

УДК 625.141.1

Водоудерживающая способность засоренного гранитного щебня

И. С. Игошев, А. Ф. Колос

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Игошев И. С., Колос А. Ф. Водоудерживающая способность засоренного гранитного щебня // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 3. — С. 7–20. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-7-20

Аннотация

Цель: Исследование водоудерживающей способности гранитного щебеночного балласта в зависимости от степени засорения фракцией 5–25 мм. **Методы:** Исследование проводилось в специальном боксе для определения водоудерживающих свойств и степени водонасыщения гранитного щебня, который используется в качестве основного материала в конструкции железнодорожного пути. Лабораторные испытания проводились с различным процентным содержанием засорителя фракций 5–25 мм (10 %, 20, 30, 40 % по массе заполнителя) в зерновом составе щебня. **Результаты:** Результаты испытания свидетельствуют о незначительном влиянии засорения щебня фракциями 5–25 мм на его водоудерживающую способность и степень водонасыщения. При наличии до 40 % по массе засорителя фракции 5–25 мм в зерновом составе щебня его влажность увеличилась не более чем на 0,4 %, а степень водонасыщения не превысила 0,04 д. е. в условиях эксплуатации железнодорожного пути. **Практическая значимость:** Засорение щебня, применяемого для балластного слоя железнодорожного пути, фракцией 5–25 мм до 40 % по массе приводит к незначительному увеличению водоудерживающей способности и степени водонасыщения, что не оказывает существенного влияния на снижение прочностных и деформационных характеристик щебня.

Ключевые слова: Железнодорожный путь, гранитный щебень, балластная призма, засорение балластного слоя, водоудерживающие свойства, степень водонасыщения.

Введение

В условиях перспективной эксплуатации железнодорожной линии с повышением осевых нагрузок и скорости движения поездов важнейшей задачей является обеспечение стабильности геометрии рельсовой колеи, в том числе за счет повышения стабильности и надежности работы балластного слоя [1]. Балластный слой как один из ключевых элементов пути должен обладать необходимыми физико-механическими свойствами для сохранения его эксплуатационных характеристик на протяжении всего жизненного цикла [2].

Как известно [3], изменение свойств щебеночного балласта железнодорожного пути называется «износом (деградацией) щебеночного балласта» и связывается с процессом его засорения и загрязнения, а также с ухудшением его физико-механических свойств в процессе эксплуатации.

Согласно [4], под засорением балластного слоя понимается появление в его зерновом составе частиц размером 0,1–25 мм — для щебня II категории по ГОСТ 7392—2014 [5].

Под загрязнением балластного слоя, в соответствии с [4], понимается изменение гранулометрического состава, выражающееся в увеличении содержания фракции менее 0,1 мм (пылеватых и глинистых частиц).

Засорение и загрязнение обусловлены как внутренними факторами (механическое разрушение зерен балласта под воздействием динамических нагрузок), так и внешними источниками загрязнения (сыпучие грузы, песок из песочниц локомотивов и др.) [3].

С наработкой тоннажа железнодорожный балласт подвергается загрязнению, засорению, увлажнению, что приводит к снижению прочностных и деформационных свойств щебня и, следовательно, к понижению несущей способности балластного слоя и интенсивному накоплению остаточных деформаций железнодорожного пути.

В статье [6] отмечается, что чистый и засоренный щебень в сухом состоянии практически не изменяет своих прочностных и деформационных свойств, наоборот, в насыщенном водой состоянии чистый щебень снижает свои свойства примерно на 15 %, а засоренный — на 20 %.

Согласно исследованиям [7], при динамической нагрузке на балласт частицы щебня разрушаются, образуя засорение фракцией менее 9,5 мм, следовательно, влага может задерживаться в балластном слое, что приведет к изменениям в характеристиках щебня. В ходе исследования разрушенного балласта с засорителями фракции менее 9,5 мм установлено, что в сухом состоянии (до 12 % влажности) свойства щебня остаются неизменными. При увеличении влажности до 3 % наблюдается снижение прочности материала приблизительно на 50 %.

Автор [8] провел исследование прочностных характеристик гранитного щебня при содержании засорения 0,1–5 мм до 12–15 % по массе. Установлено, что в сухом состоянии данные фракции незначительно влияют на прочностные свойства щебня. При этом существенно снижаются фильтрационные свойства, следовательно, вода задерживается в балласте, что приводит к резкому ухудшению прочностных характеристик материала.

Согласно [9], содержание частиц менее 4,75 мм (≈ 5 мм) в зерновом составе путевого щебня с ростом влажности приводит к изменению его первоначальных физико-механических характеристик, что способствует более интенсивному накоплению остаточных деформаций. Согласно данным автора, при содержании влаги более 3 % в засоренном балласте под воздействием циклических нагрузок происходит быстрое накопление остаточных деформаций в щебеночном балласте.

Также по результатам исследования А. Ф. Колоса [8] можно сказать, что как в сухом, так и во влажном состоянии угольная пыль приводит к понижению угла

внутреннего трения. В то же время удельное зацепление сухого балласта с увеличением доли угольной пыли в составе загрязнителя увеличивается, но при увлажнении наблюдается его снижение. Согласно [10], при увеличении загрязнения угольной пылью (до 25 % по массе) щебня в сухом состоянии прочностные характеристики ухудшаются примерно на 22 %, а при увеличении влажности до 35 % прочностные свойства ухудшаются на 40 %.

Загрязнение и засорение балластной призмы с ростом влажности приводит к уменьшению трения в щебне, уменьшению угла распространения давления, повышению давления на основную площадку земляного полотна [11].

Любое загрязнение и засорение балласта может оказывать как положительные, так и отрицательные воздействия на балласт. Значительное увеличение содержания загрязнения и засорения в балластном слое приводит к снижению дренажных свойств, что, в свою очередь, приводит к увеличению влажности в щебне, повышается степень водонасыщения, в результате чего снижается несущая способность балластной призмы [12].

Обобщая изученную литературу, можно утверждать, что влажность щебня является определяющим фактором и оказывает непосредственное влияние на прочностные и деформационные свойства щебня и, следовательно, на прочность и деформируемость балластного слоя. Однако остается неизученным вопрос изменения водоудерживающей способности и, соответственно, степени водонасыщения щебня при его засорении и загрязнении при фактической эксплуатации железнодорожного пути. Следовательно, не представляется возможным обеспечить и прогноз изменения прочностных и деформационных свойств щебня в процессе эксплуатации при наработке тоннажа и, соответственно, прочность и деформируемость балластной призмы.

Данное исследование посвящено изучению влияния засорения гранитного щебня II категории по ГОСТ 7392—2014 фракциями 5–25 мм, являющегося продуктом собственного дробления, на его водоудерживающую способность.

Материалы для исследования

В качестве основного материала для исследования принят гранитный щебень, так как данный материал имеет широкое применение в качестве балластного материала при строительстве железнодорожных путей.

Для проведения исследований водоудерживающей способности гранитного щебеночного балласта использовались специально подготовленные пробы щебня (рис. 1), которые соответствовали требованиям, предъявляемым к щебню II категории по ГОСТ 7392—2014 [5]. Для исследований использовалась фракция щебня с номинальным размером зерен от 25 до 60 мм с насыпной плотностью $\rho = 1370 \text{ кг/м}^3$. Фактический гранулометрический состав представлен на рис. 2.



Рис. 1. Щебень II категории, гранитный по ГОСТ 7392—2014 [5].
Автор: И. С. Игошев

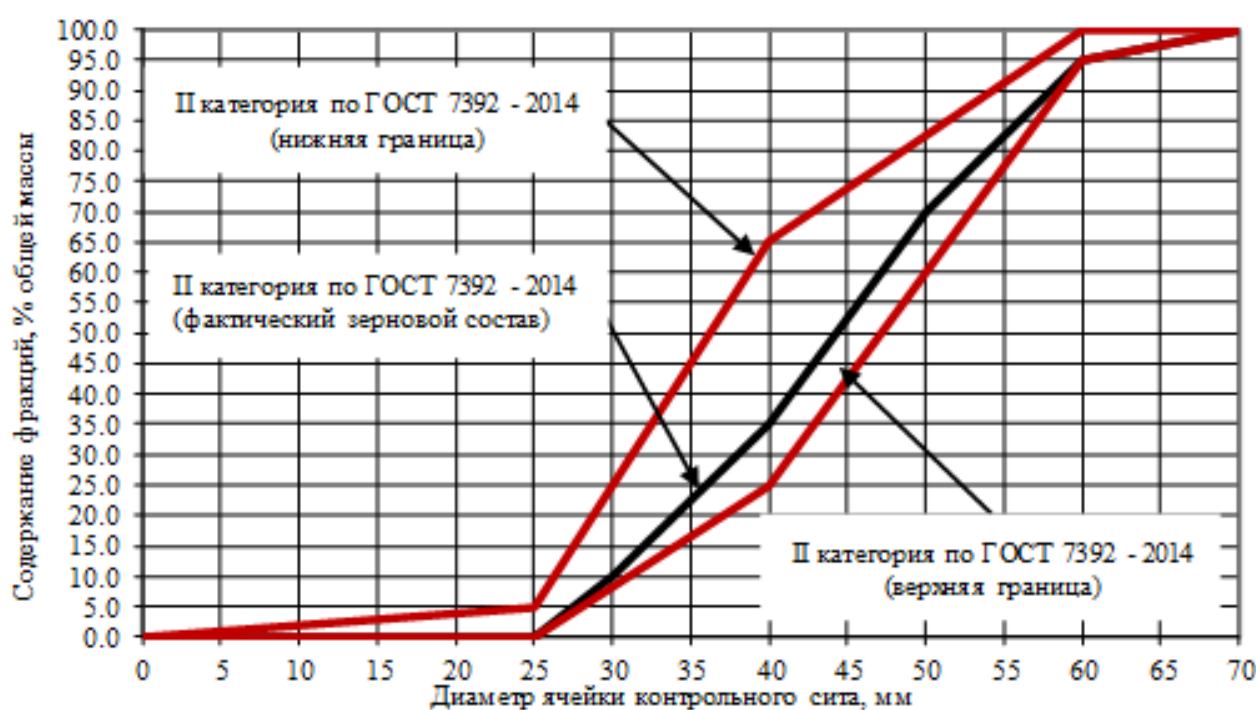


Рис. 2. Гранулометрический состав гранитного щебня II категории по ГОСТ 7392—2014 [5]. Автор: И. С. Игошев

Применительно к щебню II категории по ГОСТ 7392—2014 [5] критерием его загрязненности и засоренности является наличие во фракционном составе зерен менее 25 мм по массе, поэтому в качестве загрязняющего материала использовалась фракция щебня с номинальным размером зерен от 5 до 25 мм с насыпной плотностью $\rho = 1378 \text{ кг/м}^3$ (рис. 3, 4). Данная фракция щебня была выбрана для

имитации дробления щебеночного балласта под динамической нагрузкой и при работе рабочих органов балластоуплотнительных машин.

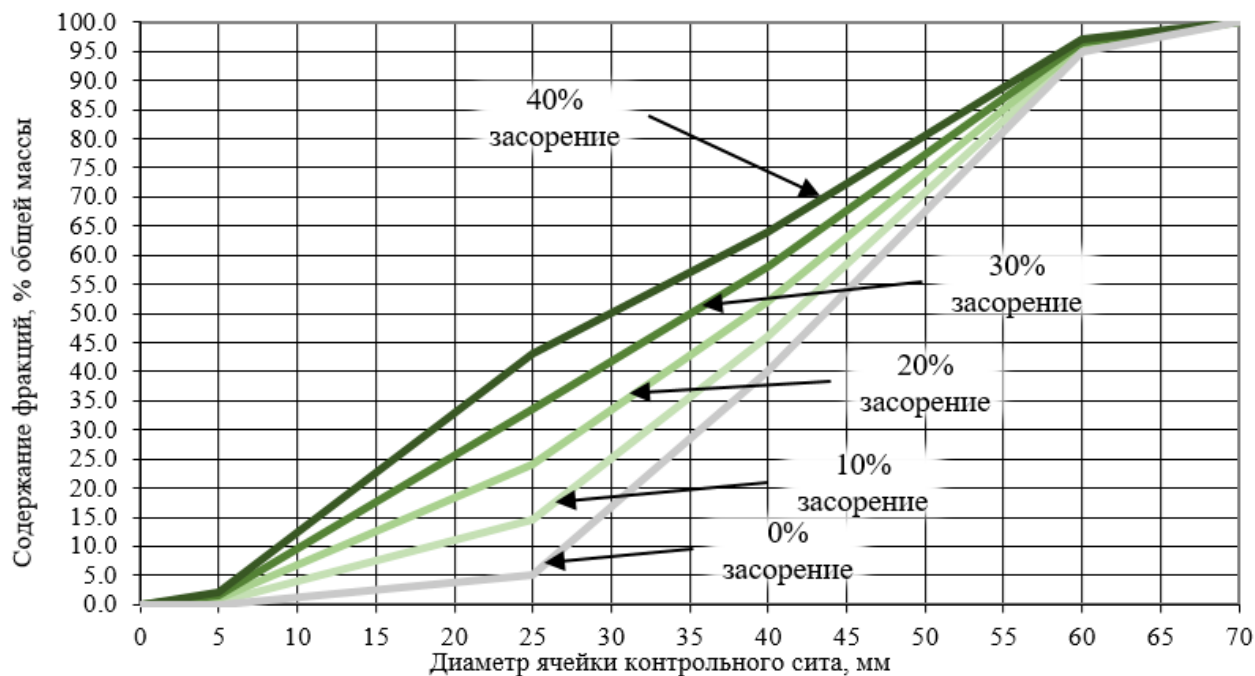


Рис. 3. Зерновой состав гранитного щебня, используемого в испытаниях, с различным уровнем засорения (0 %, 10, 20, 30, 40 % по массе) фракциями 5–25 мм. Автор: И. С. Игошев



Рис. 4. Щебень гранитный фракции 5–25 мм. Автор: И. С. Игошев

Для создания проб засоренного щебня основной материал (25–60 мм) смешивался с засоряющим материалом (5–25 мм) в следующих пропорциях: 10 %, 20, 30 и 40 % по массе. Выбранные концентрации засоряющего материала отражают типичные уровни засорения балластного слоя в процессе эксплуатации.

Смешивание проводилось механическим способом в течение 10 минут для обеспечения однородности состава. Подготовленные пробы хранились в герметичных контейнерах для предотвращения изменения их влажности и состава.

Методы испытаний, применяемое оборудование

Исследование водоудерживающей способности засоренного гранитного щебня проводилось в специальном боксе (рис. 5).



Рис. 5. Бокс для проведения испытания. Автор: И.С. Игошев

Бокс выполнен из пластика и имеет размеры $600 \times 400 \times 400$ мм. Общий объем бокса составляет $0,096 \text{ м}^3$, а вес — 3,7 кг.

В дно бокса врезан соединитель $3/4$ дюйма (20 мм), который предназначен для перекрытия потока воды и для обеспечения оттока воды из бокса, а также установлена специальная решетка, которая препятствует попаданию мелких частиц щебня 5–25 мм в соединитель (рис. 6).



Рис. 6. Бокс с соединителем для перекрытия воды и с оцинкованной решеткой внутри. Автор: И.С. Игошев

Бокс во время проведения испытаний устанавливался горизонтально на поверхности для обеспечения оттока воды. Вес бокса с оцинкованной решеткой и соединителем для перекрытия воды составляет 7,0 кг.

В бокс помещался образец высотой 30 см, а объем образца в боксе составлял 0,055 м³.

Общий подход к проведению испытания сводился к следующему.

1. Формирование образцов гранитного щебеночного балластного слоя II категории фракции 25–60 мм с имитацией засорения щебнем фракции 5–25 мм в процентном отношении 0, 10, 20, 30, 40 % по массе.

2. Каждый образец перед испытанием помещался в сушильный шкаф и высушивался в соответствии с ГОСТ 7392—2014 [5].

3. Образец помещается в бокс высотой 30 см и уплотняется с помощью ручного уплотнителя грунта с грузом (рис. 7).



Рис. 7. Ручной уплотнитель грунта с грузом.

Автор: И. С. Игошев

4. После осадки щебня в ящик досыпался дополнительный объем, после чего вновь производилось уплотнение. Таким образом добивались полной высоты образца в 30 см при плотности сухого щебня от 1590 до 1660 кг/м³.

5. После укладки образца в бокс его взвешивали вместе с образцом на весах и определяли массу образца, загруженного в бокс. Одновременно вычислялся и объем уплотненного щебня, что позволяло определить его плотность в сухом состоянии.

6. Для насыщения образца постепенно добавлялась вода, уровень которой превышал верхнюю границу образца на 20 мм. В таком состоянии образец выдерживали сутки. По истечении суток производилось открытие крана, и вода полностью сливалась из бокса.

7. Образец после увлажнения вместе с боксом вновь взвешивали. По разнице масс образца до и после водонасыщения определяли массу воды, оставшейся в образце, что позволило определить влажность щебня, которая характеризует его водоудерживающую способность.

8. После получения всех данных образец полностью разбирали, бокс мыли.

Обработка результатов испытаний

Обработка результатов проводилась в соответствии с ГОСТ 33057—2014 [13] и ГОСТ 25100—2020 [14].

В процессе исследования водоудерживающей способности щебня при засорении фракцией 5–25 мм получены необходимые данные, которые представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Данные, полученные в процессе испытаний

Характеристика пробы	Гранитный щебень II категории по ГОСТ 7392—2014 (фракция 25–60 мм) при засорении фракцией 5–25 мм в % по массе				
	Чистый (0 %)	10 %	20 %	30 %	40 %
m_n насыпного грунта, кг	75,35	75,4	75,44	75,48	75,53
Насыпная плотность щебня ρ , кг/м ³	1363	1364	1364	1365	1366
h , высота образца в боксе, см	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
m_1 сухого грунта с уплотнением в боксе, кг	88,7	87,7	87,84	89,7	91,4
Плотность пробы ρ_d , кг/м ³	1604	1586	1589	1622	1653
Коэффициент относительного уплотнения, д. е.	1,18	1,16	1,16	1,19	1,21
Пористость щебня n , д. е.	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37
Коэффициент пористости e , д. е.	0,64	0,65	0,65	0,62	0,59
m насыщенного водой образца, кг	89,16	88,24	88,40	90,38	92,20
Влажность, после выдерживания образца в воде W , %	0,52	0,62	0,64	0,76	0,88
Коэффициент водонасыщения Sr , д. е.	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04

Результаты испытаний

Результаты выполненных исследований позволили определить водоудерживающую способность гранитного щебеночного балласта и степень водонасыщения. Результаты представлены в графической форме (рис. 8, 9).

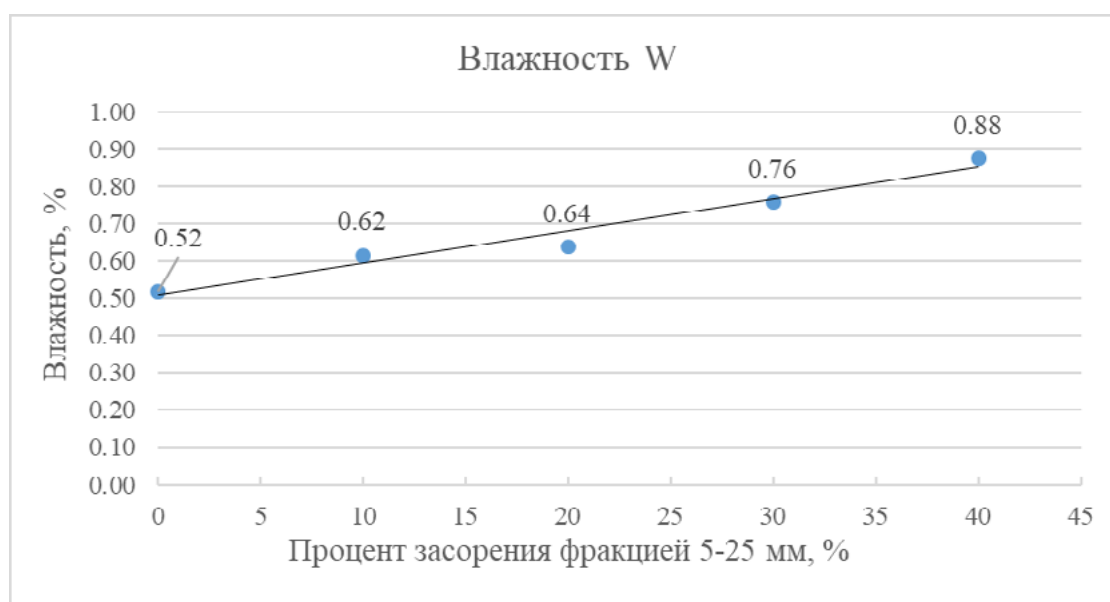


Рис. 8. Влажность (водоудерживающая способность) гранитного щебня при

засорении фракцией 5–25 мм после выдерживания
образца в воде. Автор: И. С. Игошев

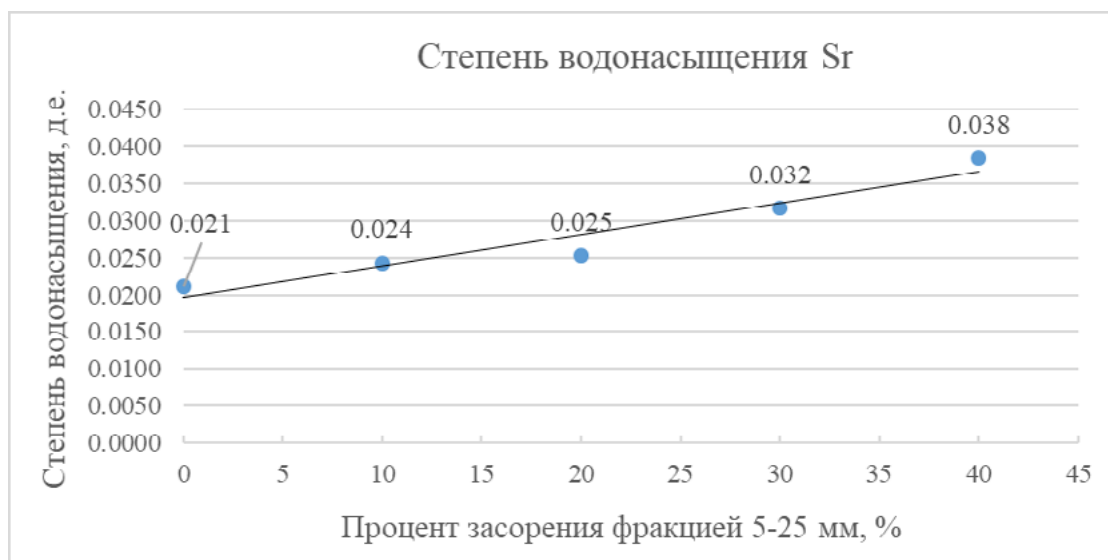


Рис. 9. Степень водонасыщения гранитного щебня
при засорении фракцией 5–25 мм после выдерживания образца в воде

Экспериментально установлено, что влажность гранитного щебня возрастает с увеличением степени его засорения по линейной зависимости, однако анализ полученных данных указывает на незначительный рост влажности, которая при засорении щебня до 40 % по массе не превысила 1 %.

Аналогичный вывод следует и в отношении степени водонасыщения щебня — с увеличением степени засорения гранитного щебня наблюдается закономерное повышение его водонасыщения, и при 40 % засорении степень водонасыщения не превысила 0,04 д. ед. Однако, несмотря на значительное засорение, в соответствии ГОСТ 25100—2020 [14] такой грунт классифицируется как маловлажный.

Таким образом, в результате засорения щебня фракцией 5–25 мм наблюдается незначительное повышение его водоудерживающей способности и степени водонасыщения, что не скажется на существенном снижении его прочностных и деформационных свойств.

Заключение

В результате проведенного исследования изучен характер влияния засорителей фракции 5–25 мм на водоудерживающую способность гранитного щебня II категории по ГОСТ 7392—2014. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Доказано, что увеличение содержания фракции 5–25 мм в зерновом составе гранитного щебня приводит к незначительному увеличению его

водоудерживающей способности щебня. При засорении образца на 40 % его влажность увеличилась лишь на 0,36 % относительно чистого образца.

2. Также доказано, что степень водонасыщения щебня при засорении 40 % по массе фракцией 5–25 мм не превышает 0,04 д. е., и щебень по ГОСТ 25100—2020 [14] классифицируется как маловлажный.

3. Указанные изменения водоудерживающей способности гранитного щебня, засоренного фракцией 5–25 мм до 40 % по массе, не приведут к значимому снижению его прочностных и деформационных характеристик, что доказано результатами исследований прошлых лет

Перспективы дальнейших исследований связаны с изучением водоудерживающей способности гранитного щебня при его засорении фракциями 0,1–5 мм, а также при его загрязнении песком и угольной пылью с фракцией менее 0,5 мм.

Список источников

1. О Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № 877-р // КонсультантПлюс: справочная правовая система. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77643/ (дата обращения: 03.02.2025).
2. СП 238.1326000.2015. Свод правил. Железнодорожный путь: утвержден и введен в действие приказом Министерства транспорта Российской Федерации 06.07.2015 № 209. — М.: МГУПС (МИИТ), 2015. — 71 с.
3. Колос А. Ф. Засорение и загрязнение щебеночного балласта при эксплуатации железнодорожного пути / А. Ф. Колос // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 3. — С. 558–575.
4. Попов С. Н. Балластный слой железнодорожного пути / С. Н. Попов. — М.: Транспорт, 1965. — 183 с.
5. ГОСТ 7392—2014. Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2015. — 32 с.
6. Ishikawa T. Influence of Water Content on Shear Behavior of Unsaturated Fouled Ballast / T. Ishikawa, S. Fuku, T. Nakamura, Y. Momoya et al. // Procedia Engineering. — 2016. — Vol. 143. — Pp. 268–275.
7. Qian Y. Moisture Effects on Degraded Ballast Shear Strength Behavior / Y. Qian, D. Mishra, E. Tutumluer, Y. Hashash et al. // JRC2016. — 2016. — P. V001T01A034.

8. Колос А. Ф. Несущая способность и деформируемость балластного слоя при эксплуатации железнодорожного пути: дис. ... д-ра техн. наук / А. Ф. Колос. — СПб., 2014. — 637 с.
9. Ebrahimi A. Deformational behavior of fouled railway ballast / A. Ebrahimi, J. Tinjum, T. Edil // *Canadian Geotechnical Journal*. — 2024. — Vol. 52. — Pp. 344–355.
10. Tutumluer E. Laboratory characterization of coal dust fouled ballast behavior / E. Tutumluer, P. Associate, P. Kent, W. Dombrow et al. // *Journal of the Transportation Research Board*. — 2008.
11. Косенко С. А. Причины отказов элементов железнодорожного пути на полигоне Западно-Сибирской железной дороги / С. А. Косенко, С. С. Акимов // *Вестник СГУПС*. — 2017. — № 3(42). — С. 26–34.
12. Лим В. Л. Механика поведения железнодорожного балласта: дис. ... д-ра техн. наук / В. Л. Лим. — Ноттингем: Ноттингемский ун-т, 2004. — На англ. яз.
13. ГОСТ 33057—2014. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Определение средней и истинной плотности, пористости и водопоглощения: межгосударственный стандарт. — М.: Стандартинформ, 2016. — 13 с.
14. ГОСТ 25100—2020. Грунты. Классификация: межгосударственный стандарт. — М.: Стандартинформ, 2020. — 41 с.

Дата поступления: 14.06.2025

Решение о публикации: 11.07.2025

Контактная информация:

ИГОШЕВ Иван Сергеевич — ассистент кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса»

КОЛОС Алексей Федорович — заведующий кафедры «Строительство дорог транспортного комплекса»

Water-Holding Capacity of Clogged Granite Crushed Stone

I. S. Igoshev, A. F. Kolos

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Igoshev I. S., Kolos A. F. Water-Holding Capacity of Clogged Granite Crushed Stone. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 3, pp. 7–20. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-7-20

Summary

Purpose: To investigate the water-holding capacity of granite crushed stone ballast, with a stone fraction ranging from 5 to 25 millimetres. **Methods:** The experimental procedure was conducted within a designated container to ascertain the water-retention capabilities and degree of water saturation of granite crushed stone that is used as the primary material in the construction of railway tracks. Laboratory tests were conducted utilising varying percentages of clogging agent, ranging from 5 to 25 millimetres (10%, 20, 30, and 40% by mass of aggregate), within the grain composition of the crushed stone. **Results:** The test results demonstrate that clogging of crushed stone with particles ranging from 5 to 25 mm does not exert a significant influence on

its water-holding capacity and degree of water saturation. In the presence of up to 40% by weight of clogging agent with a size of 5–25 mm in the crushed stone grain, the moisture content increased by no more than 0.4%, and the degree of water saturation did not exceed 0.04 p.u. (percentage unit) in conditions of an active railway track. **Practical significance:** The clogging of crushed stone in a track ballast layer with 5–25 mm-size fractions and a mass percentage of up to 40% has negligible impact on the water-holding capacity and degree of water saturation. This phenomenon does not exert a substantial influence on the reduction of strength and deformation characteristics of the crushed stone.

Keywords: Railway track, granite crushed stone, ballast prism, clogging of crushed stone ballast layer, water retention properties, degree of water saturation.

References

1. Strategii razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 17.06.2008 № 877-r [On the Strategy for the Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030: Order of the Government of the Russian Federation of 17.06.2008 № 877-r]. *KonsultantPlus: spravoch'naya pravovaya sistema* [ConsultantPlus: legal reference system]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77643/ (accessed: February 3, 2025). (In Russian)
2. SP 238.1326000.2015. *Svod pravil. Zheleznodorozhnyy put': utverzhden i vveden v deystvie prikazom Ministerstva transporta Rossiyskoy Federatsii 06.07.2015 № 209* [SP 238.1326000.2015. Code of Practice. Railway Track: approved and put into effect by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 06.07.2015 № 209]. Moscow: MGUPS (MIIT) Publ., 2015, 71 p. (In Russian)
3. Kolos A. F. Zasorenie i zagryaznenie shchebenochnogo ballasta pri ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti [Contamination and pollution of ballast during railway track operation]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of Petersburg Transport University]. Saint Petersburg: PGUPS Publ., 2022, vol. 19, Iss. 3, pp. 558–575. (In Russian)
4. Popov S. N. *Ballastnyy sloy zheleznodorozhnogo puti* [Ballast layer of railway track]. Moscow: Transport Publ., 1965, 183 p. (In Russian)
5. GOST 7392—2014. *Shcheben' iz plotnykh gornykh porod dlya ballastnogo sloya zheleznodorozhnogo puti. Tekhnicheskie usloviya* [GOST 7392—2014. Crushed stone from dense rocks for railway track ballast. Technical specifications]. Moscow: Standartinform Publ., 2015, 32 p. (In Russian)
6. Ishikawa T., Fuku S., Nakamura T., Momoya Y. et al. Influence of Water Content on Shear Behavior of Unsaturated Fouled Ballast. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 143, pp. 268–275.
7. Qian Y., Mishra D., Tutumluer E., Hashash Y. et al. Moisture Effects on Degraded Ballast Shear Strength Behavior. *JRC2016*, 2016, pp. V001T01A034.
8. Kolos A. F. *Nesushchaya sposobnost' i deformiruemost' ballastnogo sloya pri ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Bearing capacity and deformability of the ballast layer during railway track operation: Dr. tech. sci. diss.]. Saint Petersburg, 2014, 637 p. (In Russian)
9. Ebrahimi A., Tinjum J., Edil T. Deformational behavior of fouled railway ballast. *Canadian Geotechnical Journal*, 2024, vol. 52, pp. 344–355.

10. Tutumluer E., Associate P., Kent P., Dombrow W. et al. Laboratory characterization of coal dust fouled ballast behavior. Journal of the Transportation Research Board, 2008.
11. Kosenko S. A., Akimov S. S. Prichiny otkazov elementov zheleznodorozhnogo puti na poligone Zapadno-Sibirskoy zheleznoy dorogi [Causes of failures of railway track elements in the West Siberian railway]. *Vestnik SGUPS* [Bulletin of SGUPS]. Novosibirsk: SGUPS Publ., 2017, Iss. 3(42), pp. 26–34. (In Russian)
12. Lim V. L. *Mekhanika povedeniya zheleznodorozhnogo ballasta: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Mechanics of railway ballast behavior: Dr. tech. sci. diss.]. Nottingham: Nottingham University Publ., 2004.
13. *GOST 33057—2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Shcheben'i graviy iz gornykh porod. Opredelenie sredney i istinnoy plotnosti, poristosti i vodopogloshcheniya* [GOST 33057—2014. Public roads. Crushed stone and gravel from rocks. Determination of average and true density, porosity and water absorption]: mezhgosudarstvennyy standart]. Moscow: Standartinform Publ., 2016, 13 p. (In Russian)
14. *GOST 25100—2020. Grunty. Klassifikatsiya: mezhgosudarstvennyy standart* [GOST 25100—2020. Soils. Classification: interstate standard]. Moscow: Standartinform Publ., 2020, 41 p. (In Russian)

Received: June 14, 2025

Accepted: July 11, 2025

Author's information:

Ivan S. IGOSHEV — Assistant, Department “Construction of roads of transport complex”

Aleksey F. KOLOS — Head of the Department “Construction of roads of transport complex”