

DOI: 10.12737/24470

Лунёв А.А., аспирант,
Сиротюк В.В., д-р техн. наук, проф.,
Иванов Е.В., канд. техн. наук, доц.
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ В МАССИВЕ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВОЙ СМЕСИ*

lunev.al.al@gmail.com

На сегодняшний день проблема утилизации золошлаковых отходов является одной из важных. В первую очередь это связано с переполнением множества отвалов на территории субъектов РФ. Эта тема особенно актуальна в рамках начавшегося в России Года экологии. Данная публикация, являющаяся развитием исследований строительных свойств золошлаковых смесей, проводимых на базе «СибАДИ», имеет своей целью обосновать возможность применения этих техногенных грунтов в качестве оснований зданий и сооружений. В статье рассматриваются результаты определения несущей способности забивных железобетонных свай, погруженных в массив золошлаковой смеси на золоотвале Омской ТЭЦ-4. Представлен график зависимости несущей способности свай от глубины забивки в массив. Для сравнения дан расчет несущей способности аналогичных свай забитых в массив природных грунтов. Сделан вывод о пригодности золошлаковой смеси в качестве техногенного грунта для устройства оснований зданий и сооружений.

Ключевые слова: золошлаковая смесь, несущая способность, железобетонные сваи.

Введение. В настоящее время в г. Омске и других крупных городах Российской Федерации остро стоит вопрос нехватки кондиционных грунтов для сооружения земляного полотна автомобильных и городских дорог, а также для планировочных насыпей в промышленном и гражданском строительстве. Выделяемые под карьеры земли, часто представляют собой участки с переувлажненными глинистыми грунтами, использование которых не всегда позволяет достичь нужной степени уплотнения земляных сооружений. Поэтому строительные организации вынуждены прибегать к средствам технической мелиорации переувлажненных грунтов или использовать песчаные грунты, намывные из рек, что существенно удорожает строительство объектов и наносит значительный экологический ущерб.

В то же время, в городах России ежегодно образуется около 26 млн. тонн золошлаковых

отходов, получаемых от сжигания угля на ТЭС. Эти отходы почти не используют и складировать на золоотвалах. Только на территории г. Омска за десятки лет складировано свыше 65 млн. тонн золошлаковых смесей (ЗШС) от сжигания угля на трёх ТЭЦ [1].

Многолетними исследованиями доказано, что ЗШС можно использовать как добавку к асфальтобетонным смесям [2], компонент цементобетонов [3, 4], техногенный грунт для возведения насыпей земляного полотна автомобильных дорог [5, 8, 9, 11, 12] и вертикальных планировок строительных площадок под здания и сооружения [6, 7, 10]. Пример возведения высокой насыпи автомобильной дороги с земляным полотном из ЗШС представлен на рисунке 1а, процесс сооружения планировочной насыпи под строительство зданий представлен на рисунке 1б.



Рис.1. Применение ЗШС в строительстве:

а – транспортная развязка с земляным полотном из ЗШС, г. Кашира;
б – сооружение планировочной насыпи с использованием ЗШС, г. Новосибирск

В рамках данной публикации представлен один из аспектов обоснования возможности и целесообразности применения ЗШС в качестве грунтового основания зданий и сооружений по результатам определения несущей способности свай, забитых в массив ЗШС на золоотвале ТЭЦ-4 г. Омска (данные из журнала испытания грунтов динамической нагрузкой предоставлены ООО "СМУ-Омск").

Методика испытаний. Выбор местоположения свай объясняется необходимостью сооружения новых железобетонных рамных конструкции для укладки стальных труб - пульпопроводов и дальнейшего намыва третьего яруса золоотвала ТЭЦ-4.

Испытания грунтов динамической (ударной) нагрузкой для определения несущей способности свай выполняли в соответствии с методикой ГОСТ 5686-12 [13]. В ходе испытаний

применяли квадратные железобетонные сваи С 60-30 и С 90-30. В качестве динамической нагрузки применяли механизм ударного действия –копер СП-49 с молотом СП 7 массой 4700 кг и массой ударной части 3000 кг. Высоту подъема ударной части в ходе испытания принимали 1,5 м. Осадку свай в процессе забивки определяли с помощью нивелира.

Забивка свай велась до глубины, установленной программой испытаний. После чего проводилась добивка, которую проводили последовательно, залогом из трех и пяти ударов. Высота падения ударной части молота была одинаковой для всех ударов. За расчетный принимался наибольший средний отказ.

По результатам испытаний несущая способность одной сваи определялась по формуле Н.М. Герсеванова [14]:

$$P = \frac{\gamma_c}{\gamma_q} \cdot \left(\frac{n \cdot A}{2} + \sqrt{\frac{n^2 \cdot A^2}{4} + \frac{n \cdot A}{e} \cdot Q \cdot H \cdot \frac{Q + 0,2 \cdot q}{Q + q}} \right); \quad (1)$$

где γ_c – коэффициент условия работы сваи, принят 1,00; γ_q – коэффициент надежности, принят 1,40; n – коэффициент, учитывающий упругие деформации, для ж/б сваи принят 1470 кН/м²; A – площадь поперечного сечения сваи, м²; e – действительный отказ сваи, м; Q – вес ударной части молота, кН; q – вес сваи, полученный расчетом, кН; H – высота подъема молота, м.

Результаты определения несущей способности. В рамках испытаний было забито семь свай на разных участках золоотвала. Для каждой из свай по значению среднего отказа при добивке определяли несущую способность с использованием формулы (1). Результаты определения несущей способности семи свай по величине их отказа до и после отдыха сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты определения несущей способности свай

№ сваи	Глубина забивки до отдыха, м	Несущая способность до отдыха, кН	Время отдыха, сут.	Глубина забивки, м	Общее число ударов	Средний отказ, см	Несущая способность после отдыха, кН
1	9,03	740,7	9	9,05	368	0,24	913,3
2	9,12	610,2	10	9,15	525	0,30	822,1
3	8,58	459,1	24	8,60	210	0,24	913,3
4	8,91	379,6	22	8,93	241	0,24	913,3
5	9,05	648,4	21	9,08	222	0,28	849,5
6	9,52	457,1	16	9,54	317	0,24	913,3
7	9,35	652,4	10	9,38	491	0,30	822,1

Из результатов испытаний (таб. 1) видно, что несущая способность всех опытных свай после отдыха выравнивается и увеличивается в среднем на 65 %.

Как и при забивке свай в природные грунты, с ростом глубины погружения несущая способность сваи увеличивается (рис. 2). В основном это связано с увеличением поверхности сваи, которая вступает в контакт с грунтом, а также ростом давления грунта на её поверхность.

Для сравнения несущей способности свай, забитых в природные грунты и в ЗШС, были проведены теоретические расчеты несущей способности природных грунтов в зависимости от их разновидности в соответствии с методикой [15]. Статистическая обработка значений несущей способности свай, забитых в массив ЗШС проведена по методике [16]. Результаты расчётов представлены в таблице 2.

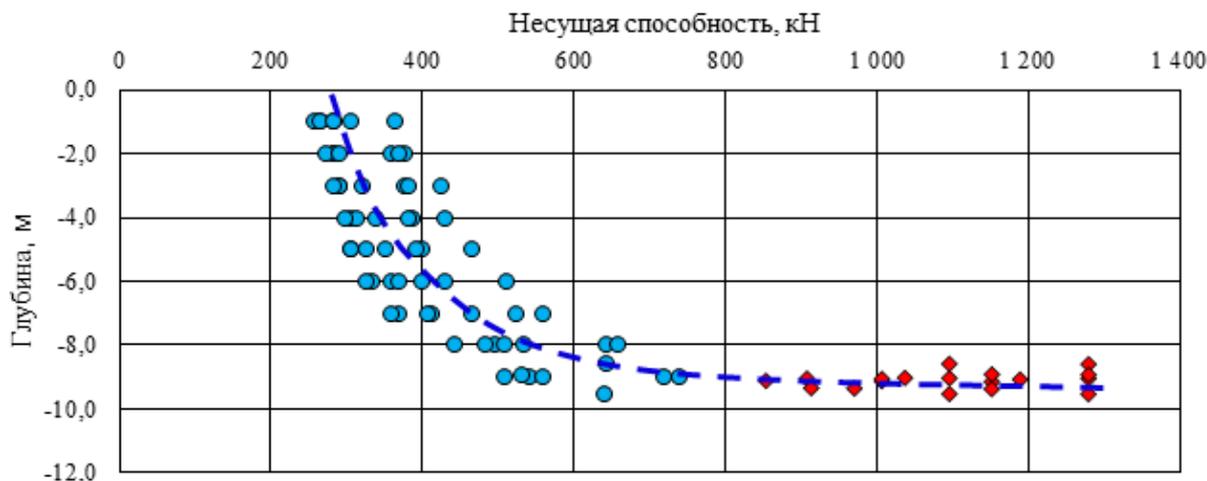


Рис. 2. График несущей способности свай в массиве золошлаковой смеси:
 ● – несущая способность свай до отдыха; ◆ – несущая способность свай после отдыха

Таблица 2

Расчётная несущая способность свай в зависимости от разновидности грунта в массиве

Разновидность грунта	Глубина забивки свай, м	Расчетное сопротивление под нижним концом свай, кПа	Расчетное сопротивление на боковой поверхности свай, кПа	Несущая способность свай, кН
Результаты расчета по методике СП 24.13330.2011				
Песок пылеватый	9,00	1466,7	235,3	414,3
Песок мелкий		2533,3	326,5	619,8
Супесь ($I_L = 0,3$)		3433,3	326,5	700,8
Супесь ($I_L = 0,5$)		1467,7	189,3	359,2
Супесь ($I_L = 0,7$)		883,7	74,0	168,3
Полевые испытания, проводимые в соответствии с ГОСТ 5686-12				
ЗШС	9,08	-	-	842,7

Выводы. По результатам испытаний сделаны следующие выводы:

- несущая способность свай, забитых в массив золошлаковой смеси существенно повышается после отдыха (в представленных данных от 26 до 139 %), что может указывать на эффект тиксотропии влажной ЗШС в процессе динамического воздействия;

- до «отдыха» отмечен большой разброс значений несущей способности свай (коэффициент вариации 0,23). Однако после «отдыха» значения несущей способности выравниваются до примерно одинаковых значений (максимальный разброс по семи сваям 10 %);

- продолжительность отдыха, в данном эксперименте существенного влияния на несущую способность не оказала, что требует дальнейшего анализа для определения оптимальных сроков отдыха;

- сваи, забитые в массив золошлаковой смеси на отвале Омской ТЭЦ-4, показали более высокую несущую способность по сравнению расчетными значениями для природных грунтов (на

36 % выше, чем пески мелкие, на 103 % чем пески пылеватые, от 20 % до 400 % чем супеси при разной влажности);

- результаты испытаний (с учётом ранее выполненных исследований [6, 7]) подтвердили, что золошлаковая смесь, как разновидность техногенного грунта, может применяться в качестве несущего основания для промышленно-гражданских зданий и сооружений, транспортного строительства.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №16-48-550508 р_а). Научные исследования выполнены за счет средств бюджета Омской области.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирюков В.В., Метелев С.Е., Сиротюк В.В., Шевцов В.Р. Энергопроизводство и утилизация золошлаковых отходов // Вестник Российского государственного торгово-экономического университета. Научный журнал. 2008. №2. С. 221–229.
2. Лебедев М.С., Чулкова И.Л. Исследования

ния реологических свойств битумных композиций, наполненных золами-уноса различного состава // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №11. С. 47–52.

3. Толстой А.Д., Ковалева И.А., Новиков К.Ю. Совершенствование состава и свойств порошковых бетонов с техногенным сырьем // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №2. С. 19–24.

4. Трунов П.В., Алфимова Н.И. Лесовик В.С., Шадский Е.Е., Потапов В.В. К вопросу об использовании вулканического сырья Камчатки в качестве минеральной добавки // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 84–88.

5. Сиротюк В.В., Лунёв А.А., Иванов Е.В. Золошлаковая смесь для земляного полотна // Автомобильные дороги. 2016. № 6. С.72–79.

6. Балюра М.В. Исследование строительных свойств золы Томской ГРЭС–2 // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, оснований и фундаментов: сб. науч. тр, Томск: Изд-во ТГУ, 1988. С. 97–104.

7. Фурсов В.В., Балюра М.В. Исследование свойств золошлаковых отходов тепловых электростанций для целей строительства // Развитие городов и геотехническое строительство: сб.тр. Международная конференция по геотехнике (Санкт-Петербург, 16-18 июня 2008 г.), СПб., 2008. Ч.4. С. 673–677.

8. Иванов Е.В. Обоснование применения золошлаковых смесей для строительства земляного полотна с учетом водно-теплового режима: дис. канд. техн. наук. Омск, 2015. 165 с.

9. Сиротюк В.В., Иванов Е.В. Нормативное обеспечение применения золошлаков в дорожном строительстве // Автомобильные дороги. 2013. № 9. С.89–92.

10. Лунёв А.А., Сиротюк В.В. Применения ЗШС для вертикальных планировок и строительства городских дорог // Техника и технологии строительства. 2015. № 1. С.24–31.

11. Sinha A.K. Investigation and design of fly ash road embankments in India by CPT / A.K. Sinha, V.G. Havanagi, S. Mathur, U.K. Guruvittal // 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA. Volume 2&3: Technical Papers, Session 3: Applications, PaperNo. Pp 3–49.

12. Santos F. Geotechnical properties of fly-ash and soil mixtures for use in highway embankments / F. Santos, L. Li, Y. Li, F. Amini // World of Coal ash (WOCA) Conference – Denver, 2001. – Pp. 93–104.

13. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Введ. 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 42 с.

14. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М.: Минрегион России, 2011. 85 с.

15. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 93с.

16. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний [Электронный ресурс]. Введ. 2013-07-01 // Кодекс. Техэксперт. М.: Стандартинформ. 2013. 16 с.

Lunev A.A., Sirotyuk V.V., Ivanov E.V.

RESULTS DETERMINE THE RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE PILES ASH AND SLAG IN AN ARRAY OF MIXTURE

To date, the problem of disposal ash waste is one of the most important. Primarily this is due to the overflow of many dumps in the subjects of the Russian Federation. This topic is particularly relevant in the framework of the outbreak in Russia of the Year of ecology. This publication, which is the development of studies of construction characteristics of the slag mixtures, carried out on the basis of "SibADI", aims to prove possibility of application of these man-made soils as a bases of buildings and structures. The article discusses the results of determining the bearing capacity of driven concrete piles immersed in an array of ash and slag mixture to the ash dump of the Omsk HPP-4. There is a graph of bearing capacity of piles depth of pile driving into an array is presented. For comparison, there is the calculation of the bearing capacity of similar piles in the array of natural soils is given. The conclusion is made about the suitability of ash and slag mixture as a man-made soil for the construction of basements of buildings and structures.

Key words: ash and slag mixture, bearing capacity, reinforced concrete piles.

Лунёв Александр Александрович, аспирант кафедры «Проектирование дорог». Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
Адрес: Россия, 644065, г. Омск, пр. Мира, 5.
E-mail: lunev.al.al@gmail.com

Сиротюк Виктор Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование дорог». Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
Адрес: Россия, 644065, г. Омск, пр. Мира, 5.
E-mail: sirvv@yandex.ru

Иванов Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование дорог». Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
Адрес: Россия, 644065, г. Омск, пр. Мира, 5.
E-mail: ivanoveuvl@gmail.com