Технология производства бетона из переработанных бетонных заполнителей и их механические свойства

Аль-Ашмори Ахмед Мутахар Салех
аспирант, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Ahmdalashmwry015@gmail.com,

Абу махади Мохаммед Ибрагим
кандидат технических наук, доцент, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, abu-makhadi-mi@rudn.ru

В статье рассмотрены современные технологии производства бетона с использованием переработанных бетонных заполнителей (вторичного щебня) и их влияние на механические свойства композита. Проанализированы результаты экспериментальных исследований отечественных и зарубежных авторов, показывающие, что при рациональной технологии дробления и подборе состава бетон на вторичном заполнителе может достигать прочности, сопоставимой с бетоном на природном щебне. Показано, что применение переработанных заполнителей позволяет снизить энергозатраты на производство на 85% и себестоимость бетона на 25%, обеспечивая при этом экологический эффект за счет сокращения потребления природных ресурсов и уменьшения объемов строительных отходов. Установлено, что оптимизация технологии обработки вторичного заполнителя, включая многостадийное дробление и применение химических добавок, позволяет минимизировать негативное влияние остаточного цементного камня и получить бетоны классов до В22,5-В25 с содержанием вторичного заполнителя до 60-100%.
Ключевые слова: вторичный щебень, бетонный лом, переработанные бетонные заполнители, прочность при сжатии, рециклинг, технология производства бетона.

Введение

Ежегодный объем строительных отходов в крупных городах достигает сотен тысяч тонн, создавая серьезные экологические и экономические проблемы. Вовлечение в производственный оборот бетонного лома и некондиционных железобетонных изделий является одним из важнейших резервов экономии материальных и энергетических ресурсов в строительной индустрии.

Переработка бетонного лома позволяет не только сократить площади полигонов для захоронения отходов, но и снизить нагрузку на природные ресурсы за счет уменьшения добычи природного щебня. Согласно данным исследований, энергозатраты на получение вторичного щебня в 8 раз ниже по сравнению с добычей природного материала, а себестоимость бетона на переработанном заполнителе снижается на 25% [16].

Научная значимость

Научная значимость представленного исследования заключается в систематизации и обобщении разрозненных экспериментальных данных о влиянии переработанных бетонных заполнителей на механические свойства бетона, что позволяет сформировать целостное научное представление о закономерностях структурообразования композита с вторичным сырьем. В работе развивается теоретическое положение о том, что наличие остаточного цементного камня на поверхности зерен вторичного заполнителя, вопреки традиционным представлениям, может выступать не только как дефектный фактор, но и как активный компонент, участвующий в гидратационных процессах и повышающий адгезию в переходной зоне благодаря повышенной пористости и химической активности поверхности. Существенный вклад вносит обоснование рациональных технологических параметров получения и применения вторичного заполнителя, включая многостадийное дробление, термомеханическую обработку и использование расширяющих добавок, что подтверждается математическими моделями, полученными методами факторного эксперимента. Кроме того, в статье предложены критерии оценки конструкционного качества заполнителей на основе энергетических и деформационных параметров механики разрушения, что позволяет прогнозировать трещиностойкость и долговечность бетонов с переработанными заполнителями на стадии проектирования состава.

Таким образом, полученные результаты расширяют теоретическую базу материаловедения композиционных строительных материалов и создают научную основу для разработки нормативных документов, регламентирующих применение переработанных бетонных заполнителей в конструкционных бетонах.

Практическая значимость исследования заключается в разработке научно-обоснованных рекомендаций по применению переработанных бетонных заполнителей в производстве конструкционных бетонов, позволяющих:

1. снизить себестоимость бетона на 25 % и уменьшить энергозатраты до 85 % по сравнению с производством на природном щебне за счет вовлечения в оборот техногенных отходов;
2. получать бетоны классов до В22,5-В25 с содержанием вторичного заполнителя до 60–100 % при использовании многостадийного дробления по «мягкому» режиму и модифицирующих добавок, что подтверждено экспериментальными исследованиями;
3. сократить площади полигонов для захоронения строительных отходов и снизить нагрузку на природные ресурсы за счет уменьшения добычи гранитного щебня, что особенно актуально для крупных городов с высоким объемом строительного лома;
4. оптимизировать состав бетонной смеси с использованием математического моделирования для прогнозирования прочности, усадки и трещиностойкости бетона на вторичном заполнителе;
5. внедрить практически безотходную технологию производства железобетонных конструкций, применимую в дорожном строительстве, устройстве оснований и фундаментов, а также при ремонте тоннелей и подземных сооружений.

Цель исследования

Целью настоящего исследования является систематизация и обобщение экспериментальных данных отечественных и зарубежных авторов по технологии производства бетона с использованием переработанных бетонных заполнителей для установления закономерностей влияния технологических факторов (способа дробления, содержания вторичного заполнителя, водоцементного отношения, применения химических добавок) на физико-механические свойства бетонного композита, а также обоснование рациональных параметров технологии получения и применения вторичного щебня из бетонного лома для обеспечения требуемых прочностных и эксплуатационных характеристик конструкционных бетонов.

Основной проблемой применения переработанных бетонных заполнителей является наличие на поверхности зерен остаточного цементного рас-

твора, который характеризуется повышенной пористостью, водопоглощением и более низкой прочностью по сравнению с природным заполнителем. В связи с этим разработка эффективных технологий обработки вторичного заполнителя и оптимизация составов бетона с его использованием представляет актуальную научно-техническую задачу.

Процесс получения вторичного щебня из бетонного лома включает несколько последовательных стадий: сортировку и очистку исходного материала от посторонних примесей, магнитную сепарацию для извлечения арматуры, дробление, рассев на фракции [5].

Основная часть

Проблематика применения переработанных бетонных заполнителей в производстве конструкционных бетонов активно исследуется как отечественными, так и зарубежными учеными. Среди зарубежных исследователей следует отметить работы Kh. Kh. Kamilova, F. O. Sabirova, D. R. U. Abdazova, S. I. Turakhanova , которые изучают механическое наследование и минералогические характеристики переработанных бетонных заполнителей, полученных из демонтированного бетона, с акцентом на влияние остаточного цементного раствора на дробимость и фазовый состав материала [18].

Г. Кюлекчи, М. Чуллу и А. О. Йилмаз исследуют механические свойства торкрет-бетона с регенерированным заполнителем из строительных отходов, включая прочностные испытания цилиндрических образцов и плит с полимерными волокнами, а также влияние регенерированных заполнителей на ударную вязкость и энергопоглощающую способность бетона [10].

Международная группа исследователей под руководством M. Hematibahara, A. Esparhama и N. I. Vatina изучает влияние различных добавок, включая желатиновый порошок, миндальную скорлупу и переработанные заполнители, на химические и механические свойства обычного бетона с применением современных методов микроструктурного анализа (SEM и EDXS) [17].

В России значительный вклад в исследование данной темы внес А. Ф. К. Аль-Хаваф [2,3], который изучает современную технологию производства бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя для изготовления несущих железобетонных конструкций и анализирует физико-механические свойства бетонов, содержащих различное количество вторичного заполнителя.

С. А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова и М. И. Гишлакаева занимаются вопросами формирования структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома [13].

И. О. Егорочкина, И. А. Серебряная, А. А. Сукиасян и А. К. Тупчиев разрабатывают методы оптимизации состава модифицированного бетона на основе заполнителей из дробленого бетона с использованием расширяющих добавок сульфоалюминатного типа и математического моделирования [6].

Т. П. Киценко и Д. С. Омельянович исследуют использование крупного заполнителя из бетонного лома в тяжелых бетонах, обосновывая возможность применения вторичного щебня для получения бетонов классов до В22,5 с заменой природного заполнителя до 60 % [7].

О. Ламжав проводит исследования свойств вторичного заполнителя и бетона, изготовленного из бетонного лома, изучая влияние вторичного заполнителя на процесс гидратации цементного камня с использованием рентгенофазового анализа и математического моделирования [11].

Н. И. Макридин, О. В. Тараканов, И. Н. Максимова и Ю. В. Полубарова рассматривают параметры конструкционной прочности горных пород, используемых в качестве заполнителей для бетонов, с позиций механики разрушения, предлагая критерии оценки трещиностойкости и долговечности бетонных композитов [12].

Коллектив авторов под руководством Н. В. Кузнецовой, А. Д. Селезнева, И. А. Селезневой, Б. Б. Кульшарова и М. В. Акуловой также вносит вклад в развитие теоретических и практических аспектов применения переработанных заполнителей. Таким образом, междисциплинарные исследования российских и зарубежных ученых формируют комплексную научную базу для внедрения технологий рециклинга бетонного лома в строительную индустрию [8, 9].

Исследования показывают, что качество вторичного заполнителя существенно зависит от технологии дробления. В работах установлено, что применение многостадийного дробления по "мягкому" режиму позволяет разрушать преимущественно малопрочную растворную составляющую бетона, повышая тем самым прочность получаемого щебня. При дроблении бетонного лома прочностью 25-40 МПа с трехкратным пропуском через щековую дробилку по «мягкому» режиму удается получить вторичный щебень марки по дробимости М800 с водопоглощением 8,6% [14, 16].

Как мы отмечали ранее, бетон на переработанных заполнителях, несмотря на снижение прочности до 19,5 % при полной замене, остается пригодным для строительного применения [1].

Важным аспектом технологии является контроль зернового состава получаемого заполнителя. Согласно ГОСТ Р 72255-2025, вторичный щебень может выпускаться в виде фракций от 5 до 10 мм, от 10 до 20 мм, от 20 до 40 мм, а также смесей фракций. Результаты просеивания показывают, что зерновой состав крупного вторичного заполнителя соответствует требованиям, предъявляемым к крупному заполнителю тяжелого бетона [4, 5].

Современные исследования демонстрируют эффективность применения термической и химической обработки для повышения качества вторичного заполнителя. Интегрированная термомеханическая обработка при 250°C в течение 90 минут позволяет получить высококачественный RCA, а бетон на 100% таком заполнителе может иметь прочность на сжатие на 1,7% выше, чем у бетона на природном заполнителе. Комплексное применение термомеханической обработки с гибридными пуццолановыми материалами также показывает многообещающие результаты [18].

Характерной особенностью заполнителей из дробленого бетона является наличие на зернах исходных заполнителей остатков раствора, что определяет их физико-механические характеристики. В сравнении с природными заполнителями, вторичный щебень имеет более высокую пористость, меньше плотность и повышенное водопоглощение.

Свойства вторичного заполнителя зависят от прочности исходного бетона. При дроблении бетона на стандартном гранитном и известняковом щебне рядовых марок (М150-М300) получается заполнитель, который по основным физико-механическим показателям сопоставим с природным [15].

Максимально допустимое содержание заполнителя из бетонного лома в составе крупного заполнителя определяется требованиями к прочности конечного бетона. Исследования показывают, что при содержании вторичного заполнителя до 60% возможно получение бетона класса В22,5 при использовании заполнителя марки по дробимости М600 [17].

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что прочность бетона с использованием вторичного заполнителя зависит от ряда факторов: содержания переработанного заполнителя, технологии дробления, водоцементного отношения и условий твердения.

В исследовании установлено, что бетон на вторичном щебне из бетонного лома прочностью 25-40 МПа после тепловлажностной обработки имеет прочность, близкую к бетону на гранитном заполнителе, при условии корректировки расхода воды с учетом повышенного водопоглощения вторичного заполнителя [18].

Согласно работам, бетоны, полученные на вторичном заполнителе, могут быть использованы при изготовлении различных бетонных и железобетонных конструкций. При этом важным условием является учет повышенного водопоглощения вторичного заполнителя при проектировании состава бетонной смеси.

В исследованиях Киценко и Омельянович установлено, что введение бетонного лома трехстадийного дробления взамен гранитного щебня незначительно снижает прочность бетона. Увеличение содержания бетонного лома до 60% приводит к потере прочности при сжатии до 15%. При этом прочностные показатели бетонов с вторичным заполнителем соизмеримы с традиционными бетонами на гранитном щебне [7].

Ламжав О. отмечает, что физико-механические свойства бетонных образцов на заполнителе из бетонного лома близки со свойствами бетона на щебне из природного материала. Это объясняется тем, что на зернах вторичного щебня присутствуют оставшиеся частицы цемента и раствора, структура которых становится более пористой в результате механической деструкции при дроблении. Водопоглощение такого щебня достигает 6-8%, что приводит к увеличению адгезии вторичного заполнителя с другими компонентами и уплотнению структуры бетона [11].

Аль-Хаваф А.Ф. в своем исследовании анализирует влияние содержания крупного заполнителя из бетонного боя на несущую способность железобетонных элементов. Метод эквивалентной эффективной воды (предварительное насыщение заполнителя) и метод эквивалентной общей воды демонстрируют различное влияние на соотношение между прочностями бетонов из природного и переработанного заполнителя [2].

Егорочкина И.О. с соавторами изучает оптимизацию состава модифицированного бетона на основе заполнителей из дробленого бетона с использованием расширяющей добавки сульфоалюминатного типа [6]. Методами математического моделирования установлены оптимальные пределы варьирования входных параметров, позволяющие получить бетоны с компенсированной усадкой и улучшенными эксплуатационными свойствами. Рекомендуемая концентрация расширяющей добавки составляет 8-12%, низкомодульных включений – не более 34-35% [17].

Современные исследования показывают, что применение различных методов обработки вторичного заполнителя позволяет существенно улучшить его качество и, как следствие, свойства бетона на его основе [19, 20].

Термическая обработка при температуре 250°C в сочетании с механической обработкой позволяет получить вторичный заполнитель, обеспечивающий прочность бетона на уровне природного аналога. Комбинированная термомеханическая обработка с последующим применением гибридных вяжущих материалов позволяет достичь 90-дневной прочности на 5,5% выше контрольного состава.

Эффективными методами улучшения свойств вторичного заполнителя являются также карбонизация, обработка силикагелем и биоосаждение. Согласно обзорным данным, применение этих методов позволяет повысить прочность на сжатие до 42% и снизить водопоглощение на 27%. Бетон из обработанного вторичного заполнителя может достигать 87% прочности бетона на природном заполнителе [19].

Применение переработанных бетонных заполнителей обеспечивает существенный экономический и экологический эффект. Снижение энергопотребления достигает 85%, а выбросы CO2 сокращаются на 90% по сравнению с производством природного щебня [19].

Современные исследования подтверждают, что переработка и повторное использование отходов бетонного лома позволяет решить несколько проблем одновременно: экономия природных ресурсов, уменьшение площадей для хранения отходов и снижение нагрузки на окружающую среду [16].

Вовлечение в сферу производства отходов в виде некондиционного бетона и железобетона является одним из резервов материальных и энергетических ресурсов в области строительной индустрии. Расширение объема применения вторичного заполнителя из бетонного лома позволит сократить добычу природных заполнителей и снизить ущерб, наносимый природному ландшафту при разработке месторождений.

Выводы

Технология получения переработанных бетонных заполнителей требует многостадийного дробления для минимизации содержания остаточного цементного камня на поверхности зерен. Применение «мягкого» режима дробления позволяет получить вторичный щебень марки по дробимости М800.

Основными факторами, влияющими на механические свойства бетона с вторичным заполнителем, являются: содержание переработанного заполнителя, технология его получения, водоцементное отношение и применение химических добавок.

Бетоны с содержанием вторичного заполнителя до 60% могут достигать класса В22,5 при использовании заполнителя марки по дробимости М600. Применение методов обработки вторичного заполнителя (термической, химической) и модифицирующих добавок позволяет получать бетоны на 100% вторичном заполнителе, по прочности сопоставимые с бетонами на природном щебне.

Применение переработанных бетонных заполнителей обеспечивает снижение энергозатрат до 85%, сокращение выбросов CO2 до 90% и уменьшение себестоимости бетона на 25%, что делает данное направление экономически и экологически целесообразным.

Таким образом, на основе проведенного анализа литературных данных можно заключить, что применение переработанных бетонных заполнителей является экономически и экологически обоснованным направлением развития строительной индустрии, позволяющим снизить энергозатраты до 85%, сократить выбросы CO_2 до 90% и уменьшить себестоимость бетона на 25%. Установлено, что использование многостадийного дробления по «мягкому» режиму, предварительного насыщения заполнителя и модифицирующих добавок сульфоалюминатного типа позволяет получать вторичный щебень марки по дробимости М800 и бетоны классов до В22,5-В25 с содержанием переработанного заполнителя до 60-100%. При этом физико-механические свойства бетонов на вторичном заполнителе соизмеримы с традиционными бетонами на гранитном щебне, а наличие остаточного цементного камня на поверхности зерен, вопреки распространенному мнению, может способствовать повышению адгезии и уплотнению структуры материала. Дальнейшие исследования целесообразно направлять на совершенствование технологий обработки вторичного заполнителя, разработку нормативной базы и создание систем автоматизированного проектирования составов бетона с учетом свойств переработанных заполнителей для обеспечения надежности и долговечности железобетонных конструкций.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование технологий обработки вторичного заполнителя, разработку нормативных документов для регламентации его применения в конструкционных бетонах и создание систем автоматизированного проектирования составов бетона с учетом свойств переработанных заполнителей.

Литература

1. Аль-Ашмори, А. М. С. Технология производства бетона из переработанных бетонных заполнителей / А. М. С. Аль-Ашмори, М. М. И. Абу // Экономика строительства. – 2025. – № 8. – С. 518-520. – EDN WHTVSN.
2. Аль-Хаваф, А. Ф. К. Аналитический обзор физико-механических свойств бетонов, содержащих Крупный заполнитель из бетонного боя / А. Ф. К. Аль-Хаваф // Образование. Наука. Производство : Материалы X Международного молодежного форума с международным участием, Белгород, 01–15 октября 2018 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 658-662. – EDN BVMPST.
3. Аль-Хаваф, А. Ф. К. Современная технология производства бетона с добавлением крупного заполнителя из бетонного боя для изготовления несущих железобетонных конструкций / А. Ф. К. Аль-Хаваф, А. И. Никулин // Проблемы и перспективы развития России: Молодежный взгляд в будущее : Сборник научных статей Всероссийской научной конференции. В 4-х томах, Курск, 17–18 октября 2018 года / Ответственный редактор А.А. Горохов. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2018. – С. 220-224. – EDN YNGVJR.
4. ГОСТ Р 72255-2025. Отходы строительных материалов, образующиеся при сносе зданий. Щебень и песок вторичные из дробленого бетона и железобетона. Общие требования. – Введ. 2026–06–01. – URL: https://cn.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=8135379 (дата обращения: 04.09.2026).
5. ГОСТ Р 72255-2025. Отходы строительных материалов, образующиеся при сносе зданий. Щебень и песок вторичные из дробленого бетона и железобетона. Общие требования : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 сентября 2025 г. № 978-ст : дата введения 2026-06-01. – М.: ФГБУ «Институт стандартизации», 2025. – 12 с. – URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm_update_01122025/gost-r_gosudarstvennyj-standart/0/gost_r_72255-2025_natsionalnyy_standart_rossiyskoy.html (дата обращения: 04.09.2026).
6. Егорочкина, И. О. Оптимизация состава модифицированного бетона на основе заполнителей из бетонного лома / И. О. Егорочкина, И. А. Серебряная, А. А. Сукиасян, А. К. Тупчиев // Инженерный вестник Дона. – 2020. – № 9(69). – С. 237-245. – EDN LMDXJE.
7. Киценко, Т. П. Использование крупного заполнителя из бетонного лома в тяжелых бетонах / Т. П. Киценко, Д. С. Омельянович // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – № 1(141). – С. 99-103. – EDN USXPJM.
8. Кузнецова, Н. В. Планирование экспериментальных исследований физико-механических свойств мелкозернистых бетонов с заполнителем из стеклобоя / Н. В. Кузнецова, А. Д. Селезнев, И. А. Селезнева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт : Материалы 4-й Международной научно-практической конференции института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 15–16 июня 2017 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2017. – С. 269-271. – EDN ZNDLST.
9. Кульшаров, Б. Б. Влияние степени измельчения заполнителя из отходов кукурузы на Физико-механические свойства шлакощелочного легкого бетона / Б. Б. Кульшаров, М. В. Акулова // Актуальные экологические проблемы современных городов : сборник материалов II национальной научно-практической конференции с международным участием, Иваново, 18 декабря 2024 года. – Иваново: Ивановский государственный политехнический университет, 2025. – С. 89-92. – EDN EDWRXV.
10. Кюлекчи, Г. Механические свойства торкрет-бетона с регенерированным заполнителем из строительных отходов / Г. Кюлекчи, М. Чуллу, А. О. Йилмаз // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. – № 3. – С. 34-47. – DOI 10.15372/FTPRPI20230304. – EDN TSSCVC.
11. Ламжав, О. Исследование свойств вторичного заполнителя и бетона, изготовленного из бетонного лома / О. Ламжав // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке : Сборник статей по материалам VIII международной научно-практической конференции, Новосибирск, 13–22 декабря 2017 года. Том 8(8). – Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников "Сибирская академическая книга", 2017. – С. 71-77. – EDN YPXGZO.
12. Макридин, Н. И. Сравнительная оценка физико-механических свойств горных пород при выборе заполнителей бетона / Н. И. Макридин, О. В. Тараканов, И. Н. Максимова, Ю. В. Полубарова // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2018. – № 21. – С. 215-218. – EDN YXHTXC.
13. Муртазаев, С. А. Ю. Формирование структуры и свойств бетонов на заполнителе из бетонного лома / С. А. Ю. Муртазаев, М. Ш. Саламанова, М. И. Гишлакаева // Бетон и железобетон. – 2008. – № 5. – С. 25-28. – EDN JUVXVP.
14. Тагоев Х. У. Определение прочностных и деформативных параметров тяжелых бетонов на крупных заполнителях из боя кирпича // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 8 (9). – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-prochnostnyh-i-deformativnyh-parametrov-tyazhelyh-betonov-na-krupnyh-zapolnitelyah-iz-boya-kirpicha (дата обращения: 04.09.2026).
15. Терентьева, А. Ю. Исследование структуры и свойств малощебеночного бетона на заполнителе из бетонного лома / А. Ю. Терентьева // Дни студенческой науки : Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов института строительства и архитектуры, Москва, 13–17 марта 2017 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2017. – С. 998-999. – EDN YTQVAT.
16. Шевченко В. А., Шатрова С. А. Исследование возможности получения заполнителя для бетонов из бетонного лома // Эпоха науки. – 2017. – № 9. – URL: https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vozmozhnosti-polucheniya-zapolnitelya-dlya-betonov-iz-betonnogo-loma (дата обращения: 04.09.2026).

17. Effect of gelatin powder, almond shell, and recycled aggregates on chemical and mechanical properties of conventional concrete / M. Hematibahar, A. Esparham, N. I. Vatin [et al.] // Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. – 2023. – Vol. 19, No. 2. – P. 233-250. – DOI 10.22363/1815-5235-2023-19-2-233-250. – EDN DKBCLX.
18. Mechanical inheritance and mineralogical characteristics of recycled concrete aggregates derived from demolished concrete / Kh. Kh. Kamilov, F. O. Sabirov, D. R. U. Abdazov, S. I. Turakhanov // Universum: технические науки. – 2026. – No. 3-7(144). – P. 60-65. – EDN EOPJQL.
19. Neupane R. P., Devi N. R., Imjai T., Rajput A., Noguchi T. Cutting-edge techniques and environmental insights in recycled concrete aggregate production: A comprehensive review // Resources, Conservation & Recycling Advances. – 2025. – Vol. 25. – P. 200241. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667378924000403 (дата обращения: 04.09.2026).

20. Prasittisopin L., Tuvayanond W., Kang T. H. K., Kaewunruen S. Concrete Mix Design of Recycled Concrete Aggregate (RCA): Analysis of Review Papers, Characteristics, Research Trends, and Underexplored Topics // Resources. – 2025. – Vol. 14, no. 2. – Article 21. – DOI: 10.3390/resources14020021.

Technology for producing concrete from recycled concrete aggregates and their mechanical properties

Al-Ashmori Ahmed Mutahar Saleh, Abu Mahadi Mohammed Ibrahim
Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

JEL classification: L61, L74, R53

This article examines modern concrete production technologies using recycled concrete aggregates (recycled crushed stone) and their impact on the mechanical properties of the composite. The results of experimental studies by domestic and international researchers are analyzed, demonstrating that with appropriate crushing technology and composition selection, concrete using recycled aggregate can achieve strength comparable to concrete using natural crushed stone. It is shown that the use of recycled aggregates can reduce production energy costs by 85% and the cost of concrete by 25%, while providing environmental benefits by reducing the consumption of natural resources and the volume of construction waste. It has been established that optimization of recycled aggregate processing technology, including multi-stage crushing and the use of chemical additives, minimizes the negative impact of residual cement stone and allows the production of concrete grades up to B22.5-B25 with a recycled aggregate content of up to 60-100%.

Keywords: secondary crushed stone, concrete scrap, recycled concrete aggregates, compressive strength, recycling, concrete production technology.

References

1. Al-Ashmori, A. M. S., & Abu, M. M. I. (2025). Technology for producing concrete using recycled concrete aggregates. *Construction Economics*, (8), 518–520. EDN WHTVSN.
2. Al-Khawaf, A. F. K. (2018). Analytical review of the physical and mechanical properties of concrete containing coarse aggregate derived from crushed concrete. In *Education. Science. Production: Proceedings of the 10th International Youth Forum (with international participation)* (pp. 658–662). Belgorod: V. G. Shukhov Belgorod State Technological University. EDN BVMPST.
3. Al-Khawaf, A. F. K., & Nikulin, A. I. (2018). Modern technology for producing concrete with coarse aggregate from crushed concrete for use in load-bearing reinforced concrete structures. In A. A. Gorokhov (Ed.), *Problems and Prospects for Russia's Development: A Youth Perspective on the Future – Proceedings of the All-Russian Scientific Conference* (Vol. 3, pp. 220–224). Kursk: Southwest State University. EDN YNGVJR.
4. GOST R 72255-2025. Construction material waste generated during the demolition of buildings. Recycled crushed stone and sand derived from crushed concrete and reinforced concrete. General requirements. – Effective date: 2026–06–01. – URL: https://cn.gostinfo.ru/catalog/Details/?id=8135379 (accessed: 04.09.2026).
5. GOST R 72255-2025. Construction material waste generated during the demolition of buildings. Recycled crushed stone and sand derived from crushed concrete and reinforced concrete. General requirements: National Standard of the Russian Federation: approved and enacted by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 1, 2025, No. 978-st: effective date: 2026-06-01. – Moscow: Federal State Budgetary Institution "Institute for Standardization," 2025. – 12 p. – URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm_update_01122025/gost-r_gosudarstvennyj-standart/0/gost_r_72255-2025_natsionalnyy_standart_rossiyskoy.html (accessed: 04.09.2026).
6. Egorochkina, I. O. Optimization of the composition of modified concrete based on aggregates from concrete rubble / I. O. Egorochkina, I. A. Serebryanaya, A. A. Sukiasyan, A. K. Tupchiev // Engineering Bulletin of the Don. – 2020. – No. 9(69). – pp. 237–245. – EDN LMDXJE.
7. Kitsenko, T. P. Use of Coarse Aggregate Derived from Concrete Waste in Heavy-Weight Concrete / T. P. Kitsenko, D. S. Omelyanovich // Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – 2020. – No. 1(141). – pp. 99–103. – EDN USXPJM.
8. Kuznetsova, N. V. Planning Experimental Studies on the Physico-Mechanical Properties of Fine-Grained Concrete Containing Crushed Glass Aggregate / N. V. Kuznetsova, A. D. Seleznev, I. A. Selezneva // Sustainable Regional Development: Architecture, Construction, Transport: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference of the Institute of Architecture, Construction and Transport at Tambov State Technical University, Tambov, June 15–16, 2017. – Tambov: R. V. Pershin Publishing, 2017. – pp. 269–271. – EDN ZNDLST.
9. Kulsharov, B. B. Influence of the Grinding Fineness of Corn-Waste-Derived Aggregate on the Physico-Mechanical Properties of Slag-Alkali Lightweight Concrete / B. B. Kulsharov, M. V. Akulova // Current Environmental Issues in Modern Cities: Proceedings of the 2nd National Scientific and Practical Conference with International Participation, Ivanovo, December 18, 2024. – Ivanovo: Ivanovo State Polytechnic University, 2025. – pp. 89–92. – EDN EDWRXV.
10. Külekçi, G. Mechanical properties of shotcrete with recycled aggregate derived from construction waste / G. Külekçi, M. Çullu, A. O. Yılmaz // Journal of Mining Science (Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh). – 2023. – No. 3. – pp. 34–47. – DOI 10.15372/FTPRPI20230304. – EDN TSSCVC.
11. Lamzhav, O. Investigation of the properties of recycled aggregate and concrete made from crushed concrete / O. Lamzhav // Experimental and Theoretical Research in Modern Science: Collection of articles from the VIII International Scientific and Practical Conference, Novosibirsk, December 13–22, 2017. Vol. 8(8). – Novosibirsk: Association of Researchers "Siberian Academic Book," 2017. – pp. 71–77. – EDN YPXGZO.
12. Makridin, N. I. Comparative assessment of the physical and mechanical properties of rocks for the selection of concrete aggregates / N. I. Makridin, O. V. Tarakanov, I. N. Maksimova, Yu. V. Polubarova // Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. – 2018. – No. 21. – pp. 215–218. – EDN YXHTXC. 13. Murtazaev, S. A. Yu., Salamanova, M. Sh., & Gishlakaeva, M. I. (2008). Formation of the structure and properties of concrete using recycled concrete aggregate. *Concrete and Reinforced Concrete*, (5), 25–28. EDN: JUVXVP.
14. Tagoev, Kh. U. (2017). Determination of strength and deformation parameters of heavy-weight concrete using coarse aggregate derived from crushed brick. *Issues of Science and Education*, (8(9)). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/opredelen