

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-57-67

Кочерженко В.В., *Сулейманова Л.А.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

ИННОВАЦИОННЫЕ СВАЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ ФУНДАМЕНТОСТРОЕНИИ

Аннотация. Свайные технологии в современном фундаментостроении являются ведущим направлением совершенствования их конструктивно-технологических решений. Несущая способность свайных фундаментов в значительной степени зависит от формирования силы трения грунтов по боковой поверхности свай. Авторами рассмотрены технологии возведения трансформируемых свай с применением невзрывчатого разрушающего вещества, модульных свай с развитой боковой поверхностью и оптимальным поперечным сечением, свай с использованием геополлимерной технологии и свай, позволяющих изменять гранулометрический состав прилегающего грунта. Приведены результаты лабораторных исследований моделей данных свай, установлена эффективность их применения и предложены методики расчета их несущей способности. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что сопоставление удельной несущей способности забивных свай различного поперечного сечения, показало, что наиболее рациональное сечение – тавровое. Разработана нормативно-техническая документация – «Технические условия на сваи модульные забивные Т-образные» для изготовления, транспортировки и погружения этого вида свай для промышленного и гражданского строительства. Предложены варианты компоновки фундаментных систем на основе модульных свай таврового сечения в зависимости от характера действующей на них нагрузки.

Ключевые слова: свая, свайная технология, несущая способность, гранулометрический состав, угол внутреннего трения, висячие сваи, полости.

Введение. Свайные технологии в современном фундаментостроении являются ведущим направлением совершенствования их конструктивно-технологических решений. Несущая способность свайных фундаментов в значительной степени зависит от формирования силы трения грунтов по боковой поверхности свай.

Одним из перспективных направлений является разработка способов увеличения сил трения по боковой поверхности забивных висячих железобетонных свай, чего можно добиться за счет увеличения площади их боковой поверхности или за счет увеличения сил трения по ней, например, путем изменения гранулометрического состава прилегающего к свае грунта.

Авторами рассматриваются вопросы разработки модульных свай с повышенной площадью боковой поверхности и вопросы повышения несущей способности забивных висячих свай путем изменения гранулометрического состава грунта, прилегающего к свае, в процессе ее забивки.

Разработке и исследованию инновационных конструктивно-технологических решений забивных висячих свай, обеспечивающих значительное повышение их несущей способности, в настоящее время уделено особое внимание. Авторами проводятся исследования [1, 2] по следующим направлениям:

– возведение трансформируемых свай;

– использование модульных свай с развитой боковой поверхностью;

– использование геополлимерной технологии при забивке свай;

– возведение свай, позволяющих изменять гранулометрический состав прилегающего грунта.

Материалы и методы. Методика исследования предусматривает анализ грунтовых лотков с прозрачными стенами и установок, позволяющих определять несущую способность моделей свай под действием статической нагрузки. На рис. 1 представлены грунтовые лотки с установками для исследования разработанных конструктивно-технологических решений и модели свай, используемые в экспериментальных исследованиях. При этом использовались стандартные методы определения несущей способности свайных фундаментов, методы лабораторного определения характеристик прочности и деформативности [3–7].

Основная часть. Сущность технологии трансформирования железобетонных свай состоит в том, что при формировании тела сваи в типовой опалубке сечением 30×30 см или 40×40 см на заводе железобетонных изделий по центру сваи в верхней ее части устанавливается пластиковая клинообразная конструкция в виде четырехлепестковой звезды длиной 0,75 от всей длины сваи (рис. 2).

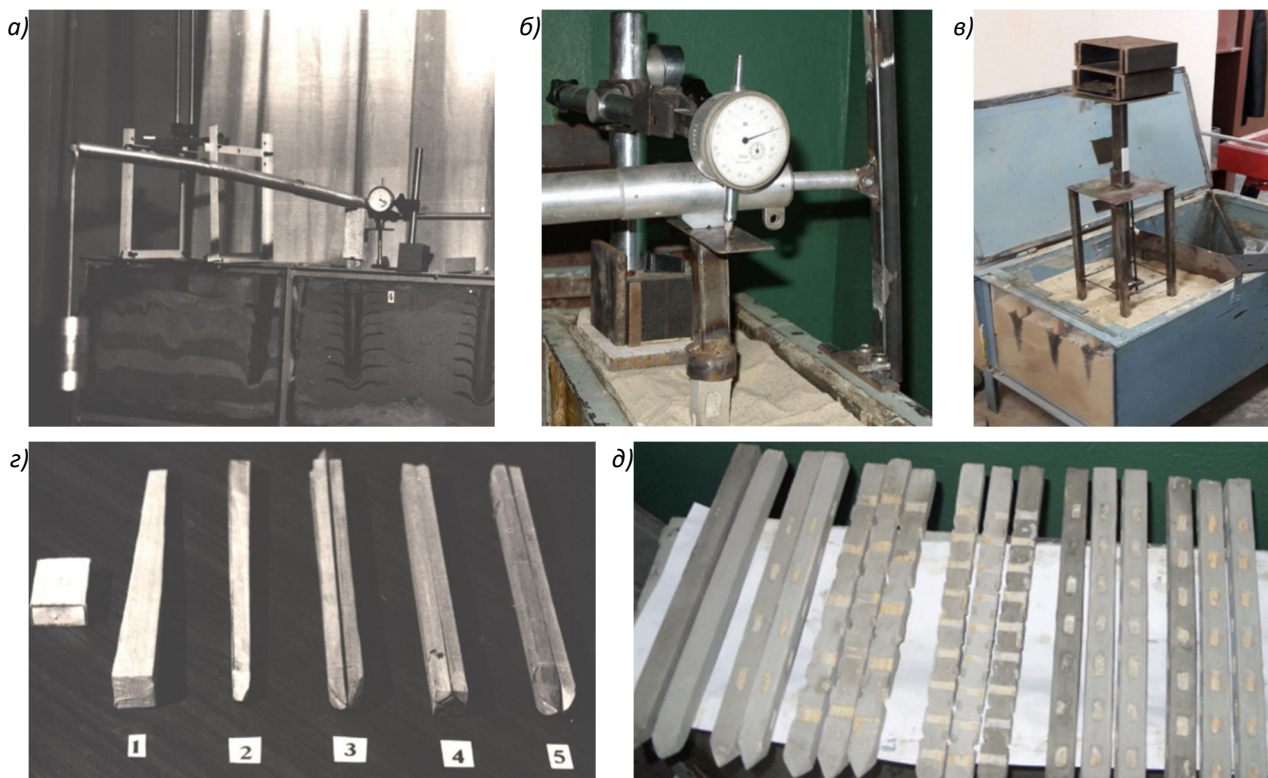


Рис. 1. Внешний вид грунтовых лотков с установками для исследования разработанных новых конструктивно-технологических решений и моделей свай, используемых в экспериментальных исследованиях: *a* и *б* – лоток с прозрачной стенкой и нагружающая установка для испытания трансформируемых моделей свай и моделей свай с использованием геополимерной технологии; *в* – грунтовых лоток с установкой для испытания моделей свай с «карманами»; *г* – модели трансформируемых свай; *д* – модели свай с «карманами»

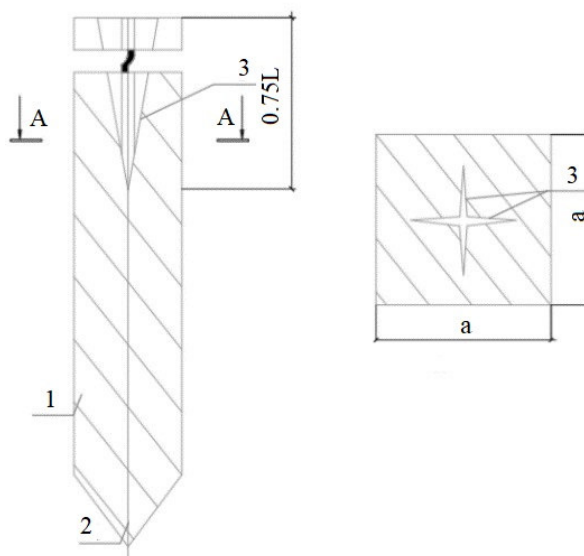


Рис. 2. Конструкция сборной железобетонной сваи, трансформируемой в пирамидальную с помощью невзрывчатого разрушающего вещества: *1* – тело железобетонной призматической сваи; *2* – острие сваи; *3* – пластиковый клинообразный канал в виде четырехлепестковой звезды

Перед забивкой призматической сваи внутрь пластиковой клинообразной конструкции заливается смесь экологически чистого невзрывчатого разрушающего вещества (НРВ) [8], которое в течение 1...2 сут увеличивается в объеме в 2...3 раза, оказывая на лепестках сваи давление до

40...50 МПа, раздвигает их, трансформируя сваю из призматической в пирамидальную.

Результаты лабораторных испытаний трансформируемой свайной технологии (рис. 1) представлены на рис. 3.

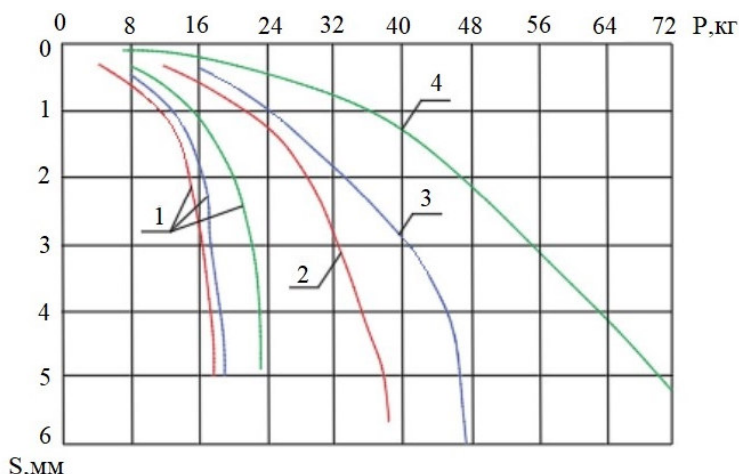


Рис. 3. Зависимость осадки моделей свай от нагрузки: 1 – для призматической сваи ($i = 0$); 2 – для пирамидальной сваи ($i = 0,01$); 3 – для забивной трансформируемой сваи с использованием НРВ с расклиниванием в одной плоскости ($i = 0,04$), 4 – для трансформируемых свай с использованием НРВ с расклиниванием в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях

Проведены полевые исследования трансформируемой сваи глубиной 1,5 м, собранной из четырех металлических уголков. После забивки сваи в центральную часть ее между уголками заливается НРВ. По прошествии 5...6 сут пирами-

дальные и призматические сваи (без использования НРВ) испытаны статической нагрузкой. Грунт представлен песком мелким средней плотности. Результаты полевых испытаний призматических и пирамидальных моделей свай глубиной 1,5 м в песке мелком представлены на рис. 4.

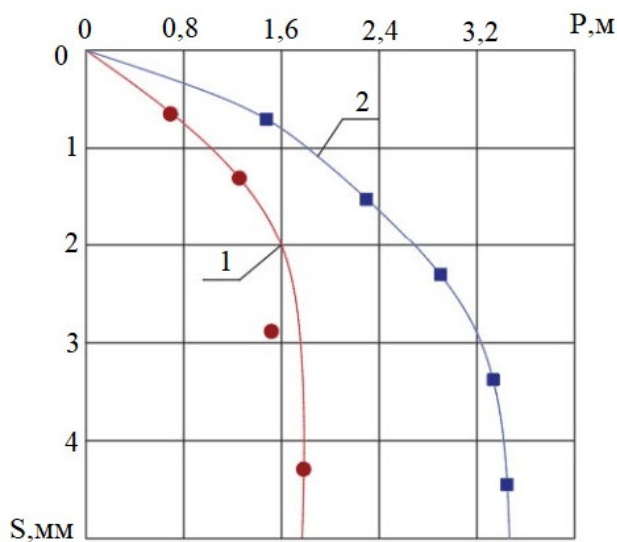


Рис. 4. Результаты полевых испытаний трансформированных моделей свай в мелком песке средней крупности: 1 – призматические сваи; 2 – пирамидальные сваи

Из данных, представленных на рис. 3 и 4, можно сделать вывод о соответствии результатов лабораторных и полевых испытаний по характеру зависимости «осадка-нагрузка», при этом несущая способность трансформированных (пирамидальных) свай значительно выше призматических свай (без применения НРВ).

Лабораторные и полевые исследования позволили установить, что трансформирование и призматических свай в пирамидальные (с $i = 0,04$) позволяют увеличить несущую способность свай после трансформации на 40...45 %.

Методика расчета несущей способности трансформируемых свай основывается на [9] с учетом угла конусности трансформируемой сваи – α , град, который определяется на строительной площадке на экспериментальной свае.

Оптимальное поперечное сечение модульных свай с развитой боковой поверхностью в своих исследованиях установлено с использованием программных комплексов. Выбор рационального поперечного сечения модульных свай с развитой боковой поверхностью осуществляется на основе зависимости удельного расхода железобетона свай различного поперечного сечения

от глубины в глинистых и песчаных грунтах. Зависимости отношения сил трения по боковой поверхности свай к сопротивлению под острием свай таврового сечения в глинистых грунтах различной конструкции ($I_L = 0,3$; $I_L = 0,4$; $I_L = 0,5$), а

также в песчаных грунтах различной крупности и плотности.

Установлена зависимость удельного расхода железобетона свай различного поперечного сечения от глубины погружения в глинистые и песчаные грунты и представлена на рис. 5.

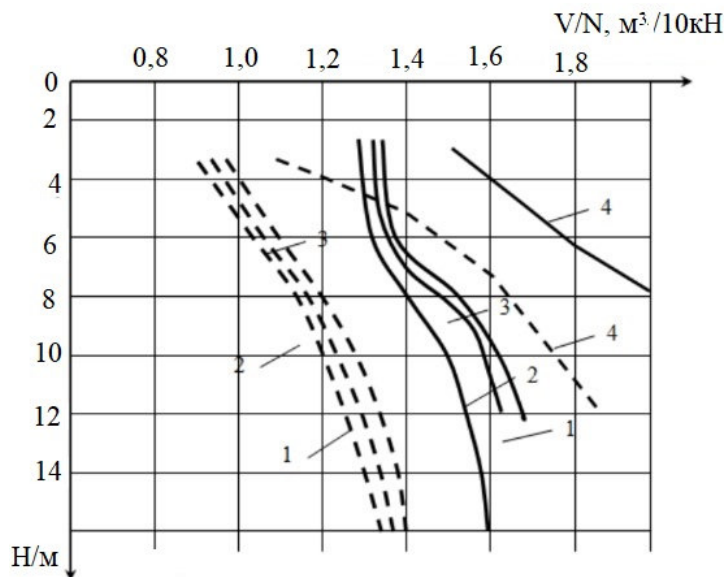


Рис. 5. Зависимость удельного расхода железобетона свай различного поперечного сечения от глубины погружения в глинистые грунты с $I_L = 0,5$ (сплошная линия) и песчаные грунты средней крупности, средней плотности (пунктирные линии): 1 – тавровое сечение; 2 – трехлепестковое сечение; 3 – треугольное сечение; 4 – квадратное сечение

Полученные результаты показали, что рациональным поперечным сечением модульных свай с развитой боковой поверхностью является тавровое, при погружении в глинистые песчаные грунты и песчаные грунты (рис. 5, кривая 1), так как это сечение имеет минимальный удельный расход железобетона на 100 кН.

Учитывая, что площадь сечения тавровой свай под острием несколько меньше, чем сплошной квадратной свай, установлена области рационального применения этой свай с развитой боковой поверхностью (рис. 6).

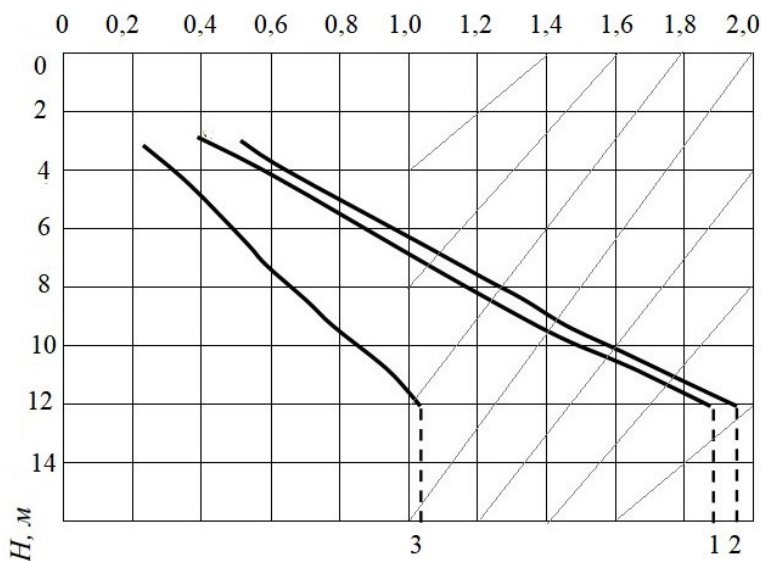


Рис. 6. Зависимость отношения сил трения по боковой поверхности к сопротивлению под острием свай различного поперечного сечения при погружении в пылевато-глинистые грунты с $I_L = 0,5$; 1 – тавровое сечение; 2 – треугольное сечение; 3 – квадратное сечение

Полученные результаты указывают на то, что область рационального применения свай с развитой боковой поверхностью располагается за соотношением сил трения к сопротивлению под острием более 1,0.

Изготовленные в заводских условиях сваи таврового сечения, согласно разработанным авторами Техническим условиям [10], испытано на осевое вдавливание по равномерной шкале нагрузок [11, 12], при величине ступени нагрузок 1/10

от ожидаемой величины предельной нагрузки. Результаты статических испытаний модульных свай таврового сечения длиной 6,0 м типовой призматической сваи длиной 8,0 м представлены на рис. 7.

Варианты компоновки фундаментных систем при основе модульных свай [13] таврового сечения представлены на рис. 8.

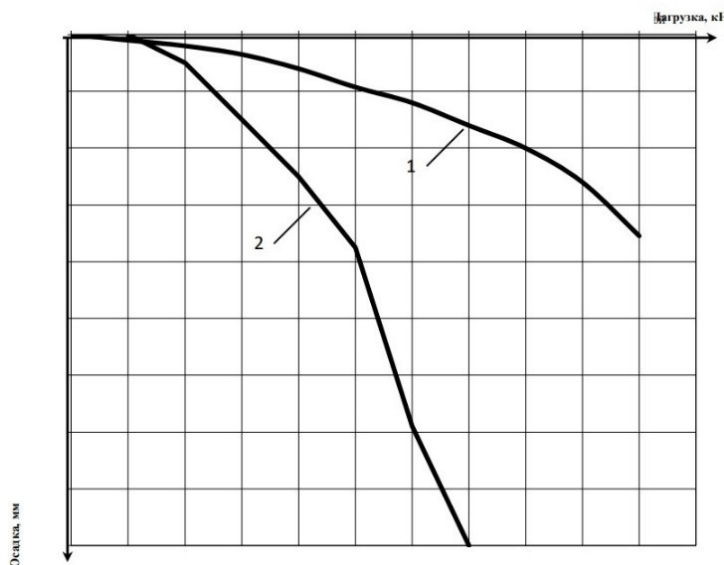


Рис. 7. Зависимость осадок свай от нагрузки при погружении в суглинки и глины полутвердые: 1 – типовая квадратная свая длиной 8,0 м; 2 – модульная свая таврового сечения длиной 6,0 м



Рис. 8. Варианты компоновки фундаментных систем на основе модульных свай таврового сечения

Серьезной проблемой являются применение свайных фундаментов в рыхлых песчаных или насыпных грунтах. Обычно в таких грунтах используют их химическое закрепление различными составами (геополимерная технология) [14, 15]. Авторами усовершенствована геополимерная технология возведения свайных фундаментов в рыхлых песчаных грунтах [16, 17]. Данное решение основано на том, что с целью исключения использования оборудования и сопутствующих технологических операций для подачи закрепляющих растворов в грунт, разработано конструктивно-технологическое решение, обеспечивающее проникновение раствора с воронки, установленной на поверхности грунта над точкой забивки сваи. Для этого на боковой поверхности сваи (по всем четырем граням) предусматривают полости-«карманы», в которые попадает закреп-

ляющий состав и в процессе забивки выдавливается на них, проникая в рыхлый песок, окружающий тело сваи по всей глубине [18]. Схема разработанного конструктивно-технологического решения (геополимерной технологии) представлена на рис. 9.

Геополимерную технологию возведения свай в рыхлых песках исследовали в лабораторных условиях на установках представленной на рис. 1, б, модели сваи представлены на рис. 1, г. В качестве закрепляющего состава использовалась рецептура однорастворной силикатизации. На рис. 10 представлены модели свай с «карманами» после испытания извлечения их из грунтового лотка. Полученные результаты лабораторных испытаний моделей свай, возведенных с помощью геополимерной технологии, представлены в табл. 1.

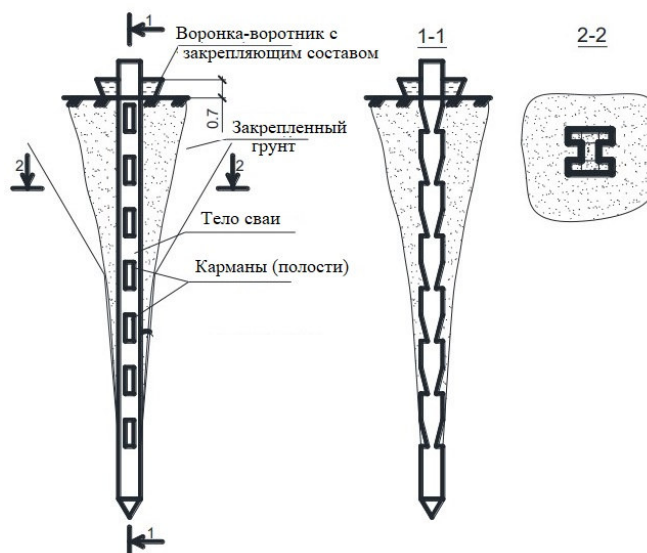


Рис. 9. Схема геополлимерной технологии возведения свай в рыхлых грунтах

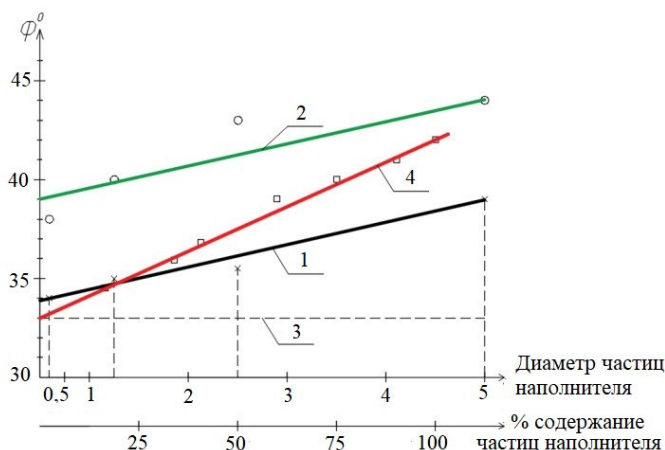


Рис. 10. Влияние содержания и крупности частиц наполнителя на угол внутреннего трения песка мелкого: 1 – содержание наполнителя в песке – 30 %; 2 – содержание наполнителя в песке – 50 %; 3 – песок мелкий без наполнителя (33°); 4 – процентное содержание наполнителя фракции 2,5 мм с шагом 15 %

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний моделей свай, возведенных с использованием геополлимерной технологии (песок мелкий, рыхлый, воздушно-сухой влажности)

Вид моделей свай	Наличие закрепляющего состава при испытаниях	Несущая способность модели свай, (кг)	Предельная осадка модели свай, (мм)	Результаты испытаний относительно базовой модели (%)	
				Несущая способность	Осадка
Базовая (без «карманов»)	Без закрепляющего состава	20–25	6,0	–	–
Свая без «карманов»	С закрепляющим составом	60	6,0	+172	0
Свая с поперечными «карманами»	С закрепляющим составом	70	3,0	+218	-50
Свая с «карманами» вдоль свай	С закрепляющим составом	90	6,0	+309	0

Полученные результаты лабораторных исследований геополлимерной технологии при возведении свай в рыхлых грунтах позволили установить, что несущая способность свай при этой технологии их погружения увеличивается в

2,5...3 раза, при этом осадка свай уменьшается в 2 раза.

Методика расчета несущей способности свай, возведенных с применением геополлимерной технологии предусматривает следующую последовательность:

– на площадке строительства на экспериментальной свае устанавливается угол конусности – α , град (при этом используют проектный закрепляющий состав);

– рассчитывается несущая способность свай как пирамидальной на основе [9].

Исходя их требования к технологии погружения свай, обеспечивающей изменение гранулометрического состава прилежащего грунта, с целью отказа от химических закрепляющих составов и расширения области применения (не только в рыхлых песках) разработано конструктивно-технологическое решение свайного фундамента, которое предполагает наличие полости

«карманов» определенной конфигурации на боковой поверхности свай, воронку-воротник на поверхности грунта в точке забивки свай.

Для подтверждения возможности увеличения силы трения при изменении гранулометрического состава песчаного грунта при забивке свай, в лабораторных условиях на сдвиговом приборе, исследовано влияние наполнителя в виде песка гравелистого к песку мелкому добавляли на его угол внутреннего трения. При этом к песку мелкому добавлялись частицы грунта крупностью 5; 2,5; 1,25; 0,65 мм, процентное содержание которых изменяли с шагом 15 %. Результаты лабораторных испытаний представлены на рис. 11.

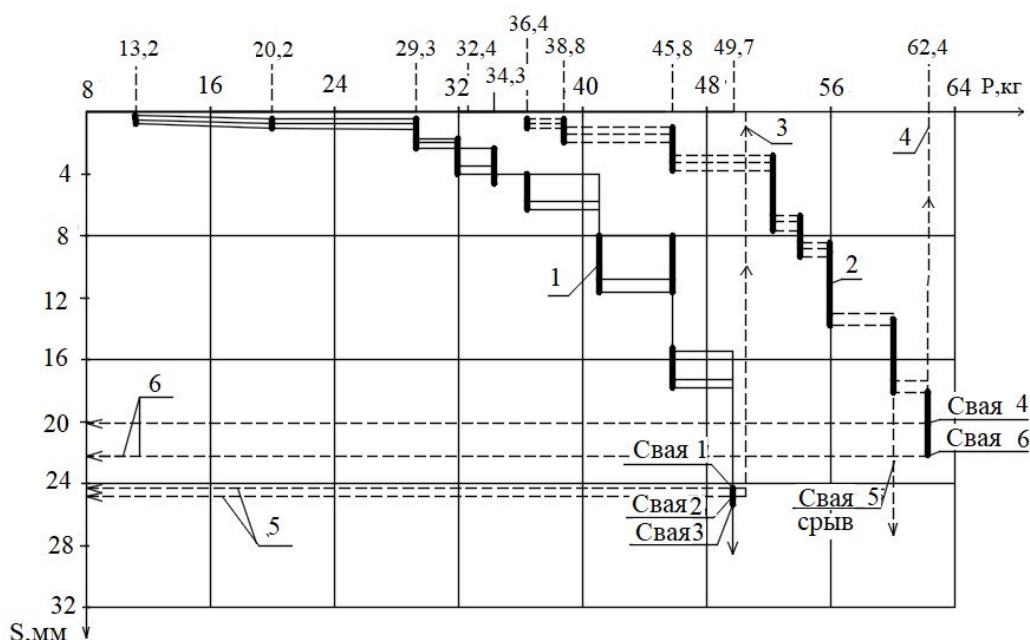


Рис. 11. График зависимости осадки моделей свай S от статической нагрузки P : 1 – результаты испытаний базовых свай № 1, 2 и 3; 2 – результаты испытаний свай с «карманами» № 3, 4 и 5; 3 – предельная нагрузка $P_{np} = 49,7$ кг для базовых свай; 4 – предельная нагрузка $P_{np} = 62,3$ кг для разработанных свай с «карманами»; 5 – осадка базовых свай при предельной нагрузке $S_{np} = 25$ мм; 6 – осадка разработанных свай с «карманами» при предельной нагрузке $S_{np} = 21$ мм

Полученные результаты (рис. 11, поз. 1) показали эффективность изменения гранулометрического состава песка на увеличение его угла внутреннего трения на 27...28 %. Следовательно, изменение гранулометрического состава прилежащего к свае грунта с увеличенным углом внутреннего трения приведет и к увеличению силы трения по боковой поверхности свай и увеличению несущей способности свайного фундамента.

Несущую способность базовых и разработанных свай с «карманами» при наличии воротника с наполнителем фракции 1,25 мм, провели в лабораторных условиях с использованием установки и моделей свай, показанных на рис. 1, в и 1, г. Результаты экспериментов представлены на рис. 11, поз. 2.

Анализ результатов испытания моделей свай в лотке с мелким песком показали, что разработанные авторами конструктивно-технологические решения забивных висячих свай позволяют увеличивать их несущую способность на 25,3 % по сравнению с базовыми призматическими сваями. При этом предельная осадка моделей свай примерно одинаковая: 25 мм для базовых свай и 21 мм для разработанных.

Для изучения характера распределения наполнителя на глубине свай с «карманами», забивка моделей свай производится у прозрачной стенки лотка. При этом наполнитель с размерами частиц 1,25 мм окрашивается в черный цвет и засыпается в воротник. Результат полученного распределения наполнителя при забивке представлен на рис. 12.



Рис. 12. Характер распределения наполнителя (выкрашен в черный цвет) вокруг моделей свай с «карманами» в процессе забивки

Полученные результаты лабораторных исследований моделей свай с «карманами» при изменении гранулометрического состава по глубине и образованию угла наклона плоскости контакта наполнителя и грунтовой среды, очевидно, требует корректировки методики расчета несущей способности таких свай. При изменении гранулометрического состава прилежащего к свае грунта несущую способность забивной висячей сваи с «карманами» следует рассчитывать, как сумму сил:

$$N = \gamma_{\text{кар}}(R + T + R_{\text{кар}} + F_{\alpha}),$$

где R – расчетное сопротивление грунта основания под нижним концом сваи, рассчитываемое согласно [19, 20]; T – расчетное сопротивление наполнителя по боковой поверхности сваи (исключая площадь полостей по четырем граням сваи).

Выводы. Приведенные исследования инновационных свайных технологии позволяют сделать следующие выводы.

- лабораторные исследования моделей трансформируемых свай в грунтовой лотке с применением НРВ показал, что их несущая способность по сравнению с призматическими сваями на 60 % выше.

- Полевые испытания трансформируемых свай глубиной 1,5 м, проведенные в песках мелкой средней плотности показали, что трансформирование призматических свай в пирамидальные позволяет увеличить несущую способность свай на 40...43 %.

- сравнительный анализ технико-экономических показателей забивных свай с треуголь-

ным, крестообразным, трехлепестковым, тавровым, кольцевым и квадратным поперечными сечениями, нагружаемых в песчаных, пылевато-глинистых и глинистых грунтах показал, что наиболее рациональным сечением модульных свай с развитой боковой поверхностью является тавровое.

Эффективность тавровых свай по сравнению с призматическими, проявляется при соотношении сопротивления грунта под острием сваи к сопротивлению грунта на боковой поверхности более 1,0.

- использование геополимерной технологии при забивке свай с полостями на боковой поверхности в рыхлых песках позволяет увеличить их несущую способность в 2,5...3,0 раза, при этом осадка свай уменьшается в 2 раза.

- как показали результаты лабораторных исследований, изменение гранулометрического состава прилежащего к свае грунта, путем подачи через воронку и «карманы» наполнителя фракции 1,25 мм при забивке, увеличивает несущую способность свай на 25...28 %. При этом, как показало изучение характера распределения наполнителя вокруг моделей свай с «карманами» в процессе забивки, призматическая свая трансформируется в пирамидальную, если плоскость сдвига происходит по контакту «наполнитель–вмещающая среда».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kocherzhenko V., Suleymanova L. Methods for the construction of lowered structures and pile foundations // E3S Web of Conferences. 2021. 258. 09036. DOI:10.1051/e3sconf/202125809036

2. Kocherzhenko V., Suleymanova L., Kolechnikov M. Innovative structural and technological developments of pile foundation engineering // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 945(1). 012035. doi:10.1088/1757-899X/945/1/012035
3. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. М.: Стандартинформ, 2014. 47 с.
4. ГОСТ 12248-96. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Изд-во стандартов, 1996. 67 с.
5. ГОСТ 20276-85. Грунты Методы полевого определения характеристик деформируемости. М.: Госстрой СССР, 1985. 50 с.
6. Pronozin Y., Stepanov M., Volosyuk D. Pre-pressing soil physical-mechanical properties estimate of combined strip piles foundations ground base. // Construction and Architecture Bulletin. 2015. Pp. 64–73. doi:10.15593/2224-9826/2015.2.05
7. Langdon D. Foundations for structures. Spon's Civil Engineering and Highway Works Price Book 2009. 627 p.
8. Шереметьев Ю.Г., Удалов В.В., Сухарева А.И., Лучинина И.Г. Краткий экскурс в технологию получения и использования экологически чистого невзрывного разрушающего вещества (НРВ) // Проблемы строительного материаловедения и новые технологии. 1995. С. 113–120.
9. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85-М., 2011. М.: Минрегион России. 2011. 90 с.
10. ТУ 5817-005-02066339-00. Сваи модульные забивные Т-образные. М.: Департамент строительства и жилищно-коммунального хозяйства Белгородской области. 2000. 25 с.
11. Beim J., Niyama S. High strain dynamic testing of driven and cast in situ piles - Dynamic testing of large piles // Application of Stress-Wave Theory to Piles: Quality Assurance on Land and Off-shore Piling. CRC Press; 2000. Pp. 367–466.
12. Lacz S.W., Wells R.C. Design, Testing, and Automated Monitoring of ACIP Piles in Residual Soils // Contemporary Topics in Deep Foundations. American Society of Civil Engineers, 2009.
13. Пат. 3773 U1, Российская Федерация, МПК E04C 1/00. Забивная модульная свая с развинутой боковой поверхностью / В.А. Ивахнюк, В.В. Кочерженко, Ю.В. Осадько; заявитель и патентообладатель БГТАСМ. No 95120867/20; заявл. 13.12.1995; опубл. 16.03.1997, 5 с.
14. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01.-83). М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. 1985. 130 с.
15. СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. М.: Изд-во БСТ. 2012. 73 с.
16. Буслов А.С., Бакулина А.А., Бурмина Е.Н. Технологическая и прочностная эффективность геополлимерной технологии «самообмазки» при забивке свай // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №5. С. 51–56.
17. Brown M. Recommendations for Static use and interpretation of piles installed in clay // Rapid Load Testing on Piles. CRC Press; 2008. Pp. 33–46.
18. Пат. 2492293 C2, Российская Федерация, МПК E02D 5/00. Свая забивная железобетонная для химического закрепления рыхлых песков и способ закрепления грунта, окружающего тело сваи / В.В. Кочерженко, Н.Г. Соколов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В.Г. Шухова. No 2011141663/03; заявл. 13.10.2011; опубл. 10.09.2013, Бюл No 25. 9 с.
19. Efimov V.O. Experimental evaluation of pile distortion settlement of boring and driven piles // Bulletin of Civil Engineers. 2020. №17(2). Pp. 95–99. doi:10.23968/1999-5571-2020-17-2-95-99
20. Leong W.K., Yusoff N.A., Abd Aziz A.N., Abu Talib Z. Theoretical and Actual Bearing Capacity of Driven Piles Using Model Piles in Sand // Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, Ltd.; 2015. 773–774. Pp. 1453–1459. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1453

Информация об авторах

Кочерженко Владимир Васильевич, профессор кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: vvkpgs1946@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Сулейманова Людмила Александровна, зав. кафедрой строительства и городского хозяйства, профессор. E-mail: kafedrasigsh@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 28.11.2021 г.

© Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А., 2022

Kocherzhenko V.V., *Suleymanova L.A

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: kafedrasigsh@mail.ru

INNOVATIVE PILE TECHNOLOGIES IN MODERN FOUNDATION ENGINEERING

Abstract. *Pile technologies in modern foundation engineering are the leading direction for improving their constructive and technological solutions. The bearing capacity of pile foundations largely depends on the formation of the frictional force of the soil along the lateral surface of the piles. The authors considered technologies for the construction of transformable piles using non-explosive destructive substances, modular piles with a developed lateral surface and an optimal cross-section, piles using geopolymer technology and piles that allow changing the granulometric composition of the adjacent soil. The results of laboratory studies of the models of these piles are given, the effectiveness of their application is established and methods for calculating their bearing capacity are proposed, the directions of research activities are indicated. The studies carried out allow us to conclude that the comparison of the specific bearing capacity of driven piles of different cross-sections showed that the most rational section is tavrovoe. The developed, approved and registered "Technical conditions for modular driven T-shaped piles" make it possible to manufacture, transport, and drive this type of piles for industrial and civil construction. Options for the layout of foundation systems based on modular T-section piles are proposed, depending on the nature of the load acting on them.*

Keywords: *pile, geopolymer technology, bearing capacity, soil, transformation, granulometric composition, pockets, cavities, laboratory studies, methodology.*

REFERENCES

1. Kocherzhenko V., Suleymanova L. Methods for the construction of lowered structures and pile foundations. E3S Web of Conferences. 2021. 258. 09036. doi:10.1051/e3sconf/202125809036
2. Kocherzhenko V., Suleymanova L., Kolesnikov M. Innovative structural and technological developments of pile foundation engineering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020. 945(1). 012035. doi:10.1088/1757-899X/945/1/012035
3. GOST 5686-2012. Soils. Field test methods with piles [GOST 5686-2012. Grunty. Metody polevyh ispytaniy svayami]. M.: Standartinform, 2014. 47 p. (rus)
4. GOST 12248-96. Soils. Methods for laboratory determination of strength and deformability characteristics [GOST 12248-96. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya harakteristik prochnosti i deformiruемости]. M.: Izd-vo standartov, 1996. 67 p. (rus)
5. GOST 20276-85. Soils Methods of field determination of deformability characteristics [GOST 20276-85. Grunty Metody polevogo opredeleniya harakteristik deformiruемости]. M.: Gosstroj SSSR, 1985. 50 p. (rus)
6. Pronozin Y., Stepanov M., Volosyuk D. Prepressing soil physical-mechanical properties estimate of combined strip piles foundations ground base. Construction and Architecture Bulletin. 2015. Pp. 64–73. doi:10.15593/2224-9826/2015.2.05
7. Langdon D. Foundations for structures. Spons Civil Engineering and Highway Works Price Book 2009. 627 p.
8. Sheremetyev Yu.G., Udalov V.V., Sukhareva A.I., Luchinina I.G. A brief excursion into the technology of obtaining and using an environmentally friendly non-explosive destructive substance (NRV) [Kratkij ekskurs v tekhnologiyu polucheniya i ispol'zovaniya ekologicheskoi chistogo nevzryvnogo razrushayushchego veshchestva (NRV)]. Problemy stroitel'nogo materialovedeniya i novye tekhnologii. 1995. Pp. 113–120.
9. SP 24.13330.2011. Pile foundations. Updated edition of SNiP 2.02.03-85-M., 2011. [SP 24.13330.2011. Svajnye fundamenty. Aktualizirovannaya redakciya SNiP 2.02.03-85-M., 2011.] M.: Minregion Rossii. 2011. 90 p. (rus)
10. TU 5817-005-02066339-00. T-shaped modular driven piles [TU 5817-005-02066339-00. Svai modul'nye zabivnye T-obraznye]. M.: Departament stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva Belgorodskoj oblasti. 2000. 25 p. (rus)
11. Beim J., Niyama S. High strain dynamic testing of driven and cast in situ piles - Dynamic testing of large piles. Application of Stress-Wave Theory to Piles: Quality Assurance on Land and Off-shore Piling. CRC Press; 2000. Pp. 367–466.
12. Lacz S.W., Wells R.C. Design, Testing, and Automated Monitoring of ACIP Piles in Residual Soils. Contemporary Topics in Deep Foundations. American Society of Civil Engineers; 2009.
13. Ivakhnyuk V.A., Kocherzhenko V.V., Osadko Yu.V. Driven modular pile with a developed lateral surface. Patent RF, no. 3773, 1995.
14. Manual on the chemical consolidation of soils by injection in industrial and civil construction (to SNiP 3.02.01.-83) [Posobie po himicheskomu zakrepleniyu gruntov in'ekciej v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve (k SNiP 3.02.01.-83)]. M.: NIIOSP im. N.M. Gersevanova. 1985. 130 p. (rus)
15. STO NOSTROY 2.3.18-2011 Strengthening of soils by injection methods in construction [STO

NOSTROJ 2.3.18-2011 Ukreplenie gruntov in"ekcionnymi metodami v stroitel'stve]. M.: Izd-vo BST. 2012. 73 p. (rus)

16. Buslov A.S., Bakulina A.A., Burmina E.N. Technological and strength efficiency of geopolymer technology "self-coating" when driving pile [Tekhnologicheskaya i prochnostnaya effektivnost' geopolimernoj tekhnologii «samoobmazki» pri zabivke svaj]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2017. No. 5. Pp. 51–56. (rus)

17. Brown M. Recommendations for Statnamic use and interpretation of piles installed in clay. Rapid Load Testing on Piles. CRC Press; 2008. Pp. 33–46.

18. Kocherzhenko V.V., Sokolov N.G. Driven reinforced concrete pile for chemical consolidation of loose sand and a method of consolidation of the

soil surrounding the body of the pile [Svaya zabivnaya zhelezobetonnyaya dlya himicheskogo zakrepleniya ryhlyh peskov i sposob zakrepleniya grunta, okruzhayushchego telo svai]. Patent RF, no. 2492293, 2013. (rus)

19. Efimov V.O. Experimental evaluation of pile distortion settlement of boring and driven piles. Bulletin of Civil Engineers. 2020. No. 17 (2). Pp. 95–99. doi:10.23968/1999-5571-2020-17-2-95-99

20. Leong W.K., Yusoff N.A., Abd Aziz A.N., Abu Talib Z. Theoretical and Actual Bearing Capacity of Driven Piles Using Model Piles in Sand. Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, Ltd.; 2015. Vol. 773–774. Pp. 1453–1459. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.1453

Information about the authors

Kocherzhenko, Vladimir V. PhD, Professor. E-mail: vvkpgs1946@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Suleymanova, Lyudmila A. DSc, Professor. E-mail: kafedrasigsh@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Received 28.11.2021

Для цитирования:

Кочерженко В.В., Сулейманова Л.А. Инновационные свайные технологии в современном фундаментостроении // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 57–67. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-57-67

For citation:

Kocherzhenko V.V., Suleymanova L.A. Innovative pile technologies in modern foundation engineering. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 4. Pp. 57–67. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-57-67