

УДК 624.131

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ГРУНТА ПРИ
МАССОВОМ УСТРОЙСТВЕ СВАЙ ВЫТЕСНЕНИЯ****Маслов Андрей Евгеньевич,**магистрант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного
университета,
г. Санкт-Петербург, Россия**Мугинова Дания Валимухаммедовна,**магистрант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного
университета,
г. Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: andrey@maslovmail.ru**Аннотация**

Многолетний опыт строительства в условиях плотной городской застройки Санкт-Петербурга указывает на актуальность проблемы оценки технологического воздействия при устройстве свай вытеснения. Существующие нормативные документы не регламентируют методику определения технологического влияния свайных работ, а лишь указывают на необходимость его учета при проектировании. Текущее состояние вопроса создает запрос на разработку методики оценки влияния. Качественная и количественная оценка НДС грунта при погружении свай вытеснения была произведена с использованием метода конечных элементов. По результатам расчета определены ключевые факторы влияющие на формирование НДС грунта при устройстве свай вытеснения, а также произведена оценка влияния на здания окружающей застройки.

Ключевые слова: сваи вытеснения, забивные сваи, сваи Fundex, сваи DDS, сваи Atlas, технологические воздействия, оценка влияния, численное моделирование, PLAXIS

**STRESS-STRAIN STATE OF THE SOIL DURING THE MASS
INSTALLATION OF DISPLACEMENT PILES****Andrey E. Maslov,**master student of St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Saint-Petersburg, Russia

Dania V Muginova.

student of St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
Saint-Petersburg, Russia
E-mail: andrey@maslovmail.ru

ABSTRACT

Many years of experience in construction in the conditions of close urban development of St. Petersburg indicates the relevance of the problem of assessing the technological impact during the installation of displacement piles. Existing regulatory documents do not regulate the methodology for determining the technological impact of pile work, but only indicate the need to take it into account when designing. The current state of the issue creates a request for the development of an impact assessment methodology. Qualitative and quantitative assessment of the stress-strain state of the soil during the driving of displacement piles was carried out using the finite element method. Based on the results of the calculation, the key factors influencing the formation of the stress-strain state of the soil during the installation of displacement piles were identified, and an assessment was made of the impact on the buildings of the surrounding buildings.

Keywords: displacement piles, driven piles, Fundex piles, DDS piles, Atlas piles, technological impacts, impact assessment, numerical simulation, PLAXIS

Введение

Современные свайные технологии заняли большую нишу в устройстве фундаментов гражданских, промышленных, а также уникальных объектов строительства. Быстрые темпы роста крупных городов подталкивает инженеров на создание новых объемов строительства в условиях уже существующей городской застройки.

Устройство свай вытеснения происходит без извлечения грунта, что позволяет максимально эффективно использовать несущую способность грунтового массива, и в значительной степени повысить экономическую эффективность проекта. Однако область применения таких свай имеет свои ограничения, поскольку обладают большим технологическим влиянием на окружающий грунтовой массив [1, 2]. Многолетний опыт строительства в условиях тесной городской застройки Санкт-Петербурга показал, что случаи неравномерного и сложно прогнозируемого поднятия оснований фундаментов зданий соседней застройки, приводящие порой к серьезным последствиям, уже перестали быть редкостью. Деформации, полученные зданиями в процессе производства свайных работ, могут составлять значительную часть от общих деформаций, полученных в процессе всего строительства.

Актуальность проблемы

Одним из основным требований к проектированию объектов нового строительства является недопущение превышения предельных дополнительных деформаций зданий окружающей застройки. Существующие нормативные документы не регламентируют методику определения технологического влияния свайных работ, а лишь указывают на

необходимость его учета при проектировании [3]. Как показал многолетний опыт строительства в Санкт-Петербурге, деформации от технологий устройства свай вытеснения на конструкции зданий окружающей застройки могут составлять значительную часть от общих деформаций, полученных в процессе всего строительства.

Изучением прогноза технологического воздействия свай вытеснения и наблюдениями за деформациями зданий и массива грунта занимались многие ученые: Шашкин А.Г, Шацкий А.А. [1], В.М. Улицкий [2], И.П. Дьяконов, Р.А. Мангушев, Л.Н. Кондратьева [4], и другие.

Данные геодезических наблюдений при строительстве крупного жилого комплекса в центральной части Санкт-Петербурга недалеко от Смольного собора показали, что при производстве свайных работ зона технологического влияния составила более 70 м, а горизонтальные перемещения достигали 21 мм, направленные от фронта работ по устройству свай [1].

Изготовление на площадке строительства многофункционального комплекса в районе Казанского собора в Санкт-Петербурге 153-х свай «Fundex» диаметром 520 мм в течении всего 19 дней с направлением фронта свайных работ к межевой стене соседнего здания привели к поднятию межевой стены на 30 мм, а зона влияния по приблизительным оценкам составила 30 м [2].

Исследования границ практического применения свай «Fundex» отражены в научных работах Дьяконова И.П [4]. Автор отмечает, что при устройстве свай вытеснения типа «Fundex» на расстоянии до двух метров подъем стен сооружений может достигать 30 мм.

Анализ множества геотехнических мониторингов по оценке влияния устройства свайных работ на окружающую застройку провел В.М. Улицкий в своих работах [2]. Автор описывает поднятия от массового погружения свай вдавливанием фасадной стены соседнего здания на 10 мм находящегося на расстоянии более 10 м от площадки строительства на пер. Гривцова в районе Исаакиевской площади.

Изученность процессов

Исследованием вопросов взаимодействия свай с грунтом и явлений происходящих при их погружении занимались А.Г. Шашкин, А.А. Шацкий [1], В.М. Улицкий [2], С.Я. Боженков, А.А. Бирюков[5], В.Н. Голубков[6,7], В.К. Чернов[8], И.П. Дьяконов [4], Б. М. Гуменский [12], Р.А Мангушев., А.В. Ершов, С.В. Ершов [13], З.Г. Тер-Мартirosян [14] и другие.

Зона влияния и величина поднятия массива грунта зависят от многих факторов. Прежде всего от инженерно-геологических условий площадки строительства. Опыты и наблюдения, проведенные в разное время учеными С.Я. Боженковым [5], А.А. Бирюковым, А. Г. Шашкиным и А. А. Шацким [1, 2] показали, что погружение свай в песчаные грунты не вызывает существенных деформаций грунта, что свидетельствует о локализации процессов уплотнения в небольшой зоне вокруг свай. Однако при погружении свай в слабые глинистые грунты происходят значительные неравномерные поднятия поверхности, что негативно сказывается на конструкциях зданий, расположенных близко к площадке строительства. Полученные авторами данные позволили установить, что в глинистых грунтах зона поднятия имеет цилиндрическую форму и наблюдается на расстоянии в несколько метров:

3 - 8 диаметров свай, под острием уплотнение достигает глубины примерно в 4 диаметра [9].

Объяснить эти процессы можно опираясь на законы фильтрационной консолидации и принципа «эффективных напряжений», предложенных К. Терцаги [10]. Согласно его теории, полные напряжения в грунте складываются из напряжения, которое испытывает скелет грунта и давления в поровой жидкости.

$$\sigma_{tot} = \sigma_s + u_w \quad (1)$$

При погружении свай силы вытеснения грунта в начальный момент времени воспринимаются поровой жидкостью. Затем в результате фильтрационной консолидации происходит отжатие воды из пор в области меньшего порового давления с перераспределением напряжений на скелет грунта и его последующей переупаковкой (уплотнением). Поскольку в глинистых грунтах вода находится в связном и рыхлосвязном состоянии, за счет действия межмолекулярных связей процесс фильтрации затруднен. Такое недренированное поведение грунта при внедрении свай приводит к значительному росту избыточного порового давления, из-за чего происходит мгновенный выпор грунта в стороны и наверх от ствола свай.

Однако эффект поднятия носит временный характер. В процессе фильтрационной консолидации и рассеивания избыточного порового давления, околоствойное пространство уплотняется, восстанавливаются коагуляционные связи, а деформации массива грунта протекают в обратном направлении. В связи с низкой водопроницаемостью глинистых грунтов процесс консолидации носит затухающий характер и может затянуться на долгие годы. Такие мгновенные деформации выпора приводят к негативным последствиям, так как ведут к разрушению природной структуры грунтов и ухудшению физико-механических характеристик, что в дальнейшем может приводить к дополнительным осадкам зданий окружающей застройки, попавших в зону влияния строительства.

Метод оценки технологического влияния

Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, который стал революционным в решении сложных инженерных задач, связанных с механикой деформируемых тел, теплообмена, гидродинамики, электродинамики и др.

Моделирование НДС грунта при погружении свай вытеснения было произведено с использованием метода конечных элементов, с применением модели упрочняющегося грунта - Hardening Soil Small (HSS), позволяющей более корректно моделировать работу грунта при малых деформациях. Для математического описания модели поведения грунта необходимы стандартные прочностные параметры, описывающие разрушение по критерию Кулона-Мора, и деформационные:

φ – угол внутреннего трения, [°];

c – сцепление, [кПа];

E_{oedref} – одометрический модуль деформации [кПа];

ν – коэффициент Пуассона;

Параметры для учета упрочнения грунта объемному сжатию и формоизменению с ростом напряжения:

E_{50ref} – модуль жесткости при 50% прочности [кПа];

E_{ref} – модуль жесткости при разгрузке [кПа];

m – степенной показатель.

$$E_{50}^{ref} = E \cdot \left(\frac{c \cdot ctg\varphi + p^{ref}}{c \cdot ctg\varphi + \sigma_3} \right)^m, \quad (2)$$

$$E_{oed}^{ref} = \frac{1-\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)} \cdot E \cdot \left(\frac{c \cdot ctg\varphi + p^{ref}}{c \cdot ctg\varphi + \sigma_1} \right)^m \quad (3)$$

, где p^{ref} – эталонное давление 100 кПа;

σ_3 – боковое давление в слое;

h – глубина заложения инженерно-геологического элемента, м;

А также параметры, необходимые для описания работы грунта при малых деформациях: модуль сдвига при сверхмалых деформациях G_{ref} и пороговое значение сдвиговой деформации $\gamma_{0,7}$.

При отсутствии динамических испытаний грунта можно воспользоваться зависимостью Гардина-Блэка [11]:

$$G_0^{ref} = 33 \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} \text{ [МПа]}, \quad (4)$$

где e – коэффициент пористости грунта.

Используя исходную зависимость, можно найти связь между пороговой деформацией сдвига $\gamma_{0,7}$ и параметрами разрушения в модели.

$$\gamma_{0,7} \approx \frac{1}{9G_0} \left[2 \cdot c' (1 + \cos(2\varphi')) - \sigma'_1 (1 + K_0) \cdot \sin(2\varphi') \right], \quad (5)$$

Методика расчета основана на принципе расширения цилиндрического тела в массиве грунта, которое уже имеет некий начальный объем. Ранее уже было получено аналитическое решение задачи оценки НДС массива грунта, которое основано на решении задачи Ляме об определении напряжений и перемещений в толстостенных полых цилиндрах, и приведено в работе З.Г. Тер-Мартirosяна, М.В. Королева, В.М. Конаш [15]. Подобное допущение позволяет решить задачу вытеснения околосвайного массива грунта, имитируя процесс погружения сваи или раскатчика.

Моделирование тела сваи выполнялось объемными конечными элементами в программном комплексе PLAXIS. Увеличение объема тела сваи выполнялось в режиме консолидации, с учетом фактора времени, различными способами, используя внутренние инструменты программы:

Заданное объемное расширение тела Volume Strain, %;

Заданное перемещение стенок скважины сваи Prescribe displacement, м;

Расширение стенок скважины сваи путём приложения распределенной нагрузки на стенки, кН/м.

Значение распределенной нагрузки, необходимое для расширения стенок скважины, определяется итерационным методом, опираясь на коэффициент бокового давления K_0 , деформационные и прочностные характеристики грунтов.

Ключевые факторы, влияющие на НДС грунта при устройстве свай вытеснения

Для выявления зависимостей влияния различных факторов на поведение массива грунта при устройстве свай вытеснения было произведено множество численных экспериментов с одиночной сваей. В простейшем виде задачу можно представить в осесимметричной постановке на примере расширения тела сваи с диаметром $\varnothing 200$ мм до диаметра $\varnothing 400$ мм, взяв произвольное напластование инженерно-геологических элементов характерное для условий Санкт-Петербурга.

Погружение свай вытеснения в водонасыщенные глинистые грунты, на основании процессов, описанных ранее, всегда сопровождается формированием избыточного порового давления. На рисунке 1 представлены изополя вертикальных деформаций грунта, ограниченные зоной влияния, на рисунке 2 – изополя избыточного порового давления при различных способах моделирования устройства сваи вытеснения диаметром 400 мм и длиной 20 м.

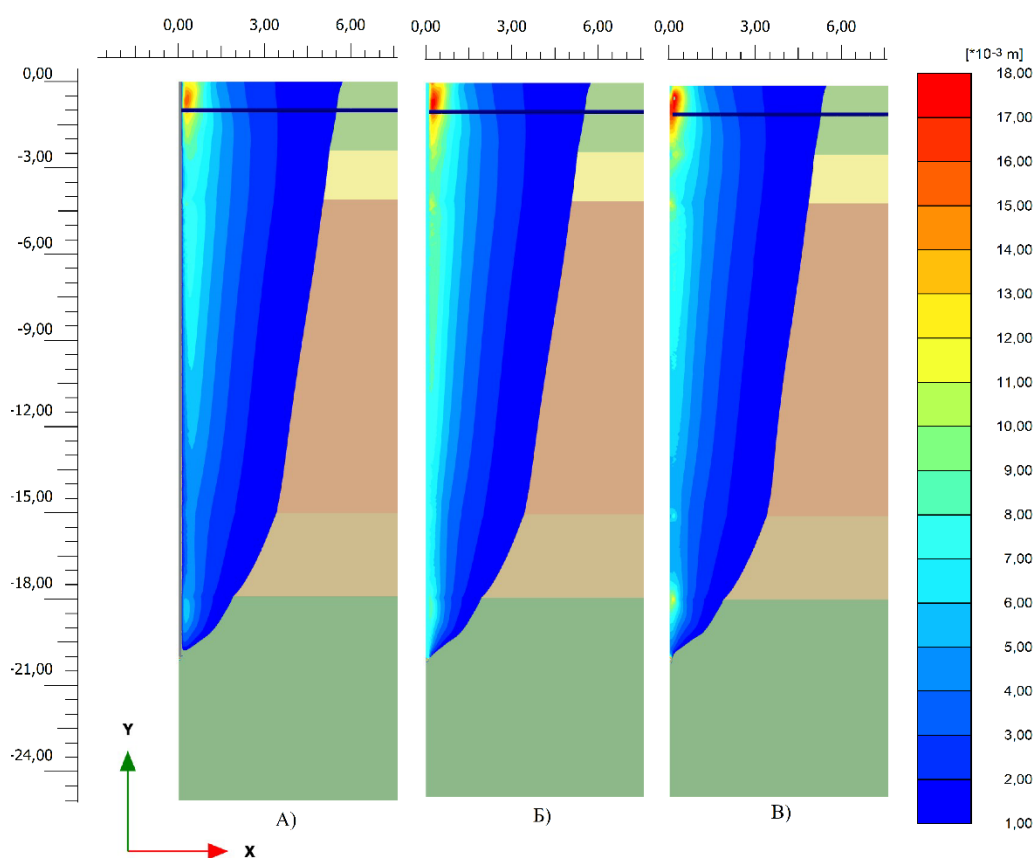


Рисунок 1. Изополя вертикальных деформаций при моделировании различными способами: А) Volume Strain, Б) Prescribe displacement, В) Распределенная нагрузка, мм

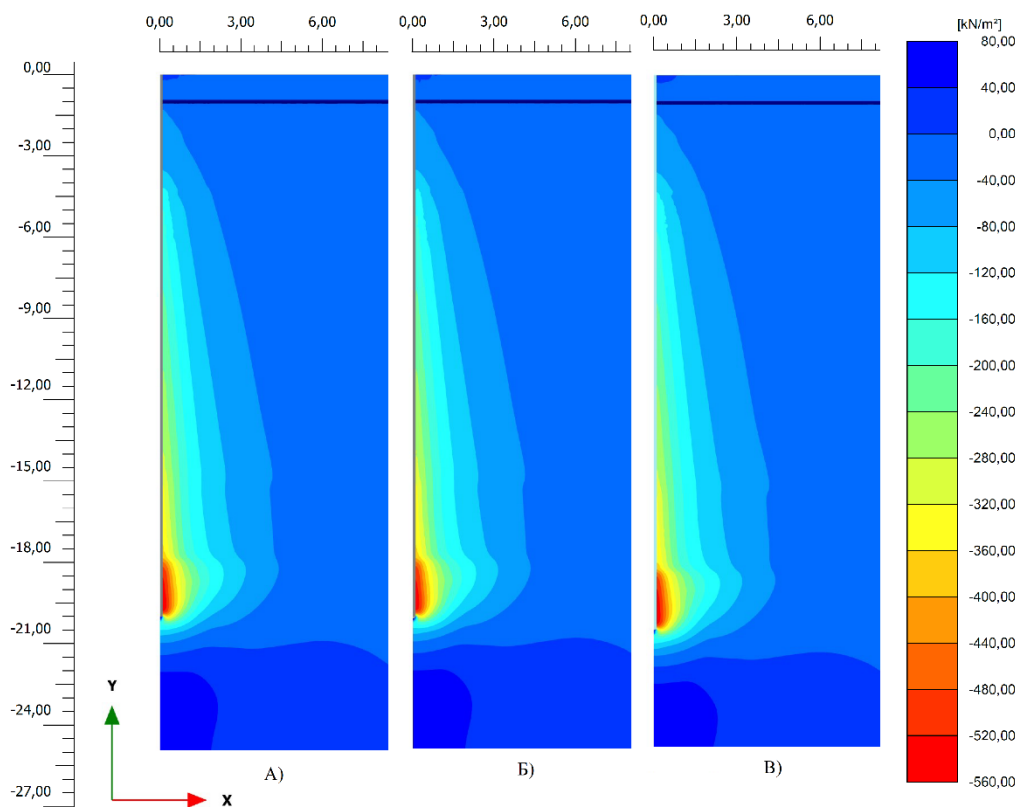


Рисунок 2. Изополя избыточного порового давления при моделировании различными способами: А) Volume Strain, Б) Prescribe displacement, В) Распределенная нагрузка, кН/м²

Все три описанных способа моделирования устройства сваи показали практически идентичное формирование НДС грунта, что свидетельствует о возможности использовать каждого из предложенных вариантов. Однако способ моделирование распределенной нагрузкой не рекомендуется к применению, поскольку процесс определения необходимой нагрузки для обеспечения заданного перемещения массива достаточно трудоёмкий. Наиболее эффективный вариант моделирования НДС грунта при устройстве сваи вытеснения, по мнению авторов, является инструмент расширяющегося объема – Volume Strain.

Диаметр сваи

Размер поперечного сечения погружаемой сваи напрямую влияет на НДС грунта. Очевидно, чем больше диаметр сваи, тем большие деформации претерпевает грунтовый массив. Расчет зависимости деформаций от погружения одиночной сваи вытеснения производился для свай круглого сечения в диапазоне значений диаметра 400 – 600 мм с шагом 50 мм. По результатам расчета построен график изменения радиуса поднятия поверхности грунта от диаметра погружаемой сваи, представленный на рисунке 3.

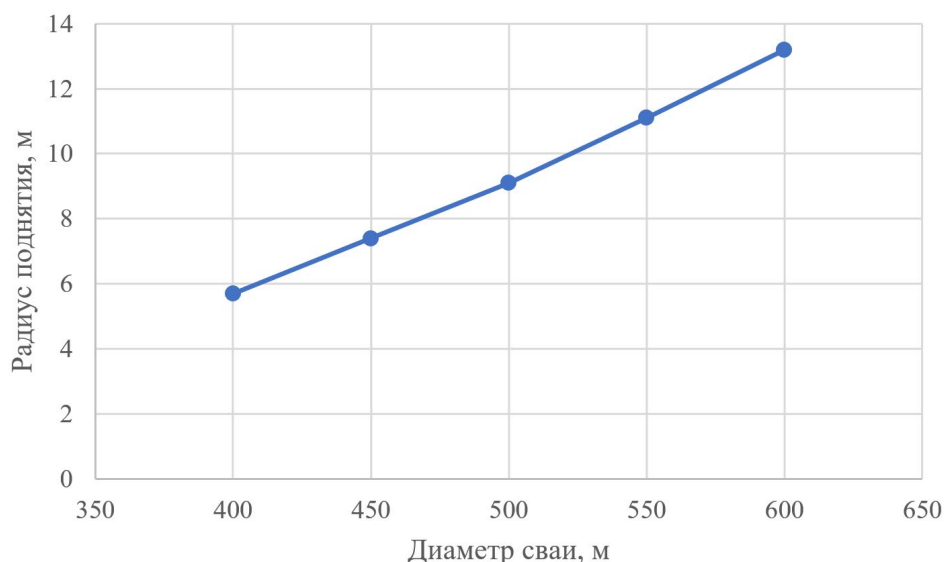


Рисунок 3. Зависимость радиуса зоны влияния от диаметра сваи

Проанализировав график, можно сделать вывод о том, что увеличение радиуса поднятия поверхности грунта от диаметра сваи происходит по линейной зависимости.

Длина сваи

Анализ изменения напряженно-деформированного состояния грунтовой среды в зависимости от глубины погружения сваи вытеснения привел к выводу, что распространение активной зоны деформаций и максимальные значения выпора дневной поверхности происходят при погружении сваи на первые 1-1,1 м глубины. На рисунке 4 представлен график зависимости вертикальных деформаций от горизонтального удаления от оси свай при различных глубинах погружения сваи вытеснения. Дальнейшее погружение сваи обладает пренебрежимо малым воздействием на деформации верхних слоев грунта, увеличивая на доли миллиметров радиус активной зоны деформаций и максимальное значение выпора. Однако при погружении длинных свай стоит учесть накопительный эффект малых деформаций.

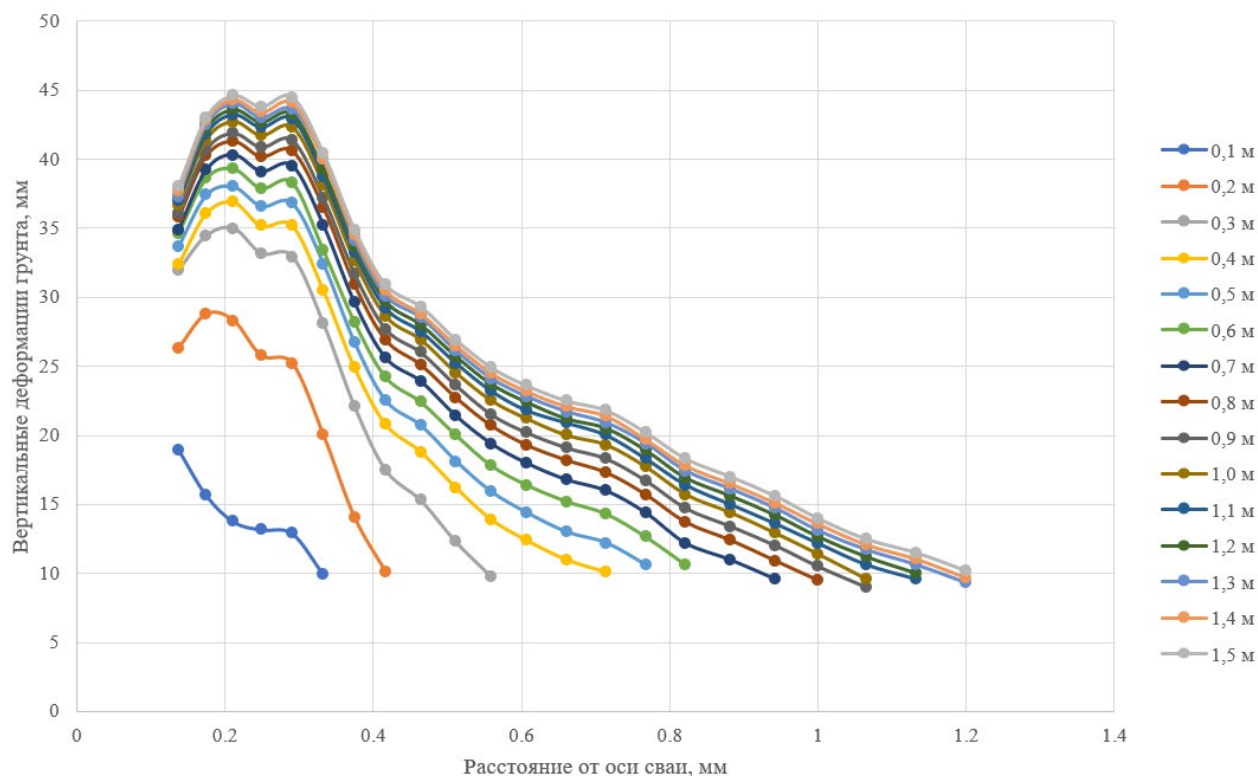


Рисунок 4. Зависимость вертикальных деформаций от горизонтального удаления от оси сваи при различных глубинах погружения сваи вытеснения

Инженерно-геологические условия

Наибольшее влияние на формирование НДС грунтового массива имеют инженерно-геологические условия строительной площадки. На основании описанных ранее происходящих фильтрационных процессов, наибольшее внимание при оценке технологического воздействия стоит уделить условиям дренирования грунта. Анализ поведения грунтов с различными условиями дренирования произведен на примере расчета устройства сваи вытеснения в текучепластичный суглинок с коэффициентом фильтрации $K_f=0,1$ м/сут, и в песок средней крупности с коэффициентом фильтрации $K_f=10$ м/сут.

Результаты расчета свидетельствуют о том, что в хорошо дренируемых условиях области поднятия окружающего массива практически отсутствуют, что свидетельствует о локализации процессов уплотнения и подтверждается практическими наблюдениями, описанными в работах С.Я. Боженкова, А.А. Бирюкова, А. Г. Шашкина и А. А. Шацкого [1, 2, 5].

Направление фронта свайных работ

Анализ данных геотехнических мониторингов и наблюдений свидетельствует о том, что массовое погружение свай суммируют эффект выпора грунта, распространяя волну поднятия на большие расстояния [1, 2, 4]. Расчет технологического влияния и изменение НДС массива, сложенного водонасыщенными глинистыми грунтами, при устройстве свайного поля с учетом направления фронта работ производилась в пространственной постановке задачи на примере погружения экспериментального свайного поля с сеткой расположения 11×11 свай и шагом 2 м. Наглядно выраженное направление выпора грунта представлено на рисунке 5.

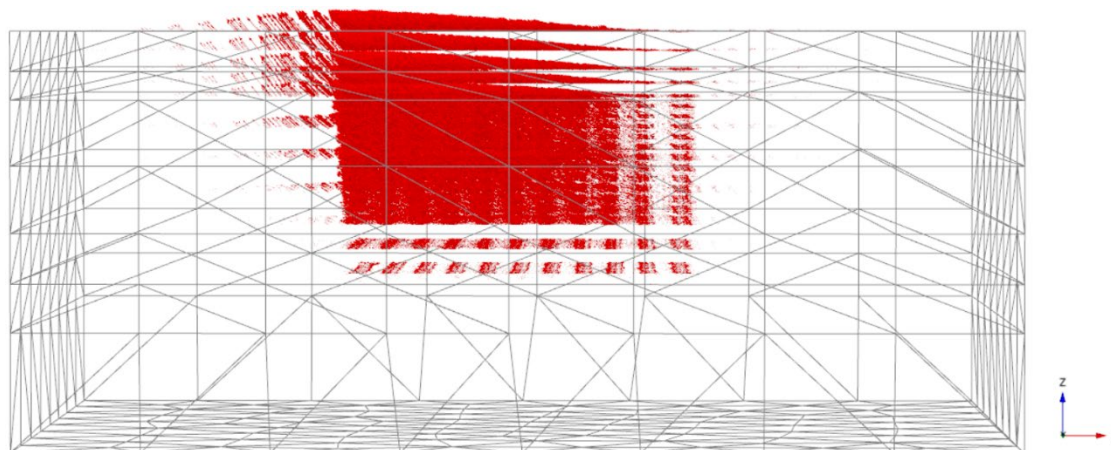


Рисунок 5. Направление деформаций массива грунта

Характерной особенностью распространения волны является её сонаправленность с фронтом свайных работ: предыдущий выполненный ряд свай препятствует распространению волны поднятия, поэтому «отжатие» грунта происходит преимущественно вперед по ходу погружения [5].

Результаты расчета оценки влияния

Оценка технологического влияния при устройстве свай вытеснения производилась на примере строительства многоэтажного жилого комплекса, расположенного в северной части Санкт-Петербурга в Выборгском районе вдоль Большого Сампсониевского проспекта. Участок расположен в зоне промышленной застройки различной этажности, которая попадает в расчетную зону влияния строительства. Свайное поле корпуса 5 и Многоэтажного паркинга представлено в виде свай вдавливания сплошного квадратного сечения 350×350 мм и длиной 17-18 м, выполняемые с дневной поверхности.

Участок расположен в зоне промышленной застройки различной этажности, за которыми был организован геотехнический мониторинг. На рисунке 6 представлена схема расположения объектов строительства, зданий окружающей застройки и геодезических марок. В зону влияния строительства попадают индивидуальные одноэтажные гаражные постройки и здание производственного назначения.

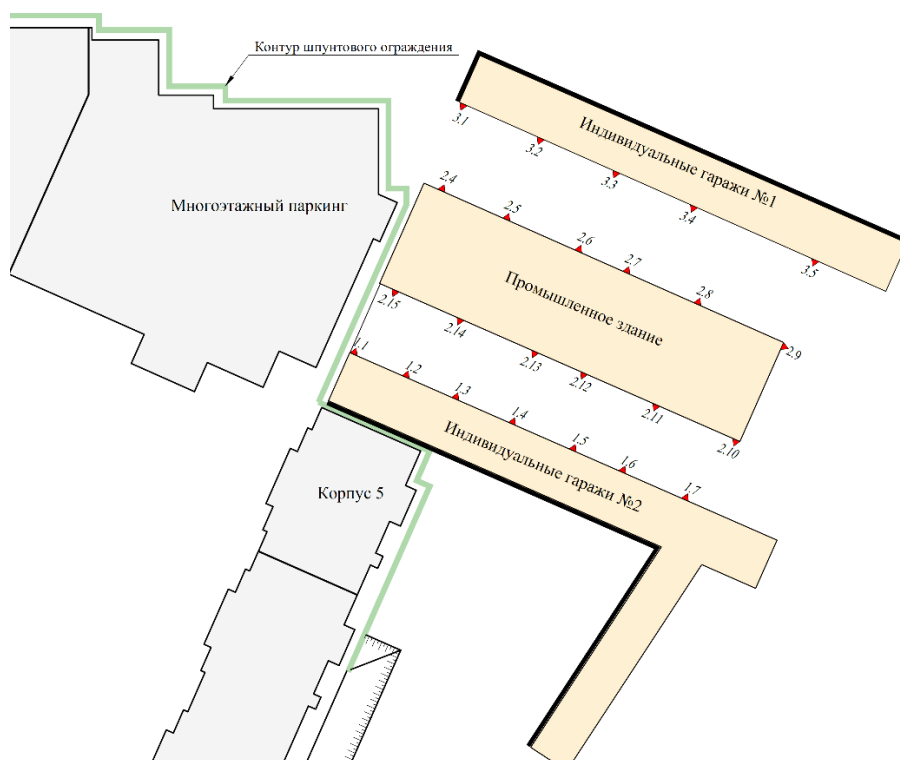


Рисунок 6. Схема расположения объектов строительства, зданий окружающей застройки и геодезических марок

Условия площадки характеризуются залеганием насыпного грунта мощностью 1,5-3,6 м, современных озёрно-морских песков пылеватых и суглинков текучих на глубину 5,2 м, озёрно-ледниковых отложений, представленные песками пылеватыми, супесями и суглинками пластичными и текучими до глубины 21,2 м, и полутвердыми и твердыми на глубину до 30 м.

Расчет оценки технологического влияния от устройства свай вытеснения на окружающую застройку производился с применением МКЭ в численной программе PLAXIS. Расчет погружения свайного поля производился в соответствии с последовательностью производства работ на строительной площадке.

Результаты расчета показали закономерные деформации выпора в межсвайном пространстве, а также за его пределами на расстоянии до 43 м. На рисунке 7 представлены: изополя вертикальных деформаций массива грунта при устройстве свайного поля, ограниченные зоной влияния с деформациями подъема до 1 мм.

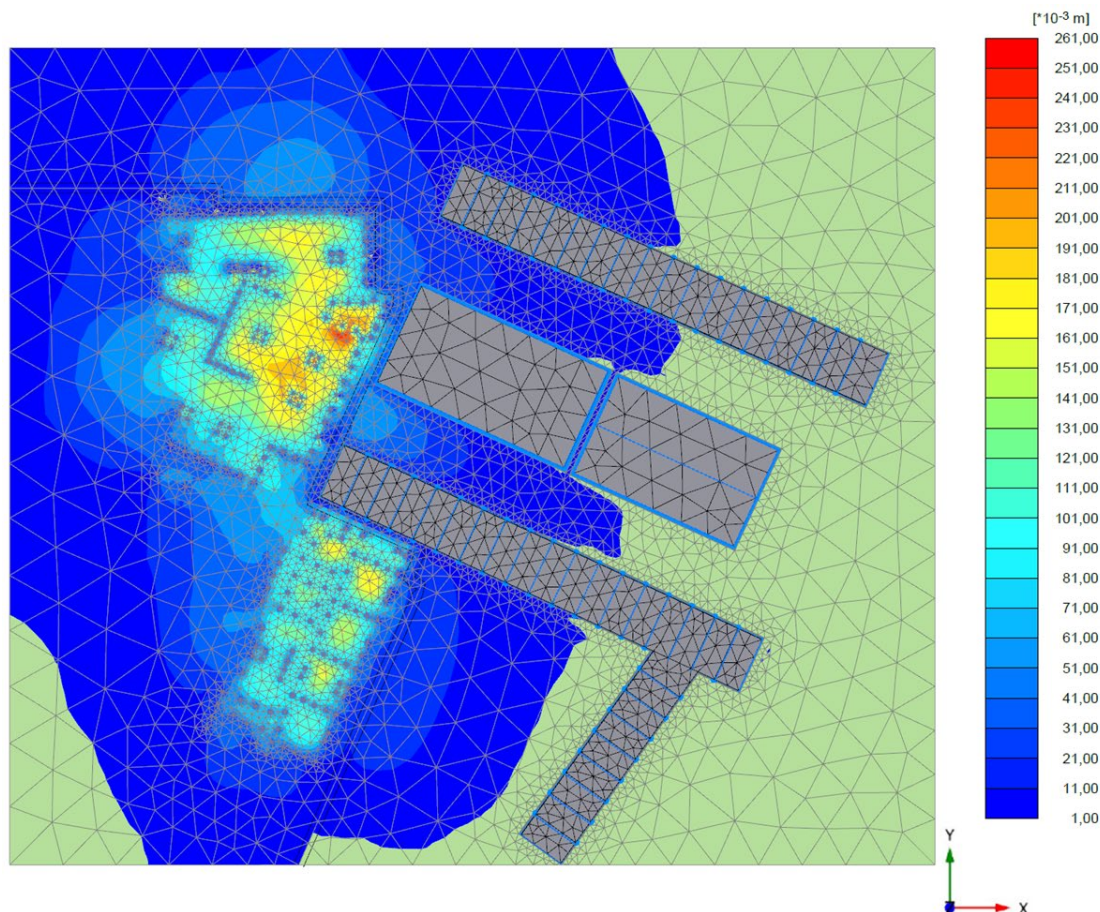


Рисунок 7. Зона технологического влияния при устройстве свай вдавливания

При моделировании технологического влияния от устройства массового погружения свай вдавливания получены следующие результаты:

Максимальные деформации индивидуальных гаражей №1 – 9,2 мм;

Максимальные деформации промышленного здания – 23,5 мм;

Максимальные деформации индивидуальных гаражей №2 – 24 мм;

Результаты геотехнического мониторинга окружающей застройки представлены в виде графиков максимальных зарегистрированных деформаций геодезических марок в период проведения свайных работ. На рисунках 8-11 представлены совмещенные графики результатов расчетных и фактических деформаций зданий окружающей застройки.

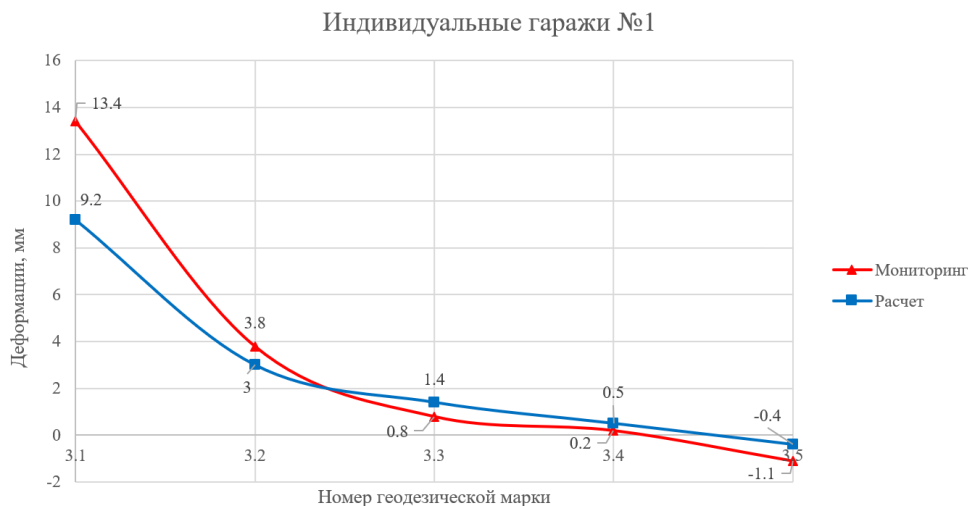


Рисунок 8. Совмещенные графики расчетных и фактических деформаций

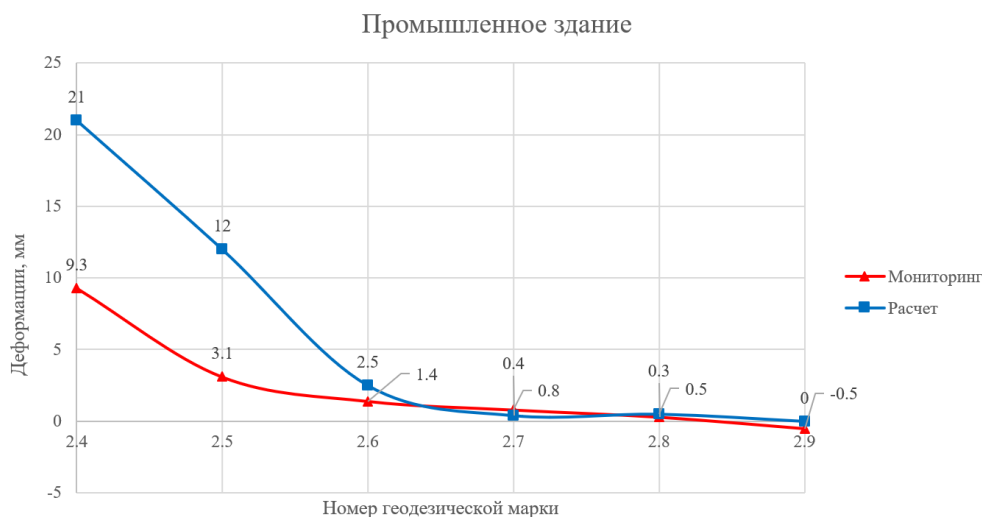


Рисунок 9. Совмещенные графики расчетных и фактических деформаций

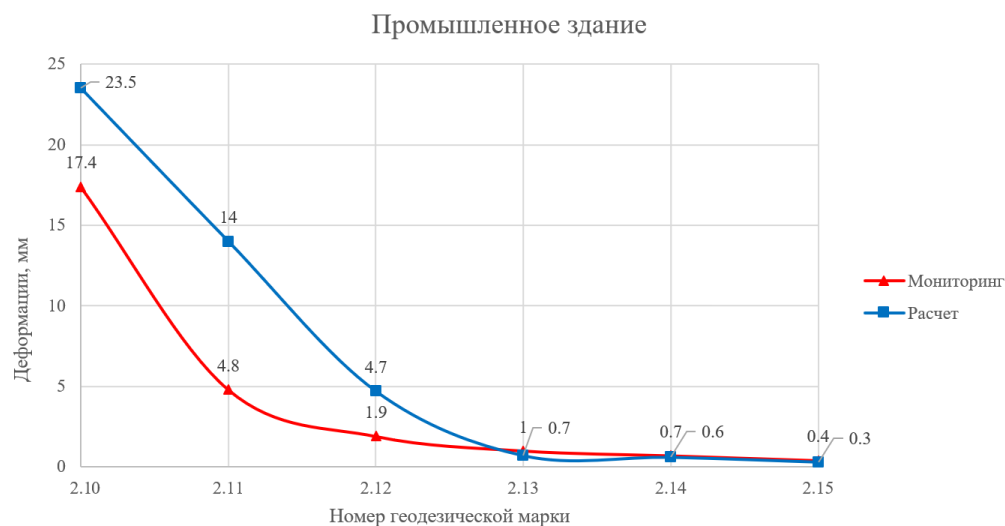


Рисунок 10. Совмещенные графики расчетных и фактических деформаций



Рисунок 11. Совмещенные графики расчетных и фактических деформаций

По результатам расчета можно сделать вывод об удовлетворительной сходимости качественной и количественной составляющих расчетных и фактических деформаций зданий окружающей застройки. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения разработанной методики численного моделирования устройства свай вытеснения.

Выводы

Малоизученность вопроса технологического влияния устройства свай и отсутствие методик расчета в настоящей нормативной документации подталкивает геотехническое сообщество на изучение процессов деформирования массива грунта и разработку методов прогноза технологических осадок зданий окружающей застройки.

Поднятие дневной поверхности при устройстве свай вытеснения в первую очередь связано с образованием избыточного порового давления в водонасыщенных глинистых грунтах, где затруднены фильтрационные процессы. Метод конечных элементов позволяет смоделировать этот процесс и произвести оценку напряженно-деформированного состояния. По результатам расчета получено:

зона влияния и величина поднятия массива грунта в большей степени зависят от инженерно-геологических условий и геометрических параметров внедряемой сваи.

активная зона деформаций с величиной поднятия свыше 1 см составляет порядка трех диаметров сваи, что хорошо коррелируется с наблюдаемыми деформациями на строительных площадках Санкт-Петербурга

увеличение радиуса поднятия поверхности грунта от диаметра сваи происходит по линейному закону.

распространение активной зоны деформаций и максимальные значения выпора дневной поверхности происходят при погружении сваи на первые 1-1,1 м глубины.

Характерной особенностью распространения волны является её сонаправленность с фронтом свайных работ.

получена качественная и количественная оценки влияния технологического воздействия устройства свай вытеснения на окружающую застройку, на примере

строительства многоэтажного жилого комплекса, расположенного в северной части Санкт-Петербурга.

Список литературы:

1. А.Г. Шашкин, А.А. Шацкий. Влияние буронабивных свай замещения на деформации водонасыщенных глинистых грунтов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №12. С.15-22.
2. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Стройиздат Северо-Запад, Геореконструкция, 2010. – 560 с.
3. СП 24.13330.2021 Свод правил. Свайные фундаменты, 2022-01-15.
4. Мангушев Р.А., Дьяконов И.П., Кондратьева Л.Н. Границы практического применения свай «Фундекс» в условиях слабых грунтов // Жилищное строительство. 2017. № 9. С. 3–8.
5. А. В. Пантелеев, С. Я. Боженков, А. А. Бирюков. Механика грунтов, основания и фундаменты; СССР-НКПС. Центральное управление учебными заведениями; СССР-НКПС. Центральное управление учебными заведениями. - М. : ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ. Ч. 2 : Фундаменты глубокого заложения / А. В. Пантелеев. - 1938. - 508 с
6. Голубков В. Н. Вопросы исследования свайных фундаментов и проектирования по деформациям: Дисс... д-ра техн. наук. – Одесса, 1968
7. Голубков В. Н. О природе совместной работы свай и грунта//Основания и фундаменты: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – Вып. 5. – Киев, 1972. – С. 29- 35
8. Снитко Н.К., Чернов В.К. Деформационный расчет и устойчивость сжато-изогнутых свай // Механика грунтов, основания и фундаменты : сб. трудов ЛИСИ. Л.,1976. Вып. I (116). С. 8–14.
9. Далматов Б. И., Лапшин Ф. К., Россихин Ю. В. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов. Под ред. д-ра техн. наук проф. Б. И. Далматова. Л., Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975. 240 с
10. Terzaghi, K. Die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer des Tones aus Dem Verlauf der Hydrodynamischen Span-Nungerscheinungen Akademie der Wissenschaften in Wien; Mathematisch-Naturwissen-Schaftliche Klasse: Mainz, Germany, 1923; pp. 125–138.
11. Hardin, V.O., Black, W.L. (1969). Closure to vibration modulus of normally consolidated clays. Proc. ASCE: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 95(SM6), 1531-1537.
12. Гуменский Б.М. Забивка свай и тиксотропия грунтов. Изд. МКХ РСФСР, 1959.
13. Мангушев.Р.А., Ершов. А.В., Ершов. С.В. Экспериментальная оценка изменения состояния грунтового массива при изготовлении набивной сваи // Научно-практические и теоретические проблемы геотехники: межвуз. тематич. сб. трудов. Т.1. СПб., 2009. С. 101-108

14. Тер-Мартirosян З.Г. Напряженно-деформированное состояние в грунтовом массиве при его взаимодействии со сваей и фундаментом глубокого заложения. Вестник МГСУ. №1, 2006 г. 38-39 с.
15. З.Г. Тер-Мартirosян, М.В. Королев, В.М. Конаш «Взаимодействие задавливаемой сваи с однородным и неоднородным основанием с учетом нелинейных и реологических свойств грунтов». Вестник МГСУ 2/2008.

References:

1. A.G. Shashkin, A.A. Shatsky. Influence of bored replacement piles on the deformation of water-saturated clay soils // Industrial and civil construction. 2017. No. 12. pp.15-22.
2. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotechnical support of urban development. St. Petersburg: Stroyizdat North-West, Georeconstruction, 2010. - 560 p.
3. Code of Practice 24.13330.2021. Pile foundations, 2022-01-15.
4. Mangushev R.A., Dyakonov I.P., Kondratieva L.N. The boundaries of the practical application of piles "Fundeks" in conditions of weak soils // Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2017. No. 9. P. 3-8.
5. A. V. Pantelev, S. Ya. Bozhenkov, and A. A. Biryukov. Soil mechanics, foundations and foundations; USSR-NKPS. Central Administration of Educational Institutions; USSR-NKPS. Central management of educational institutions. - M.: TRANSZHELDORIZDAT. Part 2: Deep foundations / A. V. Pantelev. - 1938. - 508 s
6. Golubkov V. N. Questions of the study of pile foundations and design for deformations: Diss ... Dr. tech. Sciences. - Odessa, 1968
7. Golubkov VN On the nature of the joint work of piles and soil//Foundations and foundations: Resp. interdepartmental scientific-technical Sat. - Issue. 5. - Kyiv, 1972. - S. 29-35
8. Snitko N.K., Chernov V.K. Deformation calculation and stability of compressed-curved piles // Soil Mechanics, Bases and Foundations: Sat. works of LISI. L., 1976. Issue. I (116). pp. 8-14.
9. Dalmatov B. I., Lapshin F. K., Rossikhin Yu. V. Design of pile foundations in conditions of weak soils. Ed. Dr. tech. Sciences prof. B. I. Dalmatova. L., Stroyizdat, Leningrad. department, 1975. 240 s
10. Terzaghi, K. Die Berechnung der Durchlassigkeitsziffer des Tones aus Dem Verlauf der Hydrodynamischen Span-Nungerscheinungen Akademie der Wissenschaften in Wien; Mathematisch-Naturwissen-Schaftliche Klasse: Mainz, Germany, 1923; pp. 125-138.
11. Hardin, B.O., Black, W.L. (1969). Closure to vibration modulus of normally consolidated clays. Proc. ASCE: Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 95(SM6), 1531-1537.
12. Gumensky B.M. Pile driving and soil thixotropy. Ed. MKH RSFSR, 1959.

13. Mangushev. R. A., Ershov. A.V., Ershov. S.V. Experimental assessment of the change in the state of the soil mass during the manufacture of a stuffed pile // Scientific-practical and theoretical problems of geotechnics: interuniversity. thematic Sat. works. T.1. SPb., 2009. S. 101-108
14. Ter-Martirosyan Z.G. Stress-strain state in a soil mass during its interaction with a pile and a deep foundation. Bulletin of MGSU. No. 1, 2006, pp. 38-39.
15. Z.G. Ter-Martirosyan, M.V. Korolev, V.M. Konash "Interaction of a crushed pile with a homogeneous and inhomogeneous foundation, taking into account the nonlinear and rheological properties of soils." Vestnik MGSU 2/2008.