

Е. И. ФРОЛОВ
Р. В. ДЕМИДОВ
М. А. АНЦЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЯ КЕРАМОГРАНИТНОЙ ПЛИТЫ КАК ЗАМЕНА МЕЛКОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ В ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНАХ

THE USE OF SMALL GRANITE SLABS AS A SUBSTITUTE
FOR FINE AGGREGATE IN HEAVY CONCRETE

Рассматривается влияние содержания боя керамогранитной плиты (КГП) в качестве мелкого заполнителя в бетонной смеси с пропорциями к стандартному мелкому заполнителю (речной волжский песок) от его отсутствия (контрольный образец) через значения 1:3, 1:1, 3:1 до 100 %. Значения удобоукладываемости и водоцементного отношения фиксировались на значениях П2 и В/Ц = 0,6 соответственно. Используя указанные вводные, изготавливали серии бетонных образцов для оценки влияния состава мелкого заполнителя на такие физико-механические показатели, как плотность и прочность на сжатие на 7-е и 28-е сутки твердения.

Ключевые слова: мелкий заполнитель, бой керамогранитной плиты, отходы производства, тяжелый бетон, испытания на прочность

The influence of the content of granite slab (KGP) as a fine aggregate in a concrete mixture with proportions to the standard fine aggregate (Volga river sand) from its absence (control sample) is considered through the values 1:3, 1:1, 3:1 up to 100 %. The values of workability and water-cement ratio were fixed at P2 and V/C = 0.6, respectively. Using these introductory data, a series of concrete samples were produced to assess the effect of the fine aggregate composition on such physical and mechanical parameters as density and compressive strength on the 7th and 28th days of hardening.

Keywords: fine aggregate, ceramic granite slab fight, production waste, heavy concrete, strength tests

Введение

Использование отходов строительной индустрии для применения в качестве добавок или компонентов бетонной смеси является актуальной задачей по нескольким причинам: сохранение экологии, использование уже затраченной энергии (энергоэффективность), замена природных компонентов, улучшение физико-механических характеристик изделий.

В последние годы в Российской Федерации на промышленных предприятиях образовалось до 10 млрд. тонн твердых отходов, десятки миллионов тонн относятся к отходам строительной индустрии. Переработка техногенных отходов может стать источником большого количества сырья для разных отраслей промышленности [1, 2]. Таким образом, утилизация техногенных отходов путем вторичного использования их в производстве строительных материалов является наиболее перспективным и быстроразвивающимся направлением [2, 3]. Вторичная переработка экономит ресурсы человека, не нанося вреда окружающей среде, но надо понимать, что на начальных этапах формирования

любой рецикла является достаточно затратным, а инвестиции имеют среднесрочную окупаемость [4, 5]. Использование переработанных материалов уменьшает количество отходов, отправляемых на свалки, и сокращает добычу полезных ископаемых, необходимых для производства строительных материалов.

Обоснованность дальнейшего развития вторичной переработки отходов состоит в том, что в целом по стране на этот тип утилизации отходов приходится менее 10 % от общего количества. К сожалению, основным способом утилизации остается захоронение на полигонах – до 90 % [5–7].

В настоящее время применение техногенных отходов в строительной индустрии является главным направлением переработки различных видов отходов в большом количестве с получением изделий достаточно высокого качества [8]. Примеров конкретного использования разнообразных отходов, в том числе техногенного характера в производстве строительных материалов, немало [9–11]. Есть информация по использованию отходов металлургической, энергетической, химической промышленно-

сти, а также побочных продуктов (отходов) добычи и переработки полезных ископаемых и природных ресурсов в качестве составных компонентов при получении бетонных смесей различного вида [12–14]. Но необходимо подчеркнуть, что этого явно недостаточно, судя по тенденции увеличения площадей свалок (полигонов для захоронения) [5] и постоянно возрастающего объема строительных работ [15].

Передовые предприятия должны быть обеспокоены разработкой мероприятий по переработке собственных отходов в полезные материалы, что позволит [16]:

- снизить себестоимость;
- повысить экономическую эффективность;
- уменьшить платежи по статьям экологии;
- получить из отходов новые эффективные материалы;

▪ повысить квалификацию инженерных работников и рабочих по рациональному использованию материальных ресурсов предприятий.

В нашем случае, в рамках сотрудничества с ООО «Самарский Стройфарфор» [17], в качестве частичной и полной замены мелкого заполнителя в составе конструкционного бетона использовали отход цеха производства керамогранитной плитки. А именно брак (бой) керамогранитной плитки (КГП) в виде измельченной фракции с размером зерен менее 2,5 мм, предварительно получаемой для использования в производстве как добавка к основной керамической массе на стадии формирования шликера. Но весь получаемый исходный бой КГП в цехе использовать вторично не представляется возможным, это связано с необходимостью проведения текущего ремонта дробильного оборудования, что приводит к накоплению избыточного объема отходов в среднем около 1200 тонн в год.

Материалы и методы

Свойства как самой бетонной смеси, так и затвердевшего материала – бетона во многом зависят от качества основных компонентов, использованных для его производства. Важно соблюдать требования стандартов при проектировании состава бетона. Для получения высокопрочных бетонов учитывают ряд факторов, позволяющих оптимизировать гранулометрический состав путем использования качественных заполнителей, а также высококачественных цементах и ряда минеральных и химических добавок. Прочность конечного продукта будет зависеть от качества цементного камня, образующегося в процессе твердения, адгезии между вяжущим веществом и зернами заполнителя, прочности и степени чистоты самого заполни-

теля и, как следствие, пористости контактной зоны между вяжущим и инертным материалом.

В качестве вяжущих веществ, которые и создают цементный камень в бетонах, чаще всего используют неорганические вещества, а именно портландцемент, шлакопортландцемент, гидрофобный, пластифицированный и другие виды цемента. Основное требование для производства высокопрочных бетонов к цементам – это как можно более высокая активность, желательно не меньше 50 МПа, и, по возможности, низкие значения водопотребности. Для проведения контрольных испытаний по данной тематике использовался цемент ЦЕМ II/В-Ш 42,5Н (М500). Данный вид цемента обусловлен наличием в своем составе доменного гранулированного шлака в количестве не более 35 % (ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия). Характеризуется более равномерным набором прочности во времени, низкой степенью тепловыделения в первоначальный период набора прочности, а также низкой трещиностойкостью, что обеспечивается наличием шлака в составе. Прочностные характеристики – 15 МПа на вторые сутки твердения. К недостаткам данного цемента можно отнести более высокую нормальную густоту (более 30 %), что также связано с наличием шлака в основном составе.

Нельзя недооценивать и роль заполнителей в бетонах, так как они занимают наибольший объем в материале и выполняют ряд очень важных и нужных функций. Это и формирование жесткой структуры, и создание благоприятных условий для уменьшения усадки затвердевшего бетона, и влияние на конечную прочность, а также улучшение деформативных свойств, уменьшение ползучести, ярко выраженное влияние на плотность при использовании легких или тяжелых заполнителей. Правильный выбор заполнителей для бетона позволяет добиться требуемых свойств как бетонной смеси, так и затвердевшего бетона [18].

В качестве мелкого заполнителя в данной работе предполагается использовать песок речной волжский и бой керамогранитной плитки (КГП) фракции 0,16 – 2,5 мм.

Добыча речного волжского песка осуществляется гидромеханическим способом, что обеспечивает меньшее количество примесей в его составе. Поверхность зерен является округлой и гладкой, это обусловлено процессами его образования в водной среде. Наличие гладкой поверхности зерен мелкого заполнителя речного происхождения несколько ухудшает адгезию с цементным камнем, но так как данный песок является местным сырьевым материалом, то его использование снижает транспортные

расходы и строительная индустрия Самарской области широко его использует. Данный вид мелкого заполнителя, кроме своей чистоты, имеет и другие преимущества: устойчивость к агрессивным воздействиям, не подвержен гниению, не выделяет вредных веществ в атмосферу, что обусловлено химическим составом самого песка, состоящим в основном из диоксида кремния [18]. По своему размеру зерна песка речного волжского не отличаются особой крупностью и по основной классификации (модуль крупности) относятся к группе очень мелких с модулем менее 1,5.

Бой КПП, прошедший термическую обработку с последующим помолом, подвергается расसेву таким образом, чтобы отобрать фракцию от 0,16 до 2,5 мм с целью избежать попадания пылевидных частиц, которые присутствуют в исходно предоставленном предприятием материале. В работе бой КПП планируется использовать в качестве мелкого заполнителя как полную замену речного песка на 100 %, так и в смеси с ним в разных пропорциях. Это необходимо для проверки возможности обогащения мелкого заполнителя путем улучшения его зернового состава и, как следствие, прочностных характеристик бетона.

В качестве крупного заполнителя в работе использовались плотные неорганические заполнители в виде щебня осадочного происхождения [18]. Производитель и поставщик крупного заполнителя – ОАО «Ивантеевский каменный карьер». Марка щебня по прочности (дробимости) М800, морозостойкость не менее F100, содержание пылевидных частиц не более 2 %, фракционный состав 5–20 мм.

Результаты

Для объективной оценки возможности использования боя КПП в качестве заполнителя для бетонов в рамках работы, проводимой на кафедре «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» был осуществлен ряд экспериментальных исследований. Основ-

ной целью работы было изучение основных физико-механических характеристик бетонов, полученных на основе заполнителей из боя КПП.

Для этого было изготовлено 5 серий образцов в виде кубов с размером ребра 10×10×10 см. Серии готовились для испытаний на 7-е и 28-е сутки твердения, проходящих в нормальных условиях.

Опишем каждую подготовленную серию отдельно.

Серия 1. Использование боя КПП не предусматривалось. В качестве мелкого заполнителя использовался на 100 % речной волжский песок (далее будем применять условное обозначение «П») – контрольный состав для сравнения.

Серия 2. Часть «П», а именно 25 % от общей массы мелкого заполнителя заменили на бой КПП (далее условное обозначение «Б»).

Серия 3. 50 % «П» от общей массы мелкого заполнителя заменили на «Б».

Серия 4. 75 % «П» от общей массы мелкого заполнителя заменили на «Б».

Серия 5. Использование «П» не предусматривалось. В качестве мелкого заполнителя использовался на 100 % «Б».

Подбор состава для тяжелых бетонов проводился по методу абсолютных объемов. Основные требования, заложенные при подборе, – это получение прочности бетона на 28-е сутки класса не менее В25 и подвижности смеси, равной классу П2.

Испытания по определению прочности при сжатии выполнялись на гидравлическом прессе МС-500 (ГОСТ 28840-90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб»), определение класса подвижности осуществлялось с использованием конуса Абрамса (ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний»).

Расход сырьевых материалов для изготовления образцов представлен в табл. 1.

Полученные значения плотностей и прочностные значения для изготовленных образцов в возрасте 7 и 28 суток по сериям представлены в табл. 2, 3. Для наглядности результаты эксперимента проиллюстрированы на рис. 1, 2.

Таблица 1. Расход сырьевых материалов на 1 м³ для бетона класса В25
Table 1. Consumption of raw materials per 1 m³ for concrete of class В25

Расход материалов, кг/м ³	Серия 1	Серия 2	Серия 3	Серия 4	Серия 5
Цемент	366,60	375,00	383,30	391,67	433,33
Вода	220,00	225,00	230,00	235,00	260,00
Щебень	1088,00	1088,00	1088,00	1088,00	1088,00
«П»	658,35	478,46	308,80	149,32	-
«Б»	-	148,65	287,84	417,54	461,83

Таблица 2. Значения плотностей и прочности на сжатие для изготовленных образцов в возрасте 7 суток, представленных по сериям
Table 2. Values of densities and compressive strength for manufactured samples at the age of 7 days, presented by series

Серия	Плотность ρ , г/см ³				Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа			
	1	2	3	среднее	1	2	3	среднее
1	2,32	2,37	2,32	2,34	21,0	21,5	21,8	21,4
2	2,26	2,24	2,30	2,27	21,2	21,6	21,8	21,5
3	2,30	2,22	2,24	2,25	21,9	21,4	21,7	21,7
4	2,19	2,23	2,23	2,22	22,5	22,1	21,6	22,1
5	2,24	2,20	2,17	2,20	26,4	24,3	23,1	24,6

Таблица 3. Значения плотностей и прочности на сжатие для изготовленных образцов в возрасте 28 суток, представленных по сериям
Table 3. Values of densities and compressive strength for manufactured samples at the age of 28 days, presented by series

Серия	Плотность ρ , г/см ³				Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа			
	1	2	3	среднее	1	2	3	среднее
1	2,30	2,34	2,31	2,32	33,6	33,5	34,2	33,8
2	2,26	2,23	2,28	2,26	31,6	32,1	32,0	31,9
3	2,22	2,19	2,23	2,22	33,3	33,6	33,9	33,6
4	2,19	2,20	2,21	2,20	36,9	38,8	37,4	37,7
5	2,23	2,19	2,15	2,19	37,3	38,2	36,4	37,3

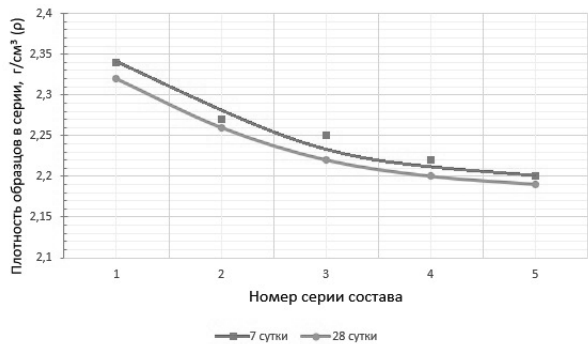


Рис. 1. Зависимость средней плотности образцов от серии на 7-е и 28-е сутки твердения
Fig. 1. Dependence of the average sample density on the batch on the 7th and 28th days of hardening

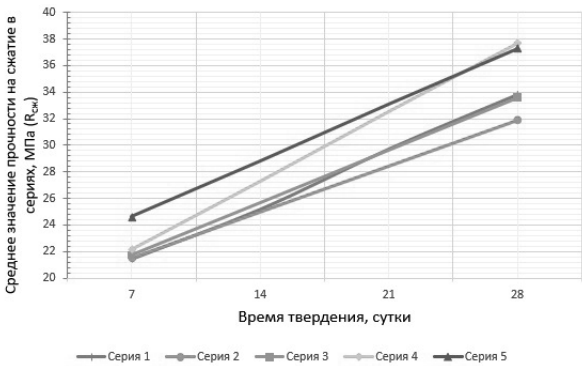


Рис. 2. Зависимость среднего значения прочности на сжатие от времени твердения (для всех серий отдельно)
Fig. 2. Dependence of the average compressive strength on the curing time (for all series separately)

Закключение

Расчетное количество вяжущего вещества, полученное в результате подбора состава бетона по методике абсолютных объемов при использовании речного волжского песка в качестве мелкого заполнителя, составляет 366,6 кг на 1 м³ (серия 1).

Осадка конуса, полученная в процессе замеса, составляет 5 см, что соответствует удобоукладываемости П2 при В/Ц=0,6. Однако следует учесть, что водопоглощение кварцевого песка значительно отличается для аналогичного параметра боя КПП.

Водопоглощение кварцевого песка находится в пределах околонулевого значения, при

работе с кварцевым песком в большей степени надо учитывать воду, необходимую на смачивание поверхности зерен песка [18]. Если же мы говорим о бое КГП, то, согласно ГОСТ 13996-2019 «Плитки керамические. Общие технические условия», а именно пункту 4 (Классификация), даже для плитки с низким значением водопоглощения этот показатель может достигать 3 %.

При экспериментальном подборе составов в сериях оттапливались от сохранения подвижности смеси в пределах марки П2, поэтому при использовании боя КГП количество воды необходимо было увеличивать, что согласно расчетным данным приводит и к увеличению расхода цемента (так как значения $B/C=0,6$ мы также заложили как постоянную величину). Рассмотрев имеющиеся значения расхода цемента (см. табл. 1) по всем сериям, были получены следующие значения относительного контрольного состава (*серия 1*):

- 1) увеличение на 2,3 % для *серии 2*;
- 2) увеличение на 4,5 % для *серии 3*;
- 3) увеличение на 6,8 % для *серии 4*;
- 4) увеличение на 18,2 % для *серии 5*.

Заметно явное увеличение расхода вяжущего с увеличением расхода боя КГП, особенно в составе, в котором в качестве мелкого заполнителя использовалось 100 % боя КГП. Следовательно, использование такого варианта нецелесообразно, так как приводит к значительному перерасходу вяжущего.

Плотность образцов кубов, изготовленных с использованием боя КГП, меняется в меньшую сторону в зависимости от увеличения расхода материала. Это обусловлено тем, что истинная плотность речного песка составляет в среднем $2,5 \text{ г/см}^3$, а плотность же боя КГП не превышает значения $2,45 \text{ г/см}^3$. Истинные плотности материалов определялись по стандартной методике с помощью прибора Ле-Шателье.

Прочность на 7-е сутки, по данным табл. 2, характеризуется равномерным приростом без значительных скачков и изменений относительно контрольного состава. Следует отметить, что прочность на 7-е сутки состава с использованием 100 % боя КГП получилась несколько выше, что предположительно обусловлено более высоким расходом цемента согласно расчету на 1 м^3 бетонной смеси. Если говорить о приросте прочности по сравнению с контрольным составом, то он находится в пределах 14,9 %. Однако значения прочности каждого конкретного образца в серии № 5 имеют довольно заметный разброс (26,4; 24,3; 23,1 – данные из табл. 2); предполагаем, что это вызвано неравномерным распределением материала в теле бетона, т. е. бетонная смесь с использованием боя КГП требует более тщательного и длительного пере-

мешивания для более равномерного распределения боя в самой структуре бетона.

Прочность на 28-е сутки естественного твердения, при использовании боя КГП в количестве 25 % (*серия 2*) от общей массы мелкого заполнителя, становится даже меньше на 5,6 % по сравнению с контрольным составом. При использовании 50 % боя КГП (*серия 3*) от общей массы мелкого заполнителя, введенного в материал по сравнению с контрольным составом, – меняется незначительно. Однако результаты *серии 4* с использованием 75 % боя КГП показывают положительные изменения прочности с приростом в 11,5 % по сравнению с контрольным образцом (*серия 1*). Прирост прочности с использованием 100 % боя КГП (*серия 5*) тоже показывает прирост прочности. Но при этом имеет самый большой расход вяжущего вещества и его использование экономически не оправданно – так, при увеличении расхода цемента на 18,2 % конечная прочность образца увеличивается на 10,3 %. Для наглядности приведем сравнение для состава *серии 4* в следующем виде: при увеличении расхода цемента на 6,8 % (см. табл. 1) относительно контрольного состава (*серия 1*) прочность на сжатие при испытаниях на 28-е сутки для среднего значения составов серии 4 (см. табл. 3) больше на 11,5 % по сравнению со средним значением контрольного состава (*серия 1*). Поэтому образцы *серии 4* можно считать наиболее удачным результатом в проведенном эксперименте для использования боя КГП в производстве бетонов общестроительного назначения.

Вывод. Использование отхода от производства КГП в чистом виде в качестве мелкого заполнителя неоправданно, однако в смеси с обычным мелкозернистым кварцевым песком (в пропорции Б:П = 3:1) может использоваться в производстве тяжелых бетонов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волюнкина Е.П. Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 2 (20). С. 43–49.
2. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Обзор направлений утилизации техногенных отходов в производстве строительных материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 4. С. 198–203.
3. Гальцева Н.А., Попов П.В., Котов Д.А., Голотенко Д.С. Вторичное использование отходов промышленности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5 (89). С. 572–581.
4. Гасилов В.В., Крючкова И.В. Оценка экономической эффективности использования вторичных

ресурсов в строительстве // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2012. № 11 (62). С. 5–8.

5. Слободянюк Т.Р., Гамаюнова О.С. Вторичное использование строительных отходов // Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 1. С. 18–26.

6. Зеленцов Д.В., Савельев А.А., Чертес К.Л. Устройство системы пассивной дегазации массивов существующих объектов размещения отходов // Градостроительство и архитектура. 2015. № 4(21). С. 100–102. DOI:10.17673/Vestnik.2015.04.13.

7. Чертес К.Л., Савельев А.А., Мартыненко Е.Г., Тутицына О.В., Михасек А.А. Оценка состояния и освоение территорий Самарской области, занятых размещением твердых бытовых отходов // Градостроительство и архитектура. 2016. № 1(22). С. 49–57. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.01.8.

8. Ветошкин А.Г. Технологии защиты окружающей среды от отходов производства и потребления. М.: Лань, 2016. 304 с.

9. Юр'ев И.Ю., Скрипникова Н.К. Комплексное использование золошлаковых отходов Томской области для получения различных видов строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2013. № 2 (39). С. 245–249.

10. Золотухин С. Н., Трегуובה Е.А., Потехин И.А. Возможности создания регионального кластера повторного использования строительных отходов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2018. № 10. С. 209–212.

11. Борков П.В., Мелконян В.Г. Эффективные строительные материалы на основе отходов деревопереработки и металлургической промышленности // Фундаментальные исследования. 2014. № 3-1. С. 18–21.

12. Тускаева З.Р., Дзуцев О.А. Анализ использования отходов промышленности в производстве строительных материалов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7 (79). С. 338–346.

13. Каряев С.Б., Тускаева З.Р., Музаева М.Г. Анализ использования местных добавок и отходов в производстве строительных материалов // Инженерный вестник Дона. 2021. № 2 (74). С. 294–302.

14. Киянец А.В. Эффективность применения продуктов вторичной переработки полиэтиленрефталата в бетонах // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2 (86). С. 34–39.

15. Владимиров С.Н. Проблемы переработки отходов строительной индустрии // Системные технологии. 2016. № 2 (19). С. 101–105.

16. Естемесов З.А., Султанбеков Т.К., Сарсенбаев Н.Б., Сауганова Г.Р. Строительные отходы – неисчерпаемый источник богатства для строителей // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. № 4 (22). С. 57–63.

17. Наука и практика: объединить для достижения общих целей [Электронный ресурс]. URL: Наука и практика: объединить для достижения общих целей | Самарский Стройфарфор (дата обращения: 18.12.2024).

18. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2003. 500 с.

REFERENCES

1. Volinkina E.P. Analysis of the state and problems of processing man-made waste in Russia. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2017, no. 2 (20), pp. 43–49. (in Russian)

2. Shishakina O.A., Palamarchuk A.A. Overview of the directions of utilization of man-made waste in the production of building materials. *Mezhdunarodni zhurnal prikladnih i fundamental'nih issledovani* [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2019, no. 4, pp. 198–203. (in Russian)

3. Gal'ceva N.A., Popov P.V., Kotov D.A., Golotenko D.S. Recycling of industrial waste. *Inzhenerni vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2022, no. 5 (89), pp. 572–581. (in Russian)

4. Gasilov V.V., Kruchkova I.V. Assessment of the economic efficiency of the use of secondary resources in construction. *FES: Finansi. Ekonomika. Strategia* [FES: Finance. Economy. Strategy], 2012, no. 11 (62), pp. 5–8. (in Russian)

5. Slobodyanyuk T.R., Gamayunova O.S. Recycling of construction waste. *Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse* [High technologies in the construction complex], 2022, no. 1, pp. 18–26. (in Russian)

6. Zelentsov D.V., Savelyev A.A., Chertes K.L. Arrangement of passive degassing system for existing waste disposal facilities. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture], 2015, no. 4(21), pp. 100–102. (in Russian) DOI:10.17673/Vestnik.2015.04.13

7. Chertes K.L., Savelyev A.A., Martynenko E.G., Tupitsyna O.V., Mikhasek A.A. Assessment of the state and development of the territories of the Samara region occupied by the disposal of solid household waste. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture], 2016, no. 1(22), pp. 49–57. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2016.01.8

8. Vetoshkin A.G. *Tehnologii zashhity okruzhajushhej sredy ot othodov proizvodstva i potrebleniya* [Technologies for protecting the environment from production and consumption waste]. Moscow, Lan', 2016. 304 p.

9. Yur'ev I.Y., Skripnikova N.K. Integrated use of ash and slag waste from the Tomsk region for the production of various types of building materials. *Vestnik TGASU* [Bulletin of the TSASU], 2013, no. 2 (39), pp. 245–249. (in Russian)

10. Zolotukhin S. N., Tregubova E.A., Potekhin I.A. The possibilities of creating a regional cluster for the reuse of construction waste. *Resursoenergoeffektivni tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona* [Resource- and energy-efficient technologies in the construction complex of the region], 2018, no. 10, pp. 209–212. (in Russian)

11. Borkov P.V., Melkonyan V.G. Effective building materials based on waste from wood processing and metallurgical industry // *Fundamental'nie issledovaniya* [Basic research]. 2024. no. 3-1. pp. 18–21. (in Russia)

12. Tuskayeva Z.R., Dzutsev O.A. Analysis of the use of industrial waste in the production of building

materials. *Ingenerni vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2021, no. 7, pp. 338–346. (in Russian)

13. Kartsev S.B., Tuskayeva Z.R., Musayeva M.G. Analysis of the use of local additives and waste in the production of building materials. *Ingenerni vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2021, no. 2 (74), pp. 294–302. (in Russian)

14. Kiyanets A.V. The effectiveness of the use of recycled polyethylene terephthalate products in concrete. *Ingenerni vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2022, no. 2 (86), pp. 34–39. (in Russian)

15. Vladimirov S.N. Problems of waste recycling in the construction industry. *Sistemnie tehnologii* [System technologies], 2016, no. 2 (19), pp. 101–105. (in Russian)

16. Estemesov Z.A., Sultanbekov T.K., Sarsenbaev N.B., Sauganova G.R. Construction waste is an inexhaustible source of wealth for builders. *Vestnik GGNTU. Tehnicheskie nauki* [Bulletin of the GGSTU. Technical sciences], 2020, no. 4 (22), pp. 57–63. (in Russian)

17. Science and practice: unite to achieve common goals. Available at: Наука и практика: объединить для достижения общих целей | Самарский Стройфарфор (accessed 18 December 2024).

18. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiy betona* [Concrete technology]. Moscow, ASV, 2003. 500 p.

Об авторах:

ФРОЛОВ Евгений Игоревич

кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: frolov.ei@samgtu.ru

FROLOV Evgeniy Igorevich

PhD of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Production of Building Materials, Products and Structures Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: frolov.ei@samgtu.ru

ДЕМИДОВ Роман Владимирович

старший преподаватель, заведующий лабораторией кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: drv782010@mail.ru

DEMIDOV Roman Vladimirovich

Senior Lecturer, Head of Laboratories of the Production of Building Materials, Products and Structures Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: drv782010@mail.ru

АНЦЕВ Максим Александрович

инженер кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: max2203200@mail.ru

ANTSEV Maxim Alexandrovich

Engineer of the Production of Building Materials, Products and Structures Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: max2203200@mail.ru

Для цитирования: Фролов Е.И., Демидов Р.В., Анцев М.А. Использование боя керамогранитной плиты как замена мелкого заполнителя в тяжелых бетонах // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 1. С. 83–89. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.12.

For citation: Frolov E.I., Demidov R.V., Antsev M.A. The use of small granite slabs as a substitute for fine aggregate in heavy concrete. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 1, pp. 83–89. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.01.12.