

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2023.01.03

УДК 624.138

**Р.Р. Салахов**

НПФ «Криоген-Холод-Технология», Пермь, Россия

## **УКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ОТХОДАМИ ПЛАСТИКА**

Представлены инновационные способы укрепления и стабилизации грунтов. Рассматривается современная технология укрепления глинисто-гравийных и песчаных грунтов автомобильных дорог с применением отходов пластика и отработанной керамической пыли. Проведено исследование по определению оптимального процентного содержания керамической пыли и пластиковых отходов в исследуемом грунте, которое составило 20 и 1 % соответственно. Приведена технология утилизации ПЭТ-бутылок из-под воды и использование их в качестве армирующего материала для улучшения свойств песчаных грунтов. Результаты исследования показали, что армирование пластиковыми отходами способствовало повышению прочности, сдвигоустойчивости и коэффициента СБР песчаного грунта. Также представлено исследование возможности армирования грунта частицами из восстановленного полиэтилена высокой плотности (HDPE). Испытания показали, что армированный песчаный грунт с использованием восстановленных фрагментов HDPE повышает его устойчивость к деформации и увеличивает прочность. Приведены результаты эксперимента по укреплению и стабилизации глинистого грунта с помощью отходов ПЭТ-бутылок. Результаты эксперимента показали, что произошло значительное улучшение параметров сдвигоустойчивости исследуемого грунта. Технология укрепления глинисто-гравийных и песчаных грунтов автомобильных дорог с применением пластиковых отходов и отработанной керамической пыли позволяет улучшить прочностные характеристики грунтовых дорожных оснований, а также утилизировать отходы пластмасс с сохранением их материального ресурса, что поможет снизить негативное воздействие пластиковых отходов на объекты окружающей среды. Данную технологию можно рассматривать как биопозитивную и климатически-нейтральную, так как она не требует организации сложной технологической линии по подготовке отходов, и значительного расхода энергии на подготовку отходов пластмасс к использованию. При этом в процессе производства стабилизатора для грунта, а также во время эксплуатации дорожного полотна не образуется вторичной эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу.

**Ключевые слова:** укрепление грунтов, строительство, автомобильная дорога, отходы пластика, утилизация.

**R.R. Salakhov**

NPF Cryogen-Holod-Technology LLC, Perm, Russian Federation

## **STRENGTHENING SOILS USED FOR CONSTRUCTION OF ROADS WITH PLASTIC WASTE**

The article presents innovative ways to strengthen and stabilize the soil. A modern technology for strengthening clay-gravel and sandy soils of highways using plastic waste and waste ceramic dust is presented. A study was carried out to determine the optimal percentage of ceramic dust and plastic waste in the studied soil, which was 20% and 1%, respectively. The technology of recycling PET bottles from under the water, and their use as a reinforcing material to improve the properties of sandy soils, is given. The results of the study showed that plastic waste reinforcement improved the strength, shear resistance, and CBR of the sandy soil. The article also presents a study of the possibility of reinforcing soil with particles from recycled high-density polyethylene (HDPE). Tests have shown that reinforced sandy soil using reconstituted HDPE fragments increases its resistance to deformation and increases strength. The results of an experiment on strengthening and stabilizing clay soil with the help of waste PET bottles are presented. The results of the experiment showed that there was a significant improvement in the parameters of shear resistance of the studied soil. The technology of strengthening clay-gravel and sandy soils of roads using plastic waste and waste ceramic dust can improve the strength characteristics of soil road bases, as well as dispose of plastic waste while preserving their material resource, which will help reduce the negative impact of plastic waste on environmental objects. This technology can be considered as biopositive and climate-neutral, since it does not require the organization of a complex technological line for the preparation of waste, and significant energy consumption for the preparation of plastic waste for use. At the same time, during the production of a stabilizer for the soil, as well as during the operation of the roadway, there is no secondary emission of pollutants into the atmosphere.

**Key words:** soil stabilization, construction, highway, plastic waste, recycling.

В наши дни дорожная отрасль РФ сталкивается с множеством проблем и задач, решение которых способно привести к дальнейшему развитию в строительстве сетей региональных, федеральных и сельскохозяйственных дорог, что ведёт к повышению качества жизни населения, увеличению его мобильности, а также к уменьшению транспортных издержек. Для решения поставленных задач в дорожной отрасли необходимо внедрять лучшие мировые и отечественные технологии и инновационные решения.

На сегодняшний день в РФ существует множество территорий с грунтами, обладающими низкой прочностью, и при строительстве на них автомобильных дорог и сооружений для стабилизации и укрепления грунтов следует применять большое количество каменных материалов (щебня). С целью снижения объемов использования щебня, а также для укрепления грунтов применяются органические (битум) и неорганические вяжущие (цемент, известь, шлаки), а также достаточно большая группа поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые представляют собой стабилизаторы на органической, щелочной и кислотной основе. Данные стабилизаторы составляют широкий класс разных по составу и происхождению веществ, которые увеличивают плотность, влагостойкость и морозостойкость грунтов, снижают степень пучинистости, оказывая при этом положительное влияние на свойства дорожно-строительных материалов.

Наибольшее распространение ПАВ-стабилизаторы для укрепления грунтов приобрели в странах Северной Америки, Европы, Австралии и в ЮАР. В последние годы данной технологией заинтересовались также и специалисты из РФ, которые начали ее применять в строительстве автомобильных дорог, аэродромов, паркингов и других промышленных объектов [2–4]. Несмотря на очевидные достоинства ПАВ-стабилизаторов, они также имеют ряд недостатков, такие как высокая стоимость материалов, срок эффективного воздействия на грунты, высокий класс опасности, ограничения по применению в зависимости от типа грунтов, их кислотности, а также минералогического и химического состава.

Инновационным способом укрепления грунтов, вызывающим интерес как у зарубежных, так и у отечественных специалистов, является укрепление их отходами пластмасс. Это связано с тем, что данная технология способна одновременно решить два вопроса: повышение срока эксплуатации автомобильных дорог, а также снижение негативного воздействия пластиковых отходов на окружающую среду за счет утилизации отработанных пластмасс [2–6].

Ученые из Ирака разработали технологию укрепления глинисто-гравийных и песчаных грунтов автомобильных дорог с применением отходов пластика и отработанной керамической пыли [1].

Отходы пластика, используемые в эксперименте, были представлены завершившими свой срок службы ПЭТ-бутылками, которые нарезались размером 12 на 8 мм (рис. 1) и добавлялись непосредственно в грунт в различных пропорциях к массе грунта (0,25; 0,5; 0,75; 1 %) с целью определения оптимального количества отходов пластмасс, способного повысить прочность грунта. Керамическая пыль в составе грунта была использована в качестве элемента, повышающего стабилизацию грунтового слоя за счет оптимизации гранулометрического состава.

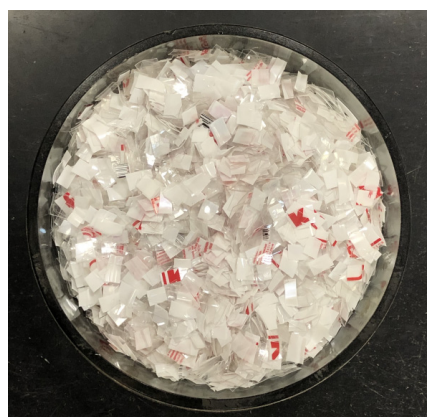


Рис. 1. Образец отходов пластика

В ходе эксперимента использовали навеску грунта массой по 5 кг, в которую добавляли керамическую пыль (5, 10; 15; 20; 25 %), образующуюся при производстве керамических изделий. Образцы уплотняли ударным способом до достижения максимальной плотности. Затем каждую форму взвешивали и замачивали в воде в течение четырех суток. После проведения уплотнения каждый образец тестировали и опреде-

ляли экземпляр с наиболее оптимальными показателями, в который затем добавляли разное процентное содержание пластиковых отходов (0,25; 0,5; 0,75; 1 %) и продельвали те же действия, с целью определения оптимального содержания отходов для улучшения прочности грунта. Результаты испытаний представлены на рис. 2 и 3 [1].

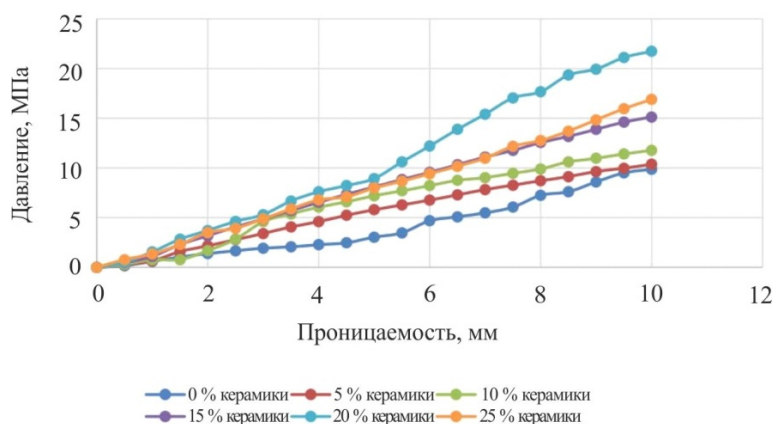


Рис. 2. Результаты испытаний образцов грунта с добавлением керамической пыли [1]

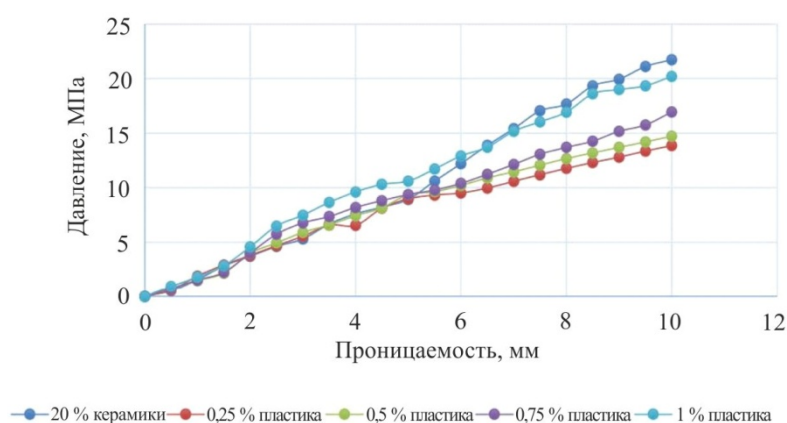


Рис. 3. Результаты испытаний образцов грунта с добавлением отходов пластика [1]

В ходе испытаний выявлено, что оптимальное содержание отработанной керамической пыли в испытуемом грунте составило 20 %, что представляет собой максимальный процент керамики, способный улучшить прочностные характеристики грунта. В свою очередь, наиболее приемлемое содержание отходов пластика в образце грунта, имеющего в своем составе керамическую пыль, составило 1 %, что также представляет собой максимальный процент пластиковых отходов, улучшающий прочность грунта.

Ученые из Восточного Средиземноморского университета (Кипр, Фамагуста) провели исследование, целью которого являлась утилизация завершивших свой срок службы ПЭТ-бутылок из-под воды и использование их в качестве армирующего материала для улучшения свойств песчаных грунтов [8]. Лабораторные испытания проводились с различным процентным содержанием пластиковых отходов (0; 0,5; 0,75 и 1,0) от массы песчаного грунта и относительной плотности 30 и 60 %. Для определения влияния пластиковых отходов на свигоустойчивость и прочность были проведены испытания на прямой сдвиг, а также определение калифорнийского коэффициента несущей способности (СВР). Результаты испытаний показали, что армирование пластиковыми отходами способствовало повышению прочности, свигоустойчивости и коэффициента СВР песчаного грунта. Установлено, что оптимальная доля пластиковых отхо-

дов, необходимая для характеристик грунта, составляет 0,75 %. При оптимальном процентном содержании пластиковых отходов повышение прочности и сдвигоустойчивости увеличилось по меньшей мере до 9 % по сравнению с естественным грунтом при относительной плотности 30 и 60 %.

Технология армирования песчаного грунта отходами пластика также активно изучается в США. Ученые из Висконсинского университета провели исследование, в котором рассмотрели возможность армирования грунта частицами из восстановленного полиэтилена высокой плотности (HDPE). Фрагменты HDPE в виде полосок длиной 4, 8 и 12 см смешивали с песчаным грунтом и испытывали на определение калифорнийского коэффициента несущей способности (CBR), сдвигоустойчивость и прочность [7]. Испытания показали, что армированный песчаный грунт с использованием восстановленных фрагментов HDPE повышает его устойчивость к деформации и увеличивает прочность. Кроме того, добавление полосок повысило коэффициент CBR примерно в 5 раз. Испытания на прямой сдвиг также показали, что добавление полос HDPE увеличивает сдвигоустойчивость песчаного грунта. Оптимальной длиной полиэтиленовых полосок для армирования и улучшения характеристик исследуемого грунта по результатам испытания является длина 8 см.

Исследователи из Кении предлагают использовать отходы пластика для глинистых грунтов, которые широко распространены, особенно в Эфиопии, и представляют определенные затруднения при строительстве на них дорог и различных сооружений, так как могут быть водянистыми и пучинистыми, что иногда приводит к неустойчивости построенной конструкции [9]. В исследовании представлены результаты эксперимента по укреплению и стабилизации глинистого грунта с помощью отходов ПЭТ-бутылок. Фрагменты пластика добавляли при трех различных соотношениях компонентов (0,5; 1 и 2 %) по массе грунта и в трех различных соотношениях сторон (5 × 7,5 мм; 10 × 15 мм; 15 × 20 мм). Результаты эксперимента показали, что произошло значительное улучшение параметров сдвигоустойчивости исследуемого грунта. Произошло существенное снижение оптимального содержания влаги и небольшое увеличение максимальной плотности в сухом состоянии грунта.

Технология укрепления глинисто-гравийных и песчаных грунтов автомобильных дорог с применением пластиковых отходов позволяет улучшить прочностные характеристики грунтовых дорожных оснований [10–15], а также утилизировать отходы пластмасс с сохранением их материального ресурса, что снижает негативное воздействие пластиковых отходов на объекты окружающей среды. Данную технологию можно рассмотреть как биопозитивную и климатически-нейтральную, так как она не требует организации сложной технологической линии по подготовке отходов и значительного расхода энергии на подготовку отходов пластмасс к использованию. При этом в процессе производства стабилизатора для грунта, а также во время эксплуатации дорожного полотна не образуется вторичной эмиссии загрязняющих веществ в атмосферу. Технологию укрепления песчаных и глинистых грунтов отходами пластмасс можно считать пригодной для использования в Пермском крае, так как на его территории широко распространены водонасыщенные глинистые грунты, в которых под воздействием внешних факторов возникают вертикальные деформации, вызывающие трудности при строительстве автомобильных дорог, зданий и сооружений. В связи с этим требуется разработка и последующее применение современных технологий укрепления и стабилизации данных грунтов с использованием отходов пластмасс, которые также являются широко распространенным видом отходов в Пермском крае.

### Список литературы

1. Raghda Kamil Kadhum, Mohammed Abbas Aljumaili Strengthening the clayey gravel and sand soils for Subbase course highway using different waste materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 888.

2. The use of polymer materials in the composition of asphalt concrete / K.G. Pugin, O.V. Yakontseva, V.K. Salakhova, A.M. Burgonutdinov // Materials research proceedings. International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment, ICMTME 2021. – 2022. – С. 150–155. DOI: 10.21741/9781644901755-27
3. Пугин К.Г., Яконцева О.В., Салахова В.К. Использование полимерных материалов в качестве структурного элемента в составе асфальтобетона // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 4. – С. 29–36.
4. Пугин К.Г., Пугина В.К. Использование отходов в структуре органоминеральных композитов, применяемых для строительства автомобильных дорог // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2021. – № 2. – С. 38–46.
5. Пугин К.Г., Вайсман Я.И. Методические подходы к управлению геоэкологической безопасностью при размещении твердых отходов черной металлургии путем минимизации экологических рисков // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 3. – С. 113–120.
6. Пугин К.Г., Вайсман Я.И. Методические подходы к разработке технологий совместного использования разнородных отходов производства // Вестник МГСУ. – 2014. – № 5. – С. 78–90.
7. Craig H. Benson, Milind V. Khire Reinforcing Sand with Strips of Reclaimed High-Density Polyethylene // Journal of Geotechnical Engineering. – 1994. – Vol. 120
8. Rowad Esameldin Farah, Zalihe Nalbantoglu Performance of plastic waste for soil improvement // SN Applied Sciences. – 2019. – № 1.
9. Soil Stabilization Using Waste Plastic Materials / Rebecca Belay Kassa, Tenaw Workie, Alyu Abdela, Mikiyas Fekade, Mubarek Saleh, Yonas Dejene // Open Journal of Civil Engineering. – 2020. – Vol. 10, № 1.
10. Reuse of Recycled Waste Materials as Stabilizers and Geopolymer Mortars to Improve Problematic Soils / Tezeta Moges Adane, Alemgena Alene Araya, B. Karthikeyan, Senthil Kumaran Selvaraj, S. Jose, A. John Rajan, D. Vincent Herald Wilson // Advances in Civil Engineering. – 2022. – Vol. 2022.
11. Bale Amol S. Potential reuse of plastic waste in road construction: a review // International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET). – 2011. – № 2, – P. 233–236.
12. Gangadhara. S, Vivek. S, Bharath. Experimental Study on Strength Behavior of Plastic // Reinforced Red Earth. – 2017. – Vol. 6. – P. 127.
13. Akshaya Kumar Sabat Stabilization of expansive soil using waste ceramic dust // Electronic Journal of Geotechnical Engineering. – 2012. – Vol 17. – P. 3915–3926.
14. Strength Behavior of Expansive Soil Treated with Tile Waste / Geeta Rani T, Shivanarayana Ch., Prasad D.S.V., Prasada Raju G.V.R. // International Journal of Engineering Research and Development. – 2014. – Vol. 10, iss. 12. – P. 52–562.
15. Binici H. Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars Properties // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 21. – P. 1191–1197.

### References

1. Raghda Kamil Kadhum Mohammed Abbas Aljumaili Strengthening the clayey gravel and sand soils for Subbase course highway using different waste materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 888. DOI 10.1088/1757-899X/888/1/01206
2. Pugin K.G., Yakontseva O. V., Salakhova V. K. Ispol'zovanie polimernykh materialov v kachestve strukturnogo elementa v sostave asfal'tobetona // Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya. – 2021. – № 4. – С. 29-36.
3. Pugin K. G., Pugina V. K. Ispol'zovanie otkhodov v structure organomineral'nykh kompozitov, primeniaemykh dlia stroitel'stva avtomobil'nykh dorog // Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya. – 2021. – № 2. – С. 38-46.
4. Pugin K.G., Vaisman Ia.I. Metodicheskie podkhody k upravleniiu geoeologicheskoi bezopasnost'iu pri razmeshchenii tverdykh otkhodov chernoii metallurgii putem minimizatsii ekologicheskikh riskov // Problemy regional'noi ekologii. – 2012. – № 3. – С. 113-120.
5. Pugin K.G., Vaisman Ia.I. Metodicheskie podkhody k razrabotke tekhnologii sovmestnogo ispol'zovaniia raznorodnykh otkhodov proizvodstva // Vestnik MGSU. – 2014. – № 5. – С. 78-90. Bale Amol S. Potential reuse of plastic

waste in road construction: a review. *International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET)*, 2011, No. 2, pp. 233-236.

6. Craig H. Benson, Milind V. Khire Reinforcing Sand with Strips of Reclaimed High-Density Polyethylene // *Journal of Geotechnical Engineering*. – 1994. – Vol. 120

7. Rowad Esameldin Farah, Zalihe Nalbantoglu Performance of plastic waste for soil improvement // *SN Applied Sciences*. – 2019. – № 1.

8. Rebecca Belay Kassa, Tenaw Workie, Alyu Abdela, Mikiyas Fekade, Mubarek Saleh, Yonas Dejene Soil Stabilization Using Waste Plastic Materials // *Open Journal of Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 10, № 1.

9. Tezeta Moges Adane, Alemgena Alene Araya, B. Karthikeyan, Senthil Kumaran Selvaraj, S. Jose, A. John Rajan, D. Vincent Herald Wilson Reuse of Recycled Waste Materials as Stabilizers and Geopolymer Mortars to Improve Problematic Soils // *Advances in Civil Engineering*. – 2022. – Vol. 2022.

10. Bale Amol S. Potential reuse of plastic waste in road construction: a review // *International Journal of Advances in Engineering & Technology (IJAET)*. – 2011. – № 2, – PP. 233-236.

11. Gangadhara. S, Vivek. S, Bharath. (2017), Experimental Study on Strength Behavior of Plastic Reinforced Red Earth, Volume 6, PP.127.

12. Akshaya Kumar Sabat (2012) "Stabilization of expansive soil using waste ceramic dust" *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 17, 3915-3926.

13. Geeta Rani, T, Shivanarayana, Ch., Prasad, D.S.V. and Prasada Raju, G.V.R. (2014), "Strength Behavior of Expansive Soil Treated with Tile Waste", *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 10, Issue 12, pp. 52-562.

14. Mohammad Saberian; Jie Li; and Donald Cameron (2019), "Effect of Crushed Glass on Behavior of Crushed Recycled Pavement Materials Together with Crumb Rubber for Making a Clean Green Base and Subbase" ,Volume 31.

15. Binici, H. (2007) "Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars Properties," *Construction and Building Materials*, Vol. 21, pp 1191-1197.

#### Об авторе

**Салахов Рафаэль Рафисович** (Пермь, Россия) – инженер-технолог ООО НПФ «Криоген-Холод-Технология» (Россия, 614101, г. Пермь, ул. Автозаводская, 9а, e-mail: salaxovrafael1993@mail.ru).

#### About the author

**Rafael R. Salakhov** (Perm, Russian Federation) – Process Engineer, NPF Cryogen-Holod-Technology LLC (9a, Avtozavodskaya St., Perm, 614101, Russian Federation, e-mail: salaxovrafael1993@mail.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад автора.** 100 %.

Поступила: 30.01.2023

Одобрена: 14.02.2023

Принята к публикации: 01.03.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Салахов, Р.Р. Укрепление грунтов используемых для строительства автомобильных дорог отходами пластика / Р.Р. Салахов // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. – 2023. – № 1. – С. 20–25. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.03

Please cite this article in English as: Salakhov R.R. Strengthening soils used for construction of roads with plastic waste. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2023, no. 1, pp. 20-25. DOI: 10.15593/24111678/2023.01.03