

УДК 691.335

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ ПЕСКА ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ СТЕКЛА И РЕЗИНЫ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА

А. В. Щербань

Каменский технологический институт (филиал) ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова
(г. Каменск-Шахтинский, Российская Федерация)

Аннотация. Утилизация отходов из стекла и автомобильных шин стала большой проблемой для общества, накопленные их объемы угрожают экологической устойчивости мира. Поэтому переработка отходов из стекла и резиновых материалов для последующего применения в производстве бетона может стать одним из действенных средств в борьбе с загрязнением природы. В данной статье анализируется эксплуатационная прочность бетона путем исследования смеси отходов стекла и крошки резиновых шин в качестве замены песка мелким заполнителем.

Ключевые слова: резиновая крошка, стекло, мелкодисперсный заполнитель, отходы, ситовой анализ, окружающая среда, речной песок, весовые пропорции.

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PARTIAL REPLACEMENT OF SAND WITH GLASS AND RUBBER AGGREGATE IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Aleksey V. Shcherban

Kamensk Technological Institute (branch) of Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
(Kamensk-Shakhtinsky, Russian Federation)

Abstract. Recycling of waste from glass and car tires has become a big problem for society. Their accumulated volumes threaten the environmental sustainability of the world. Therefore, the recycling of waste from glass and rubber materials for subsequent use in the production of concrete can become one of the most effective means in the fight against pollution of nature. The article analyzes the operational strength of concrete by examining a mixture of waste glass and crumbs of rubber tires as a substitute for sand with fine filler.

Keywords: rubber crumb, glass, fine aggregate, waste, sieve analysis, environment, river sand, weight proportions.

Введение. Количество отходов стекла и резиновых шин на свалках с каждым годом увеличивается по всему миру. Утилизация их усложняется постоянно растущим спросом на изделия из стекла и резины в результате быстрой индустриализации и урбанизации. Большая часть отходов стекла и резины от автомобильных шин выбрасывается на свалки [1]. Засыпать землёй битые стёкла и резиновые автомобильные шины нежелательно, так как это неэкологично и неразумно. Стекло не поддается биологическому разложению, как и шины из синтетического каучука, что делает их экологически неблагоприятными для почвы и окружающей среды [2, 3].

Кроме того, едкие субстанции, образующиеся при возгорании резиновых автомобильных шин, содержат токсичные химические вещества, которые загрязняют воздух, представляя серьезную угрозу нашей планете, их весьма трудно потушить [4].

Таким образом, если отходы стекла и резиновые шины использовать в качестве альтернативных материалов, это может помочь в устранении их негативного воздействия на окружающую среду. Существует огромный потенциал для применения таких отходов в производстве бетона [5, 6]. Использование же их в качестве заполнителей поможет свести к

минимуму истощение запасов природного песка, которое уже наблюдается во многих странах [7, 8].

Хорошо известно, что добыча песка оказывает негативное воздействие на реки, прибрежные и морские экосистемы, приводит к потере земель в результате речной или прибрежной эрозии. Кроме того, затраты на строительство продолжают расти в основном из-за увеличения стоимости обычных строительных материалов, производство которых требует много энергии [9].

Цемент — наиболее часто используемый материал на Земле, он применяется для изготовления бетона, скорость его производства в мире — 150 тонн в секунду [10]. Тем не менее, даже такие темпы не снижают мирового спроса на этот строительный материал. Бетон к тому же является одним из самых дорогих материалов, используемых в строительстве. Таким образом, существует настоятельная необходимость в разработке или использовании альтернативных материалов для минимизации стоимости бетона [11].

Себестоимость бетона могла бы быть снижена, если бы отходы стекла и автомобильных резиновых шин использовались при его изготовлении. Для получения недорогих альтернативных строительных материалов, которые являлись бы к тому же экологически чистыми и способствовали устойчивому развитию производства, сохраняя при этом свойства обычных материалов, были проведены обширные исследования по использованию в производстве бетона отходов стекла [9, 12–16] или автомобильных шин [4, 6].

Однако вышеупомянутые исследования были в основном сосредоточены на изучении стекла как отдельного материала для замены натуральных мелких или сыпучих заполнителей в бетоне. Аналогичным образом использованные резиновые автомобильные шины также были рассмотрены в качестве отдельного материала для замены природных мелкодисперсных или сыпучих заполнителей при производстве бетона [17]. Поэтому необходимо провести исследования по индивидуальной замене природного песка стеклом или замене песка использованными резиновыми шинами в качестве мелкодисперсных или обычных заполнителей [4, 5, 18].

Цель данной статьи — изучить комбинированный эффект от использования отходов стекла и автомобильных шин из резины в качестве замены песчаного наполнителя в бетоне. Исследования проводились на основании экспериментальных методов, то есть использованная методология представляет собой лабораторный эксперимент.

Основная часть. Чтобы изучить влияние на прочностные свойства бетона использованной вместо песка смеси, состоящей из смешанных отходов стекла (50 %) и крошки от отработанных резиновых шин (50 %), было изготовлено 180 образцов бетона в цилиндрической форме размером 50 на 50 мм, в которых песчаный заполнитель на 0, 10, 20, 30 и 40 % массы был заменен на данную смесь. Смесь же без отходов стекла и резины со 100-процентным песком служила в качестве контроля для сравнения.

Материалы и методы. Материалы для исследования (цемент, стекло, резина и песок) были взяты в г. Каменске-Шахтинском Ростовской области. Характеристики материалов описаны в следующих разделах.

Связующее вещество. Им был обычный портландцемент, соответствующий требованиям стандартов и имеющий характерную прочность 32 Н мм^{-2} при удельном весе 2,96, модуль крупности 2800. Начальное и окончательное время схватывания цемента составило 123 и 423 минуты. В таблице 1 представлен типичный состав использованного портландцемента.

Таблица 1

Типичный состав обычного портландцемента (составлено автором)

Соединения	Состав, %
Трехкальциевый силикат — C3S 55	55
Дикальций силикат — C2S 18	18
Алюминат трикальция — C3A 10	10
Тетракальциевый алюмоферрит — C4AF 8	8
Дигидрат сульфата кальция — CSH2 6	6

Стекло. Отходы стекла с составом, указанным в таблице 2, очищались, а затем вручную измельчались на кусочки размером от 0,075 и до не более 4,75 мм. Затем отработанное стекло подвергалось ситовому анализу на градацию в соответствии с процедурой градации спецификации. Удельный вес стеклотекстолита составлял 2,5, а его модуль измельчения для того же материала — 2,94.

Таблица 2

Отходы стекол с составом (составлено автором)

Соединения	Состав, %
SiO ₂	70.4
Al ₂ O ₃	1.9
Fe ₂ O ₃	1.2
MgO	10.3
Na ₂ O	14.0
K ₂ O	0.4

Резина. Резиновые автомобильные шины состоят из четырех основных компонентов: резины, технического углерода, армирующих материалов и наполнителей. Отработанные резиновые автомобильные шины измельчались вручную с получением резиновой крошки размером от 0,075 и до не более 4,75 мм. Резиновую крошку подвергали ситовому анализу на градацию.

Песок. В исследовании использовался местный речной песок, который был проанализирован в соответствии с процедурой градации спецификации, размер — 4,75 мм. Удельный вес песчано-мелкозернистого заполнителя составлял 2,3, а модуль крупности для него же — 2,75. Песок был подвергнут градации ситового анализа.

Вода. Пресная вода, не содержащая органических веществ, со значением pH 7,0 использовалась для смешивания цемента и смеси стекла и резины в качестве замены песка. Такая пресная вода бралась для всех образцов цемента, смешанного со смесью стекла и резины.

Образцы для исследования. Основываясь на расчётных соотношениях смеси, которые были описаны ранее, 180 образцов были изготовлены в форме цилиндров размером 50 на 50 мм из цемента 1:2 и 1:3 для смешивания заполнителя. Такие образцы выдерживали в течение 7, 14 и 28 дней в пресной воде с pH 7. Были проведены лабораторные испытания для проверки

влияния отходов стекла и резиновых автомобильных шин на физические характеристики бетонных цилиндров.

Результаты и обсуждение. На рис. 1 показано распределение частиц по размерам песка, резины и стекла, которые использовались для изучения эффекта частичной замены песка на 0, 10, 20, 30 и 40 % 50-процентными смесями отходов стекла и резины. Коэффициенты однородности составили 3,3; 4,1 и 3,1 соответственно, что указывает на состав частиц разного размера, особенно для отходов стекла и мелких резиновых заполнителей. Коэффициенты кривизны составили 1,1; 0,91 и 0,32, что отражало неклассифицированную часть материала. Однако дальнейший анализ дисперсии распределений с использованием t-критерия песка с резиной и песка со стеклом $p=0,26$ и $p=0,56$ показал, что различия в распределении материалов не были значимыми при $p<0,05$.

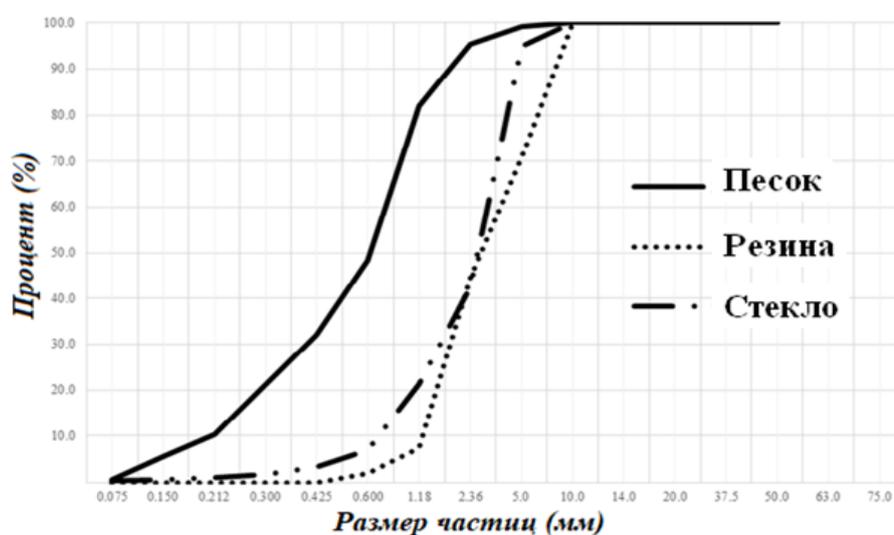


Рис. 1. Распределение частиц по размерам

Заключение. Результаты проведенного автором анализа показали, что смесь отходов стекла и резиновой крошки от шин в качестве частичной замены мелкого заполнителя в бетоне была более эффективной, чем песок.

Растущая потребность в очистке окружающей среды от не поддающихся биологическому разложению отходов стекла и резины может быть достигнута, если в глобальном масштабе при производстве бетона можно будет использовать их вместо песка и других природных заполнителей. Это, несомненно, будет способствовать сохранению запасов природного песка, который чрезмерно добывается сейчас во всем мире, что зачастую приводит к негативным экологическим последствиям.

Данная работа формирует основу для дальнейших исследований смесей отходов стекла и резины в качестве мелкодисперсных заполнителей, заменяющих природный песок.

Библиографический список

1. Waste materials in highway applications: An overview on generation and utilization implications on sustainability / G. O. Bamigboyea, D. E. Basseya, D. O. Olukannia [et. al] // Journal of Cleaner Production. — 2020. — Vol. 283. [10.1016/j.jclepro.2020.124581](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124581)

2. Turgut, P. Research into Concrete Blocks with Waste Glass / P. Turgut, E. S. Yahlizade, // International Journal of Civil and Environmental Engineering. — 2009. — Vol.1:4 — P. 203-209.
3. Environmental concern of pollution in rubber industry / S. C. Jagadale, K. Rajkumar, R. P. Chavan [et. al] // International Journal of Research in Engineering and Technology. — 2015. — Vol. 4. — No. 11. — P. 187–191.
4. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review / A. Mohajerani, L. Burnett, J. V. Smith, S. Markovski // Resources Conservation and Recycling. — 2020. — Vol. 155. — [10.1016/j.resconrec.2020.104679](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679)
5. Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities / W. Ferdous, A. Manalo, R. Siddique, P. Mendis // Resources Conservation and Recycling. — 2021. — Vol. 173 — [10.1016/j.resconrec.2021.105745](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105745)
6. Balaha, M. M. Effect of using ground waste tire rubber as fine aggregate on the behaviour of concrete mixes / M. M. Balaha, A. A. Badawy, M. Hashish // Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. — 2007. — Vol. 14. — No. 6. — P. 427–435.
7. Blessen, S. T. Recycling of waste tyre rubber as aggregate in concrete: durability-related performance / S. T. Blessen, C. G. Ramesh, J. P. Vinu // Journal of Cleaner Production. — 2016. — Vol. 112. — No. 1 — P. 504–513. [10.1016/j.jclepro.2015.08.046](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.046)
8. Alam, I. Use of Rubber as Aggregate in Concrete, A Review / I. Alam, U. A. Mahmood, N. Khattak // International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering — 2015 — Vol. 4. — No. 02 — pp. 92–96.
9. Factors Influencing the Construction Cost of Industrialized” Building System (IBS) Projects / N. A. A. Bari, R. Yusuff, N. Ismail, A. Jaapar // Procedia – Social and Behavioral Sciences. — 2012. — Vol. 35. — P. 689–696. [10.1016/j.sbspro.2012.02.138](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.02.138)
10. Gagg, C. R. Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis. / C. R. Gagg // Engineering Failure Analysis. — 2014. — Vol. 40. — P. 114–140.
11. Sofi, A. Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review / A. Sofi // Ain Shams Engineering Journal. — 2018. — Vol. 9 — P. 2691–2700.
12. Gautam, S. P. Use of glass wastes as fine aggregate in concrete / S. P. Gautam, V. Srivastava, V. C. Agarwal // Journal of Academic Industrial Research.— 2012. — Vol. 1. — No. 6. — P. 320–374.
13. Study of Concrete Involving Use of Waste Glass as Partial Replacement of Fine Aggregates / M. Iqbal Malik, Muzafar Bashir, Sajad Ahmad, Tabish Tariq [et. al] // Journal of Engineering. — 2013. — Vol. 3, Issue 7, V6 — P. 08-13. [10.13140/RG.2.2.21048.06401](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21048.06401)
14. Shayan, A. Value added utilization of waste glass in concrete / A. Shayan, A. Xu // Cement and Concrete Research. — 2004. — Vol 34. — P. 81–89.
15. Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars / V. Corinaldesi, G. Gnappi, G. Moriconi, A. Montenero // Waste Management. — 2005. — Vol. 2. — P. 197–201. [10.1016/j.wasman.2004.12.009](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.12.009)

16. Topcu, I. B. Properties of Concrete containing waste glass / I. B. Topcu, M. Canbaz // Cement and Concrete Research. — 2004. — Vol. 34. — P. 267–274 [10.1016/j.cemconres.2003.07.003](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.07.003)

17. Nagarkar, N. Rubber as a partial replacement to fine aggregate in concrete by waste material / N. Nagarkar // International Research Journal of Engineering and Technology. — 2019. — Vol. 6 (2). — P. 2353–2356.

18. S. Hama, S. Beneficial role of glass wastes in concrete – a review. / S. Hama, M. Nawar, A. Alhadithi // Journal of Engineering and Sustainable Development. — 2018. — Vol. 22. — No. 2. — P. 137–144. [10.31272/jeasd.2018.2.75](https://doi.org/10.31272/jeasd.2018.2.75)

Об авторе:

Щербань Алексей Вадимович, ассистент кафедры естественнонаучных дисциплин, информационных технологий и управления Каменского технологического института (филиала) ЮРГПУ (НПИ) имени М. И. Платова (347801, РФ, г. Каменск-Шахтинский, ул. Сапрыгина, 6), scherban.aleksei@yandex.ru

About the Author:

Aleksey V. Shcherban, assistant of the Natural Sciences, Information Technology and Management Department, Kamensk Technological Institute (branch) of Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) (6, Saprygina str., Kamensk-Shakhtinsky, 347801, RF), scherban.aleksei@yandex.ru