

УДК 624.13

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-224-229

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМОГРАНИТА В ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СЛОЯХ ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Н. Д. Яценко, А. С. Евфорицкий, М. С. Евфорицкий

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия

Аннотация. Обоснована актуальность и необходимость утилизации отхода производства керамогранита (ОПК), обладающего высокими физико-механическими свойствами и их постоянством. Предложена технология переработки отхода производства керамогранита (ОПК) в грунт песчаный (песок) фракции 0–5 мм для дополнительных слоев основания автомобильных дорог. В соответствии с требованиями нормативно-технических документов проведены исследования и выявлены особенности фильтрационных свойств песчаного грунта из ОПК, которые соответствуют коэффициенту фильтрации 14,66 м/сут, и в сравнении с природными песками значительно выше, что обеспечивает пригодность его применения в качестве материала в дополнительных слоях основания дорог.

Ключевые слова: отход производства керамогранита, зерновой состав, грунт песчаный, коэффициент фильтрации, физико-механические свойства

THE PROSPECTS FOR USING PORCELAIN STONEWARE WASTE IN ADDITIONAL LAYERS OF AUTOMOBILE ROAD BASE

N. D. Yatsenko, A. S. Evforitsky, M. S. Evforitsky

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Annotation. Substantiated the relevance and necessity of recycling porcelain stoneware waste (PSW), which has high physical and mechanical properties and their consistency. A technology has been proposed for the processing of porcelain stoneware waste (PSW) into sand soil (sand) of 0-5 mm fraction for additional layers of the base of automobile roads. In accordance with the requirements of regulatory and technical documents, research was conducted to identify the filtration properties of sandy soil from the PSW, which correspond to a filtration coefficient of 14.66 m/day, this is significantly higher than that of natural sands. This makes it suitable for use as a material in additional layers of road foundations.

Keywords: porcelain stoneware waste, grain composition, sandy soil, filtration coefficient, physical and mechanical properties

Введение

Использование производственных отходов в многотоннажных технологиях различных отраслей промышленности является актуальной задачей, позволяющей уменьшить потребление природного сырья, утилизировать образующиеся и уже накопленные техногенные материалы, а также, в некоторых случаях, даже улучшить свойства по сравнению с применением природных материалов.

В настоящее время большой интерес представляет утилизация отхода, образующегося в производстве керамогранита (ОПК), который из-за высокой прочности (до 250 МПа), твердости (7...8 по шкале Мооса) не может быть возвращен обратно в производство в качестве боя.

На его основе разработан целый ряд строительных технологий: получение песка из отсевов дробления и применение его в асфальтобетонных смесях, абразивно-шлифовальные материалы, декоративные панно и изделия культурно-бытового назначения [1, 2] и т. д.

Однако уникальные физико-механические свойства этого материала позволяют использовать его в других строительных технологиях наравне с природными материалами.

В Ростовской области для возведения дополнительных слоев оснований автомобильных дорог применяются местные природные пески, свойства которых не всегда соответствуют физико-механическим требованиям, в частности по коэффициенту фильтрации [3].

Известно, что на фильтрационную способность материала значительное влияние оказывает форма и размер зерен, наличие примесей (пылеватые и глинистые частицы, илстые включения) и т. д.

Коэффициент фильтрации, характеризующий проницаемость грунта по отношению к фильтрующейся воде, при линейном законе фильтрации равен скорости фильтрации воды при единичном градиенте напора [4]. Недостаток фильтрационной способности приводит к тому, что конструктивный слой не может выполнять функции, предусмотренные проектом, что в свою очередь приводит к образованию различных дефектов, и как следствие, разрушению дорожных одежд.

В связи с этим, исключительно актуальным является применение в дорожных одеждах материалов, в том числе отходов производств, показатели свойств которых могут превышать показатели природного сырья.

Основная часть

Керамогранит, как отделочный материал, в России получил широкое распространение относительно недавно, начиная с 2000 гг. [5]. Он производится из смеси высококачественных глин с добавлением полевого шпата, кварца и натуральных минеральных пигментов-красителей. Смесь для производства керамогранита прессуется под высоким давлением (до 50 МПа) и обжигается при температурах 1200 °С–1300 °С. В результате, получается спекшийся прочный и непористый материал с внутренним и внешним рисунком, который имеет более высокие физико-технические характеристики, чем некоторые природные, традиционно используемые в дорожном строительстве, материалы. Благодаря практически однородной структуре керамогранита и отсутствию внутренних пустот материал обладает крайне низким водопоглощением, показатель которого варьируется от 0,01 % до 0,05 %,

что обеспечивает ему высокую влагостойкость и морозоустойчивость. Содержание SiO_2 в материале составляет более 65 % (усредненный химический состав керамогранита следующий, мас%: SiO_2 -70,18; TiO_2 -0,39, Al_2O_3 -14,47, FeO -1,78, Fe_2O_3 - 1,57, MnO -0,12, MgO -0,88, CaO -1,99, Na_2O -3,48, K_2O -4,11, P_2O_5 -0,19) что относит керамогранит к группе кислых материалов. Такие свойства позволили применять его в качестве песка из отсева дробления фракции 0–5 мм в асфальтобетонных смесях городского типа [6].

Для переработки отхода производства керамогранита (ОПК) в грунт песчаный (песок) фракции 0–5 мм использовали молотковую дробилку. Зерновой состав песчаного грунта представлен в табл. 1.

Таблица 1. Зерновой состав песчаного грунта из ОПК

Наименование остатка, прохода	5	2	1	0,5	0,25	0,1	Менее 0,1
Частный	0	23,2	23,3	28,3	17,2	6,4	1,6
Полный	0	23,2	46,5	74,8	92,0	98,4	100

Полученные результаты позволяют классифицировать полученный материал как грунт песчаный, (песок) крупный (ГОСТ 25100–2020; ГОСТ 33063–2014). Внешний вид грунта представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид песчаного грунта из отхода производства керамогранита

Следующим этапом исследований являлось установление зависимости плотности сухого грунта от его влажности при уплотнении образцов грунта с постоянной работой уплотнения и последовательным увеличением влажности грунта [7–9]. Внешний вид уплотненного песчаного грунта в приборе стандартного уплотнения представлен на рис. 2.

Начальная влажность грунта из ОПК соответствовала 4 %. При каждом последующем испытании влажность увеличивали на 1 %. График зависимости изменения значений плотности сухого грунта от влажности представлен на рис. 3.

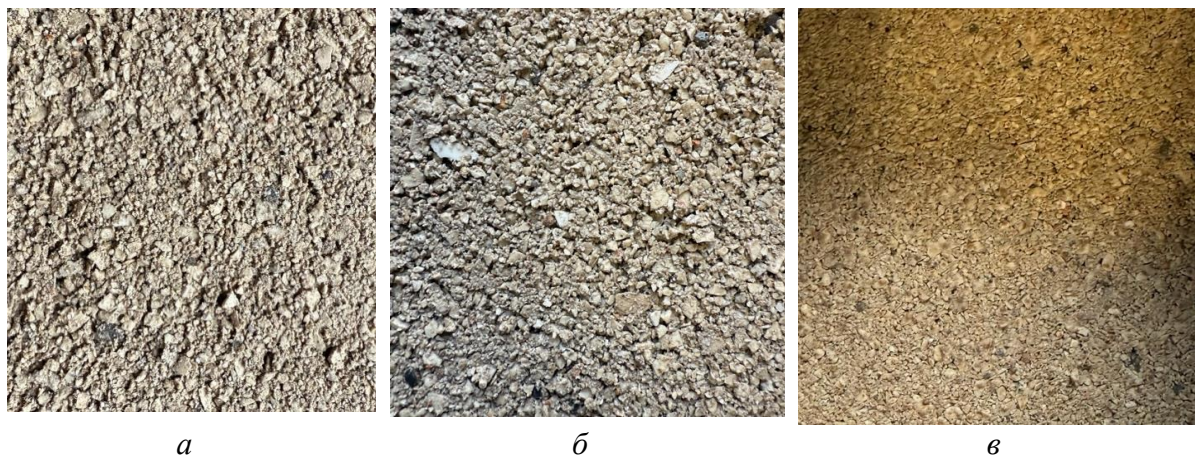


Рис. 2. Внешний вид поверхности уплотненного песчаного грунта в приборе стандартного уплотнения при влажности, %: а – 4; б – 7; в – 10

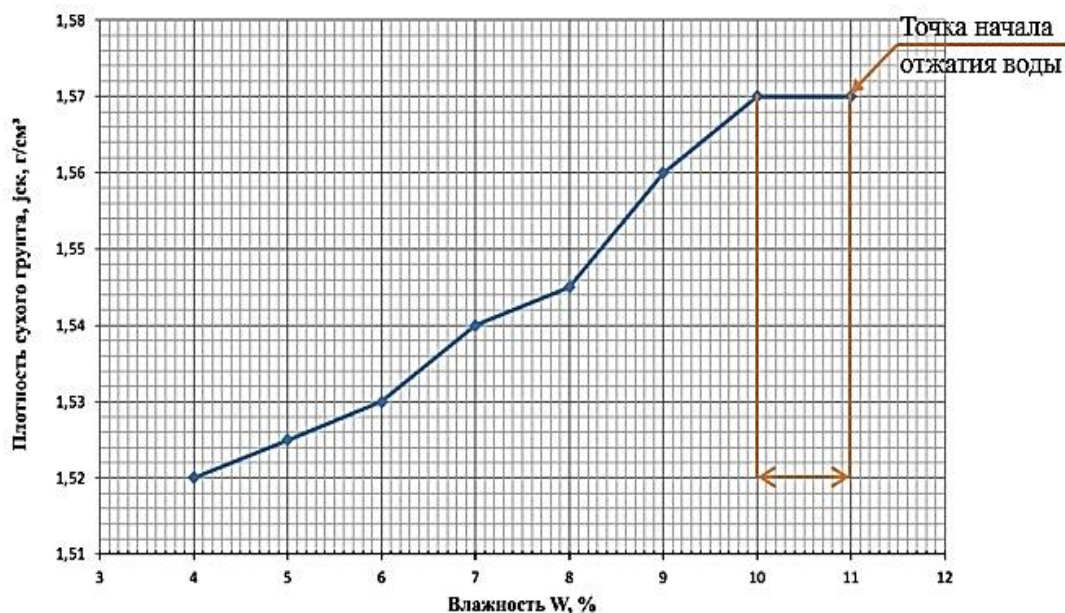


Рис. 3. График зависимости изменения значений плотности сухого грунта из ОПК от влажности

Как видно из рисунка, у песчаного грунта из ОПК нет заметно выраженного максимума. В этом случае, согласно ГОСТ 22733-2016, значение оптимальной влажности принимали на 1,0% ниже влажности, при которой происходило отжатие воды — 10 %, а значение максимальной плотности приняли по соответствующей ей ординате — 1,57 g/cm^3 .

На следующем этапе исследований определяли коэффициент фильтрации на образцах грунта при максимальной плотности и оптимальной влажности, значения которых установлены ранее.

Для испытания грунт увлажняли до 10 % и проводили стандартное испытание лабораторного определения коэффициента фильтрации по ГОСТ 25584-2023[10].

По полученным результатам построили график, представленный на рис. 4.

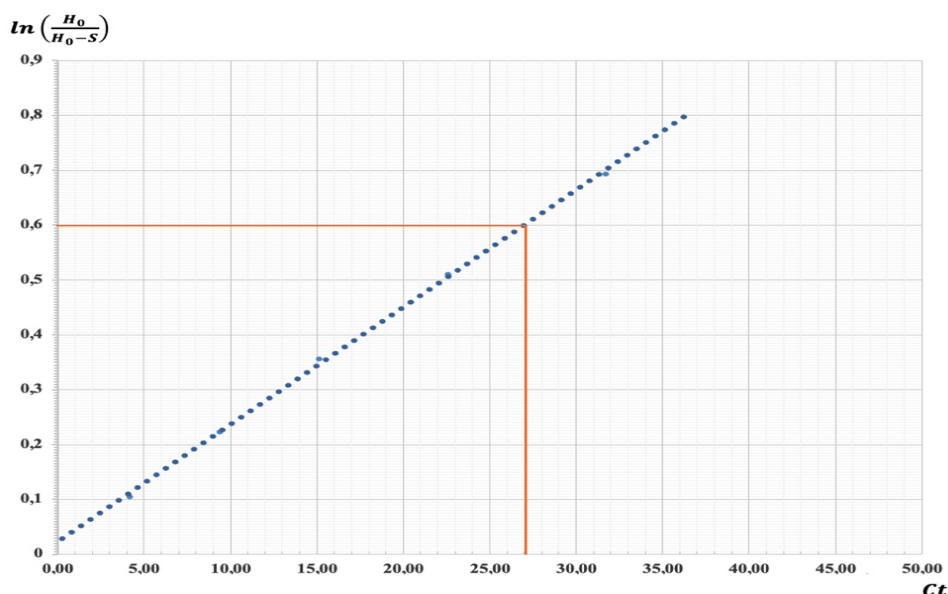


Рис.4. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов по ГОСТ 25584-2023

Выбрав значение $\ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right)$ 0,6 и Ct 27- на построенной прямой линии определили коэффициент фильтрации K , равный 14,66 м/сут., по формуле

$$K = \frac{\ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right)}{Ct}, \quad (1)$$

где K — коэффициент фильтрации, см/с; H_0 — начальная высота уровня воды в пьезометре, см; S — снижение уровня воды в пьезометре, см; t — время, за которое произошло снижение уровня воды на значение S , с.

Полученные значения физико-механических свойств сравнивали с песчаными грунтами Ростовской области (табл. 2), где 1 — песчаный грунт ОПК, 2 — песчаный грунт ИП Афоино, 3 — песчаный грунт ООО «Спарта», 4 — песчаный грунт ООО «Труд», 5 — песчаный грунт ООО «Карьер Кадамовский».

Таблица 2. Сравнение свойств природных песчаных грунтов и ОПК

Показатель	1	2	3	4	5
Разновидность	крупный	мелкий	мелкий	мелкий	мелкий
Пылеватые и глинистые частицы	1,2	1,5	1,7	2,0	2,8
Максимальная плотность	1,57	1,66	1,67	1,71	1,70
Оптимальная влажность	10,0	13,0	12,5	12,7	12,8
Коэффициент фильтрации	14,66	2,90	2,32	2,21	1,05

Результаты исследований, приведенные в табл. 2 показывают, что песчаный грунт на основе отхода производства керамогранита значительно превосходит по своим фильтрационным свойствам природные песчаные грунты Ростовской области.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что отход производства керамогранита фракции 0-5 мм может быть использован в дополнительных слоях оснований автомобильных дорог в качестве песчаного грунта (песка) по ГОСТ 25100-2020, ГОСТ 33063-2014 с фильтрационной способностью, значительно превышающей природные песчаные грунты (пески) Ростовской области.

Список источников

1. Евфорицкий, А. С. Битумоминеральные смеси на основе искусственного гранита/ А. С. Евфорицкий, Н. Д. Яценко // Строительные материалы. – 2025. – № 9. – С.91-96. DOI: 10.31659/0585-430X-2025-839-9-91-96.
2. 23.91.11-003-0189781548-2023. 15.05.2023 г. ОКС (КГС) 25.100.70 «Абразивно-шлифовальный материал Корунд 23».
3. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-8. – Введ. 01.07.2013. – М.: Минрегион России, 2013.
4. Смирнов-Туманов, Я. С. Результаты исследования фильтрационных свойств комбинированной щебёночно-песчаной смеси / Я. С. Смирнов-Туманов, Н. М. Панченко // Вестник инженерных исследований. – 2024. – Т. 15. – № 3. – С. 45-52. – DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-338-345.
5. Яценко, Н. Д. Изучение влияния заполнителя на основе отходов керамогранита на физико-химические свойства горячих мелкозернистых асфальтобетонов/ Н. Д. Яценко, А. С. Евфорицкий, Л. Д. Попова // Строительство и архитектура. – 2021. – Т. 9. – № 3. – С. 26-30. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-26-30.
6. Yatsenko, N. D. Physical and Mechanical Properties of the Road Surface when Replacing the Finely Crushed Mineral Part of Asphalt Concrete with Porcelain Stoneware Production Waste/ N. D. Yatsenko, A.S. Evforitsky, N.P. Kotenko// Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1043: Materials and Technologies in Construction and Architecture. – P. 101-107. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.101.
7. ГОСТ 33063–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Классификация типов местности и грунтов. – М.: Стандартинформ, 2016. – 54 с.
8. ГОСТ 25100–2020. Грунты. Классификация. – Введ. 01.01.2021. – М.: Стандартинформ, 2020. – 42 с.
9. ГОСТ 22733–2016. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 16 с.
10. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – Введ. 01.05.2017. – М.: Стандартинформ, 2019.

© Яценко Н. Д., Евфорицкий А. С., Евфорицкий М. С., 2026