



Д. В. ПОПОВ

УВЕЛИЧЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ СВАЙ ЗА СЧЁТ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ОКОЛОСВАЙНОГО ПРОСТРАНСТВА

INCREASING THE BEARING CAPACITY OF THE DRIVEN PILES BY INCREASING THE STRENGTH OF THE SURROUNDING PILES SPACE

В статье приведены результаты лабораторных испытаний моделей забивных свай статической нагрузкой, околосвайное пространство которых было улучшено либо щебнем, либо стеклянной крошкой. Забивку модельных свай осуществляли в массив щебня или стеклянной крошки, которые укладывались в предварительно пробуренные скважины разного диаметра. Целью выполнения лабораторных исследований являлось повышение несущей способности забивной сваи за счёт улучшенного околосвайного пространства, которую сравнивали с такой же несущей способностью сваи, но только без улучшения. Полученные результаты исследований показали эффективность улучшения околосвайного пространства, что позволяет повысить несущую способность забивной сваи в основаниях с низкими численными показателями физико-механических характеристик. Помимо повышения несущей способности забивных свай, решается вопрос по вторичному применению отходов стекла, а соответственно улучшению экологической обстановки окружающей среды.

Ключевые слова: слабые основания, модельный грунт, буровая скважина, отходы стеклобоя, околосвайное пространство, забивная свая, несущая способность, лабораторные испытания

The article presents the results of laboratory tests of driven piles with static load, the near-pile space of which has been improved by crushed stone and glass chips. The model piles were driven into an array of crushed stone or glass chips, which were placed in pre-drilled wells of different diameters. The purpose of the laboratory studies was to increase the bearing capacity of the driven pile due to the improved near-pile space, which was compared with the same bearing capacity of the pile, but only without improving the near-pile space. The obtained research results have shown the effectiveness of improving the surrounding pile space, which makes it possible to increase the bearing capacity of the driven pile in foundations with low numerical indicators of physical and mechanical characteristics. In addition to increasing the bearing capacity of the driven piles, the issue of recycling glass waste is being addressed, and consequently improving the environmental situation of the environment.

Keywords: weak foundations, model soil, borehole, cullet waste, near-pile space, driven pile, bearing capacity, laboratory tests

Территории, отводимые под застройку, не всегда имеют основания с достаточными прочностными свойствами. Толщи грунтов таких оснований могут достигать десятков метров, что приводит к повышенному расходу материалов и общих затрат на возведение конструкций ну-

левого цикла. В большинстве случаев повышение численных значений физико-механических характеристик слабых оснований производят за счёт закрепления грунтов путём нагнетания в них специальных закрепляющих растворов, механическими способами улучшения харак-

теристик путём поверхностного и глубинного уплотнения, устройством грунтовых свай, армированием и пр. [1–3]. Все вышеописанные способы повышения несущей способности грунта требуют использования сложных механизмов, привлечения высококвалифицированного персонала, больших временных затрат [4, 5].

В предлагаемом исследовании представляется способ увеличения прочности околосвайного пространства забивной сваи за счёт применения щебня или отходов стекла [1, 2]. Щебень, как сыпучий материал, полученный путём дробления более крупных монолитных пород, широко применяется в строительстве в качестве как отдельных слоёв, например в дорожном строительстве, так и является составляющей частью какой-либо конструкции. В свою очередь стекло в строительстве, как изделие, применяется в качестве заполнителя оконных проёмов, облицовки и отделки ограждающих конструкций, из стеклянных блоков возводят конструкции перегородок, а также оно используется в качестве утеплителя, например стекловата или пеностекло. В данном случае при увеличении несущей способности околосвайного пространства применяются отходы стекла в виде боя.

Стекло – это твёрдый аморфный материал, полученный в процессе переохлаждения расплава, как инертный материал не вступает в химические реакции, не является токсичным, имеет длительный период разложения, не оказывает опасного влияния на окружающую среду и, в частности, на человека [6]. Следует отметить, что в России каждый год производится около 11 млн. тонн стекла, а на вторичную переработку поступает лишь 0,023 % от произведённого объема, а это говорит о том, что значительная часть стекла вывозится на полигоны твердых бытовых отходов, т. е. выводится из оборота.

Все исследовательские работы по повышению несущей способности забивной сваи за счёт повышения прочности околосвайного пространства проводились в лабораторных условиях в грунтовом лотке, имеющем диаметр 410 мм, глубину 500 мм. Модельным грунтом являлся песок мелкий, смешанный с машинным маслом (имитирующим влажность), плотностью $1,75 \text{ г/см}^3$ [7]. Модельные сваи в количестве двух штук изготовлены из дерева, с размерами постоянного поперечного сечения 15×15 и 20×20 мм, длиной 220 мм. Щебень, как элемент улучшения околосвайного пространства, имеет фракцию 3–5 мм, стекло представлено в виде крошки с размером частиц также 3–5 мм. Нагружение сваи производилось через рычажную систему ступенчатой нагрузкой, ступенями по 20 Н, а вертикальное её перемещение фиксиро-

валось индикатором часового типа с ценой деления шкалы 0,01 мм (ГОСТ 5686–2020 «Грунты. Метод полевых испытаний сваями»). Лабораторная установка показана на рис. 1.

В процессе исследования было проведено три серии экспериментов:

- в первой серии погружение свай осуществлялось в грунт без улучшения околосвайного пространства (рис. 2);
- во второй серии сваи погружались в грунт с улучшенным околосвайным пространством, выполненным с применением щебня;



Рис. 1. Лабораторная установка по статическому испытанию свай
Fig. 1. Laboratory installation for static testing of piles



Рис. 2. Погружённая модель сваи в грунт, без улучшения околосвайного пространства
Fig. 2. A submerged pile model in the ground, without improving the surrounding pile space

▪ в третьей серии свая погружалась в грунт с улучшенным околосвайным пространством, выполненным с применением боя стекла (рис. 3).

Устройство улучшения околосвайного пространства осуществлялось следующим образом. В модельном грунте пробуривались скважины диаметром $3d$ и $6d$ (где d – диаметр сваи), глубиной 250 мм, после чего их полости заполнялись послойно щебнем или стеклом с уплотнением ручным способом до отметки устья. После заполнения скважин в массив щебня или стекла погружалась модельная свая ударами киянкой по её оголовку на глубину 200 мм. После забивки свае давался отдых в течение 45



Рис. 3. Погружённая модель сваи в грунт с улучшенным околосвайным пространством с применением боя стекла

Fig. 3. A submerged pile model in the ground with an improved near-pile space using glass striking

мин. По истечении вышеуказанного времени на отдых, через рычажную систему на оголовки сваи передавалась нагрузка ступенями по 20 Н посредством приложения на вертикальный подвес рычажной системы грузов массой 1,0 кг. Приложение нагрузки на сваю происходило до момента достижения её осадки в 7,0 мм и более, после чего по осадке сваи величиной 7,0 мм определялась её несущая способность.

Всего было проведено по пять экспериментов в каждой серии для диаметров скважин $3d$ и $6d$, а также для свай 15×15 и 20×20 мм.

Для лучшего понимания результатов эксперимента предлагается упрощенная таблица.

Анализируя результаты проведённых лабораторных испытаний, можно сделать **вывод** о том, что несущая способность забивной сваи, чьё околосвайное пространство было улучшено щебнем, в среднем в 1,6 раза выше, чем у сваи без улучшения околосвайного пространства, а у сваи с улучшением околосвайного пространства стеклосилом – в среднем в 2,6 раза выше по сравнению с неулучшенным околосвайным пространством. По всей видимости, повышение несущей способности забивной сваи с улучшенным околосвайным пространством происходит следующим образом. В процессе постепенного погружения сваи ударной нагрузкой вокруг её боковой поверхности происходит доуплотнение заполнителя скважины, а также слоя грунта за стенками самой буровой скважины. При приложении ступенчатой нагрузки на оголовки сваи по боковой её поверхности возникают силы трения с элементами заполнителя. Заполнитель в свою очередь также за счёт сил трения включает в совместную работу уплотнённый грунт за стенкой скважины, что приводит к увеличению площади боковой поверхности, через которую передается нагрузка на основание. Увеличение

Сечение сваи, мм	Диаметр скважины, мм	Заполнение скважины, материал	Средняя несущая способность сваи при осадке 7,0 мм, Н
15×15	-	Без заполнения	66,9
	45	Щебень	70,0
		Стеклобой	188,6
	90	Щебень	149,6
		Стеклобой	161,3
20×20	-	Без заполнения	67,3
	60	Щебень	111,7
		Стеклобой	202,8
	120	Щебень	73,5
		Стеклобой	189,9

несущей способности забивной сваи произойдет также и под её пятой за счёт сформированного уплотнённого грунтового ядра, которое будет включать в себя фрагменты щебня или стекла.

Следует также отметить, что при повышении несущей способности сваи за счёт применения отходов стекла решается и экологический вопрос, а именно то, что стеклобой будет использоваться повторно и соответственно его применение в строительстве будет способствовать улучшению экологической обстановки и снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Д.В. Дисперсное армирование искусственного основания отходами стеклобой // Градостроительство и архитектура. 2024. Т. 14, № 3. С. 85–88. DOI: 10.17673/Vestnik.2024.03.10.
2. Попов Д.В., Попов В.П. Усиление оснований дисперсным армированием из пластиковых отходов // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 3. С. 70–77. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.10.
3. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: АСВ, 2010. 240 с.
4. Землянский А.А. Активное армирование слабых грунтов при строительстве крупноразмерных резервуаров // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. С. 15–18.
5. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М.: Стройиздат, 1973. 375 с.
6. 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. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.12.

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

7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: 2-е изд., доп. и перераб. / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. М.: АСВ, 2016. 1040 с.

REFERENCES

1. 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
2. Popov D.V., Popov V.P. Reinforcement of bases 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
3. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. *Sovremennye svajnye tehnologii. 2-e izd., pererab. i dop.* [Modern pile technologies. 2nd ed., Revised and add.]. Moscow, ASV, 2010. 240 p.
4. Zemlyansky A.A. Active reinforcement of weak soils during construction of large-sized tanks. *Osnovaniya, fundamenti i mehanika gruntov* [Foundations and soil mechanics], 2006, pp. 15–18.
5. Goldstein M.N. *Mekhanicheskie svoystva gruntov* [Mechanical properties of soils]. Moscow, Stroyizdat, 1973. 375 p.
6. Chumachenko N.G., Tyurnikov V.V., Popov V.P. Role of Grinding Sludge in the Process of Glass Crystalization. *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
7. Mangushev R.A., Ilyichev V.A. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya: 2-e izd., dop. i pererab.* [Directory of geotechnics. Foundations and underground structures: 2nd ed., add. And rework.]. Moscow, ASV, 2016. 1040 p.

POPOV Dmitry V.

PhD in 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. Увеличение несущей способности забивных свай за счёт повышения прочности околосвайного пространства // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 3. С. 68–71. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.09.

For citation: Popov D.V. Increasing the bearing capacity of the driven piles by increasing the strength of the surrounding piles space. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 68–71. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.09.

Принята: 22.04.2025 г.