

Исследование измельченных мелких фракций продуктов дробления демонтированной тротуарной плитки в качестве минеральной добавки

М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина, А.И. Шестернин, И.С. Шульте

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Аннотация: Рассмотрены особенности демонтированной тротуарной плитки в качестве сырья для производства рециклингового заполнителя для бетона. Исследовано влияние измельченных мелких фракций отсева дробления вторичного щебня на свойства мелкозернистого самоуплотняющегося бетона. Экспериментально показано, что применение этого материала в качестве минеральной добавки приводит к повышению водопотребности самоуплотняющейся мелкозернистой смеси и значительному снижению прочности.

Ключевые слова: отход демонтажа, вибропрессованная тротуарная плитка, утилизация, отсев дробления вторичного щебня, минеральная добавка, самоуплотняющийся мелкозернистый бетон, консистенция бетонной смеси, прочность, усадка.

Производство тротуарной плитки методом вибропрессования постоянно увеличивается, что связано с ростом потребности в этих изделиях для реализации проектов по благоустройству и повышению комфортности городской среды [1], а также с использованием для их производства высокопроизводительных автоматизированных технологических линий.

Тротуарные плитки, изготовленные вибропрессованием мелкозернистых бетонов, характеризуются достаточно высокой долговечностью, однако срок их эксплуатации в зависимости от погодноклиматических условий и интенсивности воздействий при очистке тротуаров от снега и льда часто не превышает 5-10 лет. Демонтируемая плитка обычно не утилизируется, а вывозится на полигоны для захоронения. С учетом перспективы увеличения в ближайшие годы отходов демонтажа тротуарной плитки целесообразна разработка технологий сбора и переработки этого отхода с целью использования полученных продуктов в производстве строительных материалов, в частности бетонов.

Особенность бетона тротуарной плитки – отсутствие или незначительное содержание в его составе крупного заполнителя. В связи с

этим продукты дробления тротуарной плитки представляют собой конгломерат цементного камня, песка и в некоторых случаях инертного минерального порошка [2]. Структура цементного камня в значительной степени разрушена морозным воздействием, а в его порах могут содержаться хлоридные противогололедные реагенты. В тоже время имеются сведения о успешном использовании вторичного заполнителя на основе дорожных бетонов, которые эксплуатировались длительное время [3]. Исходя из этого наиболее перспективное направление использования такого заполнителя – производство мелкоштучных неармированных бетонных изделий [4].

Прочность вторичного заполнителя, полученного дроблением данного отхода, в несколько раз ниже прочности природных материалов – песка и щебня. Несмотря на то, что показатели качества вторичного щебня ниже, чем характеристики заполнителя на основе горных пород, рециклинговый заполнитель может быть использован для производства бетонов с прочностью 20-30 МПа [5], удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к большинству бетонов общестроительного назначения, а в некоторых случаях может быть получена прочность 50 МПа [6]. При этом очевидно, что технологические свойства бетонов на вторичном заполнителе, их долговечность и другие характеристики могут значительно снизиться при замене природных заполнителей на рециклинговые.

Применение отсевов дробления вторичного щебня, которые имеют значительно меньшую прочность и высокую водопотребность в сравнении с природными песками, нецелесообразно. Некоторую ценность для корректировки зернового состава природных мелких песков могут представлять крупные фракции отсева дробления. Наиболее перспективное направление использования мелких фракций отсевов дробления вторичного щебня - производство путем помола минеральных добавок, которые могут рассматриваться как инертные [6] или активные [7].

Для исследования минеральной добавки, изготовленной из мелких фракций (0-0,63 мм) отсева дробления тротуарной плитки, этот отход измельчался в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 493 м²/кг. Полученная минеральная добавка использовалась в качестве компонента смешанного цемента, в котором она замещала 25, 35 и 45 % портландцемента ЦЕМ I 52,5. Замещение цемента производилось с учетом его плотности и плотности минеральной добавки – 3100 и 2480 кг/м³, соответственно.

Было исследовано влияние степени замещения портландцемента в смешанном цементе на консистенцию мелкозернистой бетонной смеси, прочность образцов 40×40×160 мм после тепловлажностной обработки (ТВО) и твердения в нормальных условиях в течение 28 и 160 сут, а также усадку мелкозернистого бетона. ТВО проводилась по режиму: предварительная выдержка – 14 ч, нагрев до температуры 80 °С – 2 ч, изотермическая выдержка – 8 ч, остывание – 14 ч.

Усадка составов, твердевших в нормальных условиях, определялась на образцах размером 20×20×100 мм. Измерение усадочных деформаций начиналось после их извлечения из форм через 24 часа с момента формования, что позволяло определять не только усадку при высушивании, но и аутогенную усадку после 1 сут твердения.

Исследования проводились на мелкозернистом бетоне, в котором отношение вяжущего и песка составляло 1:1,2. Это соотношение было принято как обеспечивающее максимально допустимую (по данным [8]) объемную долю мелкого заполнителя в самоуплотняющихся смесях – 40 %. Водоцементное отношение (В/Ц) варьировалось в интервале 0,3-0,4 для получения расплыва смеси из конуса Хегерманна в интервале 250-300 мм. В состав смеси входил суперпластификатор «Гиппласт Флоу тип 1» в количестве 0,8 % от массы смешанного цемента.

Анализ графиков (рис. 1), построенных по результатам определения консистенции смесей в зависимости от В/Ц, показывает, что увеличение доли минеральной добавки в составе смешанного цемента значительно повышает водопотребность смеси.

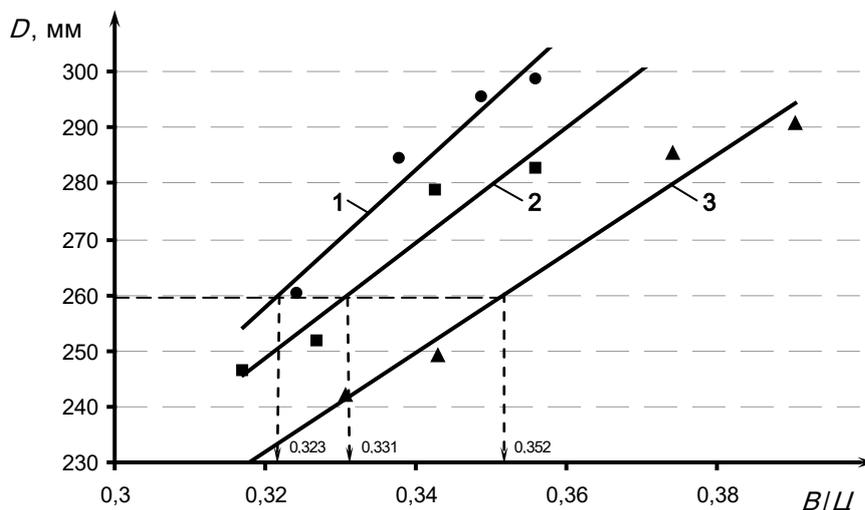


Рис. 1. Влияние В/Ц на диаметр расплыва смеси при содержании минеральной добавки в смешанном цементе: 1 – 25 %; 2 – 45 %; 3 – 45 %

Повышение водопотребности смеси при увеличении содержания в цементе минеральной добавки можно объяснить двумя факторами: более высокой адсорбцией суперпластификатора на более дисперсной, чем цемент, минеральной добавке и уменьшением количества коллоидной «смазки» в цементном тесте при снижении доли цемента в вяжущем. Повышение водопотребности необходимо учитывать при сравнении прочностных показателей составов с различным содержанием в цементе минеральной добавки. Так, с учетом полученных зависимостей для обеспечения минимального расплыва самоуплотняющихся смесей (260 мм) при дозировке минеральной добавки 25, 35 и 45 % В/Ц должно составлять 0,332; 0,331 и 0,352, соответственно.

В исследованных интервалах содержание минеральной добавки в смешанном цементе оказывает большее влияние на прочность мелкозернистого бетона, чем В/Ц (рис.2).

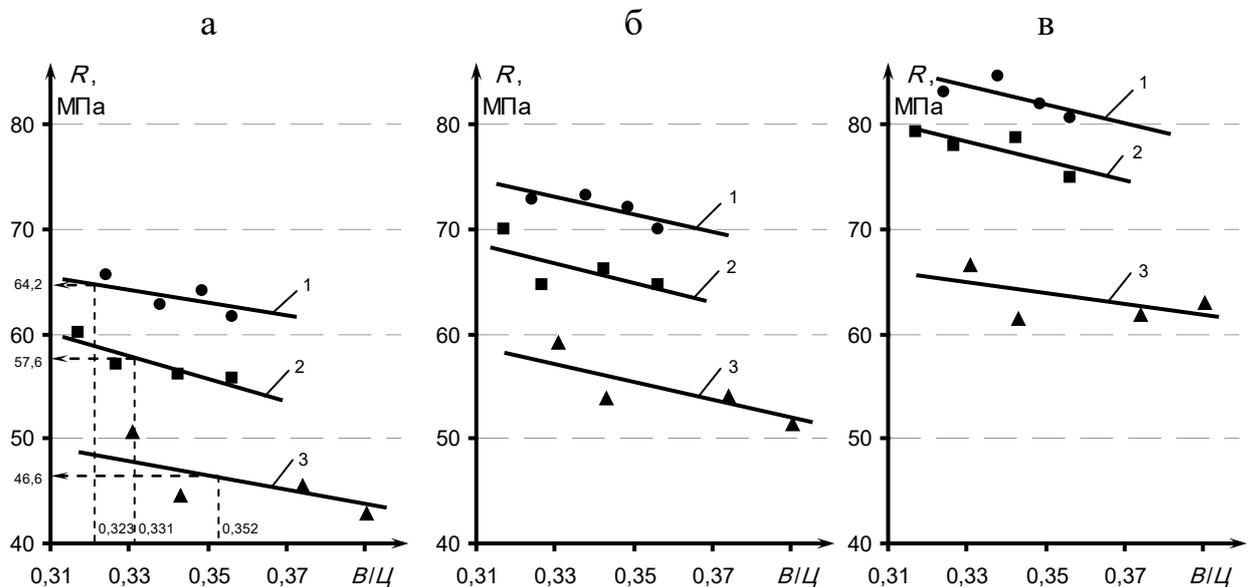


Рис. 2. Влияние водоцементного отношения на прочность после ТВО (а), через 28 (б) и 160 (в) сут твердения в нормальных условиях при различном содержании минеральной добавки в смешанном вяжущем (обозначение дозировки добавки по рис. 1)

Расчеты на основе установленных зависимостей (рис. 2а) показывают, что у бетона после ТВО при увеличении дозировки добавки с 25 до 35 и 45 % прочность снижается на 10 и 27 % соответственно. При этом необходимо отметить, прочность после ТВО при самой высокой дозировке минеральной добавки была не ниже 40 МПа, что удовлетворяет требованиям к этой характеристике бетона для большинства современных железобетонных конструкций. Как видно из графиков на рис. 2б, прочность мелкозернистого самоуплотняющегося бетона при дозировке добавки 35-45 % через 28 сут нормального твердения находится в интервале от 50 до 70 МПа.

Полученные результаты подтверждают предположение [9] о том, что в бетонных смесях с высокоэффективными суперпластификаторами, у которых

удобоукладываемость и расслоение очень чувствительны к дозировке воды, для управления прочностными характеристиками бетона целесообразно использовать степень замещения цемента минеральной добавкой, а не В/Ц, как в бетонах без добавки суперпластификатора.

Определение усадки образцов, находящихся в нормальных влажностных условиях с интервалом в 1 сутки, показало, что ее величина достигала максимальных значений через 2-3 суток. Очевидно, что во влажных условиях развивается аутогенная усадка. После 3 суток отмечено снижение усадочных деформаций на 20-30 %, что можно объяснить процессом набухания цементного камня в условиях среды, насыщенной влагой. Итоговые значения усадки образцов после их хранения в течение 28 суток во влажной среде (рис. 3а) свидетельствуют о том, что при увеличении дозировки исследованной минеральной добавки усадка возрастает.

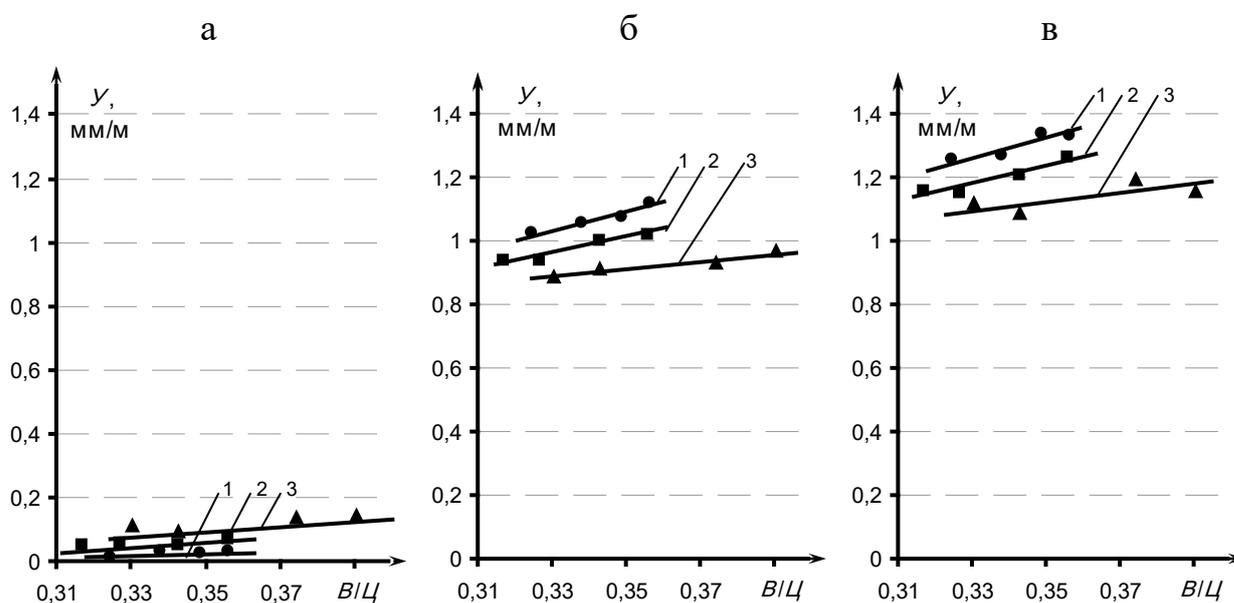


Рис. 3. Влияние водоцементного отношения на усадку через 28 (а), 56 (б), и 160 (в) сут после формования образцов при различном содержании минеральной добавки в вяжущем (обозначение дозировки добавки по рис. 1) Через 28 и 132 суток (56 и 160 суток после формования образцов) усадка находится в интервалах 0,9-1,1 и 1,1-1,35 мм/м (рис. 3б и 3в). Более

высокие, чем в работах [9, 10] значения усадки объясняются тем, что объем цементного камня в исследованных мелкозернистых бетонах составлял 58-60%. Увеличение доли замещения цемента минеральной добавкой с 25 до 35 и 45 % снижает усадку, но это снижение невелико – 8 и 12 % соответственно.

Проведенные исследования показали, что применение в качестве минеральной добавки измельченных мелких фракций продуктов дробления демонтированной тротуарной плитки приводит к повышению водопотребности самоуплотняющейся мелкозернистой смеси и значительному снижению прочности как после тепловлажностной обработки, так при твердении в нормальных условиях. Повышение доли замещения цемента исследованной добавкой с 25 до 45 % снижает усадку мелкозернистого бетона, но это снижение незначительно – не более 12 %.

С учетом достаточно высоких полученных значений прочности – не ниже 40 МПа исследованная минеральная добавка может быть рекомендована в качестве компонента, расход которого позволяет управлять в широком диапазоне прочностью самоуплотняющегося бетона.

Литература

1. Сайманова О. Г., Поршина Е. Г. Эффективность благоустройства общественных территорий городов в рамках реализации национальных проектов // Вестник Поволжского государственного университета сервиса. Серия: Экономика. 2022. Т. 18, № 3(70). С. 25-29.

2. Романенко И. И., Фадин А. И., Петровнина И. Н. Оценка качества тротуарной плитки на основе портландцемента, выпускаемой по технологии вибропрессования // Инженерный вестник Дона. 2020. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6299.

3. Rudnicki T., Jurczak R. Recycling of a Concrete Pavement after over 80 Years in Service // Materials. 2020. Vol. 13. №. 10. pp. 2262.

4. Juan-Valdés A., Rodríguez-Robles D., García-González J., Sánchez de Rojas M. I., Guerra-Romero M. I., Martínez-García R., Morán-del Pozo J. M. Recycled precast concrete kerbs and paving blocks, a technically viable option for footways // *Materials*. 2021. Vol. 14. №. 22. pp. 7007.

5. Кальгин А. А. Фахратов, М. А., Сохряков В. И. Опыт использования отходов дробленого бетона в производстве бетонных и железобетонных изделий // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 32-33.

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

7. Павлов А.В., Коровяков В.Ф. Влияние добавки молотого бетонного лома на кинетику изменения прочности цементно-песчаного раствора // *Инженерный вестник Дона*. 2021. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9292.

8. Okamura H., Ouchi M. Self-compacting concrete // *Journal of advanced concrete technology*. 2003. Vol. 1. №. 1. pp. 5-15.

9. 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.

10. Piasta W., Zarzycki B. The effect of cement paste volume and w/c ratio on shrinkage strain, water absorption and compressive strength of high performance concrete // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 140. pp. 395-402.



References

1. Sajmanova O. G., Porshina E. G. Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo universiteta servisa. Seriya: Ekonomika. 2022. Vol. 18, № 3(70). pp. 25-29.
2. Romanenko I. I., Fadin A. I., Petrovnina I. N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6299.
3. Rudnicki T., Jurczak R. Materials. 2020. Vol. 13. №. 10. pp. 2262.
4. Juan-Valdés A., Rodríguez-Robles D., García-González J., Sánchez de Rojas M. I., Guerra-Romero M. I., Martínez-García R., Morán-del Pozo J. M. Materials. 2021. Vol. 14. №. 22. pp. 7007.
5. Kalgin A.A., Fakhratov M.A., Sokhryakov V.I. Stroitel'nye Materialy. 2010. № 6. pp. 32-33.
6. Korovkin M.O., Shesterin A.I., Eroshkina N.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090/.
7. Pavlov A.V., Korovyakov V.F. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9292.
8. Okamura H., Ouchi M. Journal of advanced concrete technology. 2003. Vol. 1. №. 1. pp. 5-15.
9. Korovkin M. O., Shesternin A. I., Eroshkina N. A., Zenkin V.V., Sadenko S.M. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2024/9292.
10. Piasta W., Zarzycki B. Construction and Building Materials. 2017. Vol. 140. pp. 395-402.

Дата поступления: 4.05.2025

Дата публикации: 26.06.2025