

Научная статья

УДК 62–1/-9

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-368-385>

EDN: EVXRXB



ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ УСТРОЙСТВА СВАЙНОГО ОСНОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

А.Б. Пономарев¹✉, Д.А. Паскачева², Д.С. Кораблев²¹Санкт-Петербургский горный университет им. Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия²Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия
✉ ответственный автор
Ponomarev_AB@pers.spmi.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Характерной особенностью работ по устройству подземной части здания или сооружения в условиях Санкт-Петербурга является наличие значительной толщи слабых глинистых грунтов. Такие грунты требуют щадящего воздействия при различных технологических операциях. Значительное влияние на основание и окружающую застройку могут оказывать строительные машины для устройства свайного основания. Степень воздействия строительных машин определяется методом выполнения строительных работ.

Материалы и методы. В статье представлены основные виды строительных машин, используемых для устройства свайного основания в условиях Санкт-Петербурга. Выполнен сравнительный анализ технологических параметров, а также преимуществ и недостатков различного оборудования. Показаны характерные для Санкт-Петербурга инженерно-геологические условия и накладываемые ими ограничения на технологии выполнения свайного основания.

Результаты. Приведены примеры технологического воздействия различных технологий выполнения свай на грунтовое основание здания и сооружения окружающей застройки в условиях Санкт-Петербурга. Дан краткий обзор грунтовых условий, машин и механизмов, а также возможных причин возникновения аварийных ситуаций.

Обсуждение и заключение. Сделаны выводы о наиболее щадящих методах устройства свайного основания в условиях слабых глинистых грунтов и стесненной городской застройки. Даны рекомендации о возможности прогнозирования технологического влияния при устройстве свай с помощью численных методов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сваи, слабые грунты, технологическое воздействие, строительные машины, буронабивные сваи, сваи вдавливания, буровые установки

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. А.Б. Пономарев – член редакционного совета журнала «Вестник СибАДИ». Журнал «Вестник СибАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность анонимным рецензентам.

Статья поступила в редакцию 02.04.2025; одобрена после рецензирования 16.05.2025; принята к публикации 16.06.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Пономарев А.Б., Паскачева Д.А., Кораблев Д.С. Особенности технологического воздействия строительных машин для устройства свайного основания в условиях Санкт-Петербурга // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 3. С. 368-385. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-368-385>

© Пономарев А.Б., Паскачева Д.А., Кораблев Д.С., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-368-385>

EDN: EVXRXB

PECULIARITIES OF TECHNOLOGICAL IMPACT OF CONSTRUCTION MACHINES USED FOR PILE FOUNDATION INSTALLATION IN ST. PETERSBURG

Andrey B. Ponomarev¹ ✉, Daria A. Paskacheva², Denis S. Korablev²

¹Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University,
St. Petersburg, Russia

²St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia

✉ corresponding author
Ponomarev_AB@pers.spmi.ru

ABSTRACT

Introduction. A characteristic feature of works on constructing the underground part of buildings or structures in the conditions of St. Petersburg is the significant thickness of weak clay soils. Such soils require gentle impact during various technological operations. The equipment used for constructing pile foundations can significantly affect the soil base and buildings in the area. The degree of construction machine impact is detected on completing construction works.

Materials and methods. The article presents the main types of construction machines used for the construction of pile foundations in the conditions of St. Petersburg. A comparative analysis of technological parameters, advantages and disadvantages of various equipment has been performed. The engineering and geological conditions typical of St. Petersburg and the restrictions they impose on technologies for building pile foundations have been shown.

Results. Examples of technological impact of various pile building methods on basements of the surrounding buildings and their structures in the conditions of St. Petersburg are given. A brief overview of soil conditions, machines and mechanisms, as well as potential risks of emergency situations is given.

Discussion and conclusions. Conclusions have been made on most gentle methods of constructing pile foundations in conditions of weak clay soils and cramped urban development. Recommendations are given about the possibility of predicting the technological impact when constructing piles using numerical methods.

KEYWORDS: piles, soft soils, technological impact, construction machines, bored piles, drive piles, drilling rigs

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest. Ponomarev A.B. is a member of the editorial council of The Russian Automobile and Highway Industry Journal. The Russian Automobile and Highway Industry Journal does not exempt scientists from reviewing the manuscript, regardless of their status.

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors would like to thank the anonymous reviewers.

The article was submitted: April 02, 2025; approved after reviewing: May 16, 2025; accepted for publication: June 16, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Ponomarev A.B., Paskacheva D.A., Korablev D.S. Peculiarities of technological impact of construction machines used for pile foundation installation ST. Petersburg. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (3): 368-385. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-368-385>

© Ponomarev A.B., Paskacheva D.A., Korablev D.S., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Современное градостроительство сталкивается с необходимостью обеспечения устойчивости и долговечности сооружений при возрастающих нагрузках и сложных инженерно-геологических условиях. При наличии значительной толщи слабых озерно-ледниковых отложений плейстоцена и озерно-морских отложений голоцена, а также исторической застройки Санкт-Петербурга одним из ключевых элементов, гарантирующих надежность зданий, сооружений и инфраструктуры, является корректно спроектированное и реализованное свайное основание. Использование свай позволяет перераспределять нагрузки на подстилающие слабые грунты, несущие слои основания, минимизируя риски собственных деформаций зданий. Однако эффективность таких решений напрямую зависит от применяемых технологий и оборудования, технологическое воздействие которых на основание и окружающие здания требует тщательного анализа [1].

Особую актуальность данная проблема приобретает в Санкт-Петербурге – городе с уникальным сочетанием сложных геологических условий, высокой плотностью застройки и строгих требований к сохранению объектов культурного наследия. Преобладание слабых водонасыщенных грунтов, близость водоемов и сезонные колебания уровня грунтовых вод создают дополнительные риски при устройстве свай. Кроме того, активное освоение подземного пространства в историческом центре и прилегающих районах диктует необходимость применения технологий, минимизирующих технологическое воздействие на ограниченно-работоспособные фундаменты исторических зданий. Эти факторы обуславливают потребность в комплексном исследовании особенностей эксплуатации строительных машин, адаптированных к локальным условиям, что и определяет практическую значимость представленной работы.

Технологическое воздействие строительных машин при устройстве свайных оснований остается малоизученным аспектом, несмотря на его значимость для снижения воздействия на окружающие здания, сооружения и массив грунта. Количественная оценка дополнительных деформаций зданий при воздействии различных технологий ведения строительных работ достаточно трудновыполнима даже в численных расчетах. В ВСН 490–87 «Про-

ектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки» устанавливаются допустимые значения колебаний и ускорений колебаний конструкций в зависимости от типа сооружения и группы грунтов при погружении (ударном или вибрационном) свай. Также в СП 248.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования» устанавливается процентное соотношение технологической осадки и расчетной осадки для учета первой составляющей в зависимости от типа грунта и типа ограждения котлована. При этом в нормативных документах не закреплены значения технологического влияния для различных технологий устройства буровых, буронабивных и вдавливаемых свай ни в виде предельной деформации основания фундаментов, ни в виде предельного ускорения колебаний конструкций.

Изучением количественного влияния различных технологий строительного производства занимались многие отечественные [2, 3, 4, 5, 6, 7] и зарубежные [8] исследователи, которые оценивали влияние в численной постановке задачи. При этом в большей степени оценивалось влияние на здания на определенных площадках строительства без варьирования параметрами строительных машин, такими как скорость вращательного и поступательного движения шнека, частота и сила воздействия погружателя и т.д. Особенности технологических параметров оборудования рассматриваются в работах [9, 10, 11, 12]. Отдельные исследования посвящены влиянию различных технологий на качество выполняемого о свайного основания [13, 14].

Целью настоящего исследования является анализ параметров строительных машин для устройства свайного основания, определяющих технологическое воздействие на окружающие здания, сооружения и массив грунта.

Для выполнения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выявление наиболее популярных технологий устройства свайного основания и их особенностей.
2. Анализ технических параметров строительных машин, применяемых для наиболее популярных технологий устройства свай.
3. Анализ опыта и рисков применения различных технологий устройства свай в условиях Санкт-Петербурга.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Технологии устройства свайного основания

Наиболее общая классификация технологий устройства свайного основания включает сваи заводского изготовления и сваи, устраиваемые на площадке строительства [15].

Заводские сваи имеют множество преимуществ относительно свай, устраиваемых в грунте [16], и преобладали на отечественном рынке в эпоху Советского Союза¹, что связано с экстенсивным освоением территории страны. В начале 2000-х годов ситуация изменилась в пользу свай, устраиваемых в грунте.

К сваям заводского изготовления можно отнести следующие методы их устройства:

- забивка (в т.ч. в лидерные скважины);
- вдавливание (в т.ч. в лидерные скважины);
- завинчивание;
- вибропогружение.

На данный момент широко используемыми в городской застройке остались вдавливаемые сваи, а также вибропогружаемые. Стоит отметить, что значительную долю вибропогружаемых свай составляют шпунтовые сваи для формирования ограждений котлованов.

Сваи, изготавливаемые на площадке, можно разделить на:

- набивные (вытеснение грунта):
 - о сваи с раскатчиками;
 - о сваи с теряемым наконечником;
- буровые (извлечение грунта):
 - о сваи, выполняемые под защитой стенок скважины обсадной трубой;
 - о сваи, выполняемые под защитой стенок скважины глинистым раствором;
 - о сваи, выполняемые по технологии непрерывного полого проходного шнека (НПШ);
 - о сваи, комбинирующие технологии НПШ и обсадной трубы (Double Rotary).

Санкт-Петербург является одним из первых городов России, где начали применяться передовые технологии устройства свайных фундаментов. Во многом это связано со сложностью инженерно-геологических условий. Для городского пространства наиболее распространены следующие технологии:

- сваи вдавливания;
- вибропогружаемые сваи;
- набивные сваи Fundex;
- буронабивные сваи CFA (НПШ) – непрерывный полый проходной шнек;

- буровые сваи под защитой глинистого раствора;
- буровые сваи под защитой обсадной трубы (double rotary, сваи Келли и др.) (рисунок 1).

В связи с широким применением отечественных и зарубежных передовых технологий устройства свайного основания накапливается и опыт их применения на площадках строительства со сложными грунтовыми условиями и стесненной городской застройкой. Аспекты технологического влияния в связи принудительным вытеснением грунта при устройстве свай достаточно широко исследованы.

При выполнении свай вытеснения (к которым можно отнести и вдавливаемые сваи) происходит мгновенное изменение напряженно-деформированного состояния грунта: давления от внедрения сваи не успевают перераспределиться на частицы грунта и воспринимаются поровой водой, передающей напряжения в двух направлениях, которые могут вызвать горизонтальные смещения существующих конструкций (например, ранее выполненных свай, подземных коммуникаций и др.) и вертикальные перемещения фундаментов окружающих зданий и сооружений. Подробная методика расчета напряженно-деформированного состояния грунта при устройстве свай Fundex описана в работах И.П. Дьяконова [17]. Влияние скорости бурения на напряженно-деформированное состояние массива грунта при устройстве свай вытеснения рассмотрено в работах [18, 19].

Анализ разрушения стенок скважины при устройстве буровых свай исследован не так широко, однако существуют сходные работы, например, по влиянию устройства конструкции «стена в грунте» на окружающую застройку [2]. В данном случае процесс моделирования устройства захватки «стены в грунте» под защитой бентонитового раствора аналогичен, например, процессу удержания стенок скважины бентонитовым раствором при устройстве свай.

Для буровых свай, выполняемых по технологии CFA, также свойственны локальные разрушения и потери устойчивости стенок скважины, вызванные технологией производства работ и параметрами оборудования. Для анализа составляющей, которая определяется техническими особенностями оборудования, необходимо рассмотреть буровые машины для устройства свай.

¹ Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии: учебное пособие. 2-е изд. М.: Изд-во АСВ, 2010. 240 с.



Рисунок 1 – Устройство свай Келли под защитой обсадной трубы для небоскреба Лахта-центр в Санкт-Петербурге²

Figure 1 – Kelly piles protected by casing for the Lakhta Center skyscraper in St. Petersburg²

Строительные машины для устройства свайного основания в условиях Санкт-Петербурга

Основой выбора параметров строительных машин является определение режимов взаимодействия рабочих органов с обрабатываемой средой³. Для свай, изготавливаемых в грунте, это может быть ввинчивание с вытеснением грунта для образования полости скважины или извлечение грунта из скважины бурением. Рассмотрим буровые машины для устройства разных видов свай.

Буровые сваи

Рабочим органов для устройства буровых свай могут служить ковшебуры, шнеки, колонковые буры и уширители пяты свай.

Шнеки подразделяют на короткие глухие и полые. Ковшебуры в основном используют для зачистки скважин, например при извлечении грунта, из обсадных труб.

Популярной зарубежной технологией, которая была внедрена в отечественный рынок устройства буровых свай, стала технология устройства свай под защитой непрерывного полого проходного шнека.

Данная технология предусматривает подбор параметров шнека в зависимости от типа разрабатываемого грунта, долота, а также соотношение скорости вращения шнека со

скоростью его поступательного движения для разработки скважины вглубь.

Для буровых шнеков ключевыми параметрами являются:

- диаметр шнека (определяется проектным диаметром свай);
- шаг винтовой спирали (в глинистых грунтах рекомендуются шнеки с шагом спирали 0,45–0,5 наружного диаметра шнека, в мягких породах с высокой влажностью – 0,5–0,7 диаметра⁴);
- угол наклона лопастей шнека;
- материал и покрытие.

Для надежной работы шнекового инструмента рекомендуется применять угол наклона винтовой спирали, не превышающий угол внутреннего трения на контакте «грунт-шнек». Так разность частоты вращения шнека и грунта обусловлена разницей между трением разрабатываемого грунта о стенки скважины и поверхность шнека. Несоблюдение этой рекомендации может привести к излишнему забору грунта и обрушению стенок скважины.

Высокая пластичность и липкость глинистых грунтов требуют частой очистки лопастей шнека для исключения «закупорки» скважины. Тиксотропное разжижение, высокая деформируемость и низкая прочность слабых глинистых грунтов требуют ограничения скорости разработки грунта при устройстве скважины.

² BAUER Spezialtiefbau GmbH [Интернет]. 2025. BAUER Bored Piles. Доступно на: <https://geotechnical-solutions.bauer.de/>

³ Евтюков С.А., Овчаров А.А., Замараев И.В. Построение механореологических моделей процессов взаимодействия рабочих органов строительно-дорожных машин со средой: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2011.

⁴ Танов Е.И., Площадный В.Я. Шнековый буровой инструмент: справочник. М.: Недра, 1985. 109 с.



Рисунок 2 – Буровая установка MAIT HR 420-800 CFA для выполнения свай по технологии НПШ⁵

Figure 2 – Drilling rig MAIT HR 420-800 CFA for pile construction using CFA technology⁵

Для уменьшения вибрационного воздействия и возможности выполнения работ при ограниченных размерах строительной площадки можно использовать строительные машины с наращиваемыми (короткими) проходными шнеками [20].

Сваи, выполняемые по технологии НПШ, являются весьма распространенными [21, 22], поэтому на рынке буровой техники представлено значительное количество оборудования для их производства, например, Soilmes,

Bauer, Casagrande, Klemm, Tescar, MAIT, Mc Drill Technology и другие. Общий вид буровой установки представлен на рисунке 2.

Сваи, устраиваемые под защитой обсадной трубы, выполняют в случае наличия в основании слабых водонасыщенных грунтов для обеспечения устойчивости стенок скважины. Технологическая карта на устройство свай под защитой обсадной трубы представлена на рисунке 3.

⁵ HR 420-800 CFA // MAIT USA CORP URL: <https://www.maitusa.com/machine/24> (дата обращения: 04.04.2025).

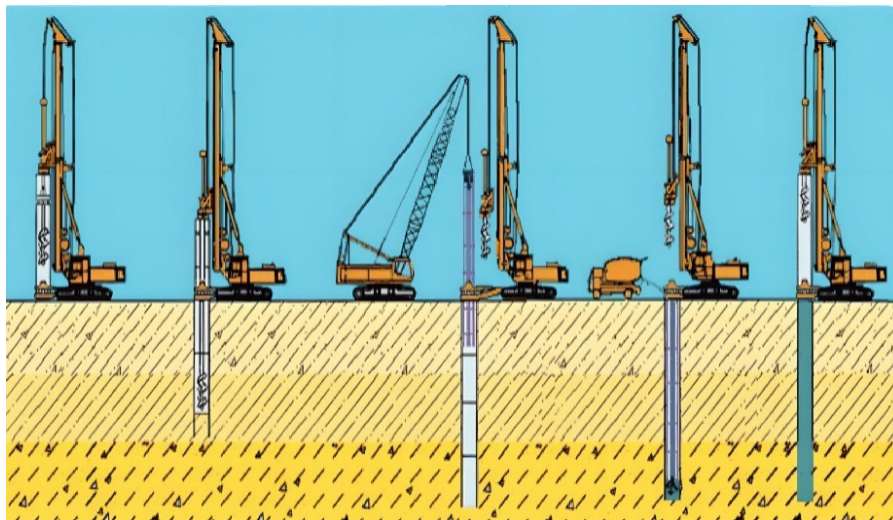


Рисунок 3 – Технологическая карта на устройство свай под защитой обсадной трубы⁶

Figure 3 – Technological map for pile installation with the casing pipe protection⁶



Рисунок 4 – Буровые установки для устройства свай под защитой обсадной трубы фирм Bauer (BG 28H) и Casagrande (B275 XP-2)⁷

Figure 4 – Drilling rigs for installing piles under casing protection from Bauer (BG 28H) and Casagrande (B275 XP-2)⁷

Технические параметры оборудования представлены в таблице 1.

Обсадная труба погружается обратным вращением через закрепленный на трубе хомут и вдавливанием гидравлическим домкратом. По мере погружения трубы грунт извлекается и наращивается следующая секция. Извлечение грунта можно производить шнеком, расположенным на конце телескопиче-

ской штанги Келли. Бетонная смесь подается методом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ).

Буровые установки многих компаний оборудованы сменным рабочим органом на одной базе машины, например серии Casagrande XP и Bauer BG. Общий вид установок для устройства свай под защитой обсадной трубы представлен на рисунке 4.

⁶ Буроабивные сваи под защитой обсадной трубы // ООО «ГеоСфера». URL: <https://geosfera.spb.ru/services/obsadnayatruba> (дата обращения: 04.04.2025).

⁷ Буроабивные сваи // Грандспецстрой. URL: <https://gsst.kz/> (дата обращения: 04.04.2025).

Таблица 1
Технические параметры установок
для устройства свай
под защитой обсадной трубы Bauer BG 28H и
Casagrande B275 XP-2
Источник: составлено авторами.

Table 1
Technical parameters of the equipment
used for pile building
under the protection of Bauer BG 28H and Casagrande
B275 XP-2 casing pipes
Source: compiled by the authors.

Параметр	BG 28H	B275 XP-2
Момент вращения, кНм	282	300
Мощность, кВт	405	336
Тяговое усилие, кН	620	420
Вес, т	103	92
Макс. диаметр, мм	2500	2700
Макс. глубина, м	65.7	78

Особое внимание при устройстве свай под защитой обсадной трубы стоит уделять поддержанию грунтовой пробки в основании секции трубы для избежания прорыва грунтовых вод в скважину. Данный метод устройства свай отличается сравнительно низким влиянием на окружающую застройку и массив грунта при соблюдении технологии проведения работ. Также при выполнении данного вида свай поддерживается достаточно высокое качество выполнения свай (бетонолитная труба исключает образование шеек и расслоение бетонной смеси). Однако недостатком технологии является ее низкая производительность.

Сваи, изготавливаемые по технологии Double Rotary (двойное вращение), производятся путем бурения скважины под защитой обсадной трубы с помощью одновременного вращения шнека внутри трубы.

Сваи, изготавливаемые по данной технологии, совмещают преимущества свай НППШ (высокая производительность) и свай под за-

щитой обсадной трубы (устойчивость стенок скважины, высокое качество выполнения тела свай). Общий вид буровой установки представлен на рисунке 5.



Рисунок 5 – Буровая установка для устройства свай
Double Rotary Liebherr LRB23⁸

Figure 5 – Liebherr LRB23 Double Rotary Pile Drilling Rig⁸

Набивные сваи

Основным рабочим органом взаимодействия с грунтом у набивных свай является режущий теряемый наконечник (раскатчик) или конус с винтовой полостью.

Особое распространение в Петербурге получили сваи, выполняемые по технологии Fundex, с теряемым чугунным винтовым наконечником. Скважина под сваи производится без извлечения грунта за счет его вытеснения и уплотнения ввинчиваемой инвентарной трубой и режущим наконечником. Бетонный раствор в скважину погружают сверху, что может вызвать его расслоение при большой длине свай.

Общий вид установки для устройства свай Fundex представлен на рисунке 6.

⁸ LRH 100.1 Сваебойная установка (серия LRH) // Liebherr. Фундаментостроительная техника. URL: <https://www.liebherr.com/ru-ru/p/lrh100-4471886> (дата обращения: 04.04.2025).



Рисунок 6 – Установка для устройства свай Fundex
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Installation for Fundex piles
Source: compiled by the authors.

Технические параметры оборудования представлены в таблице 2.

Таблица 2
Технические параметры установок
для устройства свай
под защитой обсадной трубы
IHC Fundex Equipment F12SE
Источник: составлено авторами.

Table 2
Technical parameters of the equipment
used for pile building
under the protection of IHC Fundex Equipment F12SE
casing pipe
Source: compiled by the authors.

Параметр	F12SE
Момент вращения, кНм	400
Мощность, кВт	420
Тяговое усилие, кН	350
Вес, т	70
Макс. диаметр, мм	530
Макс. глубина, м	31.5

Так как при устройстве скважины происходит уплотнение грунта, свая Fundex обладает высокой несущей способностью относительно буровых свай. Также к преимуществам данной технологии можно отнести высокую производительность и низкое динамическое воздействие на грунты основания. Значительным недостатком свай Fundex, как и всех свай вытеснения, является изменение напряженно-деформированного состояния грунта за счет его вытеснения. С учетом недренирован-

ной работы слабых глинистых грунтов основания, поровая жидкость при сжатии порождает волнообразное распределение деформаций, что может вызвать временные деформации подъема окружающей застройки, а затем осадку.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Аварийные ситуации на объектах строительства в Санкт-Петербурге

Развитие подземного пространства в Санкт-Петербурге в конце XX в. привело к появлению новых технологий устройства свайных фундаментов в городской застройке. Однако использование современных геотехнологий устройства свай в первое время сопровождалось развитием ненормативных деформаций сооружений окружающей застройки, связанных с отсутствием требований к производству работ с использованием новых технологий, отраженных в существующей нормативной документации, а также отсутствием адаптации инновационных методов строительства к инженерно-геологическим условиям Санкт-Петербурга. В условиях практически всей территории города значительная толща слабых глинистых грунтов является характерной особенностью инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. Мощность слабых глинистых отложений оценивается в диапазоне от 1 до 20 м, хотя в пределах палеодолин может значительно превышать данные значения.

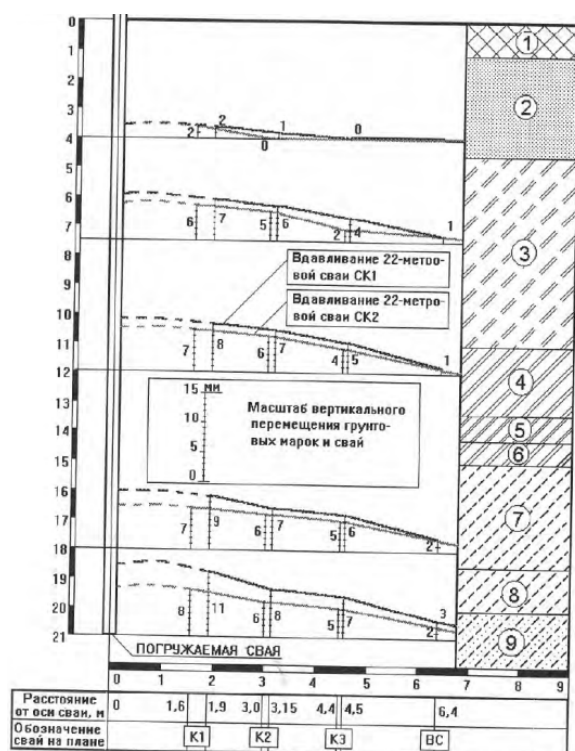


Рисунок 7 – Схема грунтовых марок и зафиксированные перемещения при вдавливании свай на площадке строительства фондохранилища Государственного Эрмитажа на Торфяной ул.⁹

Figure 7 – Soil marks and movements recorded while pressing piles at the construction site of the State Hermitage Museum storage facility on Torfyanaya Street⁹

В первую очередь на площадках строительства произошло замещение забивных свай более щадящими технологиями для зданий и сооружений окружающей застройки – сваями вдавливания. Тем не менее первые наблюдения, производившиеся за вдавливаемыми сваями, устраиваемыми в непосредственном примыкании к существующим конструкциям, зафиксировали существенные деформации подъема как ранее устроенных на площадке строительства свай, так и зданий и сооружений окружающей застройки. Например, зафиксированные при вдавливании свай на площадке строительства фондохранилища Государственного Эрмитажа на Торфяной ул. перемещения грунтовых марок составляли 8 мм до начала производства работ по возве-

дению конструкций сооружения (рисунок 7). В качестве сваевдавливающих установок на площадке строительства выступали установки конструкции Треста № 101 и УСВ-120М. В дополнение к развитию деформаций в ходе геотехнического мониторинга фиксировался резкий рост ускорений колебаний сооружений окружающей застройки при вхождении погружаемой сваи в труднопроходимые плотные слои грунта, связанные с увеличением усилия вдавливания гидродомкрата.

Кроме того, неоднократно фиксировались дополнительные осадки зданий окружающей застройки на этапе устройства свай вдавливания ввиду массивности самоходных сваевдавливающих установок, способных обеспечить требуемое усилие для погружения свай для проектируемых сооружений, вес которых составляет, как правило, более 100 т.

В последующем распространение на площадках строительства в Санкт-Петербурге технологий свай принудительного вытеснения грунта (Fundex, Atlas, DDS) спровоцировало развитие ненормативных деформаций окружающей застройки для ряда объектов строительства. Например, использование свай Fundex без учета изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива в ходе производства строительных работ на площадке строительства в районе Казанского собора в Санкт-Петербурге привело к развитию деформаций подъема более 30 мм для сооружений окружающей застройки (рисунок 8). Кроме того, после окончания производства работ по устройству набивных свай начали развиваться дополнительные деформации этих сооружений, по итогу превысившие нормативные значения.

Аналогичные результаты наблюдались при использовании иных технологий свай вытеснения (Atlas, DDS), что представлены на рисунке 9. Значительно меньшая величина подъема окружающих зданий и развитие последующих деформаций связаны с устройством лидерных скважин до погружения наконечника свай, а также запрете движения фронта работ по устройству свай в сторону существующих сооружений.

⁹ Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Стройиздат Северо-Запад, 2010.

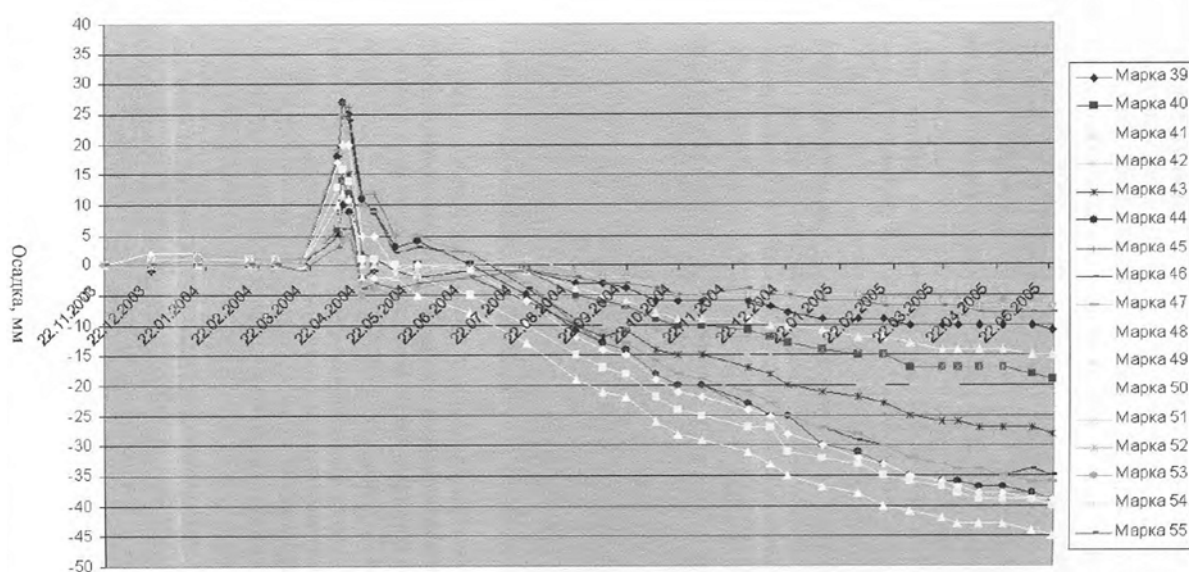


Рисунок 8 – Развитие деформаций зданий окружающей застройки в ходе производства строительных работ (устройство свай Fundex) на площадке строительства в районе Казанского собора в Санкт-Петербурге¹⁰

Figure 8 – Development of deformations of surrounding buildings during construction work (installation of Fundex piles) at the construction site around the Kazan Cathedral in St. Petersburg¹⁰

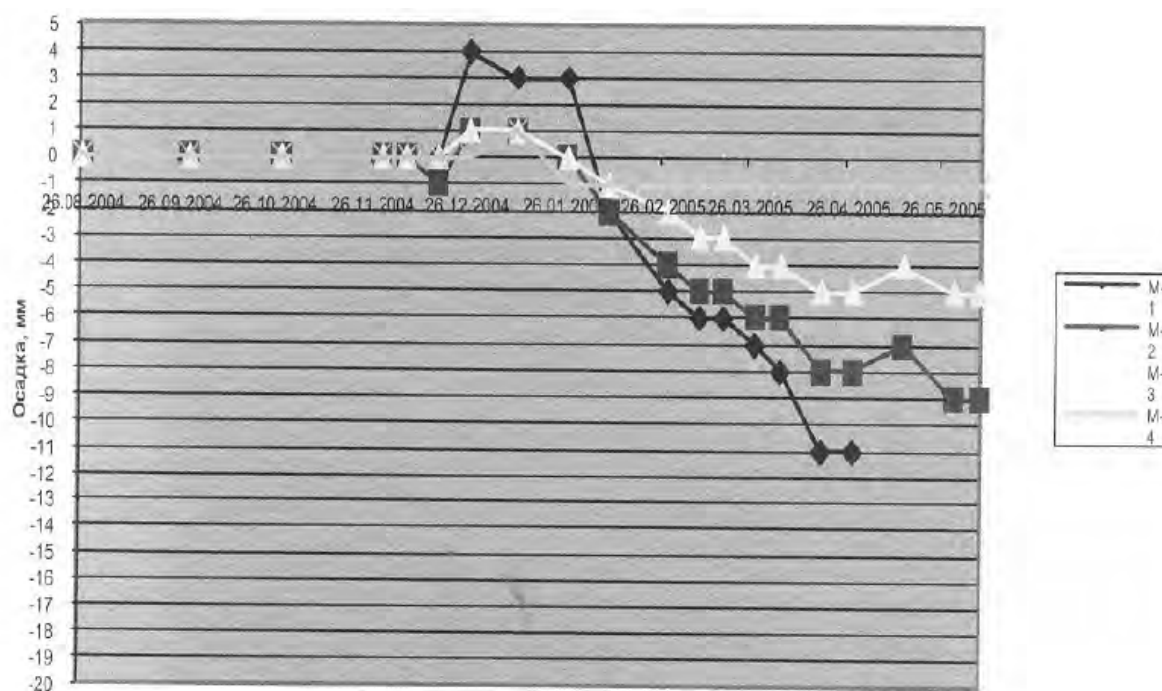


Рисунок 9 – Развитие деформаций зданий окружающей застройки в ходе производства строительных работ (устройство свай DDS) на площадке строительства в Санкт-Петербурге¹¹

Figure 9 – Development of deformations of surrounding buildings during construction work (installation of DDS piles) at a construction site in St. Petersburg¹¹

¹⁰ Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. ... 2010.

¹¹ Там же.

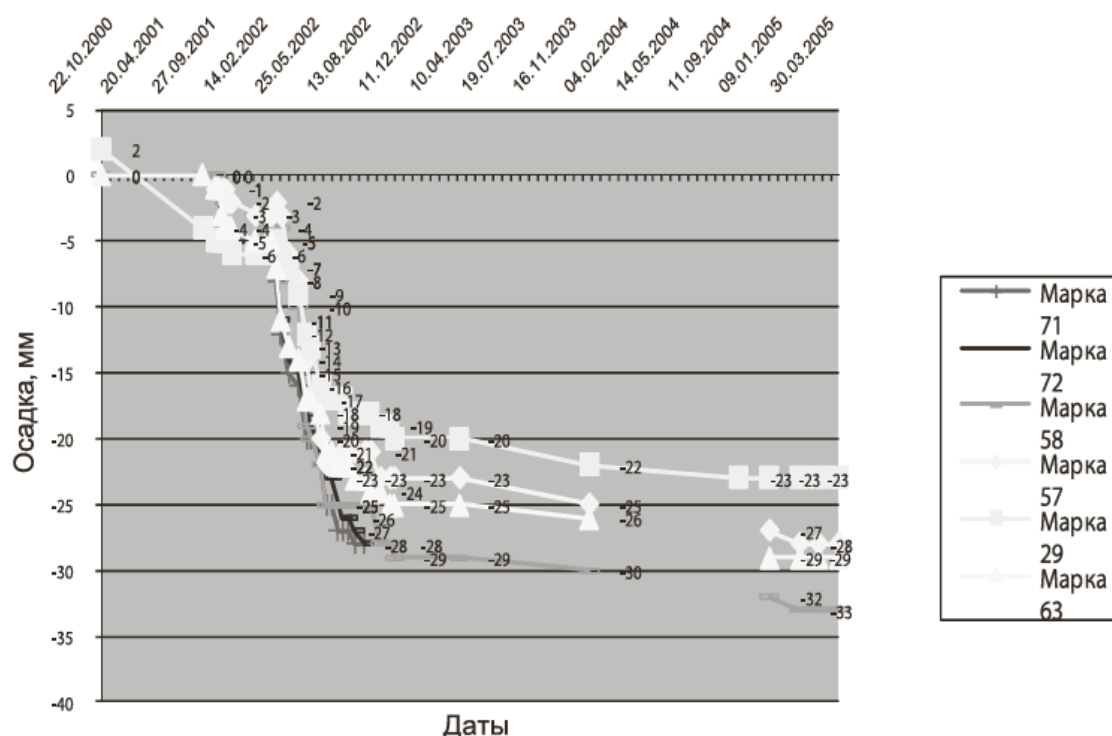


Рисунок 10 – Развитие деформаций зданий окружающей застройки в ходе производства строительных работ (устройство свай под защитой обсадной трубы) на площадке строительства в Санкт-Петербурге¹²

Figure 10 – Development of deformations of surrounding buildings during construction work (installation of piles under casing pipe protection) at a construction site in St. Petersburg¹²

Следующим этапом развития технологий устройства свай в условиях Санкт-Петербурга стало использование буровых свай. Несмотря на отсутствие развития избыточного порового давления и дополнительных напряжений в грунтовом массиве, связанных с отсутствием процесса вытеснения грунтов из скважины, при устройстве буровых свай все равно наблюдаются опасные геотехнические процессы, способные послужить причиной развития аварийных ситуаций на площадках строительства.

Например, широко известен эффект неконтролируемого извлечения грунта из скважины, сопровождающийся развитием осадок окружающей территории, в том числе и зданий окружающей застройки. В первые годы применения технологии устройства буровых свай под защитой обсадной трубы зафиксировано развитие аварий на площадке строительства в районе гостиницы «Невский Палас» в процессе устройства стены из буровых свай (рисунок 10). Деформации окружающего массива грунта при использовании буровых свай обусловлены

развитием сдвиговых деформаций в пределах разрабатываемой скважины. В процессе проходки слабых глинистых грунтов устойчивость забоя обеспечивается, прежде всего, наличием грунтовой «пробки», сплошность которой может легко нарушаться в процессе производства работ: после вхождения рабочего органа буровой установки в забой скважины возможно создание вакуума, разрушающего «пробку» и приводящего по итогу к развитию дополнительных перемещений грунта.

Выполнение буровых свай, устойчивость забоя которых обеспечивается заполнением скважины глинистым или бентонитовым раствором, не приводит к значительному воздействию производства работ на напряженно-деформированное состояние грунтового массива, но при этом в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга приводит к значительным нарушениям сплошности и качества изготавливаемых свай, что значительно снижает их фактическую несущую способность (рисунок 11).

¹² Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. ... 2010.

pile number: 4.7

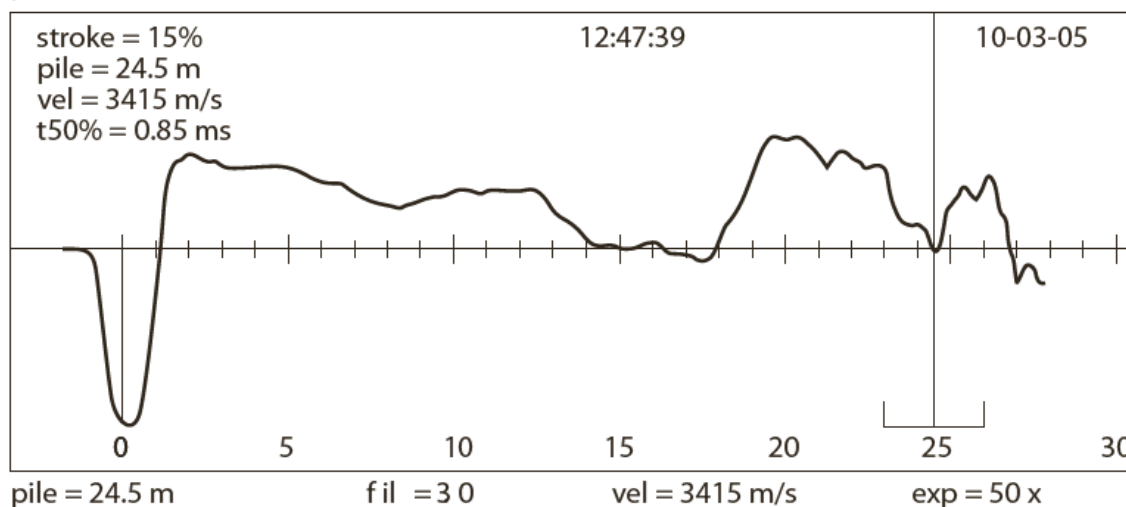


Рисунок 11 – Диаграмма нарушения сплошности буровых свай, устраиваемых под защитой глинистого раствора на площадке строительства в Санкт-Петербурге¹²

Figure 11 – Diagram of the discontinuity of bored piles installed under the protection of clay mortar at a construction site in St. Petersburg¹²

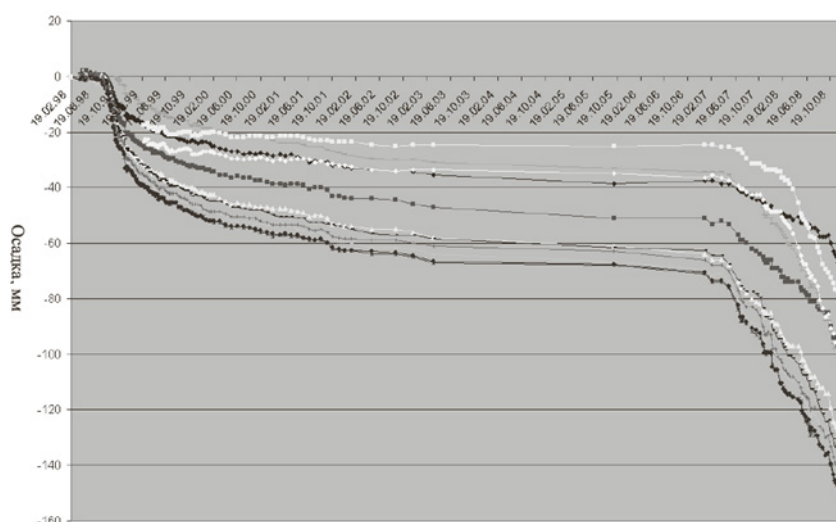


Рисунок 12 – Развитие деформаций зданий окружающей застройки после производства строительных работ (устройство свай CFA) на площадке строительства в Санкт-Петербурге¹³

Figure 12 – Development of deformations in surrounding buildings after construction work (installation of CFA piles) at a construction site in St. Petersburg¹³

Развитие свайных технологий привело к появлению в условиях Санкт-Петербурга свай, устраиваемых путем перемещения проходного шнека на проектную глубину и непрерывного бетонирования скважины при подъеме шнека (CFA). Скорость производства работ и

низкая стоимость установок привела к широкому распространению данной технологии на площадках строительства.

Однако при использовании данной технологии следует уделять строгое внимание технологическим требованиям для производства

¹³ Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. ... 2010.

работ: при несоответствии скорости вращения поступательному движению шнека происходит либо развитие дополнительных напряжений в грунтовом массиве связанных с условным режимом «вдавливания» шнека в грунтовый массив, либо наоборот, производится движение грунта по лопастям шнека вверх, сопровождающееся неконтролируемым извлечением грунта из скважины в случае залегания слабого грунта поверх толщи плотных отложений, что как раз характерно для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга.

Кроме того, в процессе производства выноса избыточного объема грунта происходит расструктурирование и разрушение грунтового массива в области вокруг скважины. Влияние данного процесса фиксировалось, например, на площадке строительства на Лиговском проспекте в Санкт-Петербурге, где после консервации строительной площадки после завершения работ по устройству свай CFA фиксировалось развитие дополнительных деформаций сооружений в связи с развитием пластических деформаций грунтового массива после разрушения области грунта вокруг устраиваемых скважин (рисунок 12).

Оценка рисков, связанных с технологиями устройства свайных фундаментов

В соответствии с рассмотренными данными геотехнического мониторинга за дополнительными перемещениями сооружений окружающей застройки при производстве работ по устройству свайных фундаментов с использованием различных технологий в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга можно выделить различные факторы риска, осложняющие безопасность строительных работ.

В случае использования свай заводского изготовления: забивных или статически вдавливаемых, основными факторами риска являются:

- динамическое воздействие на грунты основания, а также здания и сооружения окружающей застройки;
- развитие дополнительных напряжений в грунтовом массиве вследствие процессов погружения свай.

При использовании буровых свай под защитой глинистого раствора развитие возможных аварийных ситуаций прежде всего связано с:

- возможной потерей устойчивости стенок устраиваемых скважин;
- нарушением сплошности устраиваемых свай в условиях наличия слабых грунтов в пределах скважин.

При использовании буровых свай под защитой обсадной трубы основными факторами риска являются:

- возможное избыточное извлечение грунта из скважины вследствие разрушения грунтовой «пробки», обеспечивающей устойчивость скважины;
- возможное динамическое воздействие на грунты основания, а также здания и сооружения окружающей застройки при погружении или извлечении обсадных труб.

Использование набивных свай (Fundex, DDS, Atlas) в первую очередь сопряжено с наличием следующих факторов риска:

- развитие дополнительных напряжений в грунтовом массиве вследствие процессов погружения свай, приводящее к значительным деформациям подъема окружающего массива грунта;
- последовательность устройства свай, приводящая к формированию «волны» напряжений, фронт которой движется по направлению зданий или сооружений окружающей застройки.

Использование свай CFA может приводить к развитию возможных аварийных ситуаций вследствие:

- нарушения соответствия поступательного и вращательного движения шнека, что может приводить к развитию дополнительных напряжений в грунтовом массиве или избыточному извлечению грунта из скважины;
- локальных вывалов грунта в ствол скважины и перебора грунта.

Для расчета влияния технологии устройства свай разработаны различные аналитические и численные методики. Однако в большинстве случаев такие методики не позволяют варьировать параметрами оборудования: крутящим моментом, скоростью вращения шнека и другим. Отдельные случаи учета скорости вращения шнека представлена в работе [18]. При некорректном подборе оборудования или несоблюдении технологии производства работ в наиболее неблагоприятных случаях зона влияния от устройства сваи может достигать 2 длин сваи [23].

Снижение дополнительных деформаций окружающих конструкций можно достичь за счет снижения веса бурового оборудования, что, однако, ограничивает его мощность и, следовательно, возможные габаритные размеры свай. Для снижения влияния также возможно предусмотреть различные системы снижения вибраций от оборудования.

Рекомендации по выбору технологий для устройства свайного основания в условиях Санкт-Петербурга

С учетом опыта выполнения свайных работ на строительных площадках города Санкт-Петербурга и рассмотренных параметров строительных машин можно говорить о том, что наименьшим технологическим влиянием обладают сваи под защитой обсадной трубы. При этом высокую производительность при отсутствии технологического влияния обеспечивают сваи Double Rotary. Однако оба этих вида свай обладают сравнительно низкой несущей способностью по боковой поверхности сваи за счет способа образования скважины, а также высокой себестоимостью. Два этих недостатка обосновывают устройство данных свай только в сложных геотехнических ситуациях в условиях плотной городской застройки.

Устройство свай НПШ требует строгого контроля скорости вращения и погружения шнека для обеспечения устойчивости стенок скважины и минимизации перебора грунта. Для этого на стадии проектирования необходимо принять во внимание наличие прослоек плотных песков и щебенистых грунтов, где усилие погружения шнека необходимо повысить.

Сваи Fundex возможно применять при отсутствии окружающей застройки в зоне возможного влияния. В противном случае необходимо разработать технологическую последовательность, в которой будет учитываться количество погружаемых свай в сутки, последовательность выполнения свай, выполнение замкнутого контура ограждения котлована до начала устройства свай. Также с учетом метода бетонирования необходим контроль сплошности тела сваи.

Устройство свай в условиях плотной городской застройки требует строгого соблюдения технологической последовательности производства работ для обеспечения качества производства свай и минимизации влияния на окружающий массив грунта и застройку.

Для контроля необходимо оснащение оборудования специальными датчиками, измерения которых выводятся на экран приборной панели или пульта управления. Операторам должны быть доступны частично или полностью автоматизированные системы для выполнения монотонных и повторяющихся задач, повышая надёжность процесса и удобство использования. Для повышения качества строительных работ существуют буровые системы для фиксации скорости вращения и погружения шнека, контроль наклона и вылета

мачты, контроль положения свай в свайном поле [24] и другое.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении представлены основные выводы по данной работе:

1. В сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга выбор технологии производства работ по устройству свайного основания должен сопровождаться оценкой рисков от технологического влияния на массив грунта и здания окружающей застройки.

2. Строительные машины для устройства свай должны подбираться на основе режима взаимодействия рабочего органа с грунтом. При этом важно учитывать особенности инженерно-геологических условий: наличие водонасыщенных слабых грунтов, наличие прослоек плотных или галечниковых грунтов. Определяющими для выбора машины являются теговое усилие и крутящий момент. В условиях ограниченного пространства немаловажными являются габариты оборудования.

3. Анализ аварийных ситуаций, опыта строительства в условиях Санкт-Петербурга и технологий производства работ показывает, что наиболее щадящей и производительной считается технология устройства свай Double Rotary, сочетающая преимущества свай НПШ и выполняемых под защитой обсадной трубы.

4. Анализ литературы показывает, что наиболее эффективным методом прогнозирования влияния на окружающую застройку и грунтовый массив является численное моделирование (например, метод конечных элементов).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ci D, Gu C. Numerical Simulation of the Influence of Piling on the Surrounding Soil. B: Advanced Construction Technology and Research of Deep-Sea Tunnels Lecture Notes in Civil Engineering. Singapore: Springer; 2024. pp. 223–31. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-2417-8_20.
2. Мангушев Р.А., Сапин Д.А. Учет жесткости конструкций «стена в грунте» на осадку соседних зданий // Жилищное строительство. 2015. (9). С. 3–7.
3. Мангушев Р.А., Гурский А.В., Полунин В.М. Учет влияния технологических осадок зданий окружающей застройки при устройстве шпунтовых ограждений соседних котлованов // Жилищное строительство. 2020. (9). С. 9–19. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-9-9-19>
4. Дьяконов И.П. Анализ работы свай «Фундекс» в слабых глинистых грунтах // Вестник гражданских инженеров. 2017. 62(3). С. 55–8. DOI: <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-3-55-58>

5. Полунин В.М., Мельников А.В., Дружинин М.С., Туккия А.Л. Развитие технологических осадок фундаментов зданий в процессе высокочастотного виброизвлечения свай // Жилищное строительство. 2024. (5). С. 3–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-5-3-12>
6. Шулятьев О.А., Минаков Д.К. Технологические осадки при устройстве стены в грунте траншейного типа // Construction and Geotechnics. 2017. 8(3). С. 41–50. DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.3.05>
7. Болдырев Г.Г., Идрисов И.Х., Мягков К.А., Новичков Г.А. Численное решение задачи бурения скважины шнеком // Геотехника. 2015. (5). С. 40–53.
8. Lande E.J., Ritter S., Karlsrud K., Nordal S. Understanding effects from overburden drilling of piles—a rational approach to reduce the impacts on the surroundings. Canadian Geotechnical Journal. 2024. 61(10). С. 2206–22. DOI: <https://doi.org/10.1139/cgj-2023-0404>
9. Гайдо А.Н. Исследование технологических параметров вдавливания свай // Вестник гражданских инженеров. 2012. 4(33). С. 129–37.
10. Евтюков С.А., Доброборский Б.С. Применение пневматических машин ударного действия с подвижным корпусом в бурильных установках // Вестник гражданских инженеров. 2015. 49(2). С. 145–8.
11. Gonet A., Stryczek S., Fyda M. A review of pile machines and their selection criteria. AGH Drilling, Oil, Gas. 2015. 32(3). DOI: <https://doi.org/10.7494/drill.2015.32.3.469>
12. Гайдо А.Н., Верстов В.В. К вопросу определения технологических параметров производства свайных работ в стесненных условиях // Вестник гражданских инженеров. 2017. 62(3). С. 84–94. DOI: <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-3-84-94>
13. Мангушев Р.А., Пономарев А.Б. К вопросу контроля качества изготовления и приемки буронабивных свай // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. (3). С. 87–109.
14. Осокин А.И., Сбитнев А.В., Серебрякова А.Б., Татаринцов С.В. Особенности устройства буронабивных свай в слабых грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2006. (6). С. 50–2.
15. Tomlinson M., Woodward J. Pile Design and Construction Practice. Sixth edition. CRC Press; 2020. 608 p.
16. Sari O.L., Saputra A.A.I., Subhakti A., Putri A.P., Khala C.C.S. The influence in selection of pile type and foundation piling method. B: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Banda Aceh, Indonesia; 2020. p. 012033. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1087/1/012033>.
17. Дьяконов И.П., Конюшков В.В. Особенности работы набивной завинчиваемой сваи «Фундекс» в разнородных грунтах // Вестник гражданских инженеров. 2014. 6(47). С. 116–20.
18. Shi D., Yang Y., Deng Y., Xue J. DEM modelling of screw pile penetration in loose granular assemblies considering the effect of drilling velocity ratio. Granular Matter. 2019. 21(74). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10035-019-0933-3>.
19. Zhao Q., Wang Y., Tang Y., Ren G., Qiu Z., Luo W., и др. Numerical Analysis of the Installation Process of Screw Piles Based on the FEM-SPH Coupling Method. Appl Sci. 2022. 17(12): 8508. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12178508>.
20. Мангушев Р.А., Осокин А.И. Геотехника Санкт-Петербурга: монография. М.: ACB, 2010. 264 с.
21. Issakulov A.B., Zhussupbekov A.Zh., Wang D.W., Omarov A., Mukhanov D., Yessentayev A. Comparison of bearing capacities of model drilled micro piles using DDS and CFA technologies. Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series. 2023. 145(4): 165–74. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-165-174>.
22. Cherian A. Static Behavior of Strain Gauge Instrumented Continuous Flight Auger (CFA) Piles. Jordan Journal of Civil Engineering. 2022. 16(2): 229–41.
23. Arab M., Abdelmoghni M., Akl S., Dif A. Numerical Modeling of Unfavorable CFA Pile Drilling Conditions. Geotech Geol Eng. 2020. 38: 6869–89. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01475-3>.
24. Гайдо А.Н., Погода А.Г., Колчеданцев Л.М., Вершинин Д.В. Дистанционная система контроля технологических параметров вдавливания свай // Computers and Geotechnics. 2020. 11(3). С. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2020.3.02>

REFERENCES

1. Ci D, Gu C. Numerical Simulation of the Influence of Piling on the Surrounding Soil. B: *Advanced Construction Technology and Research of Deep-Sea Tunnels Lecture Notes in Civil Engineering*. Singapore: Springer; 2024: 223–31. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-2417-8_20.
2. Mangushev R.A., Sapin D.A. Considering the rigidity of diaphragm wall structures for the settlement of adjacent buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo (Housing Construction)*. 2015; (9): 3–7. (in Russ.)
3. Mangushev R.A., Gurskii A.V., Polunin V.M. Taking into Account the Influence of Technological Precipitation of Buildings of the Surrounding Development when Installing Sheet Piling Fences of Neighboring Ditches. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo (Housing Construction)*. 2020; (9): 9–19. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-9-9-19>. (in Russ.)
4. Diakonov I.P. Analysis of the “Fundex” pile performance in soft soils. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2017; 62(3): 55–8. DOI: <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-3-55-58>. (in Russ.)
5. Polunin V.M., Melnikov A.V., Druzhinin M.S., Tukkiya A.L., Development of technological settlement of building foundations in the process of high-frequency vibration extraction of piles. *Zhilishchnoe Stroitel'st-*

vo (Housing Construction). 2024; (5): 3–12. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2024-5-3-12>

6. Shuliatev O.A., Minakov D.K. Technological settlements during the construction of a diaphragm wal. *Construction and Geotechnics*. 2017; 8(3): 41–50. DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2017.3.05>. (in Russ.)

7. Boldyrev G.G., Idrisov I.Kh., Miagkov K.A., Novichkov G.A. Numerical solution for the problem of drilling a hole with continuous three-bit auger. *Geotechnics*. 2015; (5): 40–53. (in Russ.)

8. Lande E.J., Ritter S., Karlsrud K., Nordal S. Understanding effects from overburden drilling of piles—a rational approach to reduce the impacts on the surroundings. *Canadian Geotechnical Journal*. 2024; 61(10): 2206–22. DOI: <https://doi.org/10.1139/cgj-2023-0404>.

9. Gaido A.N. Study of technological parameters of pile driving. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2012; 4(33):129–37. (in Russ.)

10. Evtukov S.A., Dobroborskii B.S. Application of pneumatic impact machines with a movable body in drilling rigs. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 49(2): 145–8. (in Russ.)

11. Gonet A., Stryczek S., Fyda M. A review of pile machines and their selection criteria. *AGH Drilling, Oil, Gas*. 2015; 32(3). DOI: <https://doi.org/10.7494/drill.2015.32.3.469>.

12. Gaido A.N., Verstov V.V. Determination of technology parameters of carrying out piling works in the constrained urban environment conditions. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2017. 62(3): 84–94. DOI: <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-3-84-94>. (in Russ.)

13. Mangushev R.A., Ponomarev A.B. [On the issue of quality control of manufacturing and acceptance of bored piles]. *Construction and Geotechnics*. 2014. (3): 87–109. (in Russ.)

14. Osokin A.I., Sbitnev A.V., Serebriakova A.B., Tatarinov S.V. [Features of the device of bored piles in weak soils]. *Modern Industrial and Civil Construction*. 2006. (6):50–2. (in Russ.)

15. Tomlinson M., Woodward J. *Pile Design and Construction Practice*. Sixth edition. CRC Press; 2020; 608.

16. Sari O.L., Saputra A.A.I., Subhakti A., Putri A.P., Khala C.C.S. The influence in selection of pile type and foundation piling method. B: IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*. Banda Aceh, Indonesia; 2020: 012033. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1087/1/012033>.

17. Diakonov I.P., Koniushkov V.V. Features of the operation of the Fundex driven screw pile in heterogeneous soils. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2014. 6(47): 116–20. (in Russ.)

18. Shi D., Yang Y., Deng Y., Xue J. DEM modelling of screw pile penetration in loose granular assemblies considering the effect of drilling velocity ratio. *Granular Matter*. 2019; 21(74). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10035-019-0933-3>.

19. Zhao Q., Wang Y., Tang Y., Ren G., Qiu Z., Luo W., и др. Numerical Analysis of the Installation Process of Screw Piles Based on the FEM-SPH Coupling Method. *Appl Sci*. 2022; 17(12): 8508. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12178508>.

20. Mangushev R.A., Osokin A.I. *Geotechnics of Saint Petersburg: Monograph*. Moscow: Publishing house ASV; 2010: 264. (in Russ.)

21. Issakulov A.B., Zhussupbekov A.Zh., Wang D.W., Omarov A., Mukhanov D., Yessentayev A. Comparison of bearing capacities of model drilled micro piles using DDS and CFA technologies. *Bulletin of LN Gumilyov Eurasian National University Technical Science and Technology Series*. 2023. 145(4): 165–74. DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-165-174>.

22. Cherian A. Static Behavior of Strain Gauge Instrumented Continuous Flight Auger (CFA) Piles. *Jordan Journal of Civil Engineering*. 2022. 16(2): 229–41.

23. Arab M., Abdelmoghni M., Akl S., Dif A. Numerical Modeling of Unfavorable CFA Pile Drilling Conditions. *Geotech Geol Eng*. 2020. 38:6869–89. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01475-3>.

24. Gaido A.N., Pogoda A.G., Kolchedantsev L.M., Verzhinin D.V. Remote control system for technological parameters of pressed piles. *Computers and Geotechnics*. 2020. 11(3):18–28. DOI: <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2020.3.02>. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Пономарев А.Б. Концепция исследования, научное руководство, научное редактирование текста.

Кораблев Д.С. Оценка рисков, связанных с технологиями устройства свайных фундаментов, разработка рекомендаций по выбору технологий устройства свайных оснований в условиях Санкт-Петербурга, доработка текста.

Паскачева Д.А. Анализ аварийных ситуаций на объектах строительства в условиях Санкт-Петербурга, корректировка выводов, развитие методологии, доработка текста, подготовка схем и рисунков

Авторами внесен равный вклад в разработку статьи.

CONTRIBUTIONS CO-AUTHORS

A.B. Ponomarev Research concept, scientific supervision, scientific editing of the text.

D.S. Korablev Assessment of risks associated with pile foundation construction technologies, development of recommendations for the selection of pile foundation construction technologies in the conditions of St. Petersburg, text revision.

D.A. Paskacheva Analysis of emergency situations at construction sites in the conditions of St. Petersburg, correction of conclusions, development of methodology, text revision, preparation of diagrams and drawings.

The authors contributed equally to the publication of the article.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пономарев Андрей Будимирович – д-р техн. наук, проф., проф. и заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство» Санкт-Петербургского горного университета им. Екатерины II (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2).

ORCID ID: 0000-0001-6521-9423,
Scopus Author ID: 57217213346,
Researcher ID: 677082,
SPIN-код: 5629-8814,
e-mail: Ponomarev_AB@pers.spmi.ru

Паскачева Дарья Алексеевна – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», ассистент кафедры «Геотехника» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4).

ORCID ID: 0000-0001-6235-8604,
Scopus Author ID: 58204623100,
Researcher ID: 1203448,
SPIN-код: 7144-5497,
e-mail: dashaP17012000@yandex.ru

Кораблев Денис Сергеевич – аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические машины», ассистент кафедры «Геотехника» Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4)

ORCID ID: 0009-0008-2265-428X,
Researcher ID: 1208845,
SPIN-код: 6642-0799,
e-mail: d.korablv@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andrey B. Ponomarev – Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Professor and Head of the Department of Industrial and civil construction, Saint Petersburg Mining University (2, 21rd Line of Vasilyevsky Island, St. Petersburg, 199106).

ORCID ID: 0000-0001-6521-9423,
Scopus Author ID: 57217213346,
Researcher ID: 677082,
SPIN-code: 5629-8814,
e-mail: Ponomarev_AB@pers.spmi.ru

Daria A. Paskacheva – Postgraduate student of the Department of Ground Transport and Technological Machines, Assistant Professor at the Department of Geotechnics Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., St. Petersburg, 190005)

ORCID ID: 0000-0001-6235-8604,
Scopus Author ID: 58204623100,
Researcher ID: 1203448,
SPIN-code: 7144-5497,
e-mail: dashaP17012000@yandex.ru

Denis S. Korablev – Postgraduate student of the Department of Ground Transport and Technological Machines, Assistant Professor at the Department of Geotechnics Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., St. Petersburg, 190005)

ORCID ID: 0009-0008-2265-428X,
Researcher ID: 1208845,
SPIN-code: 6642-0799,
e-mail: d.korablv@yandex.ru