

Таким образом, с помощью разработанной дизайн-концепции проекта можно запроектировать оптимальные объемно-пространственные и планировочные параметры объектов спортивно-оздоровительного центра, руководствуясь анализом разработанных функциональных моделей и систематизацией основных характеристик рельефа.

Анализ региональных особенностей проектирования показал, что разработка объекта невозможна без изучения природного ландшафта участка. Были выявлены определенные зоны взаимодействия рельефа и архитектурного объекта, так же проанализированы различ-

ные художественно-планировочные структуры, на основе которых можно определить схему планировочного зонирования участка.

Окружающая среда обеспечивает наш комфорт и озеленение становится для нас больше необходимостью соединения с природой, чем просто украшением территории. Основная идея интеграции архитектурных моделей и природного ландшафта формирует многофункциональную среду и совершенно новый подход к отдыху, здоровью и спорту, используя современные тенденции в проектировании и геопластику рельефа.

Список литературы

1. Нефедов В.А. Городской ландшафтный дизайн / Нефедов В.А.: Учеб. Пособие. – СПб.: 2012.- 320 с.: ил.
2. Гельфонд, А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений:
3. Учеб. пособие / А.Л. Гельфонд. – М.: Архитектура-С, 2006 – 280 с., ил.
4. Буга Ю.П., Короев Ю.И. Методика предпроектного визуального анализа архитектурно-пространственной среды города [Текст] / Ю.П. Буга, Ю.И. Короев // Известия вузов. Строительство. – 1998 – №9. – С.103-111.
5. Барсукова Н.И. Дизайн среды в проектной культуре постмодернизма. М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. К. А.Тимирязева, 2007, 242 с. текст, 48 с. илл. 15,5 п. л.
6. Барсукова Н.И. Архитектурно-дизайнерские формы в системе современной культуры. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007, 163 с. текст, 10 с. илл. 9, 4 п. л.
7. Шимко В.Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование городской среды. М.: Архитектура-С, 2006, 384 с.
8. Курбатов Ю.И. Архитектурные формы и природный ландшафт: композиционные связи. Ленинград: Издательство Ленинградского университета, 1988. 134 с.
9. Литвинов Д.В. Градоэкологический анализ характера озеленения прибрежных территорий крупных городов среднего Поволжья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 10, No 2, 2008. С. 613 – 616.
10. Голубева, Е. П. Принципы формирования архитектуры рекреационно-досуговых комплексов. Текст. Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. Арх. / Е. П. Голубева; - Нижний Новгород, 2006. – 24 с.

© А. А. Захарочкина, А. В. Скопинцев

Ссылка для цитирования:

Захарочкина А. А., Скопинцев А. В. Архитектурно-ландшафтное формирование спортивно-оздоровительных центров на рельефе в Ростове-на-Дону // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 95–100.

УДК 624.1

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СВАИ С КОНЦЕВЫМ СФЕРИЧЕСКИМ УШИРЕНИЕМ В СОСТАВЕ ГРУППЫ СВАЙ

В. С. Фёдоров¹, Н. В. Купчикова², М. Д. Гавриков¹

¹Российский университет транспорта (РУТ)

²Астраханский государственный архитектурно-строительный университет

В статье представлены некоторые аспекты развития теории построения расчётных схем групп длинных свай с концевыми сферическими уширениями и результаты их численного анализа несущей способности свай с концевыми уширениями в сравнительном расчёте с работой свай без уширения в кусте.

Ключевые слова: буронабивные сваи, готовые сваи, технологии устройства, уширения, формообразование.

NUMERICAL STUDIES OF THE OPERATION OF A PILE WITH END SPHERICAL BROADENING AS PART OF A PILE GROUP

V. S. Fedorov¹, N. V. Kupchikova², M. D. Gavrikov¹

¹Russian University of Transport (RUT)

²Astrakhan State Architectural and Construction University

The article presents some aspects of the theory of building numerical schemes groups of long piles with spherical end caps and the results of their numerical analysis of bearing capacity of piles with end caps in the comparative calculation of the working piles without widening in the Bush.

Keywords: bored piles, the piles are ready, the technology of the device, widening, shaping.

Значительный вклад в изучение вопросов взаимодействия свай с грунтом в их группе внесли следующие отечественные ученые Аб-

басов П.А., Абелев Ю. М., Барвашов В. А., Бартоломей А. А., Бахолдин Б. В., Березанцев В.Г., Голубков В. Н., Григорян А. А., Готман Н.З., Готман

А.Л., Далматов Б. И., Девальтовский Е. Э., Дорошкевич Н. М., Егоров К. Е., Сорочан Е.А., Пилигин А.В., Знаменский В. В., Зарецкий Ю. К., Фадеев А. Б., Федоровский В. Г., Развадовский Д. Е. и др. При анализе этих результатов выделяют одну из главных причин, изменяющих характер работы свай в составе куста - это изменение первоначального природного состояния грунта в межсвайном пространстве, вызванное погружением свай и устройством уширения у свай.

Авторы работ [1–30] показали существенное отличие в работе одиночных свай по сравнению со свайей в группе. Различия в работе определяются физической сутью взаимодействия свай в группе через грунтовую среду, как показано в работе [Готман Н.З.] возникает эффект «обжатия» свай грунтом при нагружении, т.е. возникают дополнительные нормальные радиальные напряжения. Сила обжатия зависит от шага свай и их длины. С увеличением расстояния между сваями в группе обжатие уменьшается до нуля и возрастает с уменьшением шага. Результаты исследования показывают, что осадка свайного куста больше, чем осадка одиночной сваи при равных нагрузках на сваю. Данное положение для призматических свай справедливо если расстояние между сваями от $3d$ до $6d$. Предельное сопротивление грунта основания в кусте свай значительно выше, чем одиночной сваи и уменьшается при увеличении расстояния между сваями. Особенно такой эффект обжатия, по нашему мнению, будет более эффективно проявляться при использовании свай с поверхностными и концевыми уширениями. В СП 24.13, в научной литературе отсутствуют данные по исследованию работы и расчёту группы свай с уширениями. Поэтому уточнение расчётных схем и методов расчёта свай с поверхностными и концевыми уширениями в группе является актуальным.

Несущая способность свай с поверхностными и концевыми уширениями в группе складывается из сопротивления грунта в основании

свай, или концевого уширения, её боковой поверхности призматической части и боковой поверхности поверхностного уширения.

Рассмотрим расчётные схемы для двух случаев группы свай с концевыми сферическими уширениями:

1) с концевыми сферическими уширениями (жёсткими), отстоящими друг от друга на расстоянии a_1 ;

2) с концевыми сферическими уширениями, с пересекающимися диаметрами.

Расчётная схема таких свай с уширениями в составе группы для определения предельного сопротивления строится с использованием основных положений строится следующим образом.

На схеме показываем в поперечном разрезе куст свай с концевым уширением с количеством свай, не менее трёх. Определение границ условного фундамента при расчете осадки свайных фундаментов с уширением определяем снизу – плоскостью АВ, проходящей через нижние концы свай с уширениями; с боков – вертикальными плоскостями АВ и БГ, отстоящими от осей крайних рядов вертикальных свай с уширениями на расстоянии $0,5$ шага свай (рис. 1), но не более $1,5 d$ (d – диаметр или сторона поперечного сечения свай), а при наличии наклонных свай – проходящими через нижние концы этих свай; сверху – поверхностью планировки грунта ВГ. Особенностью работы группы свай с концевыми уширениями по второй расчётной схеме, рассмотренной на рисунке 2 является пересечение радиусов уширений на конце сваи, например, в результате инъекционного закрепления грунта. В данном случае система пересекающихся концевых уширений работает как плита, а сама группа или куст свай включается в работу после устройства уширений как фундамента глубокого заложения коробчатого типа. В данной работе рассмотрена группа свай с уширениями по первой расчётной схеме.

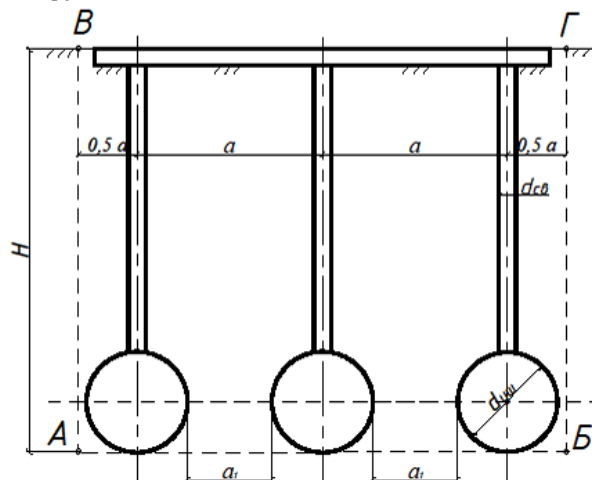


Рис. 1. Расчётная схема группы свай с концевыми сферическими уширениями, отстоящими друг от друга на расстояние a_1

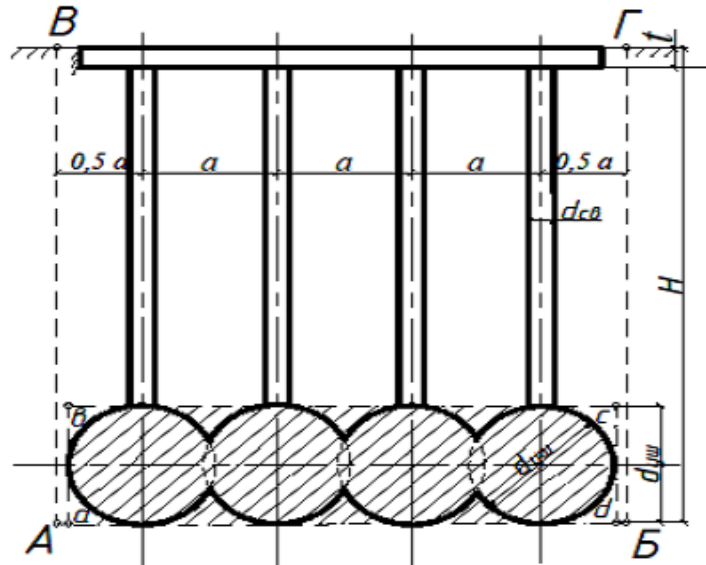


Рис. 2. Расчётная схема группы свай с концевыми сферическими уширениями, пересекающимися друг друга

Расчет осадки условного фундамента производим методом послойного суммирования деформаций линейно-деформируемого основания с условным ограничением сжимаемой толщи (см. СП 22.13330). Вертикальное нормальное напряжение, определяющее деформации и глубину сжимаемой толщи, подсчитывается только от действия нагрузки, приложенной к свайному фундаменту, т.е. вес грунта в пределах условного фундамента не учитывается. Начальные напряжения определяются с учетом экскавации котлована. При расчете оснований опор мостов условный фундамент допускается принимать ограниченным с боков вертикальными плоскостями АВ и БГ, отстоящими от наружных крайних рядов вертикальных свай на расстоянии a_1 .

При этом эпюры давлений под нижним концом уширений будут накладываться друг на друга. В результате максимальное давление под уширением в группе, как показывают экспериментальные исследования, превышают величину давления от одной сваи $\sigma_1 > \sigma_2$, возрастает и площадь передачи давления на основание (рис. 3). В этом случае, как и для простых свай, осадка свайного куста с уширениями при равных нагрузках на сваю будет больше, чем осадка одиночной сваи с уширениями. Данное положение справедливо в том случае, если $s < 3d$. Происходит эффект взаимного влияния свай друг на друга. При расстоянии между сваями $s > 3d$ – это влияние уже практически незначительно.

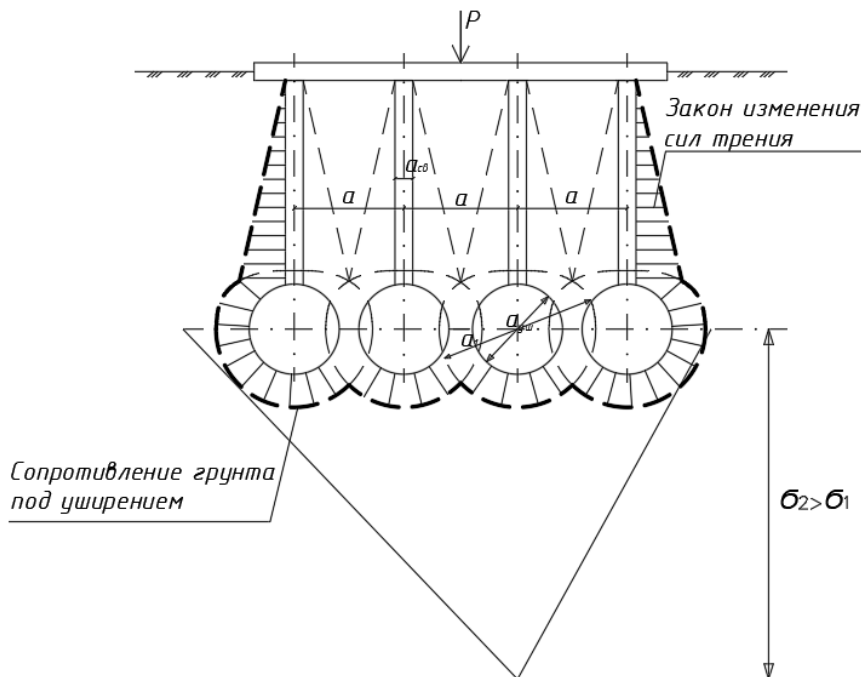


Рис. 3. Схема эпюры максимального давления под нижним концом группы свай с концевым сферическим уширением

Численное моделирование и расчёт с помощью специализированных программных комплексов позволяют решать сложные геотехнические задачи, в том числе для анализа работы кустов свай с концевыми сферическими уширениями. Однако, взаимодействие компонентов этой системы требует теоретического обоснования сопротивления и аналитического подтверждения работы фундаментов в грунтовой среде, особенно в сложных инженерно-геологических условиях.

Расчётная модель сваи с концевым сферическим уширением, образованным путём втрамбованного щебня, создавалась с использованием геотехнического комплекса Plaxis 2D Foundation (задача осесимметричная) согласно (СП 24.13330.2011), как ячейка с горизонтальными связями по границе влияния сваи с соседними сваями при условии равномерного нагружения соседних свай. Грунт моделировался 15-узловыми конечными элементами с размером каждого $567,41 \times 10^{-3}$ м. Передача усилия со сваи с уширением на основание вызывает напряжённо-деформированное состояние в окружающем околосвайном пространстве. Форма очертания и значения эпюр напряжения определяются не только величиной этого уси-

лия, но и размерами и геометрией самой конструкции сваи и уширения. Физико-механические характеристики грунтового массива, сложенного лёссовым мягкопластичным суглинком и бурой мягкопластичной глиной, моделировались в эксперименте из таблицы 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства грунта

грунт	мощность	$\rho_{гр}$ г/ см ³	влажность	Угол внутреннего трения	Модуль деформации МПа	Сцепление кПа
суглинок лёссовый мягкопластичный	1,6м	1,87	0,215	19°	17	24
глина бурая мягкопластичная	9 м	2,12	0,28	15°	10	40

Свая принята длиной 17,5 метра с радиусом 400 мм и радиусом уширения 1,2 м. На первом этапе было проведено исследование по моделированию втрамбовывания щебня путём его уплотнения высотой столба 0,8 метра в скважине. После приложения нагрузки на сваю с уширением получали главные векторы напряжений в грунтовом массиве от вертикального нагружения при различном шаге свай от 3 до 9 $d_{уш}$ (рис. 4).

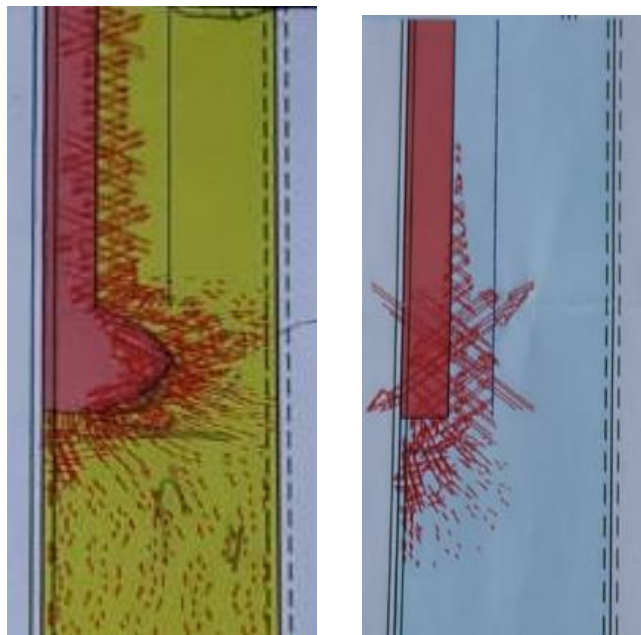


Рис. 4. Главные векторы напряжений в грунтовом массиве при вертикальном нагружении сваи с концевым уширением (а) и без уширения (б) при шаге свай в кусте $6d_{уш}$

На рисунке 4 стрелками показано направление развития деформаций (уплотнения) грунта и его выброс от пяты и тела сваи с концевым уширением (а) и без него (б) при шаге свай в кусте равным $6d_{уш}$. Выброс грунта повлиял на изменение первоначальных физико-механических характеристик основания.

На втором этапе анализировали изополя вертикальных, горизонтальных и касательных

напряжений от вертикального нагружения (рис. 4 и 5). Результаты численного моделирования несущей способности свай с концевыми уширениями в сравнительном анализе с работой свай без уширения в кусте представлены в таблице 2 и на графиках – рисунки 6 и 7. Из таблицы 2 видно, что взаимовлияние свай с увеличением шага свай с уширениями до $6d_{уш}$ уменьшается, а при расстоянии $9d_{уш}$ полностью исключается.

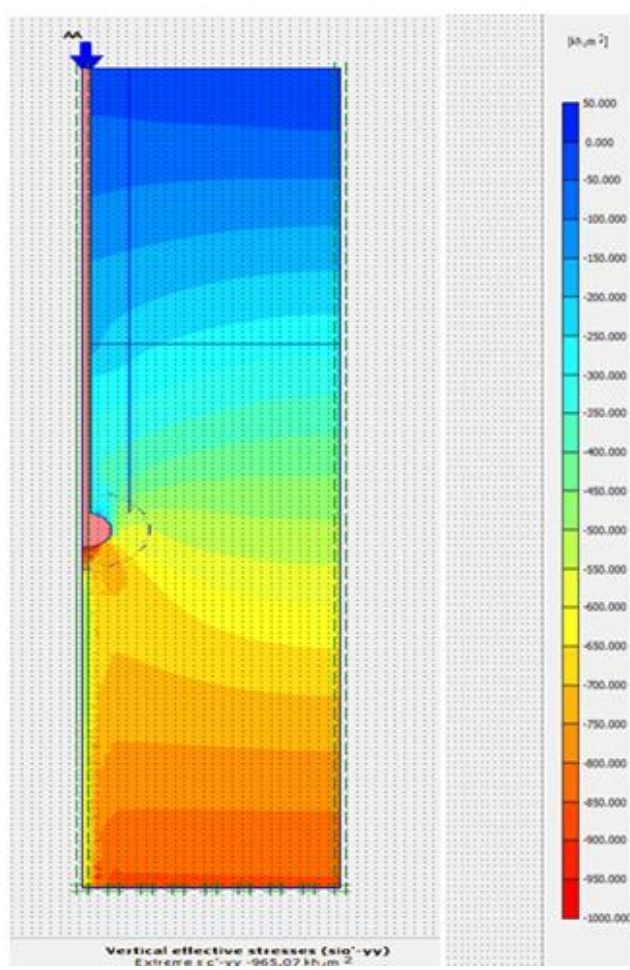


Рис. 5. Изополя вертикальных напряжений в грунтовом массиве с шагом свай $9d_{уст}$

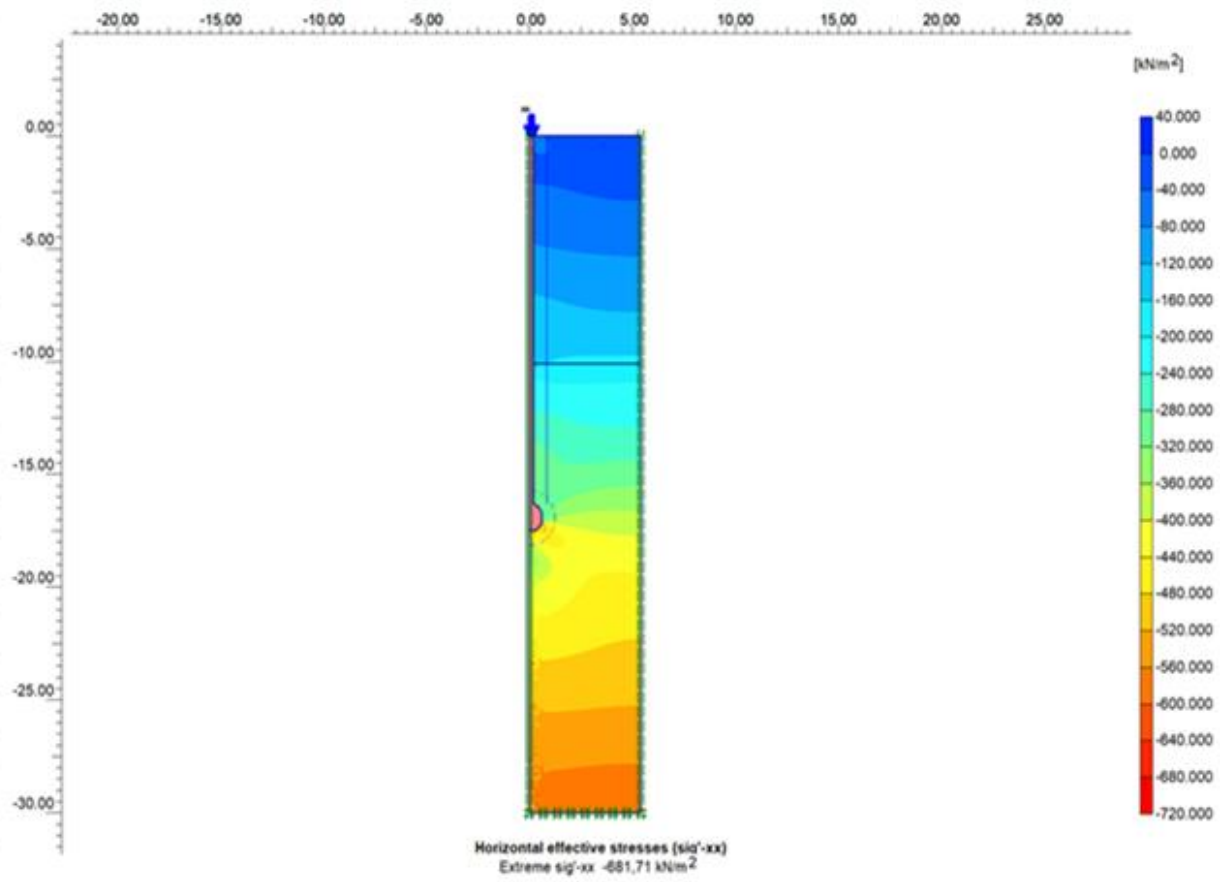


Рис. 6. Изополя горизонтальных напряжений в грунтовом массиве с шагом свай $9d_{уст}$

Таблица 2

Результаты численного анализа несущей способности свай с концевыми уширениями в сравнительном расчёте с работой свай без уширения в кусте

Наименование конструкции	$9d_{уш}$	$6d_{уш}$	$4,5d_{уш}$	$3,75d_{уш}$	$3d_{уш}$
Свая с уширением	86.708	105.557	134.46	159.593	207.345
Свая без уширения	72.885	82.309	93.6191	105.557	123.15
Относительное увеличение несущей способности свай с уширением в кусте по отношению к несущей способности одиночной сваи с уширением	1	1.22	1.55	1.84	2.39
Относительное увеличение несущей способности свай без уширения в кусте по отношению к несущей способности одиночной сваи без уширения	1	1.13	1.28	1.45	1.69

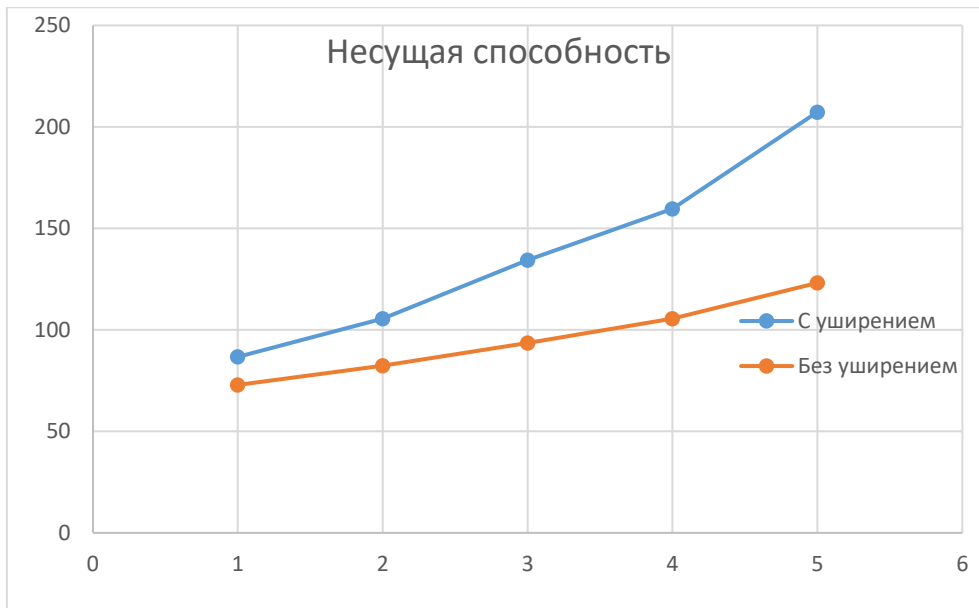


Рисунок 6 График несущей способности (по вертикали – тн) свай с концевым уширением и без в зависимости от шага свай (по горизонтали 1 - $9d_{уш}$, 2 - $6d_{уш}$, 3 - $4,5d_{уш}$, 4 - $3,75d_{уш}$, 5 - $3d_{уш}$)

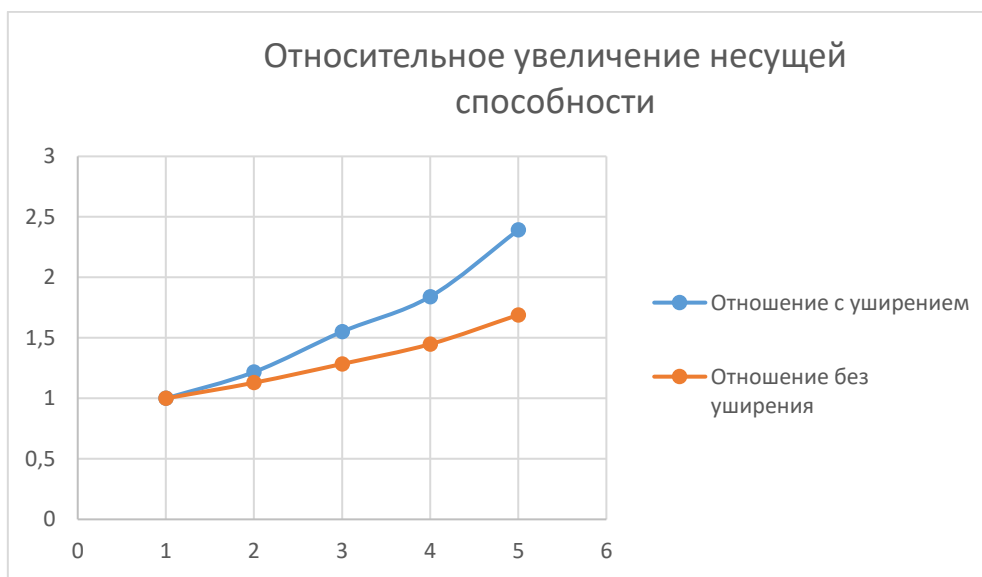


Рис. 7. Относительное увеличение несущей способности (по вертикали – раз) свай с концевым уширением и без в зависимости от шага свай (по горизонтали 1 - $9d_{уш}$, 2 - $6d_{уш}$, 3 - $4,5d_{уш}$, 4 - $3,75d_{уш}$, 5 - $3d_{уш}$)

Выводы:

В результате численного анализа несущей способности свай с концевыми уширениями в сравнительном расчёте с работой свай без уширения в кусте выявлено:

- вертикальные и горизонтальные напряжения в грунтовом массиве возрастают при уменьшении шага свай с уширениями в группе;
- направление развития деформаций (уплотнения) грунта и его выброс от пяты и тела свай с концевым уширением и без него при шаге свай в кусте равным $6d_{уш}$ показывает, что выброс грунта повлиял на изменение первоначальных физико-механических характеристик основания.

• график несущей способности свай с концевым уширением и без в зависимости от шага свай показал, что произошло относительное увеличение несущей способности свай с уширением в кусте по отношению к несущей способности одиночной сваи с уширением в 2,4 раза, а относительное увеличение несущей способности свай без уширения в кусте по отношению к несущей способности одиночной сваи так же без уширения – в 1,7 раз.

Список литературы

1. Daiva A. Seavey, Scott A. Ashford. Effects of construction methods on the axial capacity of drilled shafts, Издательство: Department of Structural Engineering University of California. 2004.
2. V.N.S. Murthy. Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Издательство: Marcel Dekker, Inc. 2002. – 741-751с.
3. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений: учеб. пособие для вузов: Спец.: «Пром. и гражд. стр-во» / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288с.
4. Зоценко Н.Л., Винников Ю.Л., Бабенко В.А. Усиление фундаментов общественного здания методом вдавливания свай // реконструкция, Санкт-Петербург-2005г.: Материалы международного симпозиума. Ч.2.-С.Петербург, 1993.с.130-133.
5. Тер-Мартirosян А. З. «Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения».
6. Купчикова, Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жёсткость основания / Н. В. Купчикова // Журнал «Промышленное и гражданское строительство» №10 / -Москва, 2007 г.
7. Polishchuk, A. I. Numerical Analysis of Helical Pile-Soil Interaction under Compressive Loads [Электронный ресурс] / А. I. Polishchuk, F. A. Maksimov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – 262012099. – Режим доступа:
8. Купчикова Н.В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 12 (111). С. 1361–1368.
9. Купчикова Н.В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчёта // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 1 (48). С. 88-96.
10. Купчикова Н.В. Методика расчёта свай с уширениями, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 24-26.
11. Купчикова Н.В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов под фундаментами физико-химическими методами с применением добавок-пластификаторов // Вестник гражданских инженеров. 2014. № 3 (44). С. 123-132.
12. Мангушев, Р. А. Современные свайные технологии [Учеб. пособие] / Р.А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин – М.: Издательство АСВ, 2010. – 239с.
13. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений:[Учеб. пособие для вузов] Спец.: «Пром. и гражд. стр-во» / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288с.
14. Федоров, В.С., Купчикова, Н. В. Конструктивные решения свайных фундаментов с поверхностными и концевыми уширениями для структурно-неустойчивых оснований // Вестник гражданских инженеров.- 2011. - №1. – С.88-91.
15. Купчикова, Н. В. Исследование напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в структурно-неустойчивых основаниях: диссертация кандидата технических наук : 05.23.02 / Купчикова Наталья Викторовна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ].- Москва, 2010.- 200 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/32.
16. Григорян, А. А. Свайные фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах:[Учеб. пособие]/ А. А. Григорян. – М.: Стройиздат, 1984. – 157с.
17. Луга, А. А. Свайные работы:[Учеб. пособие] / А. А. Луга - М. : Трансжелдориздат, 1947.- С. 42-51.
18. Есипов, А. В. Взаимодействие микросвай с грунтовым основанием при усилении фундаментов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.02.- Тюмень, 2002.- 168 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/2864-5
19. А. И.Сапожников, А. И. Модель и эффективные расчётные схемы грунтового полупространства / А. И. Сапожников/ Изв. вузов. Сер.: Строительство. – М.: 1996. - Вып. 4. - С. 26-31.
20. Бондаренко, В.М. Федоров, В.С. Модели при решении технических задач [Текст]/В.С.Федоров, В.М. Бондаренко// Перспективы развития строительного комплекса: материалы VIII международной научно-практической конференции/ред. В. А. Гутман, Д. П. Ануфриев – Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ»,2014. – С.262-267.
21. Купчикова, Н. В. Численные исследования работы системы «свайное основание - усиливающие элементы» методом конечных элементов / Н. В. Купчикова // Журнал «Строительство и реконструкция» №6 (50) / -Москва, 2013 г. С.28-36.
22. Бабенко, В. А. Трубчатые микросваи с уширением в нижней части из втрамбованного жёсткого материала. : автореферат. дис. Кандидата технических наук : 05.23.02 – Днепропетровск, 1996 – Количество страниц: 24с.
23. Способ устройства инъекционной сваи: пат. на изобретение № 2238366 Рос. Федерация: Е 02 D 5/34/А.И. Полищук, О.В. Герасимов, А. А. Петухов, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин; заявл. 04.03.2003; опубл. 20.10.2004, Бюл. № 29
24. Инъекционная свая: пат. на полезную модель № 87718 Рос. Федерация: Е 02D 5/34/А.И. Полищук, А.А. Тарасов, Р.В. Шалгинов; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.10.2009, Бюл. № 29
25. Рытов, С. А. Устройство буринъекционных свай с применением электроразрядной технологии в различных грунтовых условиях. : автореферат. дис. Кандидата технических наук : 05.23.02 – Москва, 2009 – Количество страниц: 21с.
26. Rytov, S. A. New geotechnical technologies/ Proceedings of the 15th European Young Geotechnical Engineers Conference. Dublin, Ireland. 11-14 September 2002.- с.311-315.

27. Lemanza, W. Lesmana, A/ Deep soil improvement technique using combined deep mixing and jet grouting method// Proc. 17th Int. Conf/ on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering/ - Alexandria, Egypt, 5-9 October, 2009, с.2439/
28. Готман Ю.А. Определение оптимальных размеров грунтоцементного массива, снижающего перемещения ограждений глубоких котлованов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. Москва, 2011.
29. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А., Трофимов Е.Ю. Анкеры с дополнительной цементацией как активный метод защиты зданий и коммуникаций в зоне влияния глубоких котлованов. Жилищное строительство. 2014. № 6. С. 35-38.
30. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Расчет параметров свайного поля при усилении основания фундаментной плиты грунтоцементными сваями. Строительство и реконструкция. 2017. № 1 (69). С. 3-10.

© В. С. Фёдоров, Н. В. Купчикова, М. Д. Гавриков

Ссылка для цитирования:

Фёдоров В. С., Купчикова Н. В., Гавриков М. Д. Численные исследования работы свай с концевым сферическим уширением в составе группы свай // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2019. № 3 (29). С. 100–107.