

Основания и фундаменты, подземные сооружения Bases and foundations, underground structures

Научная статья

УДК 624.15

DOI: 10.14529/build230102

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СПИРАЛЕВИДНОЙ МИКРОСВАИ С ГРУНТОМ*

Р.В. Мельников¹, melnikovrv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8369-3206>

Я.А. Пронозин¹, geofond.tgasu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6173-2796>

Е.П. Брагарь^{1,2}, el.bragar@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1212-6324>

¹ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

² Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан

Аннотация. В статье описывается исследование конструкции новой микросваи, обладающей более высокой несущей способностью по сравнению с традиционной микросваей. Предлагаемая конструкция вертикальной микросваи обладает большей площадью боковой поверхности за счет придания спиралевидной формы. Выявление особенностей работы спиралевидных микросвай проводилось средствами численного моделирования. Рассматривались спиралевидные сваи различной длины и ширины спирали. В результате было установлено влияние количества витков спиралевидной сваи и относительной «вытянутости» витка спирали на изменение несущей способности, а также особенности её сжимаемости и накопления общей осадки. Анализ результатов моделирования позволил выделить область эффективных конструктивных сочетаний количества витков спирали по длине сваи и «вытянутости» (ширины) витка. Данная область обеспечивает наиболее высокие значения несущей способности спиралевидной сваи по сравнению с традиционной микросваей. Дополнительно для данной области введено ограничение по сжимаемости спиралевидной сваи, направленное на ограничение напряжений кручения. В заключении статьи авторами ставятся задачи для дальнейшего исследования, оцениваются вопросы технологии устройства, влияющие на область эффективных конструктивных сочетаний.

Ключевые слова: свая, микросвая, спираль, несущая способность, относительное сжатие, численное моделирование

Для цитирования. Мельников Р.В., Пронозин Я.А., Брагарь Е.П. Исследование работы спиралевидной микросваи с грунтом // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 1. С. 16–22. DOI: 10.14529/build230102

* Статья рекомендована к опубликованию оргкомитетом Первой Международной научной конференции «Соломинские чтения», проходившей 8–9 ноября 2022 г. в Южно-Уральском государственном университете (г. Челябинск).

Original article

DOI: 10.14529/build230102

AN INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF A SPIRAL MICROPILE IN SOIL

R.V. Melnikov¹, melnikovrv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8369-3206>

Y.A. Pronozin¹, geofond.tgasu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6173-2796>

E.P. Bragar^{1,2}, el.bragar@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1212-6324>

¹ Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia

² Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Abstract. The study of a new micropile construction are presented. The proposed vertical micropiles have a large surface area due to their spiral shape and a larger bearing capacity compared to the typical micropiles. Numerical modeling shows the influence of the number of spiral turns, the relative elongation of the spiral turns on the change in load capacity, and the features of its compressibility. Numerical modeling also shows the area of the effective constructive combinations of the number of spiral turns along the length of the pile and the widening of the turns. This area has

© Мельников Р.В., Пронозин Я.А., Брагарь Е.П., 2023.

the largest load capacity of the spiral pile compared to typical micropiles. Additionally, restrictions on compressibility have been imposed to confine torsional tensions. The authors also formulate problems for further research.

Keywords: pile, micropile, spiral, bearing capacity, relative compression, numerical modeling

For citation. Melnikov R.V., Pronozin Y.A., Bragar E.P. An investigation of the behavior of a spiral micropile in soil. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture.* 2023;23(1):16–22. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230102

Введение

Одним из направлений геотехники, развитие которого происходит наиболее активно, являются свайные фундаменты. Этому способствует развитие территорий на сложных неблагоприятных грунтах и повышение технологического уровня производства работ.

Общей целью развития всех свайных технологий является стремление к получению максимальной несущей способности свай. Одновременно такая свая должна обладать высокой технологичностью устройства, невысокой удельной себестоимостью и минимальными осадками. Благодаря этой цели за последние десятилетия появилось множество новых технологий устройства различных видов свай. Особую важность достижение такой цели имеет при строительстве на слабых грунтах, когда сваю невозможно опереть на прочные или скальные грунты. Такие грунтовые условия предполагают использование только висячих свай.

Состояние вопроса исследования

Над решением задачи повышения несущей способности висячей сваи, находящейся в слабых грунтах, работали многие ученые [1]. Проводились исследования различных способов увеличения сил трения по боковой поверхности свай [2, 3], по определению и уточнению коэффициентов трения между грунтом и свайей [4], уточнению расчетных предпосылок и моделей [5], разработке конструкции новых свай [6]. Многие исследования нашли применение в строительстве [7].

Одним из способов повышения несущей способности висячей сваи является увеличение площади боковой поверхности. До настоящего момента этого можно было достигнуть двумя способами: увеличением поперечного сечения сваи или увеличением ее длины. Однако существует и еще один способ, предлагаемый авторами, не влияющий на поперечное сечение и длину сваи. Это можно сделать, если под термином «длина сваи» понимать глубину положения пяты сваи.

Для того чтобы описать этот способ, следует сначала объяснить этапы, которые предшествовали его созданию. Первым этапом было наблюдение, что при устройстве скважины для изучения грунтов или устройства микросваи авторы столкнулись с проблемой обеспечения вертикальности скважин на глубине более 10 м – ось скважины начинала отклоняться. Максимальный угол откло-

нения оси скважины или микросваи достигал 10 градусов при вертикальном бурении. Это позволило сделать вывод о том, что с глубиной увеличивается вероятность отклонения скважины от вертикали. Следующим этапом было исследование, основанное на предыдущих выводах: если при устройстве вертикальной микросваи возможно случайное отклонение от вертикали, то как оно будет влиять на несущую способность сваи? Серия численных экспериментов позволила установить, что небольшое отклонение микросваи от вертикали не влияет на ее несущую способность. При больших углах отклонения от вертикали несущая способность уменьшалась.

Анализируя выводы на каждом из этапов, авторский коллектив решил применить принцип «Обращение вреда в пользу»¹ для способа повышения несущей способности сваи. Использование этого принципа выражается в следующем: 1 – при устройстве микросваи всегда существует вероятность их отклонения от вертикали; 2 – эта вероятность увеличивается с глубиной; 3 – незначительные отклонения не влияют на несущую способность микросваи; 4 – отклонение микросваи от вертикали уменьшает глубину положения нижнего конца сваи.

Таким образом, если искривлять ось микросваи, то можно увеличить площадь боковой поверхности по сравнению с вертикальной микросвайей, глубина пяты у которых одинакова. При этом если создать не случайное искривление оси микросваи, а назначаемое, то можно получить микросваю новой конструкции. Все это может благоприятно повлиять на несущую способность сваи.

Проведение исследования

Предлагается новая конструкция микросваи, имеющая спиралевидную форму, которая описывается уравнениями (1), – спиралевидная микросвая (SMP). Можно создать различную форму спиралевидной микросваи. Чтобы выявить общие законы влияния формы на ее работу в грунте, исследование проводилось с различными конструктивными решениями SMP. Обозначение конструктивных размеров представлено на рис. 1: DI – га-

¹ Один из принципов Теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), заключающийся в следующем: вместо того чтобы бороться с дефектом, его нужно усилить до такой степени, чтобы он перестал быть дефектом.

баритный диаметр SMP, D – диаметр спирали, d – диаметр поперечного сечения ствола микросваи, L – габаритная высота SMP, l – шаг витка спирали. Сверху SMP имеет вертикальный участок для соосного восприятия вертикальной нагрузки.

$$\begin{cases} x = \cos(u)(\cos(v) + B) \\ y = A \cdot \sin(u)(\cos(v) + B) \\ z = \sin(v) + C \cdot u \end{cases} \quad (1)$$

при $u \in [-D \cdot \pi; D \cdot \pi]; v \in [-D \cdot \pi; D \cdot \pi]$.

Для исследования работы SMP в грунте, учитывая их различные конструктивные виды, необходимо ввести дополнительные свойства SMP, позволяющие их классифицировать. Такими свойствами будут являться относительная вытянутость витка спирали l/D (рис. 2) и количество витков спирали L/l (рис. 3).

Используя свойства l/D и L/l можно проводить совместный анализ SMP различной формы для выявления закономерностей изменения несущей способности и сжимаемости. К сожалению, различные математические формы SMP не могут найти отражение в реальности. Этому препятствуют технологические ограничения и принципы разумности.

Конструкция спиралевидной микросваи является новой и подразумевает множество направлений для ее исследования. Поскольку еще не выявлено преимущество таких свай, наименее трудоза-

тратным исследованием будет являться численное моделирование.

Численное моделирование

Для выявления влияния формы SMP на ее работу в грунте было выполнено численное исследование с использованием Midas FEA NX 2022.1.1. Рассматривались различные формы SMP, обладающие пересекающимися параметрами l/D и L/l (табл. 1, графы 1–7) с постоянным диаметром поперечного сечения ствола d .

Общий вид расчетной модели представлен на рис. 4. Расчетная модель размерами $26,0 \times 21,2 \times 20,0$ м. Конструкцией является оголовок сваи размером $6,0 \times 1,2$ м и две спиралевидные микросваи одинаковой конструкции (см. табл. 1, графы 2–7) с шагом $4,0$ м. На оголовок сваи действовала равномерно распределенная нагрузка для определения несущей способности свай (рис. 5). Передача давления от оголовка сваи на грунт запрещалась.

Дополнительно для определения эффективности использования SMP проводилось моделирование вертикальных микросвай, у которых нижний конец располагался на одинаковой глубине.

Для описания работы конструкции и грунта использовались различные модели материала: для грунта – Mohr-Coulomb model, конструкции – Elastic model. Значения параметров представлены в табл. 2. На основе геометрической модели создавалась сетка конечных элементов [8]. Размеры

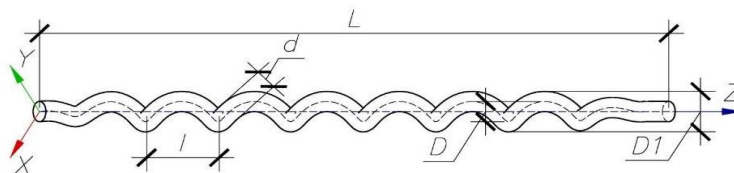


Рис. 1. Общая конструкция спиралевидной микросваи

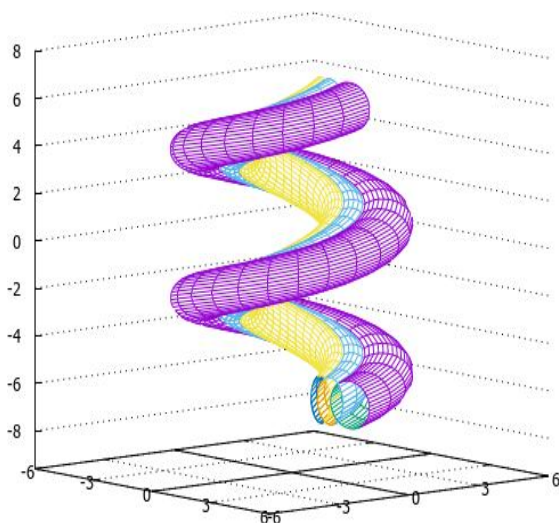


Рис. 2. Влияние относительной вытянутости витка спирали l/D при постоянном значении l

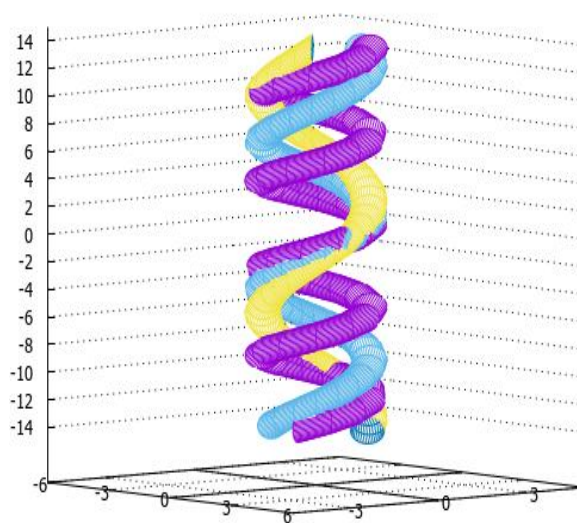


Рис. 3. Влияние количества витков спирали L/l при постоянном значении D

Таблица 1

Размеры исследуемых SMP

№	d , м	D , м	L , м	l , м	L/l	l/D	IF_d , кН	$IF_{d,min}$, кН	IF_d	ε_i , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,3	0,45	4	1,2	3,33	2,67	547	419	1,31	0,022
2		0,6				2,00	617		1,47	0,068
3		0,9				1,33	607		1,45	0,263
4		0,45	7		5,83	2,67	846	622	1,36	0,038
5		0,6				2,00	895		1,44	0,090
6		0,9				1,33	641		1,03	0,214
7		0,45	10		8,33	2,67	1091	841	1,30	0,042
8		0,6				2,00	1020		1,21	0,097
9		0,9				1,33	646		0,77	0,171

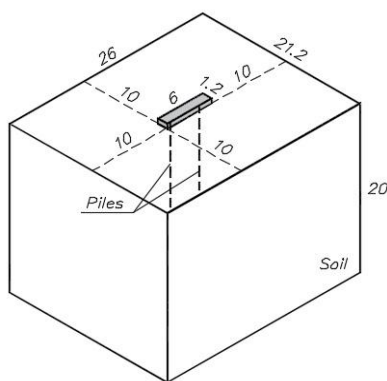


Рис. 4. Общий вид расчетной модели

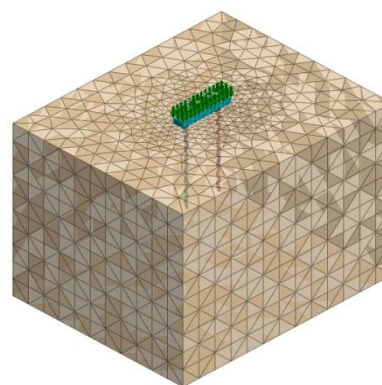


Рис. 5. Расчетная модель

конечных элементов увеличивались при удалении от области исследования. Для моделирования SMP в грунте использовались интерфейсные элементы.

Анализ и результаты

Серия численных расчетов с SMP различной формы позволила определить их несущую способность (см. табл. 1, графа 8). Установлено, что увеличение параметра l/D снижает несущую способность сваи. Также были получены значения несущей способности вертикальных микросвай (см. табл. 1, графа 9). Для оценки полученных данных был дополнительно определен индекс увеличения несущей способности IF_d для SMP (см. табл. 1, графа 10). Он определялся как отношение двух несущих способностей микросвай: SMP выбранной формы к вертикальной микросвае

при равной длине сваи L и поперечного сечения сваи d . Данный индекс позволяет оценивать эффективность формы SMP, рассматривая только критерий повышения несущей способности.

Для совместного анализа эффективности множества форм SMP была построена полигональная поверхность. Ее узлами являлись значения индекса увеличения несущей способности IF_d (рис. 6), относительной вытянутости витка спирали l/D и количества витков спирали L/l каждой исследуемой формы SMP. Полигональная поверхность имеет выраженный максимум $IF_d = 1,44$ (рис. 6, точка 5), а также выраженный минимум $IF_d = 0,77$ (см. рис. 6, точка 9). Это позволяет сделать вывод о том, что форма SMP существенно влияет на несущую способность.

Для дальнейшего анализа результатов следует учитывать сложность формы SMP по сравнению

Таблица 2

Используемые модели и их параметры

Символ	Название	Ед. изм.	Модель материала	
			Mohr-Coulomb	Elastic
E'	Модуль упругости	МПа	15,2	38000
ν	Коэффициент Пуассона	—	0,39	0,2
c	Удельное сцепление	кПа	33	—
ϕ	Угол внутреннего трения	угол	17,5	—
ψ	Угол дилатансии	—	0	—
γ	Удельный вес	кН/м ³	18,7	25

с вертикальной микросвайей. Разумное применение SMP должно обеспечивать существенное превышение несущей способности по сравнению с вертикальной микросвайей (то есть существенное увеличение IF_d). По мнению авторов, это будет адекватной «ценой» за увеличение сложности формы SMP. Областью разумного применения SMP назначается условие $IF_d \geq 1,4$. Для определения множества различных форм SMP, обладающих принятым условием, через полигональную поверхность (см. рис. 6) проводится горизонтальная секущая плоскость при $IF_d = 1,4$ (рис. 7). Оставляемый на данной плоскости след и проекция полигональной поверхности представляет собой внешние границы области эффективных форм SMP, удовлетворяющие условию $IF_d \geq 1,4$.

Выявленная область (см. рис. 7) определяет эффективную форму SMP, основываясь только на принятом увеличении ее несущей способности. При этом следует учитывать, что форма SMP более подвержена сжатию за счет спиральности, чем вертикальная микросвая. Поэтому работу SMP в грунте необходимо оценивать не только по несущей способности, но и по сжатию ствола самой сваи.

Выполненная серия численных расчетов с SMP позволила определить относительное сжатие ствола сваи ε при нагрузке, равной несущей способности сваи (см. табл. 1, графа 11). Установлено, что длина SMP оказывает незначительное влияние (менее 15 %) на сжимаемость сваи. Наибольшее влияние на сжимаемость ствола SMP оказывает отношение шага витка спирали к диаметру спирали (l/D). Именно увеличение выгиба спирали от вертикальности (увеличение D при постоянном l) увеличивает относительную сжимаемость SMP (рис. 8). Например, для SMP длиной 7 м с параметром $l/D = 2,67$ относительное сжатие ствола сваи $\varepsilon = 0,038 \%$, а при $l/D = 1,33$ $\varepsilon = 0,214 \%$,

выше на 463 %. Относительная сжимаемость ствола сваи ε уменьшается по мере заглубления.

Оценивая относительную сжимаемость ствола сваи ε необходимо установить ее предельные значения, при превышении которых характер работы материала SMP существенно изменяется. Иными словами, предельное значение ε должно указывать на предел упругой работы или начало процесса трещинообразования. Фактическое значение предельного параметра ε должно зависеть от материала SMP и технологии ее изготовления. В работе значение предельной относительной деформации ε принято равным 0,1 % – горизонтальная пунктирная линия на рис. 8. Она пересекается с огибающими функциями развития сжимаемости для SMP различной длины. Проекция точки пересечения на ось абсцисс указывает на минимально допустимое значение параметра $l/D = 1,95$, отвечающего критерию сжимаемости. Тем самым выделяется область конструктивных решений SMP по критерию допустимости относительной сжимаемости – зеленая область на рис. 8.

Эффективные конфигурации SMP должны отвечать совместным требованиям более высокой несущей способности и небольшой сжимаемости. Таким образом, необходимо объединить след поверхности IF_d (эффективных форм SMP), удовлетворяющий условию $IF_d \geq 1,4$ (см. рис. 7), и минимально допустимое значение параметра $l/D = 1,95$ (см. рис. 8), назначенное по критерию сжимаемости $\varepsilon \leq 0,1 \%$. Результатом этого объединения будет выделенная область эффективных конфигураций SMP, представленная на рис. 9.

Координаты точки, находящейся внутри выделенной области, l/D и L/l будут описывать конструктивное решение SMP, одновременно отвечающее двум условиям: $IF_d \geq 1,4$ и $\varepsilon \leq 0,1 \%$.

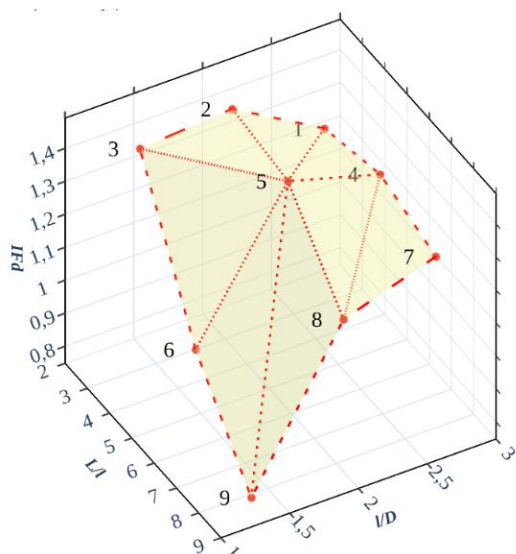


Рис. 6. Поверхность IF_d для SMP

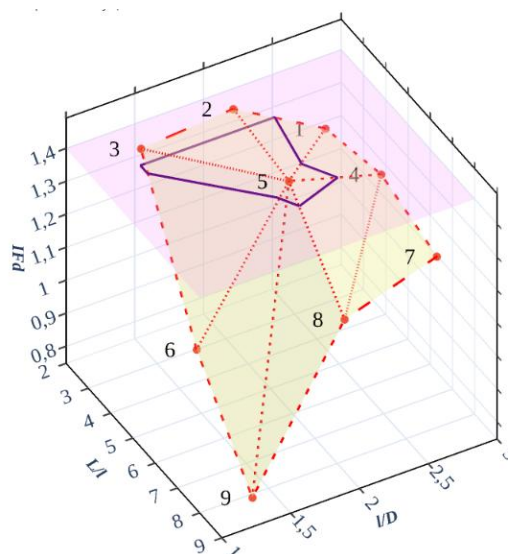


Рис. 7. Поверхность IF_d для SMP и плоскость, ее ограничивающая

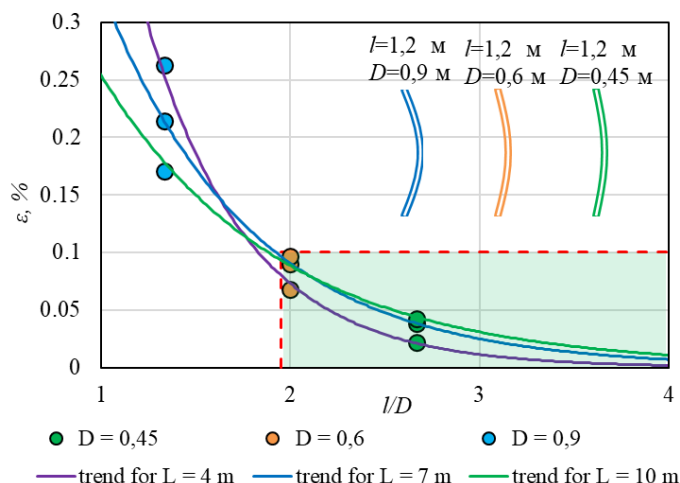


Рис. 8. Анализ изменения ε для SMP

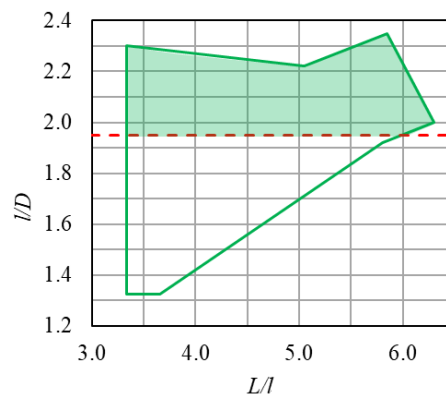


Рис. 9. След поверхности IF_d для SMP, ограниченный критерием сжимаемости

Выводы

Следует ввести существенное уточнение, что спиралевидная микросвая (SMP) на данный момент является только идеей. Выполненное численное моделирование ее работы в грунте по своей сути является выявлением разумности ее более нацеленного исследования. Принятые в работе условия поиска ее эффективных конструкций ($IF_d \geq 1,4$ и $\varepsilon \leq 0,1\%$) отражают только способ такого поиска и пока не имеют необходимого обоснования. Тем не менее, учитывая все это, можно сделать общие выводы по данной работе.

1. Спиралевидная форма для микросваи является результатом стремления справиться с проблемой обеспечения вертикальности скважин на глубине более 10 м. Способом поиска такого решения был принят один из принципов ТРИЗ «Обращение вреда в пользу», усиливающий дефект микросваи – случайное отклонение от вертикали – и обращающий его в новое качество.

2. Придание микросвае регулярной спиралевидной формы влияет на ее несущую способность. Существуют конструктивные формы SMP, несущая способность которых более чем на 40 % превышает вертикальную микросваю той же длины. Несущая способность SMP в большей степени зависит от вытянутости одного витка спирали.

3. Регулярная спиралевидная форма микросваи существенно влияет на ее сжимаемость. При этом именно вытянутость одного витка спирали более

существенна, чем их количество по длине. Сжимаемость SMP превосходит сжимаемость вертикальной микросваи. Поэтому назначение конструктивной формы SMP должно быть основано на условии ее предельной сжимаемости.

Заключение

Идея SMP по своей сути является революционной. Ствол сваи традиционно воспринимался только прямым, а его отклонение (искривление) считалось дефектом – такова была инерция мышления. Взгляд на эту проблему под другим углом и превращение недостатка в достоинство подвели к идее создания SMP. В обычной жизни прообразом SMP можно считать винный штопор – несущая способность такой «анкерной сваи» очень велика. Исследование работы SMP как анкера еще только предстоит провести.

Справедливым вопросом будет являться материал изготовления SMP и технология ее устройства в грунте. На данном этапе авторы видят реализацию SMP из металла или железобетона, завинчиваемую в грунт или в грунте устраиваемую при направленном бурении. Как бы то ни было, на вопросы материала SMP и технологии еще только предстоит ответить.

Авторы убеждены, что идея SMP должна быть защищена. Именно поэтому была подана заявка на патент для уверенного проведения будущих исследований.

Список литературы

1. Model tests on the bearing capacity of precast open-ended micro pipe piles in soft soil / X.B. Xu, M.Y. Hu, T.Y. Zhang, K.L. Chen, J.C. Wang // Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering, 2020, vol. 173. P. 500–518. DOI: 10.1680/jgeen.19.00112
2. Sensitivity analysis of vertically loaded pile reliability / A. Teixeira, Y. Honjo, A. Gomes Correia, A. Abel Henriques // Soils and Foundations, 2012, vol. 52, Issue 6. P. 1118–1129. DOI: 10.1016/j.sandf.2012.11.025
3. Dai Z., Su M., Hu C. Two numerical solutions of piles subjected to laterally parabolic distributed loads with biparameter method // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, vol. 26. P. 1463–1469.

4. The load-bearing capacity of hanging piles by the strength criterion of a pile or soil material / T.V. Ivanova, I.U. Albert, B.D. Kaufman, S.G. Shulman // *Magazine of Civil Engineering*, 2016, vol. 67. P. 3–12. DOI: 10.5862/MCE.67.1.

5. Basack S., Karami M., Karakouzian M. Pile-soil interaction under cyclic lateral load in loose sand: Experimental and numerical evaluations // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2022, vol. 162. P. 107439. DOI: 10.1016/j.soildyn.2022.107439

6. Vertynskii O.S., Emel'yanova T.A. Development and investigation of the performance of a new design of cast-in-place pile // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2013, vol. 50. P. 206–211. DOI: 10.1007/s11204-013-9235-7

7. Хайруллин В.А., Зенцов В.Н., Шакирова Э.В. Оценка экономического эффекта от внедрения новых конструктивных решений в строительстве // *Известия высших учебных заведений. Социология. Экономика. Политика*, 2015, № 1. С. 75–79.

8. Karaulov A.M., Korolev K. V., Kuznetsov A.O. Bearing Capacity Assessment of Soil Foundation // *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2022, vol. 59. P. 111–118. DOI: 10.1007/s11204-022-09790-y

References

1. Xu X.B., Hu M.Y., Zhang T.Y., Chen K.L., Wang J.C. Model tests on the bearing capacity of precast open-ended micro pipe piles in soft soil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering*. 2020;173:500–518. DOI: 10.1680/jgeen.19.00112

2. Teixeira A., Honjo Y., Gomes Correia A., Abel Henriques A. Sensitivity analysis of vertically loaded pile reliability. *Soils and Foundations*. 2012;52(6):1118–1129. DOI: 10.1016/j.sandf.2012.11.025

3. Dai Z., Su M., Hu C. Two numerical solutions of piles subjected to laterally parabolic distributed loads with biparameter method. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2007;26:1463–1469.

4. Ivanova T.V., Albert I.U., Kaufman B.D., Shulman S.G. The load-bearing capacity of hanging piles by the strength criterion of a pile or soil material. *Magazine of Civil Engineering*. 2016;67:3–12. DOI: 10.5862/MCE.67.1

5. Basack S., Karami M., Karakouzian M. Pile-soil interaction under cyclic lateral load in loose sand: Experimental and numerical evaluations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2022;162:107439. DOI: 10.1016/j.soildyn.2022.107439

6. Vertynskii O.S., Emel'yanova T.A. Development and investigation of the performance of a new design of cast-in-place pile. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2013;50:206–211. DOI: 10.1007/s11204-013-9235-7

7. Khayrullin V.A., Zentsov V.N., Shakirova E.V. Assessment of the economic effect of new design decisions introduction in construction. *News from higher educational institutions. Sociology. Economics. Politics*. 2015;1:75-79. (In Russ.)

8. Karaulov A.M., Korolev K.V., Kuznetsov A.O. Bearing Capacity Assessment of Soil Foundation. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2022;59:111–118. DOI: 10.1007/s11204-022-09790-y

Информация об авторах

Мельников Роман Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительное производство», Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; melnikovrv@tyuiu.ru.

Прозин Яков Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительное производство», Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; geofond.tgasu@gmail.com

Брагарь Елена Петровна, аспирант, ассистент кафедры «Строительное производство», Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия; докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан; el.bragar@yandex.ru

Information about the authors:

Roman V. Melnikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction Production, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; melnikovrv@tyuiu.ru

Yakov A. Pronozin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction Production, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; geofond.tgasu@gmail.com

Elena P. Bragar, post-graduate student, assistant of the Department of Construction Production, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia; PhD student, Gumilyov Eurasian National University; el.bragar@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 29.11.2022, принята к публикации 20.12.2022.

The article was submitted 29.11.2022 and approved after reviewing 20.12.2022.