

Влияние вторичного щебня на свойства геополимерного бетона

Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, А.В. Харнаев, И.С. Шульте

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Рассмотрено значение рециклинга строительных отходов для развития технологий экономики замкнутого цикла в строительной отрасли. Исследовано влияние замены высококачественного гранитного и известнякового щебня на вторичный заполнитель, полученный дроблением бетонного лома, на прочностные свойства геополимерного бетона. Установлено, что такая замена не приводит к снижению прочности такого бетона, а прочность к ударным воздействиям значительно повышается.

Ключевые слова: отходы сноса, бетонный лом, рециклинг, геополимерный бетон, доменный гранулированный шлак, отсеvy дробления щебня, технологии экономики замкнутого цикла, вторичный заполнитель, прочность, стойкость к ударным воздействиям.

Актуальность разработки технологий, удовлетворяющих требованиям концепции экономики замкнутого цикла, которая предполагает использование переработанных отходов в качестве вторичного сырья, возрастает в результате повышения активности в области реновации территорий городов [1]. Количество строительных отходов за последние годы увеличилось в несколько раз. Образующиеся при сносе зданий материалы в настоящее время используются в незначительной степени, большая их часть вывозится на полигоны захоронения отходов, санкционированные и несанкционированные свалки. Очевидно, что в связи с постепенным истощением минерально-сырьевой базы строительства роль рециклинговых материалов в строительной отрасли будет возрастать.

С точки зрения рециклинга наиболее перспективным видом строительных отходов считается бетонный лом [2]. Этот материал после дробления может использоваться в качестве вторичного щебня, песка и песчано-щебеночных смесей. Однако характеристики щебня и песка, полученных при рециклинге бетонного лома, намного ниже, чем характеристики материалов на основе горных пород. Это связано с содержанием в бетонном ломе цементного камня, который характеризуется

пористостью и низкой прочностью [3]. Используемые методы повышения характеристик рециклингового заполнителя [4] или технологические приемы, нивелирующие негативное влияние замены природного заполнителя на вторичный [5], приводят к увеличению себестоимости материалов, изготовленных на основе вторичного сырья. В связи с этим основные области применения щебня из бетонного лома – замещение грунта при земляных работах и производство бетонов низких классов [6]. В то же время разрабатываются технологии получения вторичного заполнителя для специальных, в частности самоуплотняющихся, бетонов [7].

Результаты ряда исследований [8, 9] показывают, что в геополимерном бетоне замещение природных заполнителей на рециклинговый, полученный дроблением бетонного лома, не приводит к значительному ухудшению свойств бетона. При этом некоторые характеристики этого бетона, в частности прочность на изгиб и прочность при ударном воздействии, могут даже повышаться [10].

Для экспериментальной оценки влияния замены гранитного и известнякового щебня рециклинговым заполнителем в геополимерном бетоне был приготовлен вторичный заполнитель из бетонного лома, полученного при разборке бетонных полов общественного здания, построенного более 50 лет назад. Вторичный щебень фр. 5-10 мм с маркой по дробимости 600 был получен дроблением бетонного лома в лабораторной щековой дробилке по «мягкому» режиму [7]. Рециклинговый щебень имел плотность 2370 кг/м³ и водопоглощение 6,4 %.

Исследования проводились на бетонных смесях, состав и консистенция которых приведены в таблице № 1. Расходы различных видов крупного заполнителя назначались с учетом их постоянного объемного содержания во всех составах исходя из средней плотности гранита и известняка – 2730 и

2575 кг/м³, соответственно. Марка по дробимости гранитного щебня – 1400, известнякового – 800.

Таблица № 1.

№ сос- тава	Состав, кг/м³						Расплав конуса, мм	
	Вяжу- щее	Песок	Щебень			Жидкое стекло		Вода
			гранитный	известняковый	вторичный			
1	427	708	936	—	—	133	90	138
2			—	883	—			119
3			—	—	812			110

Геополимерное вяжущее, состоящее из 70 % измельченных пылевидных фракций отсева дробления гранитного щебня и 30 % доменного гранулированного шлака, активировалось раствором жидкого стекла с силикатным модулем 1,6. Удельная поверхность измельченных в лабораторной шаровой мельнице гранита и шлака составляла 350 и 370 м²/кг, соответственно.

Консистенция бетонных смесей определялась по их расплыву на встряхивающем столике по ГОСТ 310.4-81.

Из бетонных смесей формовались образцы размером 40×40×160 мм для определения прочности на изгиб и сжатие, а также образцы-кубы с длиной ребра 70 мм для оценки стойкости к ударным воздействиям на испытательном копре КИ.

Часть образцов твердела 28 суток в нормальных условиях, а другая - подвергалась тепловой обработке по режиму: предварительная выдержка 14 ч, нагрев до температуры 80 °С – 2 ч, изотермическая выдержка – 8 ч, остывание – 14 ч.

Результаты определения прочности на изгиб и сжатие, а также прочности при ударном воздействии геополимерного бетона, изготовленного с применением различных видов щебня, приведены на рис. 1 и 2.

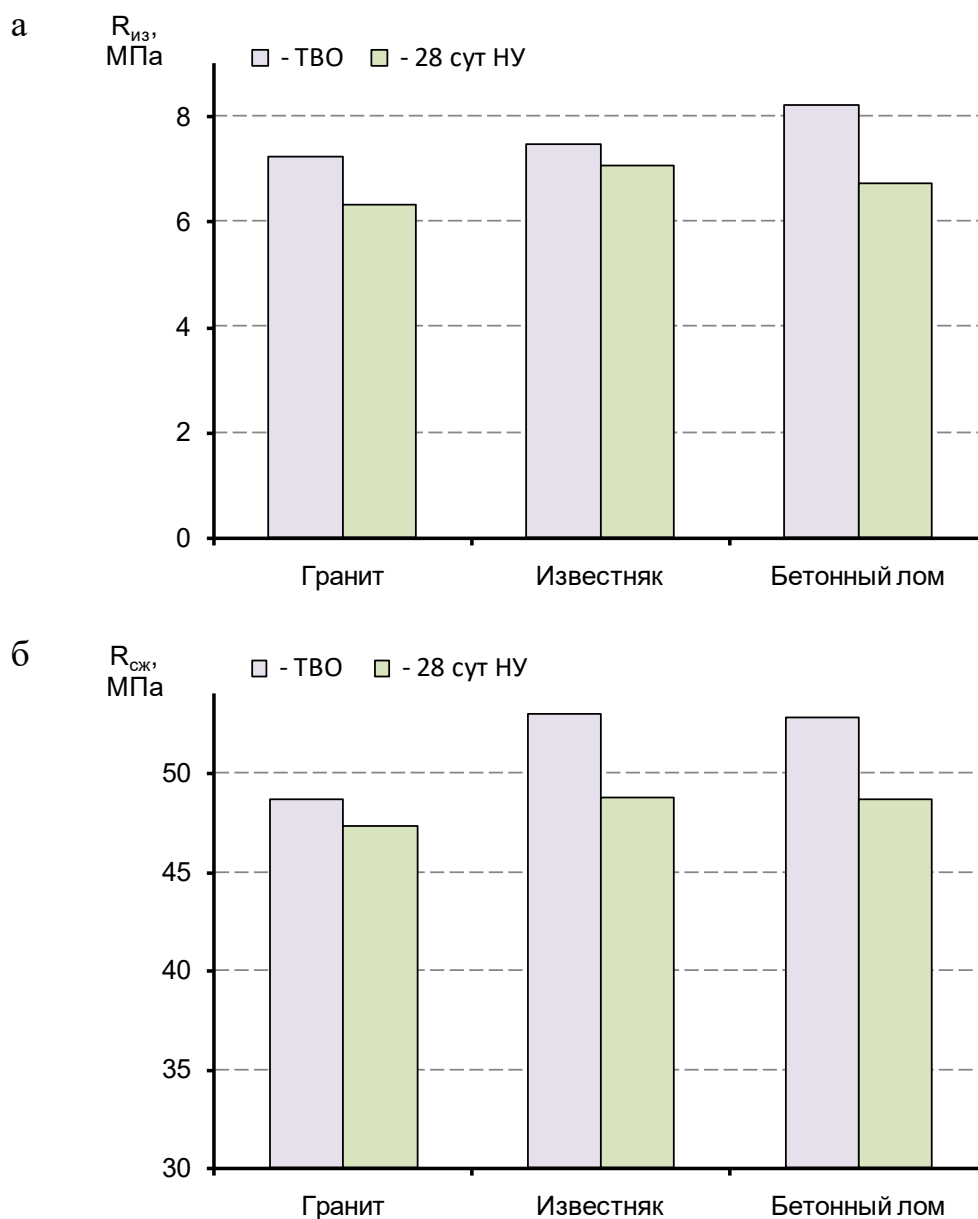


Рис. 1. – Прочность на изгиб (а) и сжатие (б) геополимерного бетона, изготовленного на различных видах заполнителей

Анализ диаграмм на рис. 1 и 2 показывает, что замена высококачественного гранитного щебня на известняковый и вторичный заполнитель приводит не к снижению, а к небольшому повышению прочности. Это можно объяснить тем, что, с одной стороны, замена высокопрочного заполнителя на щебень, прочность которого приблизительно

соответствует прочности геополимерного камня в бетоне, не оказывает негативного влияния на прочность бетона, а с другой стороны, за счет более высокой адгезии геополимерного камня к известняку и растворной составляющей рециклируемого бетона повышается прочность бетонного композита [8].

Кроме того, положительную роль, возможно, играет более высокая деформативность (ползучесть) известнякового и вторичного заполнителя, благодаря чему усадочные деформации, высокий уровень которых характерен для геополимерного вяжущего [11], приводят к релаксации усадочных напряжений и уменьшению дефектности геополимерного камня в зоне его контакта с крупным заполнителем.

Замещение щебня из горных пород на рециклинговый заполнитель обеспечивает значительное повышение стойкости к ударным воздействиям (см. рис. 2).

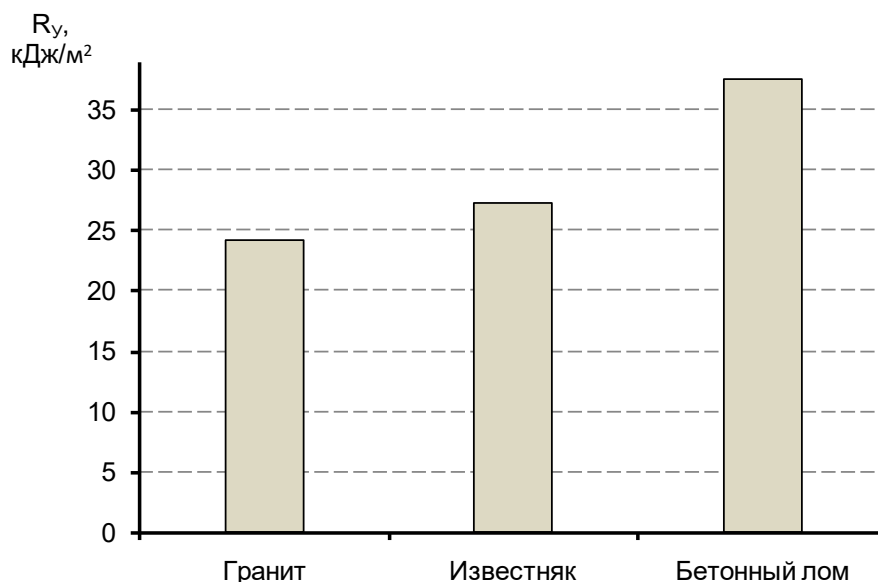


Рис. 2. – Стойкость к ударным воздействиям геополимерного бетона, изготовленного на различных видах заполнителей

Повышение стойкости к ударным воздействиям геополимерного бетона при использовании вторичного заполнителя также можно объяснить меньшей дефектностью геополимерного камня. Кроме того, положительную роль в повышении этой характеристики играют демпфирующие свойства растворной составляющей рециклингового щебня.

Несмотря на положительное влияние на прочность геополимерного бетона замены высококачественного щебня на щебень, полученный дроблением бетонного лома, такую замену нельзя считать равноценной в связи с ухудшением консистенции смеси (см. таблицу №1), которое объясняется поглощением воды из бетонной смеси порами рециклингового заполнителя. Нивелирование этого негативного для удобоукладываемости смеси процесса возможно за счет увеличения расхода воды, что приведет к снижению прочности бетона, или за счет предварительного насыщения вторичного заполнителя водой, что усложнит технологию производства геополимерного бетона с применением рециклингового заполнителя.

Проведенные исследования показали возможность использования вторичного заполнителя из дробленого бетонного лома в технологии бетона на геополимерном вяжущем на основе измельченных отсеков дробления гранитного щебня с добавкой доменного гранулированного шлака.

Литература

1. Лунев Г.Г., Прохоцкий Ю.М. Рециклинг вторичных строительных ресурсов. Проблемы и перспективы отрасли на примере г. Москвы // ЭКО. 2020. № 4. С. 166-192.
2. Владимиров С. Н. Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. № 2(19). С. 101-105.
3. Коровкин М. О., Шестернин А. И., Ерошкина Н. А., Зенкин В.В., Саденко С.М. Влияние вторичного заполнителя на основе бетонного лома на

свойства бетона // Инженерный вестник Дона. 2024. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9292.

4. Yang X., Liu Y., Liang J., Meng Y. et al. Straightening methods for RCA and RAC – A review // Cement and Concrete Composites. 2023. Vol. 141. P. 105145. URL: doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105145.

5. Егорочкина И.О., Серебряная И.А., Сукиасян А.А., Тупчиев А.К. Оптимизация состава модифицированного бетона на основе заполнителей из бетонного лома // Инженерный вестник Дона. 2020. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6601.

6. Гусев Б. В., Загурский В. А. Вторичное использование бетонов. М.: Стройиздат, 1988. 95 с.

7. Коровкин М.О., Шестернин А.И., Ерошкина Н.А. Использование дробленого бетонного лома в качестве заполнителя для самоуплотняющегося бетона // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090.

8. Malkawi A.B. Effect of aggregate on the performance of fly-ash-based geopolymer concrete // Buildings. 2023. Vol. 13. №. 3. P. 769. URL: doi.org/10.3390/buildings13030769.

9. Nikmehr B., Al-Ameri R. A state-of-the-art review on the incorporation of recycled concrete aggregates in geopolymer concrete // Recycling. 2022. Vol. 7. №. 4. P. 51. URL: tps://doi.org/10.3390/recycling7040051.

10. Eroshkina N. A., Korovkin M. O. Influence of Aggregate Type on Properties of Geopolymer Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079, No. 5. P. 052058. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/5/052058.

11. Ерошкина Н.А., Коровкин М. О. Усадка геополимерного вяжущего на различных этапах его структурообразования // Инженерный вестник Дона. 2016. № 2(41). С. 87. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3620.

References

1. Lunev G.G., Prokhotskiy Yu.M. EKO. 2020. № 4. pp. 166-192.
2. Vladimirov S. N. Sistemnyye tekhnologii. 2016. № 2(19). pp. 101-105.
3. Korovkin M. O., Shesternin A. I., Eroshkina N. A., Zenkin V.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9292.
4. Yang X., Liu Y., Liang J., Meng Y. et al. Cement and Concrete Composites. 2023. Vol. 141. P. 105145. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2023.105145>.
5. Egorochkina I.O., Serebryanaya I.A., Sukiasyan A.A., Tupchiyev A.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6601.
6. Gusev B. V., Zagurskiy V. A. Vtorichnoe ispol'zovanie betonov [Secondary use of concrete]. M.: Stroyizdat, 1988. 95 p.
7. Korovkin M.O., Shesternin A.I., Eroshkina N.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090.
8. Malkawi A.B. Buildings. 2023. Vol. 13. №. 3. P. 769. URL: doi.org/10.3390/buildings13030769.
9. Nikmehr B., Al-Ameri R. Recycling. 2022. Vol. 7. №. 4. P. 51. URL: doi.org/10.3390/recycling7040051.
10. Eroshkina N. A., Korovkin M. O. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1079, No. 5. P. 052058. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/5/052058.
11. Eroshkina N.A., Korovkin M.O. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3620.

Дата поступления: 14.04.25

Дата публикации: 25.05.25