

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1st Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

УДК 691.32

БЕТОНЫ С ЗАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ СТЕКОЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Т.Р. Мамедов, Ю.Ю. Курятников, В.Б. Петропавловская,
Е.В. Смирнова

© Мамедов Т.Р., Курятников Ю.Ю.,
Петропавловская В.Б., Смирнова Е.В., 2024

***Аннотация.** В статье рассмотрена проблема вовлечения отходов промышленности для производства материалов строительного назначения. Исследование показало, что технология производства строительных материалов на основе стеклобоя достаточно проста, не требует специального оборудования и больших материальных вложений. После предварительной очистки и разделения на фракции сырье (стеклобой) может быть использовано для производства широкого спектра композитных материалов.*

***Ключевые слова:** стеклобой, вяжущее, бетон, техногенные отходы, отходы стекла, строительные материалы.*

Введение

Переработка, захоронение, обезвреживание и сбор промышленных отходов является одной из актуальных проблем окружающей среды. С экономической точки зрения вторичная переработка отходов невыгодна для хозяйствующих субъектов. Однако при использовании отходов можно решить экологические проблемы за счет экономии значительного количества топлива и энергии и сохранения природных ресурсов [2].

Наиболее ценными вторичными ресурсом является стеклянный бой. Переработка его экономически выгодна и не требует больших энергетических затрат.

Задачи реализации вторичной переработки стеклобоя:

эстетическая – возможное внедрение отдельного сбора отходов, позволяющее использовать контейнеры и мусоровозы, которые вписываются в эстетику города;

экологическая – сокращение использования природных ресурсов за счет вовлечения отходов в производство и увеличение срока службы полигонов твердых бытовых отходов;

экономическая – получение дохода от реализации и использования вторичных отходов и удешевление бетона за счет использования стеклобоя (вторичное сырье), а также усовершенствование физико-механических свойств бетона.

Вторичные сырьевые ресурсы – ценный материал, который аккумулирует в себе ранее осуществленные инвестиционные и энергетические затраты и к тому же не требует средств на разработку карьера и переработку сырья, что в большинстве случаев оказывается намного выгоднее, чем освоение природных ископаемых. Разработка новых эффективных композитов на основе вторичных ресурсов для высотного строительства является актуальной проблемой.

В основу получения высокопрочных бетонов положены современные технологические приемы, способствующие улучшению технических и физико-механических свойств при комплексном применении техногенного сырья и эффективных химических добавок.

Процесс строительства, особенно в крупных городах с дефицитом незастроенных площадей, сопряжен со сносом аварийных, морально устаревших зданий гражданского назначения, а также промышленных зданий и сооружений, которые в связи с ростом городов попали в селитебную зону, физически или морально устарели, а также не используются по прямому назначению. В России годовая стоимость работ по демонтажу выросла до 50 млрд руб., а объем строительных отходов составляет около 100 млн т. Кроме строительных отходов, в каждой стране большой объем составляют коммунально-бытовые и промышленные отходы. Ранее существовавшее стандартное решение о вывозе отходов на свалку в настоящее время недопустимо, так как ведет к загрязнению почвы и водных источников и противоречит требованиям безопасности и экологии. Вторичное использование строительных отходов не только соответствует требованиям экологии, но и позволяет утилизировать и повторно использовать материалы, полученные от сноса зданий и сооружений. Целью вторичной переработки в строительстве и ремонте является сокращение количества образующихся отходов, минимализация использования нового сырья и сохранение природных ресурсов. Кроме того, промышленная переработка отходов позволяет свести к минимуму транспортные и другие расходы.

Стеклобой представляет собой трудноутилизируемый отход, не подверженный воздействию воды, атмосферных явлений (осадков, солнечной радиации, температурных перепадов) и не разрушающийся под воздействиями органических, минеральных и биологически активных организмов. Дискуссии о возможности утилизации отходов стекла за счет

индустрии строительных материалов ученые вели еще с 1970-х годов, однако практические исследования в этой области не проводились. В настоящее время целый ряд отечественных и зарубежных вузов и НИИ заняты разработкой строительных композитов с использованием стеклобоя. Например, специалисты инженерного факультета и прикладных наук Колумбийского университета (штат Нью-Йорк) работают над проблемой замены каменного заполнителя в бетоне боем стекла. Решением подобных задач занимаются и отечественные ученые. Определенные успехи достигнуты специалистами Мордовского государственного университета. Таким образом, использование стеклобоя в качестве компонента при разработке составов строительных материалов является актуальной научно-технической задачей, решение которой позволяет получить значительный экономический и экологический эффект [3–5].

Преимущества использования стекла в производстве и влияние его минерального состава на свойства бетона

По строению и физико-химическим свойствам стеклобой представляет собой минеральный ресурс антропогенного происхождения. Наиболее распространенным способом утилизации стеклобоя является технология изготовления бетона.

В настоящее время исследования ученых направлены на разработку и внедрение в строительную практику полимербетонов – легких строительных материалов, диапазон плотностей которых варьируется в зависимости от поставленных задач. Применение такой добавки, как стекло, улучшает физические свойства материала. Стеклобетон – композитный материал. В его состав входят бетон и стекло, и в зависимости от того, в каком виде добавлено стекло, может быть получен материал со стеклофиброй, с оптоволоконном, с битым стеклом, с жидким стеклом, а также такой, в котором стекло используется в качестве связующего элемента.

Стеклобой заменяет крупный заполнитель (щебень или гравий). Прочностные характеристики данного материала не отличаются от обычного бетона, в котором применяются традиционные заполнители. Масса готового изделия получается значительно меньше, чем при использовании стандартных заполнителей. Стеклобетон применяется в производстве отделочных панелей, стен, перегородок, полов и декоративных изделий.

Одним из главных преимуществ такого бетона является возможность изменения физических свойств материала за счет добавки жидкого стекла в различных пропорциях с добавлением других вяжущих компонентов. Технология приготовления бетона со стеклобоем состоит в растворении битого стекла щелочью, в результате чего образуется вяжущее вещество, которое скрепляет заполнитель, а после затвердевания обладает повышенной прочностью и устойчивостью к кислотам [6, 7].

Экспериментальные исследования влияния минерального состава и структуры заполнителей на термические изменения бетонов достаточно трудоемки и дорогостоящи. Кроме того, экспериментально исследовать все многообразие бетонов на заполнителях различного минерального состава и структуры практически невозможно. Однако имеются разработанные и экспериментально апробированные методы аналитического определения радиационных, термических и радиационно-термических изменений бетонов и их составляющих. Эти методы в комплексе позволяют рассчитывать не только радиационные и радиационно-термические, но и термические изменения бетонов по данным о температуре нагревания, технологическом составе бетона, минеральном составе и структуре заполнителей, характеристикам цемента и добавок.

Применяемые в настоящее время способы изготовления строительных материалов на основе отходов стекла базируются на технологиях, предусматривающих спекание сырья при высоких температурах или его обработку в автоклавах. Измельченный стеклобой при взаимодействии с водой не проявляет вяжущих свойств несмотря на наличие в его составе большого количества щелочи. Для изучения кинетики изменения во времени прочностных характеристик вяжущих систем на основе тарного и листового стекла с различным типом щелочных активаторов были определены показатели прочности для систем в разном возрасте твердения.

В ходе проведенных исследований было установлено, что экспериментальные составы, активированные Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 , показали низкую прочность на всех этапах твердения. Кроме того, составы, активированные Na_2CO_3 , имели на поверхности серьезные высолы, свидетельствующие о том, что часть вводимого в состав активатора не прореагировала со стеклопорошком. Отсюда следует, что данный компонент обладает низкой активирующей способностью.

Таким образом, для листового и тарного стекла щелочные агенты Na_2CO_3 и Na_2SiO_3 не работают как активаторы, поэтому для получения композиционного вяжущего стеклянный наполнитель нужно использовать в комбинации с цементом.

Экспериментально установлено, что масштаб разрушений и, как следствие, снижение прочности цементной матрицы зависит от степени дисперсности вводимого стеклобоя. На основании экспериментов сделан вывод о том, что стекло с размером частиц 1–4 мм при введении в бетонную матрицу вызывает расширение образцов более чем на 0,2 %, что в пять раз превышает допустимые значения.

Установлено также, что стеклобой фракции 1,25–5 мм целесообразно использовать в бетонах в качестве заполнителей. При этом прочность бетонных композитов значительно превосходит прочность бетонов на другом заполнителе, например песчаном. Увеличение прочности бетонов

может достигаться путем поверхностной кристаллизации крупного (размер фракции более 1 мм) заполнителя при температуре 700–720 °С в присутствии центров кристаллизации, таких как порошок кварцевого стекла. При этом расширение образцов, приводящее к потере прочности, снижается в 2–7 раз по сравнению с образцами, полученными на немодифицированном заполнителе.

Что касается тонкодисперсного стекла (размер частиц 1–4 мм), то его целесообразно применять в качестве вяжущего или перерабатывать в гранулированное пеностекло. По имеющимся данным расширение образцов бетонов с заполнителем такого размера составляет 0,02–0,04 %. По мнению исследователей, это обусловлено тем, что силикатное стекло при взаимодействии с водой подвергается гидролизу с выделением в водную фазу ионов натрия. При этом на поверхности образуется пленка гидратированного оксида кремния и (при наличии в растворе необходимых соединений) происходит образование новых веществ на поверхности. Значит, в случае стекла с высокой дисперсностью материал приобретает более развитую поверхность и возможность направленного использования такого взаимодействия многократно возрастает.

Снижение щелочно-силикатного взаимодействия в бетонах достигалось путем введения добавок аморфного высокодисперсного оксида кремния в количестве от 0,5 до 5 мас. %. В качестве добавок применялись силикагель (размер частиц 60 мкм), аэросил и стекло, ионно-модифицированное заменой Na^+ на H^+ . Было установлено, что указанные добавки эффективно подавляют щелочно-силикатное взаимодействие. Количество применяемого стеклобоя, необходимое для получения бетонов, удовлетворяющих стандартам различных стран и производителей, зависит от назначения бетона [8–11].

Заключение

Утилизация строительных отходов относится к важным экологическим проблемам, решению которых следует придавать большое значение.

Анализ литературных источников показал, что в настоящее время стеклобой является ценным вторичным ресурсом, позволяющим сократить расходы на дефицитные и дорогостоящие сырьевые материалы при производстве широкого спектра строительных материалов. В задачу строительной индустрии входит переориентация предприятий на потребление техногенного сырья. Количество неиспользуемого стеклобоя в отдельных регионах нашей страны достигает 100 %. Вторичное использование данного вида сырья позволит получить существенный экономический и экологический эффект.

Технология производства строительных материалов на основе стеклобоя достаточно проста, не требует специального оборудования и крупных материальных вложений. После предварительной очистки и

разделения на фракции стеклобой может использоваться для получения широкого спектра композиционных материалов.

Библиографический список

1. Freyssinet устойчивая технология. URL: <https://www.freyssinet.com/solution/repair/structural-strengthening/uhpffc-2/> (дата обращения: 05.05.2024).
2. Мутазаев С-А.Ю., Омаров А.О., Саламанова М.Ш. Высокопрочные бетоны на основе использования вторичных техногенных ресурсов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2018. 45 (1) С. 204–213.
3. Нормирование в области демонтажа и утилизации конструкций зданий и сооружений / Н.Н. Трекин, Э.Н.Кодыш, И.А. Терехов, А.А. Кондратьев // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. № 8-2 (83) С. 156–160.
4. Строительные материалы на основе отходов стекла / А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, Р.З. Ямбушев, Д.С. Аксенов, Г.П. Свитова // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 44–50.
5. Баруздин А.А., Закревская Л.В., Николаева К.А. Композиционный материал на основе техногенных отходов // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2 (21). С. 17–23.
6. Смирнов А.С., Бирюков В.С., Чередниченко Т.Ф. Особенности и возможности конструкционного полимербетона в современном строительстве // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6 (78). С. 28–34.
7. Минько Н.И., Калатоzi В.В. Использование стеклобоя в технологии материалов строительного назначения // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2018. № 1. С. 82–88.
8. Бондаренко Н.И., Басов В.О., Даценко А.О. Разработка составов вяжущих с использованием стеклоотходов // Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2022. № 1. С. 83–89.
9. Денисов А.В. Влияние минерального состава и структуры заполнителей на термическое расширение обычных и жаростойких бетонов // Московский государственный строительный университет. 2021. С. 3–30.
10. Материал с крупным заполнителем на обжиговой поризованной связке, полученной с использованием стеклобоя / С.А. Коротаев, А.Ф. Атманзин, Н.С. Коротаев, В.Т. Ерофеев // Эксперт: теория и практика. 2023. № 1 (20). С. 86–90.
11. Хмелевской Н.А. Эффективность переработки строительных отходов методом рециклинга // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2020. № 3. С. 108–116.

CONCRETES WITH GLASS WASTE AGGREGATE

**T.R. Mamedov, Yu.Yu. Kuryatnikov,
V.B. Petropavlovskaya, E.V. Smirnova**

Abstract. *The article considers the problem of involving industrial waste for the production of construction materials. The study showed that the technology of production of building materials based on cullet is quite simple, does not require special equipment and large financial investments. After pre-purification and separation into fractions, the raw material (cullet) can be used to produce a wide range of composite materials.*

Keywords: *cullet, binder, concrete, industrial waste, glass waste, building materials.*

Об авторах:

МАМЕДОВ Теймур Ровшанович – студент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: timeow@yandex.ru

КУРЯТНИКОВ Юрий Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: yuriy-@yandex.ru

ПЕТРОПАВЛОВСКАЯ Виктория Борисовна – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

СМИРНОВА Елена Вячеславовна – специалист 1-й категории по учебно-методической работе кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: elena020269@yandex.ru

About the authors:

MAMEDOV Teymur Rovshanovich – Student of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: timeow@yandex.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

PETROPAVLOVSKAYA Victoria Borisovna – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of the Department of Building Materials and

Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: victoriapetrop@gmail.com

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1st Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

УДК 691.587

САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

А.С. Мицкевич, Ю.Ю. Курятников, Т.Б. Новиченкова, Е.В. Смирнова

© Мицкевич А.С., Курятников Ю.Ю.,
Новиченкова Т.Б., Смирнова Е.В., 2024

***Аннотация.** В статье представлены результаты разработки самоуплотняющихся бетонов (СУБ) для изготовления малых архитектурных форм (МАФ). При организации производства МАФ применение традиционных бетонных смесей с крупным заполнителем затруднено. В связи с этим обоснована целесообразность применения в заводских условиях безвибрационной технологии из высокоподвижных самоуплотняющихся смесей и использования в качестве минерального сырья техногенных отходов – мелкого и крупного заполнителя из бетонного лома для снижения себестоимости СУБ.*

***Ключевые слова:** самоуплотняющийся бетон, бетонный лом, техногенные отходы, молотый доменный шлак, модификаторы.*

Введение

В последнее время в строительной отрасли большое внимание уделяется энерго- и ресурсоэффективным материалам. В современном строительстве зданий и сооружений все шире применяются высокотехнологичные бетонные смеси, способные самостоятельно, без какого-либо внешнего механического воздействия, заполнять опалубку, в том числе густоармированную либо со сложной геометрической формой, сохраняя при этом связность и однородность [1].

Использование самоуплотняющегося бетона (СУБ) обеспечивает экономию трудозатрат, не требует специального оборудования для уплотнения смеси, ускоряет производство работ [2]. Самоуплотняющийся бетон – высокотехнологичный материал, свойства которого в значительно