реакции образуется силикатный гель, накопление которого может привести к увеличению осмотического давления внутри затвердевшего бетона и его растрескиванию

[17, 19, 22–24]. Больше всего подвержены коррозионному разрушению бетоны с использованием естественного и смешанного фракционного состава [17, 22].

Исследования [17] показали, что избежать щелочесиликатной реакции при использовании стеклобоя в качестве мелкого заполнителя без дополнительных обработок и добавок невозможно.

В статье [22] рассмотрена проблема внутренней коррозии, связанной с протеканием щелочесиликатной реакции между частицами наполнителя. Авторы статьи [22] предлагают такие решения проблемы: 1) использование низкощелочных цементных вяжущих; 2) применение заполнителей, не содержащих реакционноспособный диоксид кремния. Кроме того, предлагается применять минимальное количество цемента или изготавливать бетон на цементах, содержащих небольшое количество щелочей, использовать добавки к цементу, которые позволяют уменьшить количество щелочей в цементе или вводить гидрофобизирующие и газовыделяющие добавки.

Применение типового ряда модификаторов бетона может существенно затормозить проявление щелочной коррозии. К такому выводу пришли авторы статьи [23]. Они предлагают использовать в качестве подавителя деформаций расширения при щелочной коррозии «Лигнопан Б-4», УПД-1, МЛ-2 и (особенно эффективно) суперпластификатор С-3.

В статье [24] авторы использовали активную минеральную добавку, имеющую кислый характер, что привело к уменьшению основности вяжущего и понижению активности щелочи за счет химического поглощения последней активными компонентами смешанного вяжущего. Гидравлически активными компонентами смешанного вяжущего являются аморфный кремнезем цеолитсодержащей породы и стеклофаза золы ТЭЦ.

Альтернативой добавкам выступили методы, описанные в статьях [17, 21]. Авторы пришли к выводу о том, что необходима кристаллизация стекла на поверхности заполнителя, которая приведет к подавлению силикатно-щелочной реакции. Для этого требуется провести термообработку стекла в печи, после чего на поверхности стекла образуется кристаллическая «пленка», которая в дальнейшем и предотвратит начало коррозии.

Авторы статьи [21] также рассмотрели полное подавление щелочно-силикатной реакции путем добавления высокодисперсного оксида кремнезема (0,5–5 %) и использовали ионно-модифицированное стекло с заменой  $\text{Na}^+$  на  $\text{H}^+$ .

Для эффективного применения стекольного заполнителя необходимо определиться с фракционным составом. В статье [17] были рассмотрены различные фракционные составы стеклобоя в бетоне и проанализировано их влияние на итоговую прочность. В результате этого выяснилось, что предпочтительная фракция – 1,2 мм и выше. Самый минимум прочности достигается на фракции 0,1–0,3 мм. Существенное расширение образцов (вследствие силикатно-щелочной реакции) достигается на заполнителе 1,25 мм. При размере частиц меньше 50 мкм происходит аномальный рост прочности, что обусловлено высокой удельной поверхностью. Чтобы использовать крупные фракции от 5 до 20 мм, необходимы две добавки: суперпластификатор и замедлитель схватывания. Это позволит снизить воздействие щелочесиликатной реакции на бетон [25].

Авторы статьи [20] получили данные, в которых описывается применение различного вида стеклобоя в бетоне в зависимости от назначения конструкции. Таким образом, для изделий автоклавного твердения добавка стеклобоя в объеме 1,2 % позволяет получить материал с плотностью 1 230 кг/м<sup>3</sup>. Молотое стекло в составе 2–30 % с

различными добавками позволяет изготовить кислотостойкие ячеистые бетоны. Тонкомолотый стеклобой в количестве 2–5 % используется для получения жаростойкого бетона.

По результатам работы [25] выявлено, что применение стеклобоа в количестве 30 % от общего заполнителя является наиболее эффективным, а минимальное эффективное количество составило около 10 %.

Таким образом, анализ литературных источников показывает, что использование стеклянных отходов в качестве заполнителей для бетонов, с одной стороны, экономически выгодно и целесообразно, экономит природные ресурсы и энергию на их обработку, а с другой – эффективно для получения новых видов бетона и их модификаций, удовлетворяющих своими характеристиками всем современным требованиям.

Оптимальное использование стеклянных отходов заключается в применении их в качестве заполнителя для бетона. Наиболее эффективное применение – крупный заполнитель или сырье для переработки в пеностекло. Эти варианты не требуют дополнительных мер против силикатной коррозии. Однако можно использовать стеклобой как мелкий, средний и крупный заполнитель, но с применением специальных добавок, предотвращающих появление щелочесиликатной коррозии, или подвергать заполнитель термообработке.

Использование стеклобоа в качестве заполнителя для бетона является перспективным, экономически выгодным и ресурсоэффективным методом для получения требуемых технических характеристик бетона, удовлетворяющих всем стандартам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минько Н.И. Добринская О.А. Технологические особенности использования стеклобоа в производстве стекломатериалов // *Техника и технология силикатов*. 2019. Т. 26. № 1. С. 9–14.
2. Минько Н.И., Пучка О.В., Кузьменко А.А., Степанова М.Н. Перспективы развития технологии производства и применения пеностекла // *Стекло мира*. 2006. № 4. С. 91–92.
3. Минько Н.И., Добринская А.О., Гридякин К.Н., Бугаков А.С. Системный подход к использованию вторичных продуктов в технологии стекломатериалов // *Стекло и керамика*. 2017. № 5. С. 3–6.
4. Кетов П.А. Минимизация негативного воздействия на окружающую среду отходов стекла путем использования в строительстве. Дисс... канд. техн. наук. Пермь. 2019. 154 с.
5. Никонов А.С. Разработка теплоизоляционного материала с высокими эксплуатационными свойствами из отходов листового стекла. Дисс... канд. техн. наук. Иваново. 2017. 115 с.
6. Алтынова А.Е., Айдарова Н.А., Саркенов Б.Б. Исследование и разработка технологии получения бетона с использованием переработанных отходов стекла // *Современные научные исследования и инновации*. 2015. № 4. Ч. 2. С. 20–26. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745> (дата обращения: 15.06.2022).
7. Гайдук Д.М., Литвинчук М.А., Васильева Е.И. Стеклобой как альтернатива природному мелкому заполнителю в асфальтобетонах. *Инновации в строительстве и эксплуатации дорожно-строительного комплекса: Международная научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов*. Минск: БНТУ, 2017. С. 51–53.
8. Патент РФ 2632082. *Бетонная смесь* / Тимохин Д.К., Геранина Ю.С., Страхов А.В., Иващенко Ю.Г.; Заявл. 04.07.2016. Оpubл. 02.10.2017. Бюл. № 28.

9. Патент РФ 2692712. *Способ получения микрошариков для световозвращающих покрытий* / Косяков А.В., Никулин С.В., Будов В.В., Кулигин С.В., Ишков А.Д., Сальников Е.П., Ровой В.В.; Заявл. 14.01.2018. Оpubл. 26.06.2019. Бюл. № 18.
10. Патент РФ 173092. *Плита для закрытия кабеля* / Кулигин Е.В.; Заявл. 16.02.2017. Оpubл. 10.08.2017. Бюл. № 22.
11. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability. *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001*. Dundee UK, pp. 167–177.
12. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. М.: Феникс. 2007. 368 с.
13. Шестеркин М.Н. Ячеистый бетон неавтоклавно твердеющего на основе стеклобоя. Дисс.... канд. техн. наук. Москва. 2002. 197 с.
14. Патент РФ 2606486. *Способ изготовления стеновых изделий на основе жидкого стекла и стеклобоя методом электропрогрева* / Логунин А.Ю., Соков В.Н., Бегляров А.Э.; Заявл. 31.12.2014. Оpubл. 10.01.2017. Бюл. № 1.
15. Зайцева А.А., Самченко С.В. Использование несортированного боя стекла в производстве теплоизоляционных материалов. *Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося ученого-материаловеда Юрия Михайловича Баженова*. М.: МИСИ – МГСУ. 2020. С. 232–236. URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> (дата обращения: 15.06.2022).
16. Зайцева А.А. Эффективный газобетон для тепловой изоляции трубопроводов. *Строительство – формирование среды жизнедеятельности: Сборник трудов Восемнадцатой Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых*. М.: НИУ МГСУ, 2015. С. 853–855.
17. Пузанов С.И. Особенности использования материалов на основе стеклобоя как заполнителей портландцементного бетона // *Строительные материалы*. 2007. № 7. С. 12–15.
18. Пузанов С.И., Кетов А.А. Комплексная переработка стеклобоя в производстве строительных материалов // *Экология и промышленность России*. 2009. № 12. С. 4–7.
19. Баратов С.Э. Вторичная переработка стекла в России: взгляд изнутри // *Наука, техника и образование*. 2015. № 3 (9). С. 33–35.
20. Шелковникова Т.И., Баранов Е.В., Черкасов С.В. Проблемы и перспективы сбора и переработки боя стекла и применение изделий на его основе // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2019. Т. 4. № 9. С. 14–20.
21. Минько Н.И., Калатоzi В.В. Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // *Вестник БГТУ*. 2018. № 1. С. 82–88.
22. Саулин Д.В. Исследование щелочесиликатного взаимодействия пеностекольных наполнителей с цементным вяжущим // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология*. 2017. № 1. С. 89–104.
23. Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Проблема щелочной коррозии бетонов в Республике Татарстан и пути ее решения // *Строительные материалы и технологии. Известия*

Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2005. № 2 (4). С. 58–63.

24. Изотов В.С. Особенности щелочной коррозии и высолообразования в бетонах на смешанных вяжущих // *Строительные материалы и технологии. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2003. № 1. С. 68–69.

25. Петропавловская В.Б., Баркая Т.Р. Пустотелые бетонные блоки с рециклинговым заполнителем // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 69–75.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*ЗЕЛЕНЕВ Евгений Александрович* – аспирант кафедры производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: e.zelenev@yandex.ru

*БЕЛОВ Владимир Владимирович* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственный технический университет, 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Зеленев Е.А., Белов В.В. Использование стеклобоя как вторичного заполнителя в составе цементного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2022. № 4 (16). С. 12–20.

---

## USE OF GLASS CLADDING AS SECONDARY AGGREGATE IN CEMENT CONCRETE

*E.A. Zelenev, V.V. Belov*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** Possibilities for development of resource-saving technology for production of concrete mixtures using glass-glass as coarse aggregate for manufacture of monolithic floors are considered. We have studied the methods of using glass glass as a material for construction, the prospects for its use as aggregate for concretes. It has been shown that glass fighting, the density of which is lower than the density of traditional aggregates, can serve as an excellent raw material as a concrete aggregate and contribute to reducing the cost of extracting natural resources and energy for their processing.

**Keywords:** glass, glass concrete, glass waste, aggregate, properties.

### REFERENCES

1. Minko N.I., Dobrinskaya O.A. Technological features of the use of cullet in the production of glass materials. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2019. Vol. 26. No. 1, pp. 9–14. (In Russian).
2. Minko N.I., Puchka O.V., Kuzmenko A.A., Stepanova M.N. Prospects for the development of technology for the production and application of foam glass. *Steklo mira*. 2006. No. 4, pp. 91–92. (In Russian).

3. Minko N.I., Dobryanskaya A.O., Gridiakin K.N., Bulgakov A.S. A systematic approach to the use of secondary products in the technology of glass materials. *Steklo i keramika*. 2017. No. 5, pp. 3–6. (In Russian).
4. Ketov P.A. Minimization of the negative impact on the environment of glass waste through use in construction. Cand. Diss. (Engineering). Perm. 2019. 154 p. (In Russian).
5. Nikonov A.S. Development of thermal insulation material with high performance properties from sheet glass waste. Cand. Diss. (Engineering). Ivanovo. 2017. 115 p. (In Russian).
6. Altynova A.E., Aidarova N.A., Sarkenov B.B. Research and development of technology for producing concrete using recycled glass waste. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii*. 2015. No. 4. P. 2, pp. 20–26. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/04/51745> (date of access: 15.06.2022). (In Russian).
7. Gaiduk D.M., Litvinchuk M.A., Vasilyeva E.I. Glass-breaking as an alternative to natural fine aggregate in asphalt concrete. *Innovations in the construction and operation of the road construction complex: International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, graduate students, undergraduates and Students*. Minsk: BNTU. 2017, pp. 51–53. (In Russian).
8. Patent RF 2632082. *Betonnaya smes'* [Concrete mix]. Timokhin D.K., Geranina Yu.S., Strakhov A.V., Ivashchenko Yu.G.; Declared 04.07.2016. Published 02.10.2017. Bulletin No. 28. (In Russian).
9. Patent RF 2692712. *Sposob polucheniya mikrosharikov dlya svetovozvrazhchayushchih pokrytij* [Method for producing microbeads for retroreflective coatings]. Kosyakov A.V., Nikulin S.V., Budov V.V., Kuligin S.V., Ishkov A.D., Salnikov E.P., Ravovoy V.V.; Declared 14.01.2018. Published 26.06.2019. Bulletin No. 18. (In Russian).
10. Patent RF 173092. *Plita dlya zakrytiya kabelya* [Cable closure plate]. Kuligin E.V.; Declared 16.02.2017. Published 10.08.2017. Bulletin No. 22. (In Russian).
11. Meland I., Dahl P.A. Recycling glass cullet as concrete aggregates, applicability and durability. *Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001*. Dundee UK, pp. 167–177.
12. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Stroitel'nye materialy iz othodov promyshlennosti* [Construction materials from industrial waste]. Moscow: Feniks. 2007. 368 p. (In Russian).
13. Shesterkin M.N. Cellular concrete of non-autoclave hardening based on cullet. Cand. Diss. (Engineering). Moscow. 2002. 197 p. (In Russian).
14. Patent RF 2606486. *Sposob izgotovleniya stenovykh izdelij na osnove zhidkogo stekla i stekloboya metodom elektroprogreva* [Method of manufacturing wall products based on liquid glass and cullet by electric heating]. Logunin A.Yu., Sokov V.N., Beglyarov A.E.; Declared 31.12.2014. Published 10.01.2017. Bulletin No. 1. (In Russian).
15. Zaitseva A.A., Samchenko S.V. The use of unsorted glass in the production of thermal insulation materials. *Collection of materials of the I All-Russian Scientific Conference dedicated to the 90th anniversary of the outstanding materials scientist, Yuri Mikhailovich Bazhenov*. Moscow: MISI – MGSU. 2020, pp. 232–236. URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> (date of access: 15.06.2022). (In Russian).
16. Zaitseva A.A. Effective aerated concrete for thermal insulation of pipelines. *Proceedings of the Eighteenth International Interuniversity Scientific and Practical Conference of students, undergraduates, postgraduates and young scientists «Construction – formation of the life environment»*. Moscow: NRU MGSU. 2015, pp. 853–855. (In Russian).



17. Puzanov S.I. Features of the use of cullet-based materials as aggregates of Portland cement concrete. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 7, pp. 12–15. (In Russian).
18. Puzanov S.I., Kretov A.A. Complex processing of cullet in the production of building materials. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2009. No. 12, pp. 4–7.
19. Baratov S.E. Glass recycling in Russia: an inside look. *Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2015. No. 3 (9), pp. 33–35. (In Russian).
20. Shelkovnikova T.I., Baranov E.V., Cherkasov S.V. Problems and prospects of collecting and processing glass scrap and the use of products based on it. *Vestnik BGTU*. 2019. Vol. 4. No. 9, pp. 14–20. (In Russian).
21. Minko N.I., Kalatozi V.V. The use of cullet in the technology of materials for construction purposes. *Vestnik BGTU*. 2018. No. 1, pp. 82–88. (In Russian).
22. Saulin D.V. Investigation of alkali-silicate interaction of foam glass fillers with cement binder. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Himicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya*. 2017. No. 1, pp. 89–104. (In Russian).
23. Morozova N.N., Khozin V.G. The problem of alkaline corrosion of concrete in the Republic of Tatarstan and ways to solve it. *Stroitel'nye materialy i tekhnologii. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2005. No. 2 (4), pp. 58–63. (In Russian).
24. Izotov V.S. Features of alkaline corrosion and salting in concretes on mixed binders. *Stroitel'nye materialy i tekhnologii. Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2003. No. 1, pp. 68–69. (In Russian).
25. Petropavlovskaya V.B., Barkaya T.R. Hollow concrete blocks with recycling aggregate. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 3, pp. 69–75. (In Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**ZELENEV Evgeny Aleksandrovich** – Graduate Student of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: e.zelenev@yandex.ru

**BELOV Vladimir Vladimirovich** – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Zelenev E.A., Belov V.V. Use of glass cladding as secondary aggregate in cement concrete // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2022. No. 4 (16), pp. 12–20.