



А.Г. Каптюшина, И.С. Кононов, А.Н. Бакунина
Череповецкий государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЩЕБНЯ ИЗ БЕТОННОГО ЛОМА

Работа выполнена в лаборатории кафедры строительства имени почетного профессора Череповецкого государственного университета, доктора технических наук В.С. Грызлова

В статье оценивается актуальность вопроса использования отходов строительной индустрии, в частности бетонного лома, в качестве вторичного сырья; приводится анализ основных свойств щебня согласно действующим нормам; делается вывод о возможности применения дробленого бетона как крупного заполнителя в бетоне.

Вологодская область, бетонный лом, вторичный щебень, рециклинг, утилизация отходов.

Строительная индустрия является важной социальной и экономической отраслью, цель которой заключается в строительстве современных объектов на основе эффективных конструктивных решений, формирующих искусственную среду обитания человека, способствующую повышению уровня его жизнедеятельности. Стремительный промышленный рост конца XX – начала XXI в. создает серьезные проблемы во всем мире: истощение доступных природных ресурсов и увеличение количества отходов, не являющихся биоразлагаемыми [1].

По данным Европейской ассоциации по сносу зданий (EDA) каждый год на планете образуется около 2,5 млрд т строительных отходов [4].

В Вологодской области около 1,34 млн кв. м (4,1 % от жилищного фонда) приходится на ветхое и аварийное жилье, что составляет более 900 000 куб. м отходов бетонных, железобетонных и каменных конструкций.

В настоящее время наиболее распространенными видами утилизации строительных отходов являются:

- 1) захоронение на полигонах ТБО;
- 2) использование в качестве подстилающих слоев основания автомобильных дорог, площадок и прочих объектов с низкой степенью ответственности.

Следует отметить, что рост темпов сноса зданий значительно опережает процесс вторичного использования техногенного сырья, что, в свою очередь, способствует росту площадей, занимаемых строительным мусором. В результате такого процесса наносится ущерб экологии и экономике.

Актуальность поставленного вопроса связана со следующими обстоятельствами:

- 1) освобождение территорий, используемых в качестве отвалов бетонного лома (проблема экологической безопасности «зеленого строительства»);
- 2) сбережение природных ресурсов;
- 3) снижение транспортных расходов по доставке природного сырья;

4) снижение экологического ущерба от добычи строительных материалов;

5) экономия энергетических ресурсов.

Наиболее распространенными материалами для строительства зданий и сооружений являются: кирпич, бетон, железобетон, сталь и древесина. Сложность для вторичного использования представляют бетон и железобетон. Учитывая их распространенность в качестве строительных материалов и неспособность к биологическому разложению, был сделан вывод о необходимости изучения вопроса их рециклинга.

С.П. Олейник проанализировал рост жилья и объемы сноса зданий в России и пришел к выводу, что объем бетонного лома при разборке бетонных сооружений каждые 10 лет увеличивается примерно в 2 раза и на 2020 год составит 800 млн т [4].

Исследования целесообразности использования заполнителей из отходов дробления бетонного лома проводятся на протяжении более 50 лет.

А.А. Чернильник, А.В. Яновская, К.К. Евсюков и С.С. Ванян проводят сравнительное исследование трех видов щебня для бетона: терриконового, шлакового и вторичного. В результате исследования они делают вывод о возможности применения каждого вида щебня, при этом наилучшие результаты показывает шлаковый щебень [6].

В статье А.И. Шестернина, М.О. Коровкина и Н.А. Ерошкиной проверяется гипотеза применимости отсевов бетонного лома в качестве частичной замены природного песка в самоуплотняющихся бетонах. Авторы делают вывод о том, что возможно замещение до 50 % мелкого заполнителя отсевами дробленого бетона без существенного отклонения показателя прочности конечного продукта [7].

В настоящей работе для проведения исследований свойств щебня из бетонного лома использовались блоки ФБС. Изделия разбивались на куски размером до 600 мм, которые в дальнейшем перерабатывались на дробильной установке с получением щебня фракции 0–20 мм.

Испытания щебня из бетона проводились для фракции 5–20 мм в соответствии с требованиями [2].

В ходе исследования были определены истинная и насыпная плотности, межзерновая пустотность, влажность, водопоглощение, содержание пластинчатых и игловатых зерен, содержание пылевидных частиц, зерновой состав и дробимость при сжатии в цилиндре. Результаты испытаний сравнивались с требованиями [5] и [3].

Целью работы является исследование возможности применения бетонного лома в качестве заполнителя для производства бетона.

Зерновой состав щебня определялся путем просева пробы на стандартном наборе сит с размером отверстий: 1,25; 2,5; 5; 10; 20 – для фракции 5–20 мм.

По результатам просеивания определялся частный остаток на каждом сите, а также полные остатки в процентах массы пробы, равные сумме частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстия. Протокол определения гранулометрического состава щебня приведен в таблице 1.

Таблица 1

Протокол определения гранулометрического состава щебня фракции 5–20 мм

Показатели	Размер отверстий сит, мм				Поддон, % по массе
	1,25 и 2,5	5	10	20	
Частные остатки, г	205	740	3230	815	190
Частные остатки, %	4,1	14,8	64,6	16,3	3,8
Полные остатки, %	99,8	95,4	80,6	16,3	100

Кроме этого, была установлена наибольшая ($D_{\text{наиб.}}$) и наименьшая ($D_{\text{наим.}}$) крупность зерен щебня. Согласно [3] для фракции 5–20 мм $D_{\text{наим.}}=1,25$ мм, $D_{\text{наиб.}}=20$ мм.

Качество зернового состава вторичного щебня оценивалось согласно [3] значениями полных остатков в процентах на ситах с контрольными отверстиями $1,25 \cdot D_{\text{наиб.}}$, $D_{\text{наиб.}}$, $0,5 \cdot (D_{\text{наиб.}} + D_{\text{наим.}})$, $D_{\text{наим.}}$. По результатам испытаний были построены графики зернового состава щебня из бетона фракции 5–20 мм в сравнении с нормативными данными просева для природного щебня (рис.).

Дробимость щебня определялась по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре в сухом состоянии. За результат принималось среднее арифметическое значение двух параллельных испытаний.

В ходе эксперимента был получен показатель дробимости, равный

$$D_p = \frac{15,8 + 18,6}{2} = 17,2 \text{ \%}$$

Согласно [3] щебень из бетона фракции 5–20 мм имеет марку по дробимости 600.

Насыпная плотность щебня определялась взвешиванием определенного объема щебня, высушенного до постоянной массы. Согласно [2] масса лабораторной пробы для щебня с наибольшим номинальным диаметром зерен 20 мм должна быть равна 10 кг.

В работе была получена насыпная плотность, равная 1187,5 кг/м³.

Водопоглощение щебня из бетонного лома определялось сравнением массы проб щебня в насыщенном водой состоянии и после высушивания.

Для щебня фракции 5–20 мм было получено значение водопоглощения

$$W_{\text{погл}} = \frac{1600 - 1500}{1500} * 100 = 6,6 \text{ \%}$$

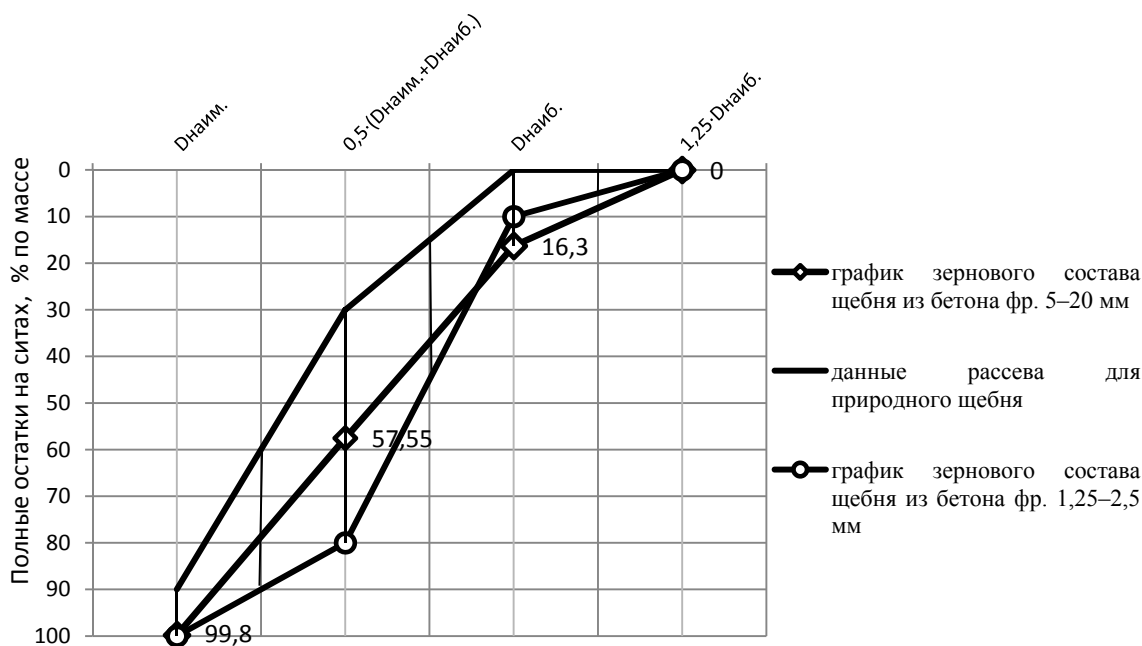


Рис. Зерновой состав щебня из бетона в сравнении с природным щебнем

Влажность щебня определялась путем сравнения массы пробы во влажном состоянии и после высушивания.

Значение влажности щебня составило

$$W = \frac{1500 - 1495}{1495} * 100 = 0,33 \%$$

Пустотность щебня определялась расчетным путем на основании предварительно установленных значений средней плотности зерен и насыпной плотности щебня.

Значение пустотности составило

$$V_n = \left(1 - \frac{1187,5}{2,25 * 1000}\right) * 100 = 47,2 \%$$

Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм оценивается количеством зерен, толщина которых в три и более раза меньше длины (метод визуальной разборки).

Значение показателя равно

$$P_{пл} = \frac{62,6}{1000} * 100\% = 6,26 \%$$

Согласно [3] щебень с содержанием зерен пластинчатой и игловатой формы менее 15 % по массе относится к 1 группе.

Наличие пылевидных и глинистых частиц определялось по изменению массы щебня после отмучивания.

Значение показателя оказалось равно

$$P_{отм} = \frac{5000 - 4945}{5000} * 100 = 1,1 \%$$

По окончании испытаний показатели качества исследуемого фракционированного щебня сравнивались с требованиями [5] на щебень, получаемый при дроблении бетонных и железобетонных фрагментов изделий. Результаты сравнения приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение результатов испытаний щебня из бетона с требованиями норм

Наименование показателей	Эксперимент. Щебень из бетона фр. 5–20 мм	Требования ГОСТ для природного щебня	Требования ТУ для щебня из бетона
Насыпная плотность $\rho_{н.}$, кг/м ³	1187,5	> 1200 (для плотных заполнителей)	1200–1300
Средняя плотность зерен ρ , г/см ³	2,25	2,0–3,0	2–3
Пустотность $V_{п.}$, % по объему	47,2	40–45	–
Содержание зерен пластинчатой и игловатой форм $P_{пл.}$, %	6,26	< 15 (1 группа)	< 25
Содержание пылевидных и глинистых частиц $P_{отм.}$, %	1,1	< 3	< 3
Водопоглощение $W_{п.}$, % по массе	6,6	< 1	< 6
Влажность W , % по массе	0,33	–	–
Марка по дробимости	600	> 400	> 200

По результатам работы можно сделать следующие выводы:

1. Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что исследуемый фракционированный щебень из бетона удовлетворяет условиям [2], согласно которым может быть применен в качестве крупного заполнителя для тяжелых бетонов классов по прочности до В30 включительно.

2. При сравнении результатов испытаний щебня из бетонного лома с требованиями [3] выяснилось, что он удовлетворяет большинству показателей свойств, которыми характеризуется природный щебень.

3. Зерновой состав щебня из бетона фракции 5–20 мм близок к заполнителям с оптимальной непрерывной гранулометрией (рис.) и соответствует требованиям [3].

4. Сопоставление графиков зернового состава и сравнение физико-механических характеристик щебня из бетона и природного щебня свидетельствуют о конкурентоспособности вторичного заполнителя. При этом наличие в исследуемом щебне растворного компонента, дающее ему более высокое водопоглощение и снижающее его насыпную плотность, принципиально отличает данный щебень от заполнителя из природного каменного материала. Количество содержания растворного компонента в различных фракциях вторичного использования имеет существенное значение для прогнозирования поведения этого материала в бетонных смесях и в затвердевшем бетоне.

5. Дробимость щебня из бетонного лома фракции 5–20 мм зависит непосредственно от прочности цементного камня. Именно его прочность и будет определять класс получаемого бетона. Сравнение результатов испытаний щебня из дробленого бетона с требованиями стандартов для природного щебня, подтверждает возможность использования вторичного щебня в качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона класса по прочности до В25 включительно.

В заключение следует добавить, что необходимы дальнейшие исследования щебня из бетонного лома на предмет его микроструктуры и влияния на показатели бетона. Визуальный осмотр исходного материала и полученные характеристики выявили основные особенности вторичного щебня: наличие цементно-песчаного раствора на поверхности заполнителя, его высокую пористость и, как следствие, повышенное водопоглощение. Данные факторы требуют изучения их влияния на конечные характеристики щебня и получаемого бетона.

Литература

1. S. Shahidan, N. M. Damage severity evaluation on reinforced concrete beam by means of acoustic emission signal and intensity analysis / S. Shahidan, N. M. Bunnori, N. Md Nor and S. R. Basri // 2011 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, Langkawi, Malaysia. – 2011. – Vol. 11, № 20. – P. 337–341.

2. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства, для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система /

Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Олейник, С. П. Строительные отходы при реконструкции зданий и сооружений / С. П. Олейник. – Текст : электронный // Отходы и ресурсы. – 2016. – Т. 3, № 2. – URL: <http://resources.today/PDF/02RRO216.pdf> (дата обращения: 19.04.2021).

5. ТУ 5711-001-40296246-99. Щебень из бетона. Технические условия. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Кон-

сорциум «Кодекс» (дата обращения: 10.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Исследование эффективности применения промышленных отходов в качестве заполнителей для бетона вибрированных железобетонных изделий и конструкций / А. А. Чернильник, А. В. Яновская, К. К. Евсюков, С. С. Ванян // Вестник Евразийской науки. – 2019. – № 3. – С. 2–6.

7. Шестернин, А. И. Использование бетонного лома для получения заполнителя бетона / А. И. Шестернин, М. О. Коровкин, Н. А. Ерошкина // Молодой ученый. – 2015. – № 12 (92). – С. 353–356.

8. Департамент строительства Вологодской области. Структура жилищного фонда области по формам собственности. – URL: <http://depreregion.ru/Default.aspx?mnu=2a43a94379814dc6ab540723941930e1> (дата обращения: 19.04.2021). – Текст : электронный.

A.G. Kaptyushina, I.S. Kononov, A.N. Bakunina
Cherepovets State University

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CRUSHED STONE FROM CONCRETE SCRAP

The article assesses the relevance of the building industry waste use, in particular, concrete scrap as a secondary raw material, provides the analysis of the crushed stone main properties according to current standards; it is concluded that crushed concrete can be used as a coarse aggregate in the concrete.

Vologda region, concrete scrap, recycled concrete aggregate, recycling, waste disposal.