

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.75.1>

EDN: TKLECI

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ОТХОДЫ КАК РЕСУРС: ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВТОРИЧНОГО ЩЕБНЯ ДЛЯ ПОВТОРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Научная статья

Галицкова Ю.М.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-0168-8949;¹ Самарский государственный технический университет, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (galickova[at]yandex.ru)

Предложена: 15.04.2026; Принята: 23.07.2026; Опубликовано: 21.08.2026

Аннотация

В процессе демонтажа капитальных зданий и сооружений образуется большое количество строительных отходов. Первоначально складированные на площадках демонтажа, эти отходы чаще всего направляются на полигон для захоронения. Разнообразие фракционного состава и длительное хранение строительных отходов оказывают негативное воздействие на все компоненты окружающей среды. В статье представлены результаты исследования влияния содержания глинистых и пылевидных частиц в бое бетона на его качество и потенциальные сферы применения в качестве вторичного щебня. Представлена подробная методика исследований, полученные результаты представлены в табличном и графическом виде. На основании анализа полученных данных сформулированы выводы о целесообразности дальнейшего использования вторичного щебня в ремонтных работах и при возведении сооружений низкого класса капитальности.

Ключевые слова: строительные отходы, вторичное использование, переработка отходов, лабораторные исследования, содержание глинистых частиц, метод отмучивания.

CONSTRUCTION WASTE AS A RESOURCE: A STUDY OF THE QUALITY OF RECYCLED CRUSHED AGGREGATE FOR REUSE

Research article

Galitskova Y.M.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-0168-8949;¹ Samara State Technical University, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (galickova[at]yandex.ru)

Suggested: 15.04.2026; Accepted: 23.07.2026; Published: 21.08.2026

Abstract

The demolition of permanent buildings and structures generates large quantities of construction waste. Initially stored at demolition sites, this waste is most often sent to landfill. The varied particle size distribution and long-term storage of construction waste have a negative impact on all components of the environment. The article presents the results of a study of the effect of the content of clayey and dust-like particles in concrete rubble on its quality and potential areas of application as recycled aggregate. A detailed research methodology is presented, and the results are shown in tabular and graphical form. Based on an analysis of the obtained data, conclusions have been drawn regarding the feasibility of the further use of recycled aggregate in repair works and in the construction of low-capital buildings.

Keywords: construction waste, reuse, waste recycling, laboratory tests, clay particle content, elutriation method.

Введение

Современные темпы развития строительной отрасли и разрастания населенных пунктов стимулируют потребность в реновации городских территорий, стимулируя потребность в освобождении площадок от устаревших зданий для возведения новых, современных зданий и сооружений. Данный процесс, как правило, сопряжен с образованием значительных объемов строительных отходов. К ним относятся разнообразные фракции — от мелкой пыли и остатков отделочных материалов до битого кирпича, боя бетонных и железобетонных плит, гипсокартона, древесины и металлических конструкций и т.д. Неэффективное использование и неправильное обращение с этими отходами приводит к ухудшению санитарно-гигиенической обстановки, что представляет угрозу для здоровья работников и близлежащего населения, а также к серьезному экологическому загрязнению всех компонентов окружающей среды, включая почвы, водные ресурсы и атмосферу.

Источники образования строительных отходов можно условно подразделить на три основные категории:

- 1) строительные площадки новых объектов;
- 2) территории проведения ремонтных работ;
- 3) объекты, подлежащие сносу и демонтажу.

Каждая из этих категорий характеризуется своеобразным физико-химическим составом образующихся отходов (таблица 1) [1], [2], [3], [5]. Традиционно, образующийся строительный мусор сначала складывается на временных площадках в непосредственной близости к возводимому строительному объекту, а затем либо направляется на

полигоны для захоронения, либо передается на переработку для последующего вторичного использования в различных сферах деятельности [6], [7], [8], [9].

Таблица 1 - Виды строительных отходов, образующихся при проведении разных строительных работ

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.75.1.1>

Наименование отхода	Источник — строительство нового объекта	Источник — ремонт и реконструкция	Источник — ветхое здание (демонтаж)	Источник — благоустройство территории/ремонт дорог
Отходы бетона и железобетона	***	**	***	*
Отходы древесины	*	**	*	-
Бой кирпича	***	**	***	-
Отходы асфальта	-	*	*	***
Загрязненный грунт	*	*	****	***

Перед вторичным использованием или переработкой во вторсырье ключевым этапом является подготовка отходов, которая включает тщательную сортировку отходов по типам отходов и, при необходимости, дробление или плавление некоторых фракций отходов. Несмотря на большое разнообразие способов переработки отходов, одна из доминирующих проблем на практике — отсутствие эффективной предварительной сортировки непосредственно на строительных площадках. Интенсивный характер строительства и большие объемы отходов делают эту операцию зачастую невыполнимой. Даже при наличии поверхностной сортировки, отслеживание дальнейшей логистики становится чрезвычайно затруднительным, часто приводя к смешиванию отходов с разных площадок на перерабатывающих предприятиях.

В результате, на переработку поступает сырье, сильно варьирующееся по габаритам, составу и, что наиболее критично с точки зрения эффективности дальнейшего использования сырья, по качеству. Определение точных качественных характеристик, таких как прочность бетона, требует проведения дорогостоящих и трудоемких лабораторных испытаний для каждой отдельной партии, что делает процесс экономически нецелесообразным при текущих подходах.

Несмотря на перечисленные сложности, наибольший потенциал для вторичного использования в строительной индустрии принадлежит бою бетона и железобетона. Переработка этих отходов происходит на специализированных площадках путем дробления и сепарации (с отделением арматуры). В результате таких манипуляций можно получать вторичный щебень. Этот материал находит применение в качестве заполнителя для новых бетонных изделий, а также в качестве основания при устройстве дорог. Объем производимого вторичного щебня напрямую зависит от интенсивности проведения ремонтных и строительных работ в анализируемом регионе.

Однако, поскольку характеристики исходного железобетона часто неизвестны, а сырье от различных источников смешивается, получаемый вторичный щебень обладает неоднородными свойствами. Для обеспечения его эффективного использования, крайне важно определять ключевые показатели: зерновой состав, прочность, наличие примесей, пористость, пустотность и водопоглощение [10], [11], [12], [13]. Особое значение имеет содержание глинистых и пылевидных частиц. Их присутствие формирует на поверхности зерен глинистую оболочку, снижая адгезию, что приводит к уменьшению прочности конечных бетонных изделий и ограничивает возможность их применения в ответственных строительных конструкциях.

Таким образом, главной целью представленного в статье исследования является оценка пригодности смешанной пробы вторичного щебня для строительных целей на основании анализа влияния содержания глинистых и пылевидных частиц на его эксплуатационные характеристики. Для достижения поставленной цели были проведены гранулометрический анализ и количественное определение доли пылевидных и глинистых фракций. Данное исследование закладывает основу для дальнейшей комплексной оценки качества вторичного щебня, включая изучение его прочности, зернового состава, морозостойкости и водопоглощения, с целью раскрытия полного потенциала его эффективного применения в строительстве.

Методы и принципы исследования

Для проведения комплексных лабораторных исследований были отобраны пробы дробленого щебня непосредственно на предприятии, специализирующимся на переработке железобетонных отходов, поступающих с различных строительных объектов Самарской области. Такой подход к отбору проб для исследований обеспечивает максимальное приближение исходного материала к условиям его реального применения, то есть учитывается разнообразие исходного «сырья» — отходов и боя железобетонных конструкций из разных временных периодов постройки и с разными типами и качеством бетона.

В строительной практике наибольшее распространение в использовании в качестве вторичного сырья получили вторичный щебень фракций 40–70 мм и 20–40 мм и щебеночно-песчаная смесь фракции 0–20 мм. Для проведения лабораторных исследований были отобраны основные две фракции, которые представляли наибольший интерес с точки зрения их дальнейшего применения в качестве сырья:

Вторичный щебень фракции 40-70 мм: фракция является крупнозернистым заполнителем, который может использоваться для устройства подстилающих слоев дорог, оснований транспортных сооружений, а также в составе бетонов для массивных конструкций.

Вторичный щебень фракции 5-20 мм: фракция, представляющая собой более мелкозернистый щебень, находит применение в дорожном строительстве (например, в качестве основания или слоя покрытия), в производстве сборных железобетонных изделий, а также в качестве заполнителя для товарного бетона.

Примечание: фракция 0–5 мм, представляющая собой так называемый «песок-отсев», не исследовалась в рамках представленной работы, поскольку ее свойства и состав требуют отдельного, более специфического анализа.

Фракционирование отобранного на предприятии сырья проводилось в соответствии с ГОСТ 8267-93 с использованием стандартного набора сит, которые обеспечивают точное разделение материала по заданным размерам.

Лабораторные исследования по определению содержания глинистых и пылевидных частиц:

Содержание глинистых и пылевидных частиц является одним из ключевых показателей качества щебня, так как их присутствие в значительном количестве может приводить к снижению прочности, к увеличению водопотребления и/или к снижению морозостойкости бетонных смесей. Существует несколько методов определения данного показателя, но многие из них требуют сложного оборудования и трудоемких вычислительных процессов.

В проведенном исследовании для определения содержания глинистых и пылевидных частиц был выбран метод отмучивания, как один из наиболее простых, наглядных и доступных в условиях стандартной строительной лаборатории. Кроме того, применение данного метода позволяет получить количественную оценку содержания загрязняющих примесей. Более сложные методы, такие как гранулометрический анализ с использованием пипеточного метода или лазерной дифракции, могут давать более детальную информацию о всем гранулометрическом составе, включая тонкодисперсные фракции, но требуют более дорогостоящего оборудования и высокой квалификации персонала. В вопросе быстрой оценки количества мелкодисперсных частиц, склонных к вымыванию, а также пригодности сырья для производства, метод отмучивания является оптимальным.

Этот метод основан на разделении частиц по плотности и размеру путем их промывки водой.

Для проведения анализа, согласно методике, использовалась пробы щебня массой не менее 5 кг. Такой объем пробы минимизирует влияние случайных погрешностей. Проба помещалась в емкость и высушивалась в сушильном шкафу до достижения постоянной массы, то есть устранялась влага, способная повлиять на точность взвешивания и последующие процедуры (рис. 1а).

Затем высушенная проба помещалась в соответствующий по объему сосуд и заливалась чистой водой до полного покрытия слоя щебня. Пробы выдерживались в таком состоянии в течение 15–20 минут. Это время достаточно для первичного растворения и разрыхления глинистых частиц, что позволяет их в дальнейшем отделить (рис. 1б).

После предварительного отстаивания в сосуд добавляли чистую воду до достижения уровня 200 мм над верхней границей щебня. Содержимое сосуда тщательно перемешивали. После перемешивания давали суспензии отстояться в течение 2 минут. За это время более крупные частицы щебня оседали на дно, а мелкие и глинистые частицы оставались во взвешенном состоянии в верхнем слое воды. Затем аккуратно, избегая поднятия осевших фракций щебня, воду вместе с суспензией сливали.



Рисунок 1 - Процесс отмучивания
DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.75.1.2>

Такой процесс промывки щебня проводили до тех пор, пока сливаемая вода не становилась прозрачной. Это служило показателем практически полного удаления глинистых и пылевидных частиц из пробы щебня.

На заключительном этапе пробы щебня изымались из воды, промывались от остатков суспензии и высушивались в сушильном шкафу до достижения постоянной массы. Завершающее взвешивание пробы проводилось с использованием лабораторных весов, обеспечивающих погрешность 0,1% (согласно ГОСТ 8269-87).

Для обеспечения достоверности полученных результатов, для каждой фракции вторичного щебня проводилось не менее 5 повторных опытов. Это позволяет рассчитать среднее значение содержания глинистых и пылевидных частиц, стандартное отклонение и оценить статистическую значимость результатов.

Основные результаты

По завершению цикла натурных исследований проводился анализ полученных данных.

Количественное содержание глинистых и пылевидных частиц, которое было удалено в процессе отмучивания, было рассчитано как процентное отношение массы удаленных частиц к первоначальной массе исследуемой пробы.

Формула для расчета:

$$X = \frac{(m - m_i)}{m} \times 100\%$$

где: X — содержание глинистых и пылевидных частиц (%), m — первоначальная масса исходной пробы щебня (до промывки), в граммах; m_i — масса пробы щебня после выполнения процедуры отмучивания и сушки (остаток), в граммах.

Полученные данные, представленные в табличной форме, отражают вариативность содержания таких частиц в различных пробах:

Таблица 2 - Результаты определения глинистых и пылевидных частиц в пробах вторичного щебня

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.75.1.3>

Размер фракции	1 опыт	2 опыт	3 опыт	4 опыт	5 опыт
Фракция от 5 до 20 мм	1,20	1,27	1,39	1,25	1,30
Фракция от 40 до 70 мм	0,70	0,85	0,8	0,9	0,95

Для более полного анализа и оценки достоверности полученных данных, была проведена статистическая обработка результатов:

Таблица 3 - Статистическая обработка лабораторных результатов

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.75.1.4>

Показатель	Для фракции 5-20 мм	Для фракции 40-70 мм
Среднеарифметическая величина содержания пылевидных и глинистых частиц ($X_{ср}$), %	1,27	0,85
Относительное стандартное отклонение от средней величины, %	от 0,91 до 9,67	от 1,19 до 17,86
Стандартное отклонение (σ)	0,049	0,1

Относительное стандартное отклонение было рассчитано по формуле $((X_{ср} - X_i) / X_{ср}) * 100\%$.

Обсуждение

Проведенный анализ полученных результатов лабораторных исследований показал, что исследованный вторичный щебень, который был получен из отходов бетона и железобетона, содержит следующие количества пылевидных и глинистых частиц:

1. Во вторичном щебне фракции 5-20 мм: содержание варьируется в пределах от 1,20% до 1,39% (среднеарифметическое значение 1,27%),
2. Во вторичном щебне фракции 40-70 мм: содержание пылевидных и глинистых частиц ниже, в диапазоне от 0,70% до 0,95% (среднеарифметическое значение 0,84%).

При сравнении полученных значений с нормативными требованиями, которые установлены ГОСТ 8267-93, становится очевидной пригодность данного материала для ряда строительных сфер. Допустимое содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне по данному стандарту для оснований автомобильных дорог (марка 600) составляет до 3%. Если рассматривать его использование для устройства временных дорог или дорог с низкой интенсивностью движения, то этот показатель является вполне приемлемым. Однако для щебня более высоких марок прочности (800 и выше) требования к содержанию пылевидных и глинистых частиц более жесткие и не должны превышать 1%.

Как было отмечено ранее, вторичный щебень можно использовать в качестве заполнителя для бетонных смесей. В этом случае повышенное содержание мелкодисперсных частиц (пыли и глины) может оказывать негативное влияние,



так как мелкие частицы, обладая высокой гидратационной активностью, будут увеличивать водопотребность бетонной смеси. Для обеспечения требуемой прочности и долговечности бетона, будет необходимо проводить корректировку водоцементного отношения. Это может усложнить процесс приготовления смеси и ее укладку. Для бетонов высоких марок (например, М400 и выше) рекомендуется еще более низкое содержание мельчайших частиц, часто не более 2–3% от массы щебня.

Стоит также отметить, что анализ расчетных значений относительного стандартного отклонения показывает более высокую вариативность содержания примесей фракции 40–70 мм (до 17,86%), тогда как для фракции 5–20 мм этот показатель ниже (до 9,67% в пределах нормы). Это может говорить о более неоднородном характере дробления крупных фракций или особенностях исходного сырья.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать предварительные выводы о возможных сферах применения вторичного щебня. Фракция 40–70 мм, благодаря более низкому содержанию глинистых и пылевидных частиц, выглядит перспективной для использования в дорожном строительстве (основания, дренажные слои) и для устройства территорий. Фракция 5–20 мм, с незначительно более высоким содержанием примесей, может быть использована в качестве заполнения для бетонов, но требует более тщательного контроля качества и, возможно, дополнительной промывки для высоко ответственных конструкций.

Заключение

На основании комплексного анализа результатов проведенных лабораторных исследований и сопоставления их с действующими нормативными документами, можно сформулировать следующие выводы:

1. Экологические и экономические преимущества: Использование вторичного щебня, полученного из отходов бетона, способствует решению экологических проблем путем сокращения объемов строительных отходов, направляемых на полигоны, и уменьшения числа несанкционированных свалок. Кроме того, применение вторичных материалов позволяет снизить себестоимость строительства за счет сокращения добычи первичных природных ресурсов. Предварительные оценки показывают, что замена 30% первичного щебня на вторичный в дорожном строительстве может привести к экономии затрат на материал в пределах 15–20% [13], [15].

2. Результаты лабораторных исследований: Исследования выявили содержание пылевидных и глинистых частиц во вторичном щебне в диапазоне от 0,7% (для фракции 40–70 мм) до 1,4% (для фракции 5–20 мм) от первоначальной массы пробы. Среднеарифметическое содержание составило 0,84% для крупной фракции и 1,27% для мелкой.

3. Рекомендации по применению: Учитывая соответствие вторичного щебня фракции 40–70 мм нормативным требованиям по содержанию пылевидных и глинистых частиц (близко к 1%), данная фракция может быть рекомендована для устройства временных автомобильных дорог, технологических проездов, благоустройства территорий, а также в качестве дренажного слоя в конструкциях дорожных одежд и фундаментов. Вторичный щебень фракции 5–20 мм также может служить заполнителем при изготовлении бетонных и мелкозернистых асфальтобетонных смесей. Однако, принимая во внимание несколько более высокое содержание пылевидных и глинистых частиц и отмеченную вариативность результатов, его применение наиболее целесообразно для сооружений невысокого класса ответственности (например, тротуары, отмостки, бетонные основания под легкие конструкции). Применение вторичного щебня, особенно фракции 5–20 мм, в более ответственных несущих конструкциях (например, при устройстве фундаментов зданий) требует проведения дополнительных испытаний для определения его прочностных характеристик (марка по дробимости, морозостойкость), а также оценки адгезионных свойств. Возможно, потребуется рассмотрение технологий предварительной промывки материала или комбинирования вторичного щебня с первичным в определенных пропорциях.

4. Перспективы развития рынка вторичного сырья: Введение в действие государственной информационной системы «Электронный паспорт отходов» (с 2025 года) является значимым шагом к повышению прозрачности и эффективности учета и контроля обращения с отходами, включая строительные. Это будет способствовать как снижению экологических рисков, так и стимулированию развития рынка вторичного сырья, расширению сфер его применения в строительной отрасли.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Алексанин А.В. Развитие системы планирования в сфере обращения строительных отходов / А.В. Алексанин // Естественные и технические науки. — 2015. — № 11 (89). — С. 620–622.
2. Казеева Е.В. Утилизация отходов строительной индустрии / Е.В. Казеева, О.В. Королева // Точная наука. — 2019. — № 68. — С. 13–17.
3. Олейник П.П. Основные проблемы переработки строительных отходов / П.П. Олейник, С.П. Олейник // Жилищное строительство. — 2005. — № 5. — С. 24–26.
4. Шейх А.А. Анализ и оценка существующих методов обращения со строительными отходами / А.А. Шейх, Т.С. Башева // Энергетические системы. — 2016. — № 1. — С. 168–171.



5. Галицкова Ю.М. Повышение природоохранных требований в современных условиях / Ю.М. Галицкова, М.И. Балзаников // Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды. — Самара: СГАСУ, 2000. — С. 222–223.
6. Ванус Д.С. Анализ вторичного использования строительных отходов железобетонных конструкций / Д.С. Ванус, В.С. Голицын, М.С. Бужинский // Составляющие научно-технического прогресса. — 2024. — № 1 (91). — С. 6–10.
7. Алпатов В.Ю. Совершенствование методов организации рециклинга при реконструкции зданий и сооружений / В.Ю. Алпатов, Е.П. Акри, Ж.В. Селезнева // Градостроительство и архитектура. — 2022. — № 4 (49). — С. 67–74. — DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.9
8. Балабанов М.С. Исследование обогащения песка для строительных работ отсевами дробления горных пород / М.С. Балабанов, А.Г. Чикноворьян // Градостроительство и архитектура. — 2023. — № 3 (52). — С. 50–58. — DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.07
9. Чумаченко Н.Г. Отвалы и захоронения из отходов Сокского карьера карбонатных пород / Н.Г. Чумаченко, В.В. Тюрников, М.Г. Калинина // Градостроительство и архитектура. — 2022. — № 4 (49). — С. 60–66. — DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.08
10. Романенко И.И. Вторичное использование в дорожном строительстве щебня полученного из дробленого бетона / И.И. Романенко, М.И. Романенко, И.Н. Петровнина // Интернет-журнал науковедение. — 2015. — № 1 (26). — С. 86.
11. Лупанов А.П. Применение отходов дробления бетона для устройства оснований дорожных одежд / А.П. Лупанов, А.В. Филимонов // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура.. — 2019. — № 2 (20). — С. 12.
12. Галицкова Ю.М. Основные направления использования строительных отходов от демонтажа зданий / Ю.М. Галицкова // Природоохранные и гидротехнические сооружения: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов. — 2014. — С. 125–129.
13. Красникова Н.М. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов / Н.М. Красникова, Е.В. Кириллова, В.Г. Хозин // Строительные материалы. — 2020. — № 1-2. — С. 56–65. — DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65
14. Батуев Н.И. Использование вторичных материальных ресурсов в производстве геополимерных бетонов / Н.И. Батуев, Е.В. Калинина // Химия. Экология. Урбанистика. — 2021. — № 1. — С. 226–229.
15. Аббас З.А. Экспериментальное исследование механических свойств рециклированных бетонов / З.А. Аббас, Т.Р. Баркая, А.В. Гавриленко // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. — 2017. — № 1. — С. 1–9.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aleksanin A.V. Razvitie sistemy' planirovaniya v sfere obrashheniya stroitel'ny'x otxodov [Development of a planning system for construction waste management] / A.V. Aleksanin // Natural and Technical Sciences. — 2015. — № 11 (89). — P. 620–622. [in Russian]
2. Kazeeva E.V. Utilizaciya otxodov stroitel'noj industrii [Disposal of construction industry waste] / E.V. Kazeeva, O.V. Koroleva // Exact science. — 2019. — № 68. — P. 13–17. [in Russian]
3. Olejnik P.P. Osnovny'e problemy' pererabotki stroitel'ny'x otxodov [The main problems of construction waste recycling] / P.P. Olejnik, S.P. Olejnik // Housing construction. — 2005. — № 5. — P. 24–26. [in Russian]
4. Shejx A.A. Analiz i ocenka sushhestvuyushhix metodov obrashheniya so stroitel'ny'mi otxodami [Analysis and evaluation of existing methods for handling construction waste] / A.A. Shejx, T.S. Bashevaya // Energy systems. — 2016. — № 1. — P. 168–171. [in Russian]
5. Galitskova Yu.M. Povishenie prirodookhrannikh trebovaniy v sovremennikh usloviyakh [Increasing environmental requirements in modern conditions] / Yu.M. Galitskova, M.I. Balzannikov // Research in the fields of architecture, construction, and environmental protection. — Samara: SGASU, 2000. — P. 222–223. [in Russian]
6. Vanus D.S. Analiz vtorichnogo ispol'zovaniya stroitel'ny'x otxodov zhelezobetonny'x konstrukcij [Analysis of the secondary use of construction waste of reinforced concrete structures] / D.S. Vanus, V.S. Golitsyn, M.S. Buzhynskij // The components of scientific and technological progress. — 2024. — № 1 (91). — P. 6–10. [in Russian]
7. Alpatov V.Yu. Sovershenstvovanie metodov organizacii reciklinga pri rekonstrukcii zdaniy i sooruzhenij [Improving the methods of recycling during the reconstruction of buildings and structures] / V.Yu. Alpatov, E.P. Akri, Zh.V. Selezneva // Urban planning and architecture. — 2022. — № 4 (49). — P. 67–74. — DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.9 [in Russian]
8. Balabanov M.S. Issledovanie obogashheniya peska dlya stroitel'ny'x rabot otsevmi drobleniya gorny'x porod [Research on the enrichment of sand for construction work using rock crushing fines] / M.S. Balabanov, A.G. Chiknovor'yan // Urban planning and architecture. — 2023. — № 3 (52). — P. 50–58. — DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.07 [in Russian]
9. Chumachenko N.G. Otvaly' i zaxoroneniya iz otxodov Sokskogo kar'era karbonatny'x porod [Dumps and landfills of waste from the Soksky quarry of carbonate rocks] / N.G. Chumachenko, V.V. Tyurnikov, M.G. Kalinina // Urban planning and architecture. — 2022. — № 4 (49). — P. 60–66. — DOI: 10.17673/Vestnik.2022.04.08 [in Russian]
10. Romanenko I.I. Vtorichnoe ispol'zovanie v dorozhnom stroitel'stve shhebnya poluchennogo iz droblenogo betona [Secondary use of crushed concrete in road construction] / I.I. Romanenko, M.I. Romanenko, I.N. Petrovnina // Online Journal of Science Studies. — 2015. — № 1 (26). — P. 86. [in Russian]
11. Lupanov A.P. Primenenie otxodov drobleniya betona dlya ustrojstva osnovanij dorozhny'x odezhd [Use of concrete crushing waste for road pavement bases] / A.P. Lupanov, A.V. Filimonov // Car. Road. Infrastructure. — 2019. — № 2 (20). — P. 12. [in Russian]



12. Galitskova Yu.M. Osnovnie napravleniya ispolzovaniya stroitelnykh otkhodov ot demontazha zdaniy [Main areas of use for construction waste from building demolition] / Yu.M. Galitskova // Prirodookhrannye i gidrotekhnicheskie sooruzheniya: problemi stroitelstva, ekspluatatsii, ekologii i podgotovki spetsialistov [Environmental and hydraulic engineering structures: problems of construction, operation, ecology, and training of specialists]. — 2014. — P. 125–129. [in Russian]
13. Krasnikova N.M. Vtorichnoe ispol'zovanie betonnoy loma v kachestve sy'r'evykh komponentov cementnykh betonov [Recycling of concrete scrap as raw materials for cement concretes] / N.M. Krasnikova, E.V. Kirillova, V.G. Xozin // Building materials. — 2020. — № 1-2. — P. 56–65. — DOI: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65 [in Russian]
14. Batuev N.I. Ispol'zovanie vtorichnykh materialnykh resursov v proizvodstve geopolimernykh betonov [Use of secondary materials in the production of geopolymer concretes] / N.I. Batuev, E.V. Kalinina // Chemistry. Ecology. Urbanistics. — 2021. — № 1. — P. 226–229. [in Russian]
15. Abbas Z.A. Eksperimental'noe issledovanie mexanicheskikh svoystv reciklirovannykh betonov [Experimental study of the mechanical properties of recycled concretes] / Z.A. Abbas, T.R. Barkaya, A.V. Gavrilenko // Security of the Russian Construction Fund. Problems and Solutions. — 2017. — № 1. — P. 1–9. [in Russian]