

Д. В. ПОПОВ**ДИСПЕРСНОЕ АРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО
ОСНОВАНИЯ ОТХОДАМИ СТЕКЛОБОЯ**

DISPERSE REINFORCEMENT OF ARTIFICIAL BASE WITH GLASS WASTE

В статье приведены результаты лабораторных штамповых испытаний песчаных грунтов, дисперсное армирование которых производилось отходами стеклобоя в виде крошки. Испытуемые образцы грунта имели разную плотность, и соответственно для каждой плотности было выполнено несколько вариантов процентного содержания стекла в массиве от общего объема. Целью выполнения лабораторных исследований являлось получение такой механической характеристики грунта, как модуль деформации, который впоследствии сравнивался с таким же модулем деформации, но только неармированного грунта. Полученные результаты исследований показали эффективность применения стеклянной крошки в качестве дисперсного армирования несвязанных грунтов, что позволяет улучшать его прочностные свойства и значительно экономить на устройстве искусственных оснований под здания или сооружения, а также решить вопрос с утилизацией стеклянных отходов и соответственно улучшить экологические показатели окружающей среды.

Ключевые слова: искусственное основание, отходы стеклобоя, дисперсное армирование, штамповые испытания, вторичное использование, прочность основания, улучшение экологии, характеристики грунта

Освоение новых территорий под застройку из-за их экономической привлекательности в некоторых случаях требует поднятия рельефа, что достигается путем отсыпки или намыва грунта или замены структурно неустойчивых грунтов на структурно устойчивые, также путём отсыпки нового слоя. Зачастую насыпные грунты становятся основаниями, и соответственно они должны иметь соответствующие для таких целей показатели физико-механических характеристик. Улучшение свойств насыпных или намывных грунтов можно достичь путём их закрепления цементными или силикатными растворами, специальными смолами и т. д. Также искусственные основания могут быть усилены путём армирования при помощи массово производимых полотен из геотекстиля или пластиковых сеток [1]. Геосинтетики – это класс строительных материалов, предназначенных для создания слоёв различного

The article presents the results of laboratory stamp tests of sandy soils, the dispersed reinforcement of which was made with cullet waste in the form of crumbs. The tested soil samples had different densities and, accordingly, for each density, several options were made for the percentage of glass in the mass of the total volume. The purpose of the laboratory research was to obtain such a mechanical characteristic of the soil as the deformation modulus, which was subsequently compared with the same deformation modulus, but not of reinforced soil. The research results obtained showed the effectiveness of using glass chips as dispersed reinforcement of loose soils, which makes it possible to improve its strength properties and significantly save on the installation of artificial foundations for buildings or structures, as well as solve the issue of recycling glass waste and, accordingly, improve the environmental performance of the environment.

Keywords: artificial foundation, cullet waste, dispersed reinforcement, stamp tests, recycling, foundation strength, environmental improvement, soil characteristics

назначения, таких как армирующих, дренажных, защитных, фильтрующих, гидроизолирующих, теплоизолирующих. При этом следует отметить, что вопрос воздействия пластика на окружающую среду, с точки зрения экологии, еще не до конца изучен. Соответственно имеется потребность в использовании сырья для изготовления армирующих грунтов материалов с гарантированно минимальным или полным отсутствием негативного воздействия на окружающую среду. Следует также уделить внимание материалам, которые можно получить в процессе вторичной переработки твердых коммунальных отходов. Особенно важны отходы, переработка которых производится в очень малых объемах или не производится совсем, а соответственно такие отходы складываются на мусорных полигонах, занимая значительные площади и требуя колоссальных экономических затрат.

Ежегодно в Российской Федерации изготавливается более 11 млн. т стекла в виде тары, листа, предметов интерьера, электрических изоляторов и прочего. Каждый день по всей стране на вторичную переработку сортировочные центры принимают лишь около 7 т стекла, что составляет 0,023 % от его общего объёма, производимого за год. Стекло – это твёрдый аморфный материал, полученный путём переохлаждения расплава. В состав стекла входят оксиды кремния, бора, фосфора, германия, теллура, фторида алюминия, другие соединения. По назначению стекло бывает строительным (оконное, стеклоблоки и т. д.), тарное (бутылки, аптечные пузырьки, ёмкости и т. д.), техническое (стеклянные волокна, светотехническое стекло, изоляторы и т. д.). Несмотря на то, что стекло является практически 100 % инертным материалом, т. е. не вступает во взаимодействия с другими химическими элементами, всё же представляет опасность для окружающей среды [2]. Опасность заключается в том, что стекло, находясь в поверхностном слое грунта, может служить препятствием для роста растений или передвижения мелких животных [3].

Следует также отметить, что при вторичной переработке стекла энергозатраты уменьшаются на 20 %, поскольку нет необходимости в течение длительного времени поддерживать температуру в процессе стеклообразования массы. Уменьшение энергозатрат в свою очередь ведет к уменьшению выбросов в атмосферу, а соответственно к улучшению экологической обстановки. Предлагаемый в данной статье способ применения стеклянных отходов вообще исключает использование тепловой энергии.

Одним из способов утилизации стеклянных отходов может быть их использование в качестве армирующих элементов при устройстве искусственных оснований под зданиями или сооружениями, с целью увеличения их прочности и соответственно уменьшения деформативности [4, 5]. Основание – это массив грунта, который не является растительным слоем, как и не является средой для обитания мелких животных. Кроме того, стекло является инертным материалом, а соответственно применение его в качестве армирующего элемента не будет представлять какой-либо опасности флоре и фауне и не будет наносить урон окружающей среде.

При этом следует отметить, что на сегодняшний день не было сделано попыток дисперсного армирования грунтов искусственных массивов отходов стекла, в связи с чем и была произведена серия лабораторных экспериментов [4].

Проведение эксперимента осуществлялось в лабораторных условиях, в грунтовом лотке,

поперечное сечение которого имеет круглую форму, диаметром 410 мм, к краю которого была смонтирована рычажная система для проведения штамповых испытаний (рис. 1). В качестве модели грунта был использован песок мелкий, маловлажный, а армирующим элементом являлась стеклянная крошка, имеющая фракцию 2–3 мм. Армирование грунтовой толщи осуществлялось путем укладки слоя стеклянной крошки с последующей её отсыпкой слоем песка и доведением плотности при помощи трамбовки до требуемых величин (рис. 2) [6, 7]. Толщина слоя грунта, подлежащего армированию, составляла 500 мм. Перемешивание грунта со стеклянной крошкой не производилось по причине отсутствия технологии и механизмов для такого перемешивания. Обычное ручное смешивание боя стекла с песчаным грунтом могло привести к неравномерному распределению крошки в массиве. В процессе проведения исследований было осуществлено пять серий экспериментов. Первая серия была проведена на грунтах с плотностью 1,60 г/см³, вторая на грунтах с плотностью 1,75 г/см³, третья – 1,80 г/см³, четвертая – 1,85 г/см³, пятая – 1,90 г/см³. В каждой серии было проведено по четыре эксперимента. В трёх экспериментах испытывался грунт с процентным армированием стеклом в 10, 15 и 20 %, а в четвертом эксперименте испытывался

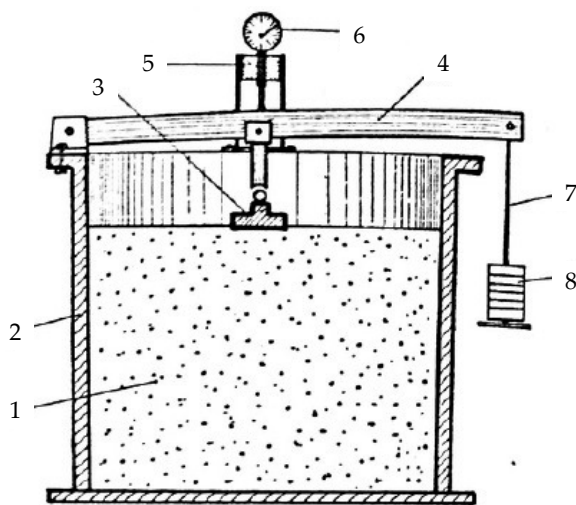


Рис. 1. Лабораторный грунтовой лоток с рычажной системой для проведения штамповых испытаний грунтов статической нагрузкой: 1 – исследуемый грунт; 2 – лоток; 3 – жесткий штамп; 4 – рычажное устройство; 5 – реперная балка; 6 – индикатор; 7 – подвеска для грузов; 8 – гири

Fig. 1. Laboratory soil tray with a lever system for stamping tests of soils with static load: 1 – test soil; 2 – tray; 3 – rigid stamp; 4 – lever device; 5 – reference beam; 6 – indicator; 7 – suspension for goods; 8 – weights

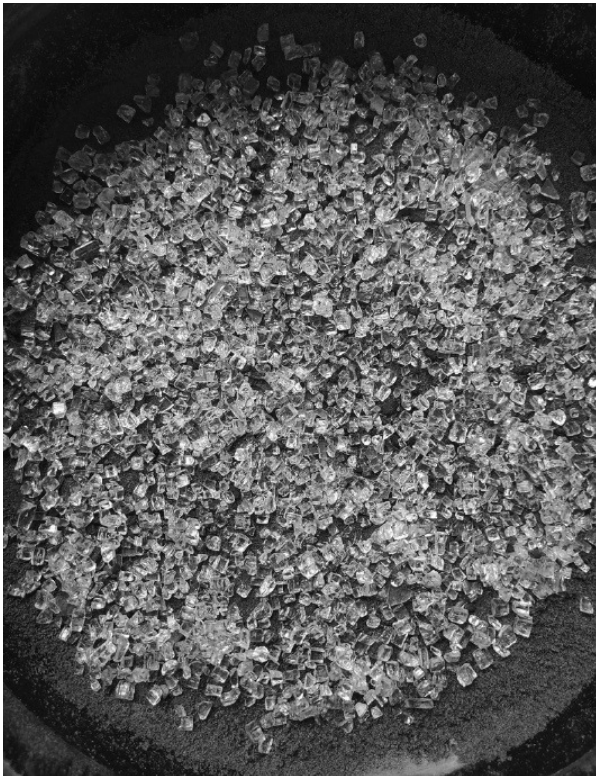


Рис. 2. Процесс укладки
стеклянной крошки на модельный грунт
Fig. 2. Process of laying glass chips on model soil

ния проводились без армирования грунтового массива.

Приложение нагрузки на модельный грунт осуществлялось через круглый металлический штамп площадью 60 см², ступенями по 6 кг, достигая давления в 0,01 МПа (ГОСТ 20276.1–2020 «Грунты. Метод испытания штампом»). Приложение следующей ступени нагрузки осуществлялось после полного затухания вертикальных деформаций от предыдущей ступени. Приложение нагрузок на рычажную систему производилось до тех пор, пока на определённой ступени не была достигнута осадка грунта,

которая превышала величину осадки от предыдущей ступени более чем в пять раз. Величина осадки грунта фиксировалась с помощью индикатора часового типа (прогибомер), цена деления которого составляла 0,01 мм.

В процессе проведения лабораторных экспериментов были получены модули деформации разноармированных, по процентному отношению, моделей грунтов, а также грунтов без армирования, которые представлены в таблице.

По результатам выполненных лабораторных исследований можно сделать **вывод** о том, что применение отходов стеклобоя, в данном случае в виде крошки, в качестве армирующего элемента повышает несущую способность грунта, что подтверждается численным увеличением такой механической характеристики, как модуль деформации, и соответственно последний приводит к снижению деформативности искусственного основания в целом. При этом следует отметить, что наибольший эффект увеличения численного значения модуля деформации армированного грунта, вне зависимости от его плотности, достигается при 15 % армировании толщи, при котором происходит увеличение изучаемого параметра более чем на 50 % по сравнению с грунтом такой же плотности, но не подверженного армированию.

Применение отходов стеклобоя в качестве армирующих элементов при устройстве искусственных оснований позволяет повышать не только несущую способность оснований под зданиями или сооружениями, но и снижать риски негативного экологического воздействия на окружающую среду, а также частично решать вопрос по утилизации такого твёрдого коммунального отхода, как стекло.

По предварительным данным, полученным в ходе лабораторных исследований, можно сделать вывод о том, что отходы стеклобоя могут быть использованы в качестве армирующих элементов при устройстве искусственных оснований, но при условии продолжения исследований в данном направлении.

Армирование, %	Модуль деформации E, кПа				
	Плотность модельного грунта, г/см ³				
	1,60	1,75	1,80	1,85	1,90
Без армирования	54,1	57,1	59,6	60,5	61,1
10	58,7	60,5	62,3	63,6	65,0
15	83,7	88,6	89,9	91,2	92,6
20	86,0	91,2	91,2	94,0	95,5

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Д.В., Ачаликов И.Ю. Усиление слабых оснований промежуточным грунто-армированным слоем // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2020. С. 341–348.

2. Чумаченко Н.Г., Тюрников В.В., Попов В.П. Роль шлифовального шлама в процессе кристаллизации стекла // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 2. С. 85–89.

3. Галицкова Ю.М. Исследование качественных свойств грунтов при проведении строительных работ // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 4(53). С. 69–75.

4. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Изд. второе, доп. и перераб. / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2016. 1040 с.

5. Землянский А.А. Активное армирование слабых грунтов при строительстве крупноразмерных резервуаров // Основания, фундаменты и механика грунтов. М.: Издательский дом «Экономика, строительство, транспорт», 2006. С. 15–18.

6. Попов Д.В., Попов В.П. Усиление оснований дисперсным армированием из пластиковых отходов // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3(52). С. 70–77.

7. Мальцев А.В., Каримов Э.А., Майорова Ю.Н. Моделирование процессов уплотнения песчаного грунта в лабораторных условиях // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сб. статей. Самара: СамГТУ, 2018. С. 279–284.

2. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Popov V.P. Role of Grinding Sludge in the Process of Glass Crystallization. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 85–89. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.12

3. Galitskova Yu.M. Study of the quality properties of soils during construction work. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 4, pp. 69–75. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.04.09

4. Ilyichev V.A., Mangushev R.A. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamente i podzemnye sooruzheniya. Izd. 2-e, dop. i pererab.* [Geotechnics Handbook. Foundations, foundations and underground structures. Ed. 2nd, add and rework]. Moscow, Publishing House ASV, 2016. 1040 p.

5. Zemlyansky A.A. Active reinforcement of weak soils during the construction of large-sized tanks. *Osnovaniya, fundamente i mehanika gruntov* [Foundations, foundations and mechanics], 2006, pp. 15–18. (in Russian)

6. Popov D.V., Popov V.P. Strengthening foundations with dispersed reinforcement from plastic waste. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 3, pp. 70–77. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.10

7. Maltsev A.V., Karimov E.A., Mayorova Yu.N. Modeling of compaction processes of sandy soil in laboratory conditions. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture: collection of articles]. Samara, SamGTU, 2018, pp. 279–284. (In Russian).

REFERENCES

1. Popov D.V., Achalikov I.Yu. Strengthening of weak bases with an intermediate ground-reinforced layer. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture: sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture: collection of articles]. Samara, SamGTU, 2020, pp. 341–348 (In Russian).

Об авторе:

ПОПОВ Дмитрий Валериевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: popov38@yandex.ru

POPOV Dmitry V.

Phd of Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Structural Mechanics,
Engineering Geology,
Bases and Foundations Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: popov38@yandex.ru

Для цитирования: Попов Д.В. Дисперсное армирование искусственного основания отходами стеклобоя // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 3. С. 85–88. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.10.

For citation: Popov D.V. Disperse reinforcement of artificial base with glass waste. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2024, vol. 14, no. 3, pp. 85–88. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.10.