

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ БЕТОННОГО ЛОМА

**А. Р. Гизатуллин, Н. Н. Морозова, А. В. Павлов,
А. В. Танеева, В. Ф. Новиков**

*ФГБОУ ВО «Казанский государственный
архитектурно-строительный университет»;
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический
университет», Казань, Республика Татарстан, Россия*

Ключевые слова: бетонный лом; влажность; переработка отходов; плотность; содержание; утилизация.

Аннотация: Изучается проблема утилизации отходов бетонного лома, образующегося в результате сноса отслуживших свой срок зданий и сооружений. Установлено, что отсеvy дробления отходов бетонного лома имеют повышенную запыленность, что может ухудшить экологическую обстановку в районе демонтажа зданий и сооружений. Определены физико-механические свойства проб отсева отходов бетонного лома и показана нелинейная зависимость содержания влаги и пылевидных частиц в них. Получены экспериментальные данные отсева проб бетонного лома по фракционному составу. Установлена зависимость среднего значения массы остатка отсева от размера зерен в исследованных пробах, имеющая экстремальные значения в области 5 и 0,315 мм. Для улучшения прочности бетонного отсева в него предложено добавить до 5 % портландцемента.

Введение

В соответствии с Федеральной отраслевой программой «Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022 – 2030 годы», предполага-

Гизатуллин Анас Рифкатович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»; Морозова Нина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии строительных материалов, изделий и конструкций»; ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет»; Павлов Андрей Владимирович – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений»; Танеева Алина Вячеславовна – кандидат химических наук, доцент кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений», e-mail: alinataneeva@mail.ru; Новиков Вячеслав Федорович – доктор химических наук, профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий, строительство зданий и сооружений», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, Республика Татарстан, Россия.

ется вовлечение в технологический оборот отходов, которые образуются при строительстве объектов [1]. Применение отходов бетона в качестве сырьевых ресурсов в строительстве и реконструкции производственных объектов приведет к снижению потребления природных материалов, уменьшит площади полигонов по их захоронению и соответственно территории засоренных земельных участков, при этом расширит площади зеленых насаждений [2, 3].

Как правило, для переработки отходов бетона применяют дробильные установки, где они подвергаются измельчению, после чего поступают в магнитный сепаратор, в котором извлекаются металлические включения. Такой дробленый бетон используется в качестве мелкого и крупного заполнителей в различных технологических процессах [4]. Применение в технологических процессах вторичного щебня из отходов бетона позволяет получить бетон высокого класса по прочности и с высокой маркой по морозостойкости, который по своим техническим характеристикам может быть использован в промышленности [5, 6].

При получении бетона на его физико-механические свойства существенное влияние оказывает компонентный состав, а также природа адгезионной добавки. При этом прочность бетона при частичной замене природного щебня на вторичный может быть выше [7].

Отходы бетона в большом количестве образуются при сносе многоэтажных зданий с использованием технологии взрыва, в результате которого создаются динамические нагрузки, приводящие к разрушению несущих конструкций всех этажей здания. В результате такого процесса происходит потеря устойчивости здания и его окончательное обрушение [8, 9]. В условиях плотной городской застройки взрывной метод имеет ряд ограничений, связанных с влиянием динамических нагрузок на соседние здания, неоднородным измельчением материалов, высокой запыленностью прилегающих территорий. Кроме того, усложняется процесс транспортировки разрушенных элементов здания, а также появляются экологические проблемы утилизации материалов, подвергшихся разрушительному воздействию, так как при взрыве образуется большое количество строительного мусора [10, 11].

Таким образом, наиболее перспективным методом утилизации отходов бетона является поэлементная разборка зданий с повторным использованием материалов, изделий и конструкций. В этом случае технология поэлементного разбора зданий объединяет элементы ручного и механизированного способов с применением технических средств малой механизации. К одним из основных этапов такой разборки относится инженерный и экологический надзор за сносом зданий, а также сортировка отходов по группам: дерево, пластик, металл, стекло, кирпич, бетон и др. При этом необходимо проводить определение физико-механических и экологических характеристик элементов, подлежащих демонтажу [12]. Преимущество такой технологии заключается в большом экологическом эффекте. Это связано с тем фактором, что при производстве железобетонных конструкций требуется до 6000 кг условного топлива. При этом в атмосферный

воздух выбрасывается 2,76 т углекислого газа. При повторном использовании отходов бетонных конструкций тепловое загрязнение атмосферного воздуха не происходит; существенно снижаются стоимость строительных объектов и логистические затраты [13].

Как известно за последние 50 лет средняя температура земного шара повысилась на 2° С, что связывается с повышением содержания в атмосферном воздухе углекислого газа, который создает парниковый эффект [14]. При этом бетону отводится ключевая роль в снижении выбросов углекислого газа в атмосферный воздух за счет уменьшения расхода вяжущего на единицу объема, а также в результате тепловой защиты зданий и сооружений, что приведет к снижению энергетических затрат. Кроме того, производство бетона требует существенно меньше энергетических затрат по сравнению с производством других строительных материалов.

Материалы и методы

Экспериментальную часть работы проводили с использованием отсева дробления бетонного лома, который отбирался с производственных площадок строительного предприятия. Строительные отходы демонтируемого объекта, представляющие собой булыжники различной формы и размера, подвергались дроблению. С этой целью отходы бетона подавали в приемный бункер щековой дробилки, где с использованием электромагнита извлекали механические примеси. Затем отходы бетона подавали в дробильно-сортировочный комплекс, в котором с помощью грохота полученный материал разделяли на фракции, мм: 0...5; 5...20; 20...40; 40...70. После этого отбирали пробы отсева дробления бетонного лома фракции до 5 мм, с которыми проводили экспериментальные исследования. Для контроля фракционного состава отсева дробления бетонного лома использовали стандартный набор сит с размером отверстий, мм: 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5; 5 и 10. На каждом из сит определяли частный и полный остаток отсева дробления. Частный остаток на сите представляет массу отсева на нем, а полный – характеризуется суммой частных остатков на данном сите и всех предыдущих.

Влажность проб отсева дробления бетонных отходов определяли путем сравнения массы пробы во влажном состоянии и после ее сушки при температуре 100...110° С. Насыпную плотность исследуемых образцов определяли в соответствии с ГОСТ 8735–88, а истинную плотность рассчитывали по результатам испытания на приборе Ле-Шателье. Пустотность отсевов дробления отходов бетона определяли расчетным путем, содержание пылевидных и глинистых частиц – на основе изменения массы исследуемого материала после отмучивания. Оценку наличия в пробах отходов бетона цементного камня проводили с использованием индикатора, в качестве которого применяли фенолфталеин, окрашивающий материал в малиновый цвет. Количественное содержание цемента во фракциях дробления бетона определяли путем травления материала соляной кислотой [15].

Результаты и обсуждения

В таблице 1 приведены физико-механические свойства проб отсева отходов бетонного лома, которые характеризуются различным содержанием пылевидных частиц и фракционным составом, что очевидно связано с сезонными условиями отбора проб. При этом наблюдается существенное отклонение показателей запыленности от требования ГОСТ 31424–2010, которое превышает нормируемую величину в два раза.

Зависимость содержания влаги и пылевидных частиц носит нелинейный характер (рис. 1). При этом с увеличением влажности отобранных образцов проб также возрастает содержание пылевидных частиц.

Таблица 1

Физико-механические свойства проб отсева отходов бетонного лома

Показатель	Значение показателя для номеров проб					
	1/1	1/2	2/1	2/2	3/1	3/2
Влажность проб, масс.%	5,3	5,4	4,3	8,0	11,2	10,0
Содержание, масс.%, фракций 5...10 мм пылевидных частиц	11,0	4,0	17,0	14,1	31,9	41,0
Плотность, кг/м ³ : насыпная	1126	1119	1123	1128	1274	1279
истинная	2276	2279	2280	2285	2445	2450
Модуль крупности	2,3	2,4	2,5	2,8	3,1	2,6
Пустотность, масс.%	50,6	50,9	50,7	50,4	47,9	47,8

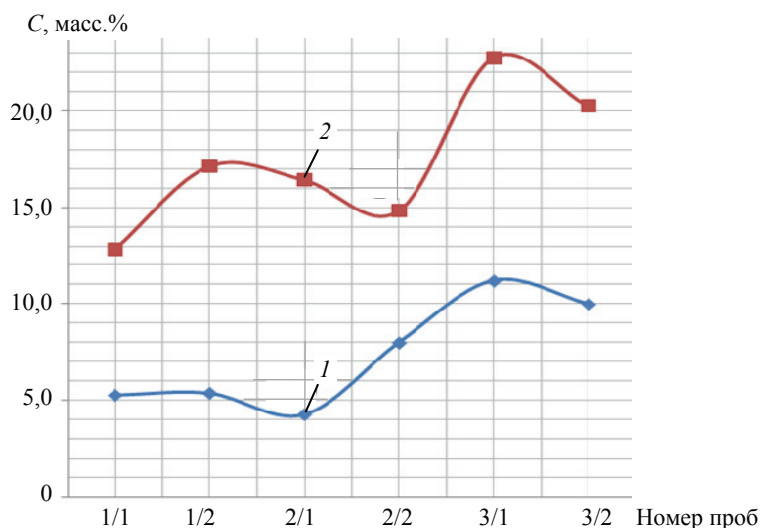


Рис. 1. Зависимость содержания влаги 1 и пылевидных частиц 2 от номера пробы отсева дробления бетонных отходов

В таблице 2 приведены результаты отсева проб бетонного лома фракции от 0 до 5 мм. Фракционный состав отсева проб бетонного лома имеет существенный разброс. Данная зависимость является нелинейной (рис. 2). При этом самые низкие значения массового остатка отсева проб наблюдаются для фракции 2,5...1,25 мм и менее 0,16 мм, а экстремально высокие – фракции 10...5 и 0,630...0,315 мм. В случае введения в отсев бетонного лома портландцемента прочность на сжатие существенно возрастает (рис. 3). Зависимость прочности на сжатие образцов на отсеве бетонного лома в области концентрации цемента от 0 до 15 % от массы – линейная.

Таблица 2

Результаты отсева проб бетонного лома

Номер пробы	Масса остатка, г, на сите с размером ячеек, мм						
	5,00	2,50	1,25	0,63	0,31	0,16	на поддоне
1/1	264	206	136	300	566	448	76
1/2	280	236	178	260	508	422	114
1/3	280	232	178	224	276	192	74
2/1	340	282	192	300	424	288	170
3/1	474	250	84	76	82	96	64
3/2	614	218	78	84	162	218	88
Среднее	322	203	121	178	288	238	84

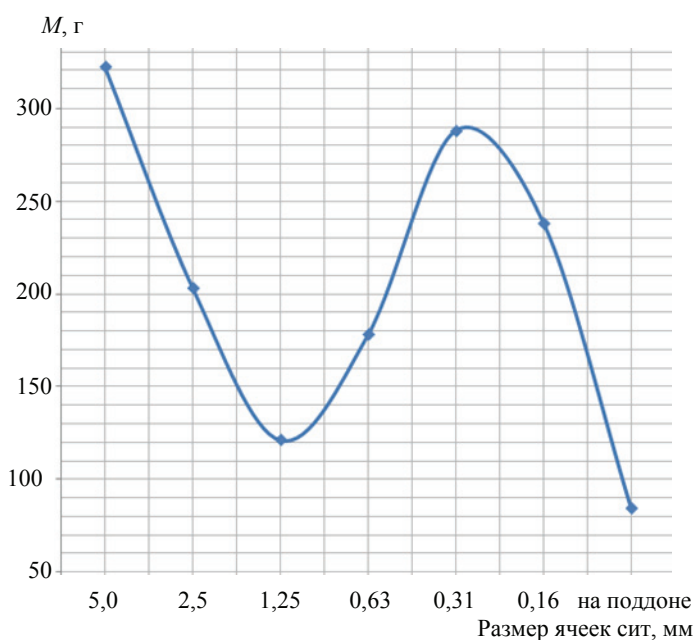


Рис. 2. Зависимость среднего значения массы остатка отсева проб бетонного лома от размера ячеек сит

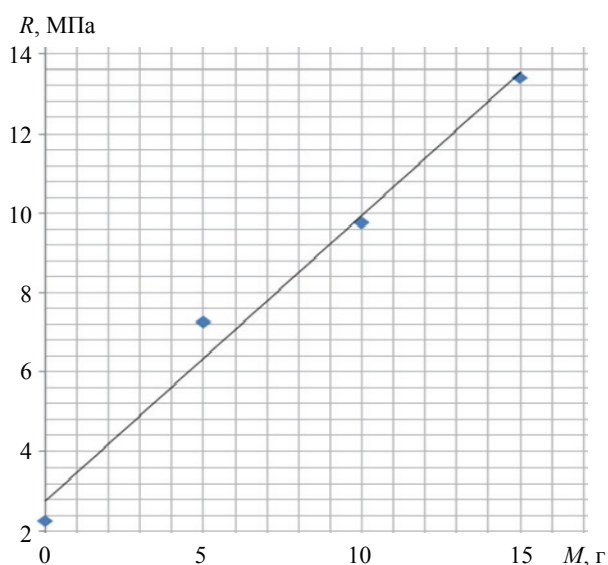


Рис. 3. Зависимость прочности на сжатие в отсевах бетонного лома от массы цемента

Заключение

Таким образом, проблема утилизации отходов бетонного лома может быть решена путем вторичного его использования с добавкой малых концентраций портландцемента, что приводит к экономии энергетических ресурсов и улучшает экологическое состояние окружающей природной среды в районе сноса отслуживших зданий и сооружений.

Список литературы

1. Применение вторичных ресурсов, вторичного сырья из отходов в сфере строительства и жилищно-коммунального хозяйства на 2022 – 2030 годы : паспорт отраслевой программы № 11795п-П11 : утв. 10.10.2022. – Текст : электрон. – URL : https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/bc8/utv.OP_primenenie-vtorsyrya-v-stroit.-i-ZHKKN.pdf (дата обращения: 10.09.2023).
2. Ремнев, В. В. Возможность применения в бетонах строительных материалов повторного использования / В. В. Ремнев // Бетон и железобетон. – 2022. – № 3(611). – С. 20 – 22. doi: 10.31659/0005-9889-2022-611-3-20-22
3. Hendricks, C. F. Use of Recycled Materials in Constructions / C. F. Hendricks, G. M. T. Ianssen // Materials and Structures. – 2003. – Vol. 36, No. 9. – P. 604 – 608. doi: 10.1007/BF02483280
4. Красникова, Н. М. Вторичное использование бетонного лома в качестве сырьевых компонентов цементных бетонов / Н. М. Красникова, Е. В. Кирилова, В. Г. Хозин // Строительные материалы. – 2020. – № 1-2. – С. 56 – 65. doi: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65
5. Сафончик, Д. И. Исследование физико-механических характеристик бетонов, изготовленных на основе бетонного лома / Д. И. Сафончик, Д. А. Сазон // Наука и инновационные технологии. – 2022. – №1 (22). – С. 207 – 212.

6. Заурбеков, Ш. Ш. Утилизация бетонного и железобетонного лома / Ш. Ш. Заурбеков, С. А. Муртазаев, М. С. Сайдумов // Экология и промышленность России. – 2011. – № 2. – С. 26 – 28.

7. Киценко, Т. П. Использование крупного заполнителя из бетонного лома в тяжелых бетонах / Т. П. Киценко, Д. С. Омелянович // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – № 1(141). – С. 99 – 103.

8. A Method for Determining Buildings Material Composition Prior to Demolition / F. Kleemann, J. Lederer, P. Aschenbrenner, H. Rechberger, J. Fellner // Building Research and Information. – 2016, – Vol. 44, Is. 1. – P. 51 – 61. doi: 10.1080/09613218.2014.979029

9. Mihai, F. C. Construction and Demolition Waste in Romania: The Route from Illegal Dumping to Building Materials / F. C. Mihai // Sustainability. – 2019. – Vol. 11, Is. 11. – P. 3179. doi: 10.3390/su11113179

10. Организация поэлементной разборки здания с повторным использованием строительных конструкций и материалов / М. Г. Добросоцких, И. А. Потехин, Т. С. Ким, Д. П. Костина // Строительство и недвижимость. – 2018. – № 1(2). – С. 123 – 128.

11. Rendering Mortars with Incorporation of Very Fine Aggregates from Construction and Demolition Waste / S. Jesus, C. Maria, C. B. Farinha, J. de Brito, R. Veiga // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 229, No. 9. – P. 116844. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116844

12. Золотухин, С. Н. Возможности создания регионального кластера повторного использования строительных отходов. – Текст : электрон. / С. Н. Золотухин // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2018. – № 10. – С. 209 – 212. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35191748> (дата обращения: 10.09.2023).

13. Красникова, Н. М. О возможности использования шлама переработки бетонных отходов / Н. М. Красникова, Н. М. Морозов, А. С. Казанцева // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 3(33). – С. 121 – 126.

14. Хозин, В. Г. Экологический рейтинг «карбонатных» цементов низкой водопотребности и бетонов на их основе / В. Г. Хозин, О. В. Хохлаков, Р. В. Козлов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2021. – № 2(56). – С. 60 – 66. doi: 10.52409/20731523_2021_2_60

15. Методические рекомендации по определению вещественного состава бетона. – Текст : электрон. – М. : [б. и.], 2017. – 92 с. URL: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp45_2017.pdf (дата обращения: 10.09.2023).

References

1. Available at: https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/bc8/utv.OP_primeneniiev-torsyrya-v-stroit.-i-ZHKKH.pdf (accessed 10 September 2023).

2. Remnev V.V. [Possibility of using reusable building materials in concrete], *Beton i zhelezobeton* [Concrete and reinforced concrete], 2022, no. 3(611), pp. 20-22. doi: 10.31659/0005-9889-2022-611-3-20-22 (In Russ., abstract in Eng.)

3. Hendricks C.F., Ianssen G.M.T. Use of Recycled Materials in Constructions, *Materials and Structures*, 2003, vol. 36, no. 9, pp. 604-608. doi: 10.1007/BF02483280

4. Krasinikova N.M., Kirilova Ye.V., Khozin V.G. [Recycling of scrap concrete as raw materials for cement concrete], *Stroitel'nyye materialy* [Construction materials], 2020, no. 1-2, pp. 56-65. doi: 10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-56-65 (In Russ., abstract in Eng.)
5. Safonchik D.I., Sazon D.A. [Study of the physical and mechanical characteristics of concrete made from concrete scrap], *Nauka i innovatsionnyye tekhnologii* [Science and innovative technologies], 2022, no.1 (22), pp. 207-212. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Zaurbekov Sh.Sh., Murtazayev S.A., Saydumov M.S. [Recycling of concrete and reinforced concrete scrap], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2011, no. 2, pp. 26-28. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Kitsenko T. P., Omel'yanovich D.S. [Use of coarse aggregate from concrete scrap in heavy concrete], *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury* [Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture], 2020, no. 1(141), pp. 99-103. (In Russ., abstract in Eng.)
8. Kleemann F., Lederer J., Aschenbrenner P., Rechberger H., Fellner J. A Method for Determining Buildings Material Composition Prior to Demolition, *Building Research and Information*, 2016, vol. 44, no. 1, pp. 51-61. doi: 10.1080/09613218.2014.979029
9. Mihai F.C. Construction and Demolition Waste in Romania: The Route from Illegal Dumping to Building Materials, *Sustainability*, 2019, vol. 11, no. 11, pp. 3179. doi: 10.3390/su11113179
10. Dobrosotskikh M.G., Potekhin I.A., Kim T.S., Kostina D.P. [Organization of element-by-element dismantling of a building with the reuse of building structures and materials], *Stroitel'stvo i nedvizhimost'* [Construction and Real Estate], 2018, no. 1(2), pp. 123-128. (In Russ., abstract in Eng.)
11. Jesus S., Maria C., Farinha C.B., de Brito J., Veiga R. Rendering Mortars with Incorporation of Very Fine Aggregates from Construction and Demolition Waste, *Construction and Building Materials*, 2019, vol. 229, no. 9, pp. 116844. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116844
12. Zolotukhin S.N. [Possibilities of creating a regional cluster for the reuse of construction waste], *Resursoenergoeffektivnyye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona* [Resource and energy efficient technologies in the construction complex of the region], 2018, no. 10, pp. 209-212. available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35191748> (accessed 10 September 2023).
13. Krasinikova N.M., Morozov N.M., Kazantseva A.S. [On the possibility of using sludge from processing concrete waste], *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2015, no. 3(33), pp. 121-126. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Khozin V.G., Khokhryakov O.V., Kozlov R.V. [Environmental rating of “carbonate” cements of low water demand and concretes based on them], *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2021, no. № 2(56), pp. 60-66. doi: 10.52409/20731523_2021_2_60 (In Russ., abstract in Eng.)
15. Available at: https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp45_2017.pdf (accessed 10 September 2023).

Waste Disposal of Concrete Scrap

**A. R. Gizzatullin, N. N. Morozova, A. V. Pavlov,
A. V. Taneyeva, V. F. Novikov**

*Kazan State University of Architecture and Civil Engineering;
Kazan State Power Engineering University, Kazan,
Republic of Tatarstan, Russia*

Keywords: concrete scrap; humidity; recycling; density; content; disposal.

Abstract: The problem of recycling waste concrete scrap resulting from the demolition of old buildings and structures is discussed. It has been established that screenings from crushing concrete scrap waste have increased dust content, which can worsen the environmental situation in the area of dismantling buildings and structures. The physical and mechanical properties of screening samples of scrap concrete waste were measured and the nonlinear dependence of the moisture content and dust particles in them was shown. Experimental data on screening samples of concrete scrap based on fractional composition were obtained. The dependence of the average weight of the screening residue on the grain size in the studied samples was established, having extreme values in the region of 5 and 0.315 mm. To improve the strength of concrete screenings, it is proposed to add up to 5 % Portland cement to it.

© А. Р. Гиззатуллин, Н. Н. Морозова, А. В. Павлов,
А. В. Танеева, В. Ф. Новиков, 2023