

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

На правах рукописи

**Ле Ван Чонг**

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВАЙ, ИЗГОТОВЛИВАЕМЫХ В ГРУНТЕ,  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКИХ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

Специальность 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооружения»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор  
технических наук, профессор  
Кондратьева Л.Н.

Санкт-Петербург – 2021

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ<br/>СВАЙ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ .....</b> | <b>12</b> |
| 1.1 Актуальность темы исследования.....   | 12        |
| 1.2 Технологические особенности изготовления буронабивных свай.....   | 15        |
| 1.3 Оценка взаимодействия свай, изготавливаемых в грунте, с грунтовым массивом в процессе их изготовления.....  | 26        |
| 1.4 Выводы по первой главе .....  | 28        |
| <b>ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ<br/>БУРОВЫХ СВАЙ.....</b>                                   | <b>30</b> |
| 2.1 Инженерно-геологические условия г. Санкт-Петербурга.....  | 30        |
| 2.2 Аналитические методы расчета .....  | 39        |
| 2.2.1 Несущая способность свай с использованием табличных значений сопротивления грунтов .....                  | 39        |
| 2.2.2 Несущая способность свай по прочностным характеристикам грунта... ..                                      | 41        |
| 2.3 Численное моделирование .....   | 42        |
| 2.4 Статическое зондирование .....  | 44        |
| 2.5 Статическое полевое испытание свай статической нагрузкой .....  | 45        |
| 2.5.1 Статические испытания буровых свай на вдавливающую нагрузку .....   | 46        |
| 2.5.2 Полевые испытания буровых свай методом погружного домкрата (метод O-cell).....                            | 49        |
| 2.5.3 Обработка графиков зависимостей «нагрузка – осадка».....  | 51        |
| 2.6 Оценка несущей способности свай, вычисленной по различным методикам .....                                   | 53        |
| 2.6.1 Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки .....                                     | 54        |
| 2.6.2 Особенности определения несущей способности буровых свай по грунту .....                                  | 56        |
| 2.7 Выводы по второй главе .....  | 58        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ГЛАВА 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ<br/>СВАЙ.....</b>   | <b>59</b>  |
| 3.1 Методы статистической обработки данных .....   | 59         |
| 3.2 Анализ результатов полевых испытаний буровых свай на вертикальную<br>сжимающую нагрузку .....  | 62         |
| 3.2.1 Несущая способность свай в зависимости от технологии изготовления  | 64         |
| 3.2.2 Несущая способность свай в зависимости от глубины заложения острия<br>свай.....  | 70         |
| 3.3 Исследование сопротивления песчаных и глинистых грунтов для буровых<br>свай глубокого заложения.....   | 73         |
| 3.4 Выводы по третьей главе .....  | 76         |
| <b>ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>   | <b>78</b>  |
| 4.1 Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки.....   | 78         |
| 4.2 Краткое описание конструктивных решений подземной части объекта.....   | 82         |
| 4.3 Несущая способность одиночной сваи.....  | 84         |
| 4.3.1 Аналитический метод определения несущей способности свай .....   | 85         |
| 4.3.1.1. Несущая способность свай по грунту (метод СП 24.13330.2011).....  | 85         |
| 4.3.1.2. Несущая способность свай по грунту (предлагаемый способ) .....  | 88         |
| 4.3.1.3. Несущая способность свай по материалу .....   | 89         |
| 4.3.2 Определение несущей способности свай с применением коэффициентов<br>соотношений фактических и теоретических параметров исследованных свай<br>..... | 89         |
| 4.3.3 Определение несущей способности свай по результатам статических<br>полевых испытаний.....  | 90         |
| 4.4 Численное моделирование свайного фундамента.....   | 92         |
| 4.5 Выводы по четвертой главе .....  | 96         |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>  | <b>97</b>  |
| <b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>  | <b>98</b>  |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>   | <b>112</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>   | <b>113</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время направления развития в крупных и малых городах характеризуются высотными зданиями и сооружениями с развитым подземным пространством. Эти сооружения передают значительные нагрузки на грунты основания, поэтому необходимо заглублять сваи на большую глубину в надежных грунтах (например, в моренных или вендских отложениях Санкт-Петербурга). В Санкт-Петербурге имеются толщи (20...30 м и более) сильнодеформируемых грунтов с модулями деформации 5...10 МПа. Кроме этого, вследствие длительных геологических процессов, происходивших тысячи лет назад, слабые грунты крайне неравномерно распределены по глубине и площади залегания. Оценка несущей способности свай остается одним из сложных разделов в геотехнических расчетах за исключением простых расчетных схем, отраженных в технических регламентах. Наиболее надежной теоретической базой для количественной оценки несущей способности свай на вертикальную нагрузку является статический полевой метод. Таким образом, повышение точности и достоверности расчетов несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга позволяет определить подходящую технологию изготовления свай и оптимальные размеры (диаметр, длина) с целью повышения надежности, снижения их ресурсоемкости, затрат на строительство, поэтому тема исследования является актуальной.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросам изучения несущей способности свай уделяли большое внимание теоретики-экспериментаторы: С. Я. Боженков, А. А. Бирюков, А. Л. Готман, Н. З. Готман В. Н. Голубков, Б. И. Далматов, Б. И. Дидух, В. В. Знаменский, А. А. Луга, Л. С. Лapidус, Ф. К. Лапшин, Р. А. Мангушев, Н. С. Никитина, А. И. Осокин, В. Н. Парамонов, А. Б. Пономарев, Ю. В. Россихин, С. Н. Сотников, З. Г. Тер-Мартirosян, А. З. Тер-Мартirosян, В. М. Улицкий, В. С. Уткин, А. Б. Фадеев, А. Г. Шашкин и другие исследователи.

Анализировали влияние на несущую способность свай, изготавливаемых в грунте, технологии изготовления: В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, А. Л. Готман, В. Н. Пармонов, В. В. Конюшков, А. А. Луга и другие ученые.

Особенности характеристик компонентов геологической среды Санкт-Петербурга, влияющих на условия строительства, описаны в работах А. А. Алейникова, П. О. Бойченко, Р. Э. Дашко, Л. Г. Заварзина, А. А. Кагана, В. М. Фурсы и других ученых.

Исследованием особенностей работы системы «свая-грунт» занимались зарубежные авторы: Дж. Б. Берланд, Х. Брандль, В. Ф. Ван Импе, Г. Д. Поулос, Р. Б. Пек, А. У. Скемптон, К. Терцаги и других ученых.

Методикам анализа графиков «нагрузка-осадка» по результатам полевых испытаний свай под воздействием вертикальной статической нагрузки посвящены работы Б. И. Далматова, Ф. К. Лапшина, Б. В. Лисицина, Ю. В. Россихина, М. Т. Davisson, E. E. Debeer, J. V. Hansen, F. K. Chin.

**Целью диссертационной работы** является сравнительная оценка несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, по результатам полевых испытаний в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга для более достоверной оценки допускаемой нагрузки на сваю.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи исследования**:

1. Проанализировать основные факторы, которые влияют на несущую способность свай, изготавливаемых в грунте.
2. Разработать схемы распространения моренных и вендских отложений в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.
3. Произвести статистическую обработку результатов полевых статических испытаний более чем 600 буровых свай, выполненных обществом с ограниченной ответственностью «ПКТИ ФУНДАМЕНТ-ТЕСТ» с 2000 по 2020г.

4. Сопоставить диаграммы несущей способности по грунту буровых свай, вычисленных по существующим техническим нормам и полученных в результате статических полевых испытаний.

5. Выполнить прогноз несущей способности по грунту буровых свай до 100 м.

**Объект исследования:** Сваи, изготавливаемые в грунте.

**Предмет исследования:** Несущая способность свай, изготавливаемых в грунте.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

1. Получена зависимость типа технологии изготовления свай на несущую способность свай, изготавливаемых в грунте, по существующим техническим нормам и литературным источникам.

2. Оформлены в цвете схемы распространения моренных и вендских отложений в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

3. Предложены корректирующие коэффициенты, позволяющие более точно рассчитать несущую способность буровых свай по грунту в зависимости от технологии их изготовления и глубины заложения острия свай.

4. Получены значения несущей способности по грунту буровых свай глубиной заложения до 100 м.

**Практическая значимость диссертационного исследования:** заключается в возможности применения разработанных схем распространения моренных и вендских отложений для оценочных расчетов при проектировании свай, изготавливаемых в грунте, в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Получены значения несущей способности по грунту буровых свай глубиной заложения до 100 м. с дополнительными корректирующими коэффициентами к несущей способности свай в зависимости от физических свойств грунтов по боковой поверхности и под пятой.

**Теоретическая значимость работы** заключается в обосновании использования корректирующих коэффициентов, более достоверно оценивающих

несущую способность буровых свай, расположенных в моренных или вендских отложениях.

### **Методология и методы исследований.**

1. На основе анализа литературных источников было выполнена оценка влияния взаимодействия свай, изготавливаемых в грунте, с грунтовым массивом в период их изготовления на несущую способность по грунту для точного расчета.

2. Статистическая обработка и анализ большого объема данных полевых статических испытаний буровых свай.

3. Сопоставительный анализ результатов аналитического расчета несущей способности по грунту буровых свай с результатами статических полевых испытаний свай.

**Область исследования.** Согласно сформулированной цели научной работы, её научной новизне и установленной практической значимости диссертация соответствует паспорту специальности 05.23.02 - Основания и фундаменты, подземные сооружения, пункт 4 – «Разработка новых методов расчета, конструирования и устройства фундаментов на естественном основании, глубокого заложения и свайных фундаментов с учетом взаимодействия их с надфундаментными конструкциями, фундаментами близрасположенных зданий и сооружений и конструкциями подземных сооружений».

**Степень достоверности результатов проведенных исследований** обоснована применением основных положений, механики деформируемого твердого тела, моделей механики грунтов, численного моделирования и математической статистики для обработки большого объема данных полевых испытаний свай с использованием метода наименьших квадратов.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Оценка влияния особенностей технологии изготовления свай, изготавливаемых в грунте, на их несущую способность.

2. Аналитические способы расчётов несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, на вертикальную нагрузку.

3. Результаты статистической обработки данных полевых испытаний для повышения точности и достоверности расчета несущей способности по грунту буровых свай.

4. Сопоставление результатов аналитических расчетов, выполненных по разработанной методике, с численными.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 71-ой Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» (3-5 апреля 2019г., СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург); V Международной учебно-практической молодежной конференции по Геотехнике. (25-27 сентября 2019г., НИИОСП им. Н. М. Герсеванова, г. Москва); 75-ой научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета «Архитектура – строительство – транспорт». (19–20 ноября 2019 г., СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург); 73-ой научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Актуальные проблемы современного строительства» (08-10 апреля 2020 г., СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 научных работ, в том числе 3 публикации в журналах из перечня ВАК и две статьи в изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 145 страниц, включая 47 рисунков и 20 таблицы. Список литературы содержит 141 наименование (в том числе 28 зарубежные).

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертации, определены: цель диссертационной работы, задачи исследования, объект, предмет и методы исследования; сформулированы научная новизна, практическая значимость работы, основные положения, выносимые на защиту, а также приведены сведения об апробации научных результатов, общей структуре и объёме диссертации.

**В первой главе** приведены последовательность устройства свай, область применения некоторых технологий изготовления буронабивных свай в грунте, отражены их достоинства и недостатки с экономической и технической точки зрения. А также оценено взаимодействие буровых свай с грунтовым массивом в процессе их изготовления.

**Во второй главе** приведены особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. По результатам исследований получены ориентировочные значения физико-механических характеристик грунтов, используемых в качестве основания существующих зданий и сооружений и объектов нового строительства. Оформлены схематичные карты глубин залегания кровли ледниковых моренных отложений и дочетвертичных вендских глин, которые преимущественно являются несущими грунтами для свайных фундаментов. Рассмотрены основные способы расчетов несущей способности свай по грунту. Сравнивались результаты расчетов несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, получаемые расчетным методом и полевыми испытаниями в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга по различным методикам.

**В третьей главе** была проведена полномасштабная статистическая обработка полевых статических испытаний более чем 600 буровых свай, проведенных ООО ПКТИ «Фундамент-тест» в Санкт-Петербурге с 2000 по 2020г. Представлены результаты статистической обработки с использованием метода наименьших квадратов и разработанные графики сопоставления результатов корреляции между несущей способностью свай, определенной по техническим нормам и полученных в результате полевых испытаний.

**В четвертой главе** приведены результаты внедрения разработанного способа расчета несущей способности буровых свай по грунту с использованием корректирующих коэффициентов на объекте Санкт-Петербурга.

В приложении «А» представлен акт внедрения.

В приложении «Б» представлены результаты статистической обработки на основе 600 полевых испытаний буровых свай статической нагрузкой в Санкт-Петербурге и прилегающих районах.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю – д.т.н., профессору Кондратьевой Л. Н., сотрудникам кафедры «Геотехники» СПбГАСУ под руководством д.т.н., профессора Мангушева Р. А. за помощь, советы, замечания и рекомендации по диссертационной работе.

# ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

В настоящей главе приведены последовательность устройства, область применения некоторых технологий изготовления буронабивных свай в грунте, отражены их достоинства и недостатки с экономической и технической точки зрения. Выполнена оценка влияния взаимодействия свай, изготавливаемых в грунте, с грунтовым массивом в период их изготовления на несущую способность свай для точного расчета и эффективность применения свай.

## 1.1 Актуальность темы исследования

Решение с использованием свай, изготавливаемых в грунте, становится все более популярным и широко применяются в мире и в России в частности. Сваи, изготавливаемые в грунте, позволяют передать значительные нагрузки на основание (до 2 МПа) от высотных зданий и тяжелых сооружений. Эти сваи широко используются в гражданском и промышленном строительстве, поскольку, могут применяться в любых инженерно-геологических условиях, в том числе в неустойчивых и водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах, отсутствие динамических воздействия на конструкции существующих зданий и сооружений, расположенных рядом с строительной площадкой, очень эффективно в условиях стесненной городской застройки для крупных и малых городов. В практике строительства известны примеры устройства свай, изготавливаемых в грунте, в районах с распространением слабых грунтов глубиной до 110 м диаметром 3,8 м (мост Jiashao в Китае). При строительстве башни Лахта Центр в сложных грунтовых условиях Санкт-Петербурга были использованы сваи длиной 85 м диаметром 2 м [108]–[110].

С экономической точки зрения фундаментное решение с использованием свайных фундаментов может быть затратно, если проектные и строительные

решения не соответствуют характеристикам проекта. Технически – это тип фундамента со сложными процессами изготовления; большая глубина заложения свай в грунте. Поэтому необходимо анализировать количественно несущую способность свай, изготавливаемых в грунте, более точно. Несущая способность свай зависит от многих факторов, таких как: точное определение толщины слоя грунта с физико-механическими свойствами; параметры проектирования – выбор метода расчетов, а также входные параметры и граничные условия; технология изготовления свай по различным технологиям с момента позиционирования бурения и заканчивая заполнением и скважины бетоном и извлечением обсадных труб. Анализ и оценка факторов, влияющих на несущую способность свай, изготавливаемых в грунте, способствующих повышению эффективности использования свай, изготавливаемых в грунте, для высотных зданий и сооружений для удовлетворения потребностей развития строительства в Санкт-Петербурге и России.

Определение несущей способности свай выполняется по техническим регламентам [1] с определением несущей способности сваи длиной до 40 м. Однако в настоящее время тенденции развития современного высотного строительства требуют использование свай со значительно большей глубиной заложения на прочных грунтах, что никак не отражено в нормах.

Современные технические регламенты и принципы проектирования ограничены сопротивлениями грунтов по боковой поверхности и под острием свай до 40 м. Между тем строительство высотных зданий и подземных сооружений требует применение свай более глубокого заложения. Принятая в [1] методика расчета несущей способности сваи с максимальной глубиной заложения пяты сваи до 40 м от поверхности планировки, что не позволяет учитывать повышение сопротивления по пяте и боковой поверхности сваи на больших глубинах. Значения сопротивлений грунтов по боковой поверхности свай и под их нижним концом, получены на основе обработки результатов испытаний [45], выполненных по разнообразным методикам, для свай, погруженных в различные грунты.

На сопротивление грунта по боковой поверхности сваи  $f_i$  и под ее нижним концом  $R$  влияют характеристики грунта (показатель текучести  $I_L$ , коэффициент пористости  $e$ ), глубины расположения свай от поверхности планировки, скорости бетонирования, а также технология изготовления сваи в грунте [67],[69].

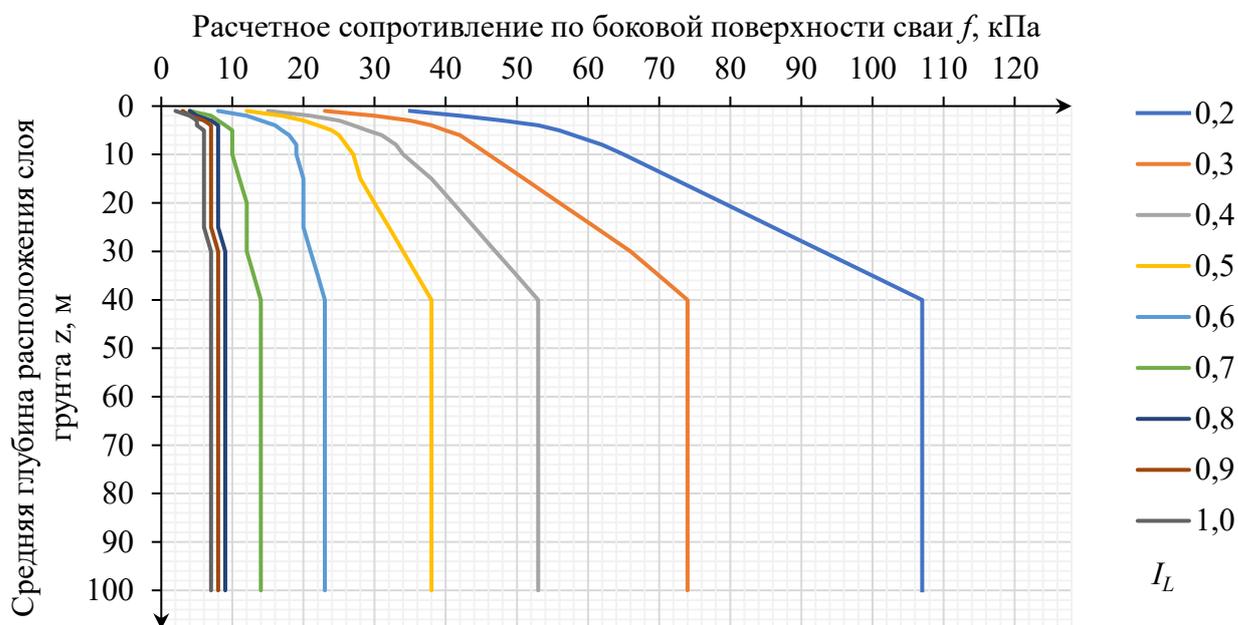


Рисунок 1.1.1. Зависимость расчетного сопротивления грунтов по боковой поверхности сваи от глубины расположения слоя  $Z$  и показателя текучести  $I_L$

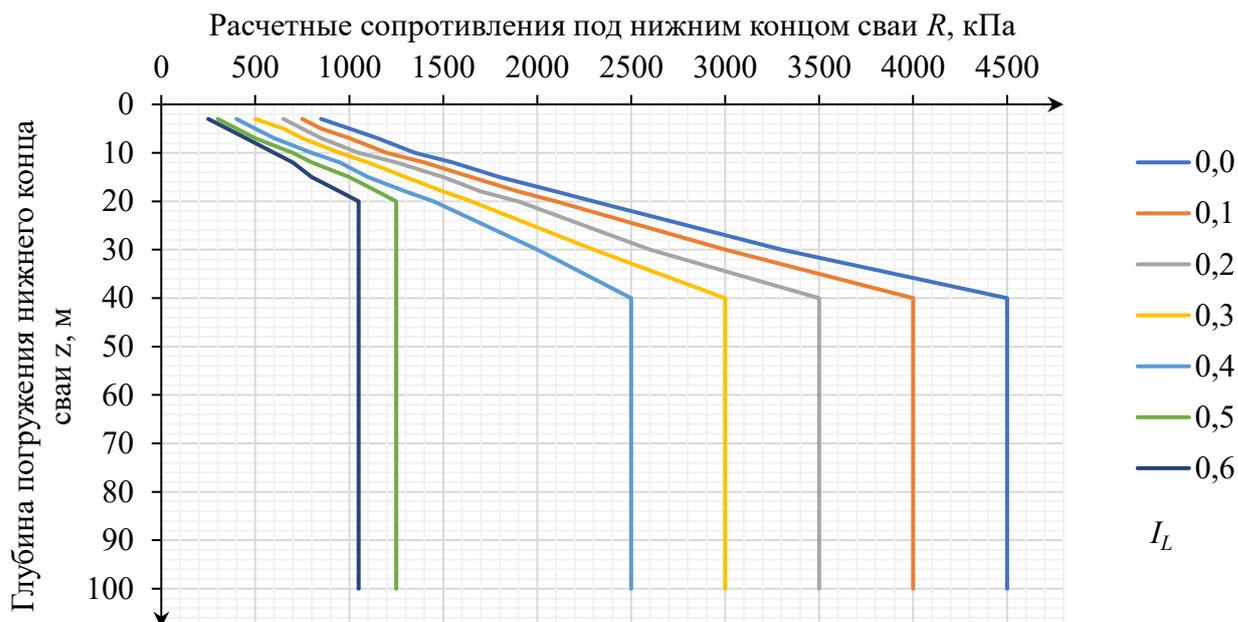


Рисунок 1.1.2. Зависимость расчетного сопротивления грунтов под нижним концом сваи от глубины расположения слоя  $Z$  и показателя текучести  $I_L$

На рисунках 1.1.1, 1.1.2 представлены графики расчетных сопротивлений грунтов по боковой поверхности свай и их нижним концом в зависимости от глубины расположения слоя  $Z$  и показателя текучести  $I_L$ .

Характер изменения предельного сопротивления грунтов на боковой поверхности (рис. 1.1.1) и под острием свай (рис. 1.1.2) в зависимости от глубины заложения до 40 м и физических свойств грунтов из [1], что не позволяет учитывать повышение сопротивления по боковой поверхности свай и под её острием после 40 м является актуальным вопросом.

## 1.2 Технологические особенности изготовления буронабивных свай

В настоящее время существует множество различных технологий и типов оборудования для устройства свай. Согласно [1], буронабивные сваи по способу устройство, подразделяют на следующие типы:

*Набивные сваи:*

- набивные, устраиваемые путем погружения (забивкой, вдавливанием или завинчиванием);
- набивные виброштампованные;

*Буровые сваи:*

- буровые сплошного сечения с уширением и без них;
- буровые с помощью технологии непрерывного полного шнека (CFA);
- баретты (barrette);
- буровые с камуфлетной пятой;
- буроинъекционные диаметром 0,15...0,35 м;
- сваи-столбы;
- буроопускные сваи с камуфлетной пятой.

В строительной практике Санкт-Петербурга в основном используются следующие отечественные технологии изготовления буронабивных свай [12]:

1. Технология проходного шнека;
2. Технология глинистого раствора;
3. Технология обсадной трубы;
4. Технология «DDS»;
5. Технология «FUNDEX»;
6. Технология «ATLAS».

В таблице 1.2.1 приведены некоторые геометрические параметры свай, значения нагрузок при испытаниях и грунты расположены под острием свай, применяемых в Санкт-Петербурге.

Таблица 1.2.1. Геометрические параметры свай, значения нагрузок при испытаниях и грунты расположены под острием свай

| Наименование технологии        | Диаметр свай $D$ , м | Длина свай $L$ , м | Максимальная нагрузка при испытаниях $N$ , кН | Грунты расположены под острием свай   |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|---|---|
| Технология проходного шнека    | до 0,67              | до 30              | до 3000                                       | – Глины твердые<br><br>– Пески средней крупности, крупные и гравелистые, плотные                                |
| Технология глинистого раствора | до 0,62              | до 35              | до 3500                                       |   |
| Технология обсадной трубы      | до 2,00              | до 85              | до 136000                                     |   |
| Технология DDS                 | до 0,62              | до 30              | до 4000                                       | – Суглинки тугопластичные и полутвердые<br>– Супеси и глины твердые<br>– Пески пылеватые и гравелистые, плотные |
| Технология FUNDEX              | до 0,52/0,67         | до 35              | до 4000                                       |   |
| Технология ATLAS               | до 0,51/0,73         | до 35              | до 3000                                       |   |

### Технология устройства свай с помощью проходного шнека

Технология проходного полого шнека (CFA - Continuous Flight Auger) проявила себя с положительной стороны при применении в среднедеформируемых грунтах.

Недоучет тиксотропного разупрочнения водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов, возникающего в околосвайном массиве грунта при устройстве свай по данной технологии при последовательном изготовлении свай без «отдыха»

приводит к существенному перерасходу бетонной смеси (в  $2\div 7$  раза). Повышенный расход бетонной смеси, как правило, имеет место, когда в инженерно-геологическом разрезе площадки присутствуют значительные по толщине слои текучих, текучепластичных суглинков и супесей с низкими прочностными характеристиками.

К достоинствам данной технологии относятся:

- + высокую производительность, которая значительно выше технологий устройства свай с обсадной трубой или под защитой глинистого раствора;

- + относительную экономичность по сравнению с другими технологиями буровых свай.

К недостаткам можно отнести:

- при работе в слабых водонасыщенных грунтах на поверхность может извлекаться объем грунта, значительно превышающий геометрический объем скважины (эффект налипания грунта на шнек);

- высокая вероятность образования дефектов в теле свай в сильнодеформируемых водонасыщенных пылевато-глинистых грунтах.

Рекомендации по устройству буровых свай с помощью проходного шнека:

- технология устройства буровых свай может активно использоваться на небольших строительных площадках в городских условиях ограниченных пространств;

- она эффективна на сложных грунтах;

- хорошо зарекомендовала себя в качестве средства для усиления оснований и фундаментов в случае их перегруженности или увеличения этажности сооружения;

- при точечной застройке, если новый объект возводится на небольшом расстоянии от уже имеющихся строений;

- в случаях, когда требуется провести реконструкцию старых, в том числе аварийных сооружений позволяет избежать динамических нагрузок, способных привести к деформации и разрушению фундамента;

На рисунке 1.2.1 представлена технологическая схема устройства свай с помощью проходного шнека [116].

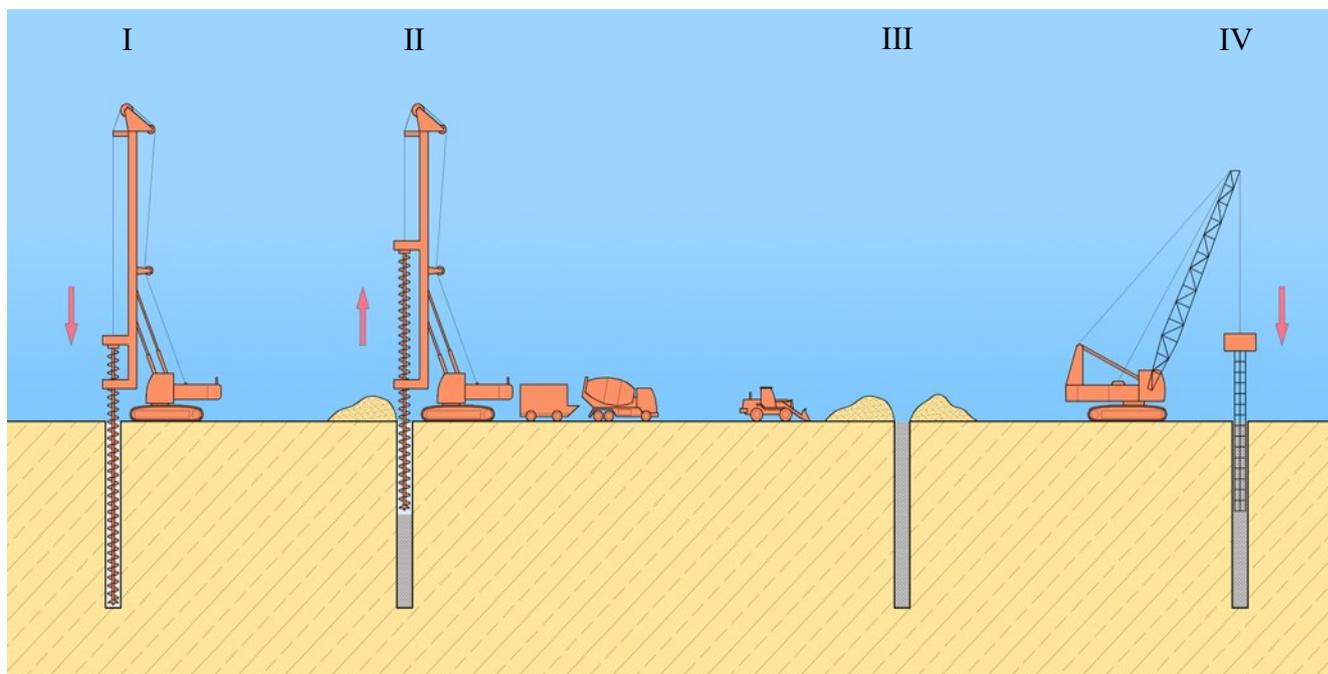


Рисунок 1.2.1. Технологическая схема устройства свай проходным шнеком  
 I – бурение грунта колонной полых шнеков; II – заполнение скважины бетоном через колонну шнеков с помощью бетононасоса; III – уборка выбуренного грунта с устья скважины; IV – установка аромкаркаса в скважину с помощью вибропогружателя

### **Технология устройства свай под защитой обсадной трубы [55]**

Технология обсадной трубы состоит в погружении инвентарной трубы с одновременным вращением и вдавливанием. Как правило, толщина стенки трубы составляет до 40 мм. Колонна обсадной трубы состоит из жестко закрепленных между собой отдельных секций. Данная технология устройства свай применима в грунтах, имеющих низкие физико-механические показатели, а также в водонасыщенных грунтах. Обсадная труба предотвращает неизбежное обрушение стенок пробуриваемой скважины, тем самым формируя четкие границы будущей сваи [41].

К достоинствам данной технологии можно отнести:

+ возможность устройства свай больших геометрических параметров: длины и диаметра;

+ высокую несущую способность сваи по грунту и по материалу по сравнению с полым шнеком и глинистым раствором.

К недостаткам технологии относятся:

- возможность перебора грунта из скважины в результате эффекта «подсоса» слабого водонасыщенного грунта;
- высокая стоимость по сравнению с другими технологиями буровых свай.

На рисунке 1.2.2 представлена технологическая схема устройства свай под защитой обсадной трубы [68].

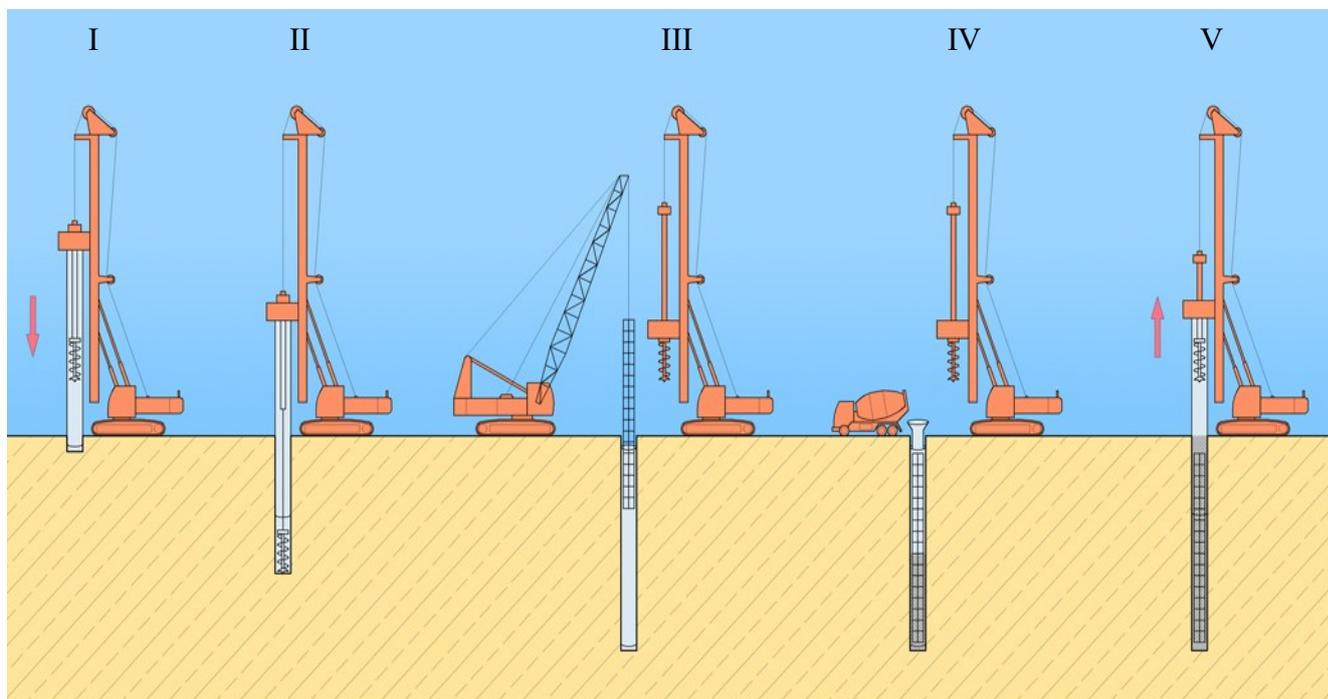


Рисунок 1.2.2. Технологическая схема устройства свай под защитой обсадной трубы

I – погружение колонны обсадных труб в грунт; II – извлечение грунта из обсадной колонны; III – погружение армокаркаса в скважину; IV – заполнение скважины бетоном; V – извлечение обсадных труб

### Технология устройства свай под защитой глинистого раствора [118]

Технология изготовления свай под защитой глинистого раствора широко использовалась в Советском Союзе в пятидесятые годы прошлого века. Этот метод теоретически обоснован в работах Н. М. Герсевича.

Технология изготовления свай под защитой глинистого раствора максимально эффективна в неустойчивых и водонасыщенных грунтах.

В пробуренную скважину происходит непрерывная подача глинистого раствора, который предотвращает обрушение стенок скважины за счет большого объемного веса, которым обладает раствор. С помощью глинистого раствора создается избыточное давление на любой глубине, вследствие чего грунтовый массив удерживается на стенках скважины.

Плотность глинистого раствора находится в диапазоне от 1,15 до 1,30 г/см<sup>3</sup>. При таком значении плотности глинистый раствор удерживает стенки скважины, дополнительно создавая тонкую, но довольно устойчивую корку. При циркуляции поток раствора вымывает разрыхленные породы на поверхность. Бетонирование свай производится методом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ). При заполнении скважины бетонной смесью глинистый раствор вытесняется восходящей бетонной смесью. В процессе бетонирования глинистый раствор вытесняется по затрубному пространству в зону устья скважины, после чего отводится в отстойник по направляющим лоткам для очистки и вторичного использования.

К достоинствам данной технологии можно отнести:

+ минимальное влияние производства работ на окружающие здания в условиях стесненной городской застройки.

К недостаткам технологии относятся:

- необходимость устройства на строительной площадке мини завода с хранением, обработкой и подачей бентонитовой глины;
- загрязненность площадки бентонитовым шламом;
- сравнительно высокая стоимость по сравнению с технологией изготовления свай полым шнеком.

На рисунок 1.2.3 представлена технологическая схема устройства свай под защитой глинистого раствора [135].

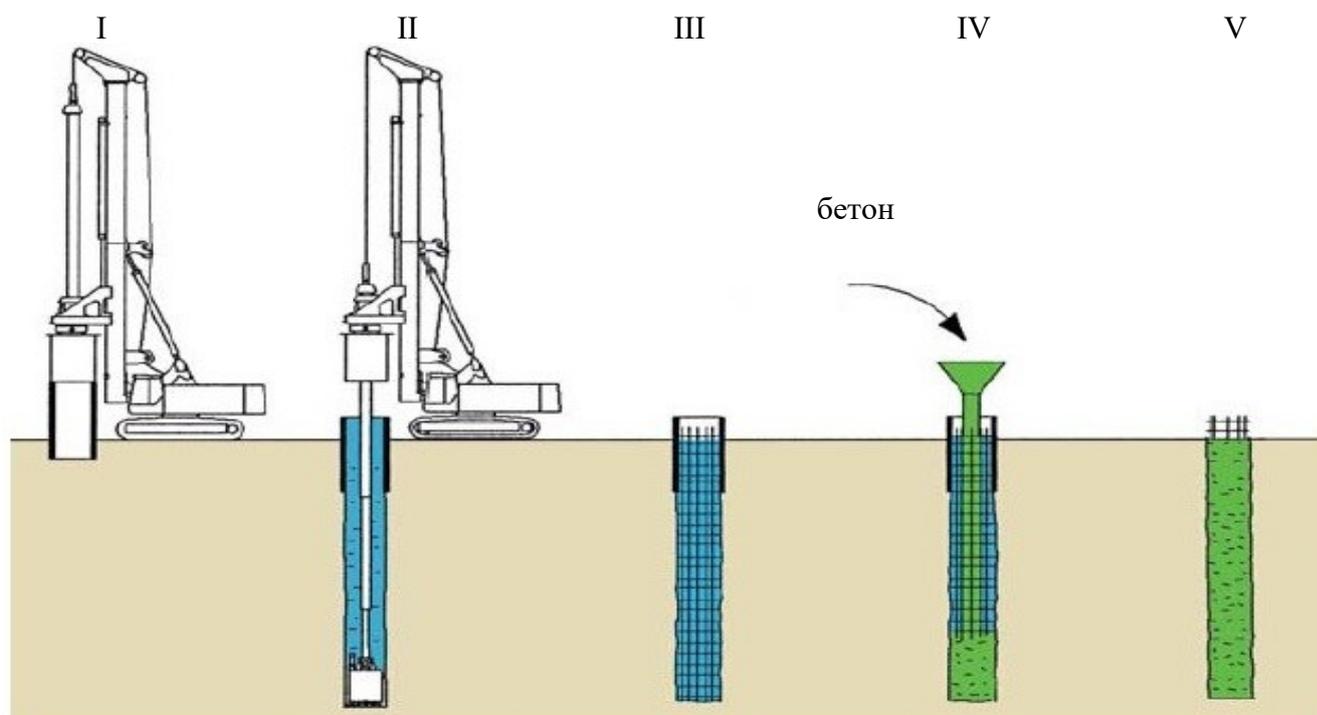


Рисунок 1.2.3. Технологическая схема устройства свай под защитой глинистого раствора

I – установка кондуктора на контрольную точку; II – бурение под защитой глинистого раствора;  
 III – установка арматурного каркаса после очистки скважины; IV – бетонирование сваи способом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ); V – извлечение кондуктора. Готовая свая

Таким образом, выбор технологии изготовления буровых свай следует выполнять в зависимости от инженерно-геологических условий и расположения объекта относительно окружающей застройки, при этом, необходимо учитывать особенности каждой технологии для обеспечения достоверности и достаточности выбранного варианта.

### Технология устройства свай типа «DDS»

Данный метод устройства буронабивных свай уплотнения типа «DDS» (Drilling Displacement System), основан на принципе раскатки скважин. Свая устраивается без выемки грунта, с уплотнением стенок скважины, с применением раскатчика (рис. 1.2.4).



Рисунок 1.2.4. Раскатчик фирмы «Вауер»

На рисунок 1.2.5 представлена технологическая схема устройства свай типа «DDS».

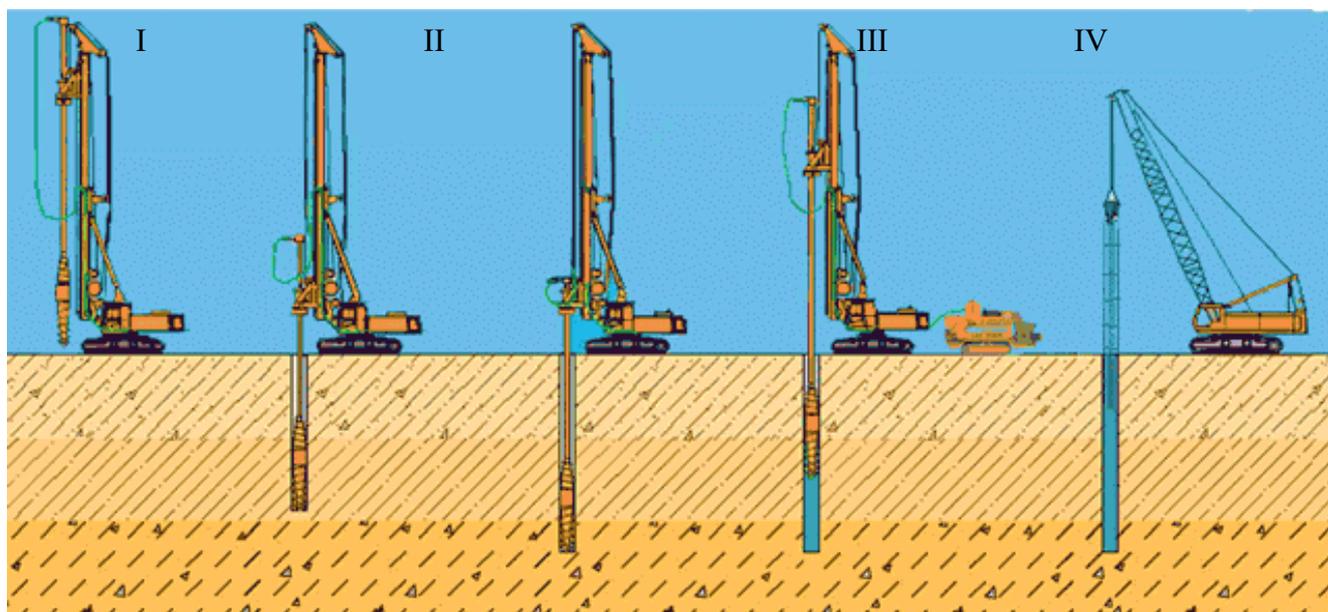


Рисунок 1.2.5. Технологическая схема устройства свай DDS [48], [49]

I – установка бурового станка на точку; II – погружение бурового инструмента с системой уплотнения до проектной отметки; III – извлечение бурового инструмента с одновременной закачкой бетона; IV – погружение армокаркаса вибропогружателем с помощью крана

К достоинствам данной технологии можно отнести:

- + увеличение несущей способности по боковой поверхности за счёт уплотнения стенок скважины (примерно на 30%);
- + высокую производительность (от 200 до 1200 погонных метров за смену);
- + отсутствие вибрации и шлама при бурении;
- + отсутствие перерасхода бетона т.к. уплотнённые стенки скважины препятствуют растеканию бетона.

К недостаткам технологии относятся:

- максимальная длина ограничена 30 м;
- ограничение при работе в плотных грунтах.

### Технология устройства свай типа «Фундекс»

Технология свай типа «Фундекс» имеет довольно щадящий характер, так как в процессе изготовления свай отсутствуют ударные и вибрационные воздействия. Диаметр готовых свай варьируется от 450 до 600 мм, а уширение основания сваи (диаметр теряемого наконечника) от 560 до 670 мм. Оригинальное оборудование производителя Фундекс позволяет изготавливать сваи длиной до 40 м, несущая способность сваи может достигать значение 4000 кН. Эта технология незаменима в условиях плотной застройки, когда необходимо обеспечить безопасность конструкций и работ вокруг площадки.

На рисунок 1.2.6 представлена технологическая схема устройства свай типа «Фундекс».

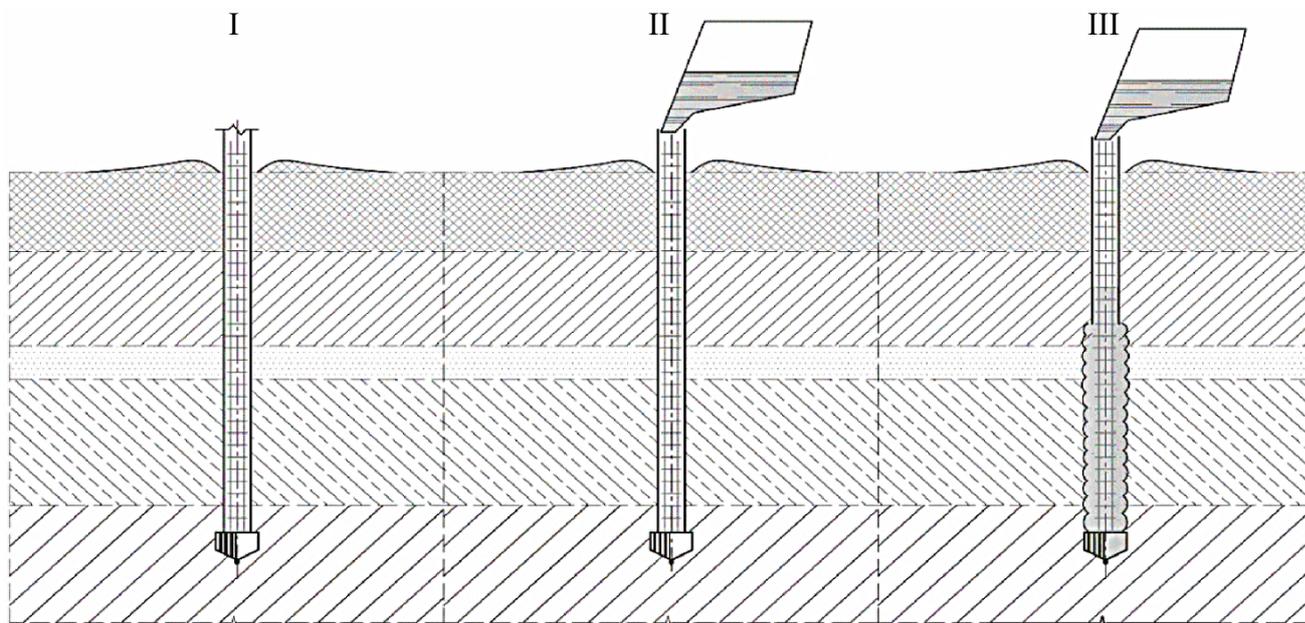


Рисунок 1.2.6. Технологическая схема устройства свай Фундекс

I – погружение на проектную отметку обсадной трубы с теряемым башмаком; II – выгрузка бетона в обсадную трубу; III – извлечение обсадной трубы

К достоинствам данной технологии можно отнести:

- + высокую производительность (от 100 до 800 погонных метров свай за смену);
- + отказ от свай заводского изготовления и связанных с их использованием операций (доставка, складирование, подъем на копер, стыковка и т. п.);
- + отсутствие шума, вибрации и динамических воздействий, что позволяет проводить работу в условиях плотной городской застройки.

К недостаткам технологии относятся:

- максимальная длина ограничена 40 м;
- высокая вероятность образования дефектов в теле свай в слабых глинистых грунтах (уменьшение диаметра свай; фильтрация воды через тело бетона свай).

### **Технология устройства свай типа «Атлас»**

Технология устройства свай «Атлас» ведется за счет одновременного ввинчивания по часовой стрелке и вдавливания обсадной трубы, оборудованной на конце режущим наконечником с винтовыми лопастями, уплотняющим грунт. При достижении рабочим органом проектной отметки происходит открепление металлического башмака, предварительно установленного на режущий наконечник. Далее в трубу погружается арматурный каркас свай и начинается вывинчивание рабочего органа при параллельном бетонировании ствола будущей свай. Внутренний диаметр свай соответствует внутреннему диаметру режущего наконечника от 360 до 510 мм. Внешний диаметр соответствует диаметру лопастей наконечника, который выпускают размерами от 530 до 720 мм.

К достоинствам данной технологии можно отнести:

- + отсутствие динамических воздействий на существующих зданиях и сооружениях, что позволяет проводить работу в условиях плотной городской застройки;
- + высокую производительность позволяет выполнить от 150 до 400 погонных метров свай за смену.

К недостаткам технологии относятся:

- максимальная длина ограничена 40 м;
- в слабых грунтах выраженной винтовой формы поверхности не образуется.

На рисунок 1.2.7 представлена технологическая схема устройства свай типа «Атлас».

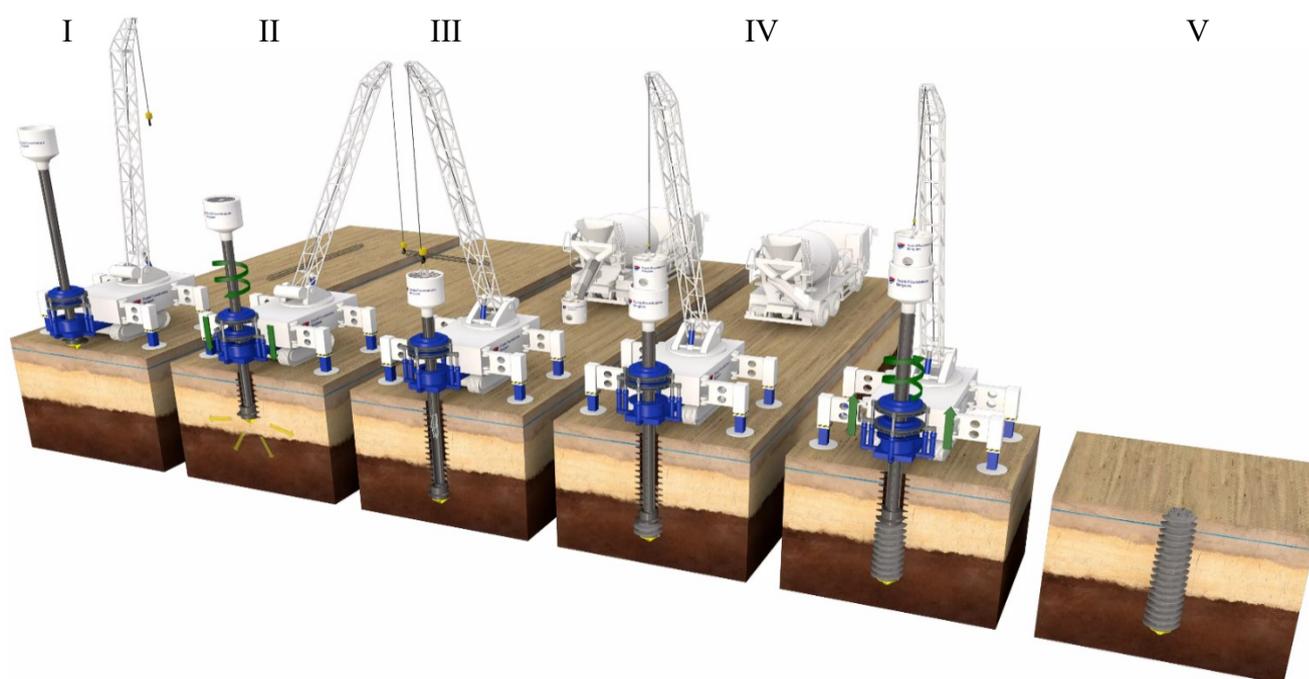


Рисунок 1.2.7. Технологическая схема устройства свай Атлас

I – установка бурового станка на точку; II – погружение бурового инструмента под действием крутящего момента и вертикального усилия; III – погружение армокаркаса в скважину после достижения необходимой глубины; IV – заполнение скважины бетоном через бетонолитную трубу; V – готовая свая «Атлас»

Для современного высотного строительства в больших городах требует применения свай глубокого заложения на надежных грунтах. В связи с тем, что набивные сваи ограничены геологическими условиями на площадке, параметрами размеров свай: диаметром и длиной, а также влиянием на дно котлована и фундаментов вблизи соседних существующих зданий и сооружений в процессе изготовления свай, поэтому повышение точности и достоверности расчетов несущей способности буровых свай по грунту, расположенных в моренных или вендских отложениях, является актуальной вопросом.

### 1.3 Оценка взаимодействия свай, изготавливаемых в грунте, с грунтовым массивом в процессе их изготовления

Одной из главных особенностей свай, изготавливаемых в грунте, является частый перерасход бетонной смеси из-за технологических параметров бетонирования. Перерасход бетонной смеси приводит к уплотнению стенок скважины и увеличению несущей способности свай, поэтому важным вопросом является определение расхода бетонной смеси.

Количество бетонной смеси, поданной в скважину, можно вычислить, зная изменение радиуса грунтовой полости  $\Delta r$  [23]:

$$\Delta r = \frac{(1 + \nu) \cdot r \cdot \sigma_{гор.бет.}}{E}, \quad (1.3.1)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона грунта;

$r$  – радиус сваи, м;

$\sigma_{гор.бет.}$  – давление бетонной смеси на грунт, кПа;  $\sigma_{гор.бет.} = \sigma_{верт.бет.} \cdot \xi$ .

$\sigma_{верт.бет.}$  – давление бетонной смеси на грунт при бетонировании, равно 300 кПа.

$\xi$  – коэффициент бокового давления бетонной смеси,  $\xi = 0,9 - 1$ ;

$E$  – модуль деформации грунта, кПа.

Зная изменение радиуса  $\Delta r$ , можно вычислить коэффициент удельного перерасхода бетона  $k_s$  и коэффициент удельного увеличения периметра сваи  $f_s$  по формулам:

$$k_s = \frac{V + \Delta V}{V}, \quad (1.3.2)$$

$$f_s = \frac{u + \Delta u}{u}, \quad (1.3.3)$$

где  $V$  – объём сваи, м<sup>3</sup>;  $u$  – периметр сваи, м.

При устройстве буронабивных свай происходит нарушение и разрушение структурных связей грунта, окружающего скважину. Под давлением бетона

наблюдается уплотнение грунта, окружающего стенки скважины, поэтому образуются местные уширения у ствола сваи.

На рисунке 1.3.1 представлен график изменения коэффициента перехода бетонной смеси и коэффициента удельного увеличения периметра сваи в зависимости от модуля деформации грунта.

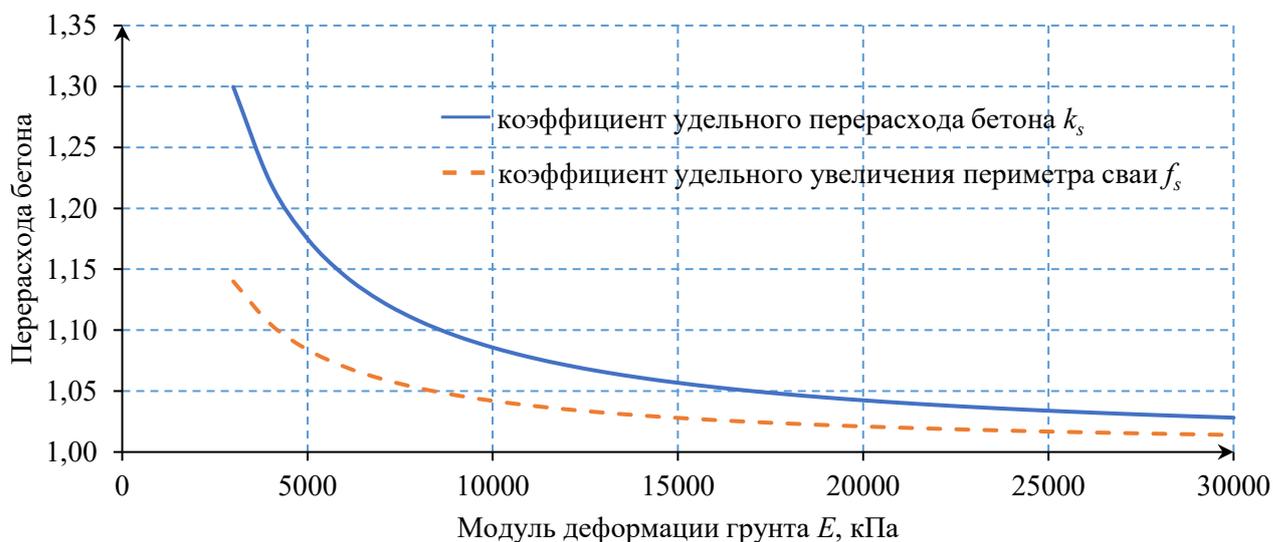


Рисунок 1.3.1. График распределения коэффициентов перерасхода бетона и коэффициента удельного увеличения периметра сваи в зависимости от модуля деформации грунта

Процесс устройства буровых свай приводит к нарушению и разрушению структурных связей в грунте, окружающего скважину, поэтому расход бетонной смеси носит неравномерное распределение по глубине сваи. Определено, что возможно увеличение расхода бетонной смеси до 130%. Это приводит к уплотнению грунта вокруг скважины, поэтому увеличивается трение по боковой поверхности сваи.

В процессе устройства сваи осуществлялся контроль расхода бетонной смеси в процессе бетонирования. Паспорт бетонирования сваи БНС диаметром 1200 мм приведен на рисунке 1.3.2<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Отчет об испытаниях буронабивной сваи и бареты на опытной площадке ППР 03/08 при строительстве объекта общественно-делового Центра «Охта» предоставлены ООО «Геоизол», Санкт-Петербург, 2008 г.

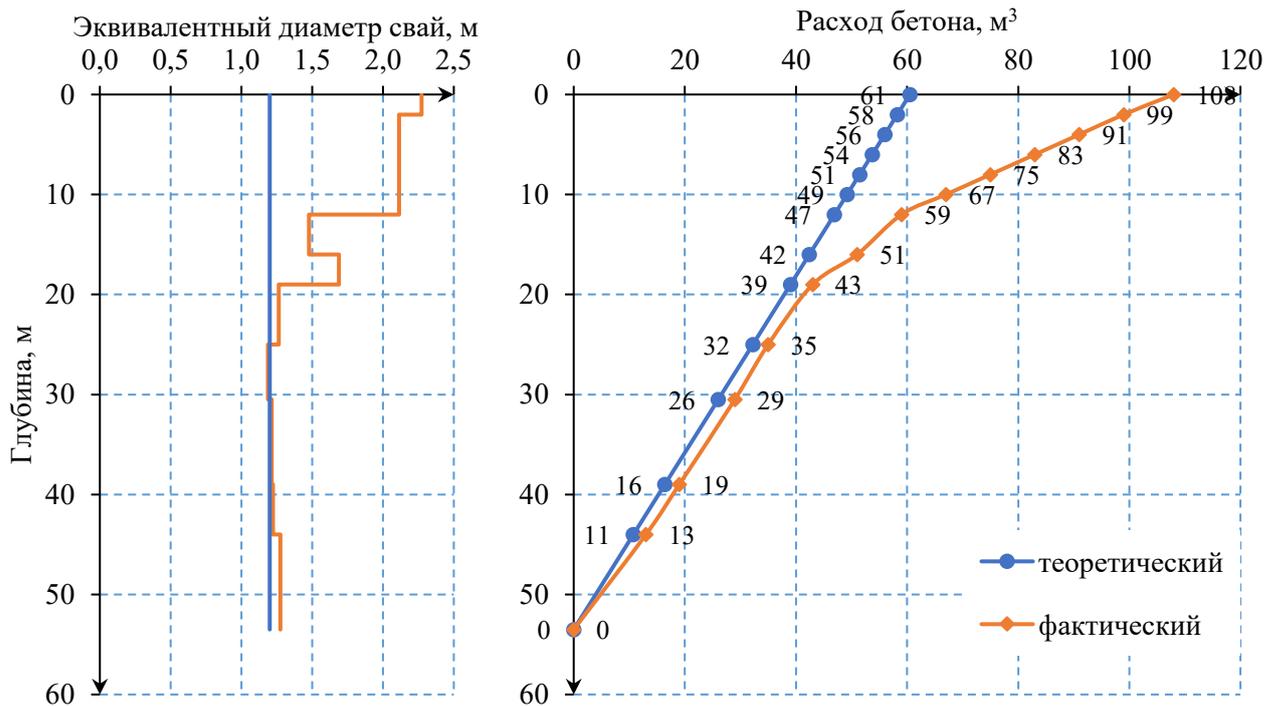


Рисунок 1.3.2. График изменения эквивалентного диаметра свай по глубине и расхода бетона при устройстве буровой свай диаметром 1200 мм

Таким образом объем уложенного бетона в захватку составил: 108 м<sup>3</sup>. Перерасход составил 78,58%. Факт значительного увеличения расхода бетонной смеси при бетонировании ствола свай и возможное его неравномерное и более сложное распределение по глубине свай.

#### 1.4 Выводы по первой главе

##### Актуальность, задачи:

1. В настоящее время способ расчета несущей способности свай по нормативным регламентам дает недостаточно точные результаты (занижает несущую способность при определенных инженерно-геологических условиях). Кроме того, аналитический метод расчета имеет существенное ограничение, так как разработан для свай глубиной погружения до 40 м, что не позволяет учесть повышение сопротивления по боковой поверхности и под острием свай, расположенных на большей глубине.

2. Приведена и проанализирована последовательность работ по каждой технологии изготовления свай, изготавливаемых в грунте, отражены их преимущества и недостатки с экономической и технической точки зрения.

3. Показано, что в процессе изготовления свай на слабых грунтах, увеличение периметра сваи достигло 114% под действием давления бетона при бетонировании и в результате, на слабых грунтах возможен перерасход бетона до 130%.

**Научная новизна исследования:**

4. Оформлены схематические карты глубин залегания кровли ледниковых моренных и дочетвертичных вендских отложений в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

5. Произведена оценка несущей способности буровых свай, изготавливаемых в грунте, с учетом технологии изготовления и их расположения по глубине в моренных и вендских грунтах.

6. Получены и проанализированы результаты нелинейной экстраполяции сопротивлений грунтов в зависимости физических свойств грунтов по боковой поверхности и под пятой буровых свай, изготавливаемых в грунте.

## ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОВЫХ СВАЙ

В настоящей главе приведены особенности инженерно-геологические условий Санкт-Петербурга. По результатам исследований получены ориентировочные значения физико-механических характеристик грунтов, используемых в качестве основания зданий и сооружений. Оформлены схематичные карты глубин залегания кровли ледниковых моренных отложений и дочетвертичных вендских глин, которые преимущественно являются несущими грунтами свайных фундаментов. Рассмотрены основные способы расчетов несущей способности свай по грунту. Сравнивались результаты расчетов несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, получаемые расчетным методом и полевыми испытаниями в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга по различным методикам.

### 2.1 Инженерно-геологические условия г. Санкт-Петербурга

Особенности характеристик компонентов геологической среды Санкт-Петербурга, влияющих на условия строительства, описаны в работах А. А. Алейникова, П. О. Бойченко, Р. Э. Дашко, Л. Г. Заварзина, А. А. Кагана, В. М. Фурсы и других ученых.

Проведен масштабный анализ архивных материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных ГУП «Трест ГРИИ» и ЗАО «ЛентИСИЗ» в Санкт-Петербурге за последние 50 лет. По результатам анализа была выполнена приблизительная классификация грунтов по их генезису, глубине залегания и физико-механическим свойствам. В общем виде генезис грунтов Санкт-Петербурга можно разделить на пять основных комплексов отложений [94], [101], [102]:

**1. Техногенные отложения (*tgIV*)** – техногенные образования в пределах Санкт-Петербурга распространены довольно широко. Состав намывных грунтов зависит от состава исходного материала, а также режима, при котором

производился намыв. Расположены в верхней части грунтовой толщи, начиная от уровня планировочной отметки рельефа. Характеризуются крайне неравномерным напластованием по глубине и площади залегания. Прочностные и деформационные свойства вследствие неоднородного сложения различаются в несколько раз. Как правило при изысканиях этим грунтам не присваиваются характеристики, из-за чего они как правило не используются в качестве несущих грунтов и оснований под фундаментами зданий и сооружений. Средняя мощность техногенных отложений относительно невелика (0,9 м), но в некоторых районах, главным образом в застроенной части Петербурга, она достигает 10 и более метров.

**2. Речные и морские отложения ( $al_{IV}$ ,  $ml_{IV}$ )** – расположены под техногенными отложениями. Как правило представлены водонасыщенными пылеватыми песками и супесями, иногда суглинками. Прочностные и деформационные свойства пылеватых песков характеризуются, как правило, средней прочностью и деформируемостью в отличие от супесей и суглинков, имеющих более низкие характеристики. Именно эти грунты расположены под подошвой фундаментов большинства исторических зданий Санкт-Петербурга (со сроком постройки и эксплуатации более 100 лет) [19]. Мощность их незначительна и составляет 1...5 м (но может быть и больше). Следует отметить, что согласно современным требованиям проектирования, эти грунты не всегда могут быть использованы в качестве несущего слоя или основания фундаментов объектов капитального строительства. Это обуславливается, во-первых, их незначительной мощностью, а во-вторых, наличием сильнодеформируемых озерно-ледниковых отложений, подстилающих подошву речных и морских отложений.

**3. Озерно-ледниковые отложения ( $lg_{IV}$ )** – могут быть расположены непосредственно сразу под техногенными отложениями или под речными или морскими отложениями (хотя могут и переслаиваться с ними). Представлены преимущественно супесями и суглинками. Прочностные и деформационные характеристики этих грунтов крайне неблагоприятны: это сильнодеформируемые, слабоводопроницаемые, избыточно увлажненные, тиксотропные и ползучие

грунты. Длительные геологические процессы образования этих грунтов и исторические процессы освоения и строительства Санкт-Петербурга обусловили тот факт, что озерно-ледниковые отложения являются подстилающими слоями несущих грунтов под большинством фундаментов зданий и сооружений, построенных на естественном основании (период с момента основания Санкт-Петербурга в 1703 г. до настоящего времени). Это является первопричиной длительного развития неравномерных осадок фундаментов исторических и современных зданий, построенных на естественном основании или на коротких сваях (расположенных в этих грунтах) [54]. В таблице 2.1.1 представлен разнороден гранулометрического состава озерно-ледниковых отложений.

Таблица 2.1.1. Усредненный гранулометрический состав озерно-ледниковых отложений (в %)

| Наименование грунтов                          | Размеры частиц, мм |         |            |              |              |
|---|--------------------|---------|------------|--------------|--------------|
|   | более 2            | 2 – 0,1 | 0,1 – 0,05 | 0,05 – 0,002 | мельче 0,002 |
| Пески   | 4                  | 60      | 25         | 10           | 1            |
| Супеси и суглинки неяснослоистые и неслоистые | 1                  | 3       | 12         | 66           | 18           |
| Суглинки и глины ленточные и слоистые         | -                  | 1       | 7          | 60           | 32           |

**4. Ледниковые моренные отложения (*gm*)** – представлены преимущественно супесями и суглинками, залегающими, как правило, под сильнодеформируемыми озерно-ледниковыми отложениями, реже супесями и глинами с включениями гравия, гальки и валунов кристаллических пород различного петрографического состава с обломками песчаника и отторженцами кембрийской глины. Во всех литологических разновидностях спорадически встречаются линзы песков и супесей, незначительные по площадному распространению. Эти грунты характеризуются средней прочностью по сравнению с вышележащими грунтами. Однако ледниковые отложения имеют очень значительный разброс по характеристикам вследствие различного генезиса, строения, состава, глубины, мощности и простирания. Деформационные свойства

ледниковых отложений могут классифицироваться преимущественно как среднедеформируемые, но в ряде случаев они могут быть и сильнодеформируемыми, по причинам, изложенным выше. У большинства построенных и строящихся зданий и сооружений на свайных фундаментах в Санкт-Петербурге в качестве несущих слоев под пятой свай залегают преимущественно ледниковые моренные отложения. В таблице 2.1.2 представлен разнороден гранулометрического состава ледниковых отложений.

Таблица 2.1.2. Усредненный гранулометрический состав ледниковых отложений (в %)

| Наименование грунтов | Размеры частиц, мм |         |            |              |              |
|----------------------|--------------------|---------|------------|--------------|--------------|
|                      | более 2            | 2 – 0,1 | 0,1 – 0,05 | 0,05 – 0,002 | мельче 0,002 |
| Супеси               | 5                  | 21      | 16         | 47           | 11           |
| Суглинки             | 3                  | 9       | 8          | 59           | 21           |
| Супеси и суглинки    | 3                  | 11      | 10         | 57           | 19           |

**5. Дочетвертичные вендские глины ( $vkt_2$ )** – данный комплекс, представлен твердыми и полутвердыми глинами и является наиболее прочным и надежным слоем. Однако кровля этого слоя крайне неравномерно залегает по глубине и, как правило, на значительных глубинах (преимущественно от 20 м и значительно больше). Можно отметить, что свайные фундаменты, которые будут опираться на дочетвертичные вендские недислоцированные глины, будут обладать значительной несущей способностью и низкой деформативностью. Основным недостатком этого комплекса является неравномерность залегания кровли по глубине и значительная глубина залегания в ряде районов Санкт-Петербурга (до 60...80 м и более).

На основе схематических карт грунтов Л. Г. Заварзина разработаны схематичные карты Санкт-Петербурга с глубиной залегания кровли ледниковых моренных и дочетвертичных вендских отложений (рис. 2.1.1, 2.1.2).

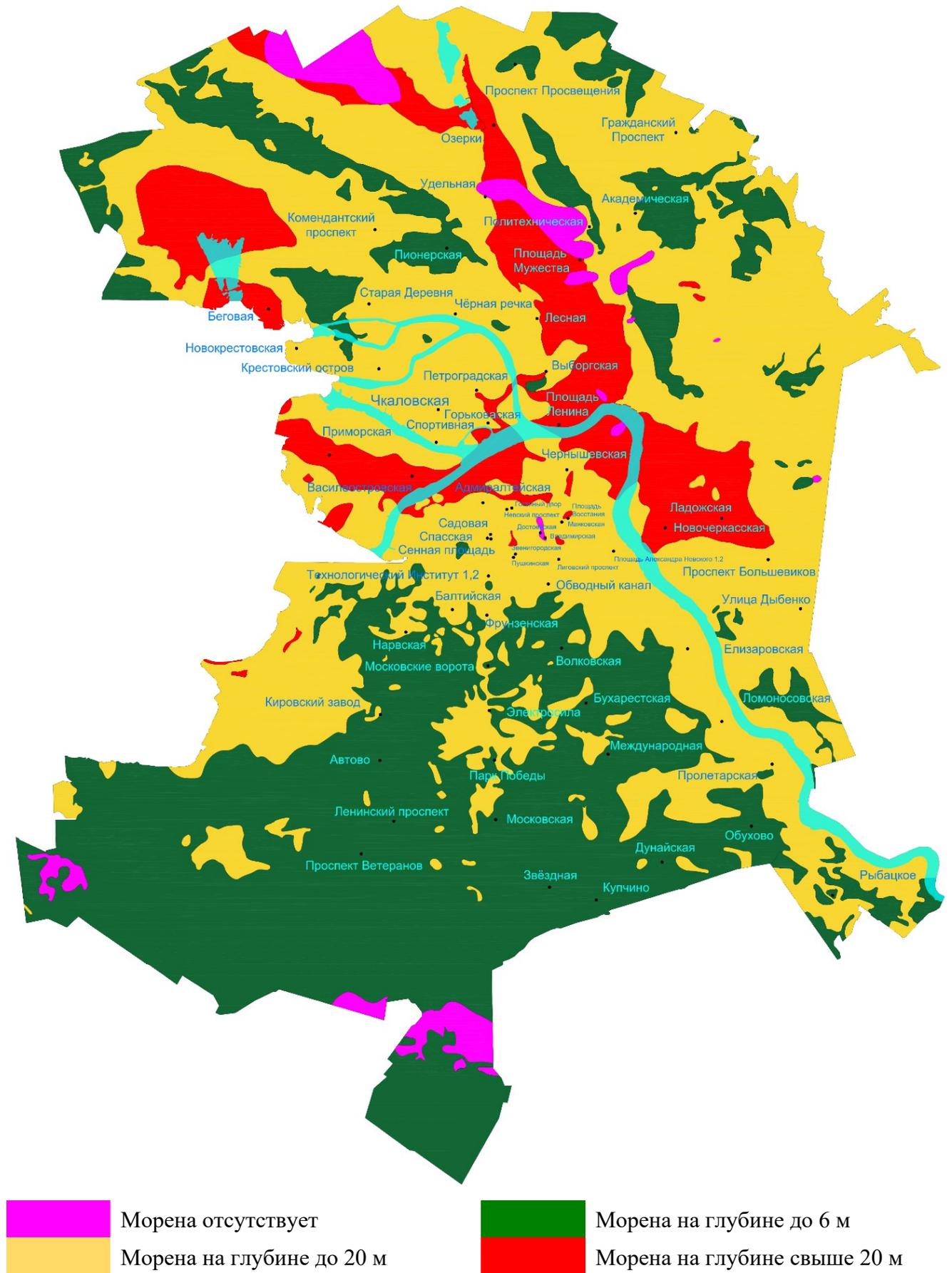


Рисунок 2.1.1. Схематичная карта Санкт-Петербурга с цветовым отображением глубины залегания кровли ледниковых моренных отложений

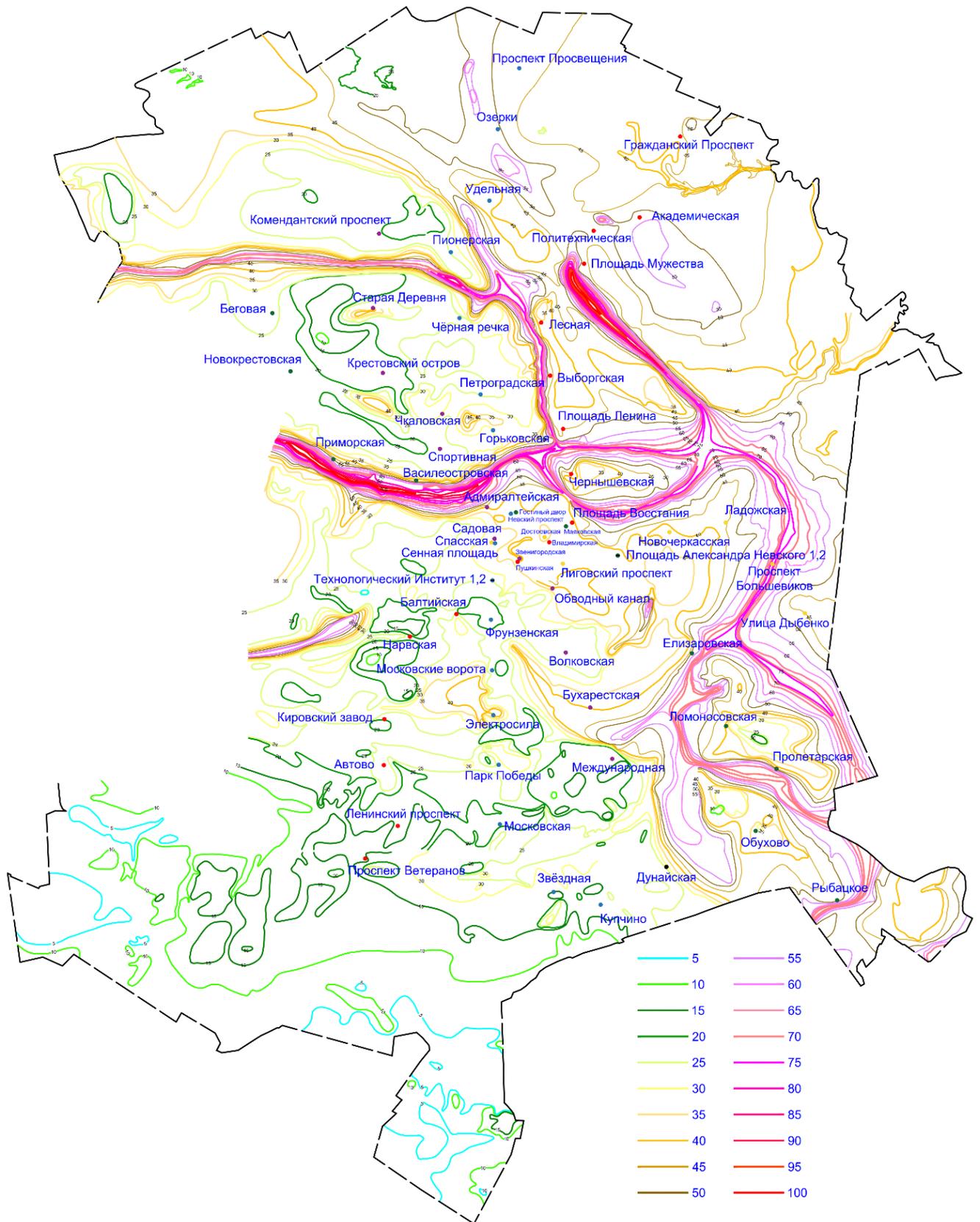


Рисунок 2.1.2. Схематичная карта Санкт-Петербурга с изолиниями глубины залегания кровли дочетвертичных вендских отложений

По результатам многочисленных исследований, и с учетом опыта строительства, вендские отложения отличаются твердой консистенцией и слабой водопроницаемостью, обладают высокой несущей способностью и хорошей прочностью.

Из схематической карты районирования к инженерно-геологической карте для разработки генеральной схемы подземного строительства видно, что в пределах территории города, по принятой градации глубин залегания кровли морены, выделяется 4 района:

- район I с глубиной залегания кровли морены от 0 до 6 м;
- район II с глубиной залегания кровли от 6 до 20 м;
- район III с глубиной залегания кровли более 20 м;
- и район 0, где лужская морена отсутствует (размыта).

Северная и центральная часть территории города характеризуется сложным рельефом кровли ледниковой морены, обусловленным как неравномерным характером ее залегания, так и наличием многочисленных древних долин размывов и различных эрозионных ложбин. На юге территории поверхность ледниковой морены в основном ровная и спокойная.

Глубина залегания и мощность ледниковой морены изменяется в значительной степени, что наглядно отображается количеством выделенных районов и изменчивостью их распространения по площади. Наблюдается увеличение глубины залегания с юга на север, а к долинам размыва, морена представлена преимущественно суглинками пылеватыми, в основном, тугопластичными, реже мягкопластичными и полутвердыми с включением гравия, гальки и валунов.

По физическим свойствам ледниковая морена отличается повышенной уплотненностью, невысокими значениями пористости и умеренной естественной уплотненностью, консистенция их в большинстве случаев устойчивая, они слабо или среднесжимаемые. Для большинства различных городских сооружений ледниковая морена является вполне надежным основанием. Однако необходимо

обращать внимание на значительную неоднородность ее состава и строения, значительную пучинистость при промерзании. Кроме того, в морене могут присутствовать линзы и прослойки песков, содержащих спорадически распространенные напорные воды, которые могут ограничивать возможность использования ледниковой морены.

Вышележащая толща (морские и озерно-ледниковые отложения) осадков по физическому состоянию и строительным качествам относится к группе слабых. Они недостаточно уплотнены, характеризуются высокой пористостью, высокой естественной влажностью, неустойчивой консистенцией и высокой сжимаемостью. При производстве работ необходимо предусматривать специальные инженерные мероприятия по обеспечению их устойчивости.

Определение показателей физико-механических свойств грунтов с целью количественной оценки явлений и процессов, протекающих в их массивах при взаимодействии с инженерными сооружениями, является одной из основных задач инженерно-геологических исследований. Значения показателей физико-механических свойств, принимаемые при проектировании оснований зданий и сооружений, должны выбираться с таким расчетом, чтобы будущее сооружение было гарантировано от недопустимых деформаций, а запасы прочности не были бы завышенными. Это требование применительно к массовому строительству имеет особо важное значение, поскольку научно обоснованный выбор оптимальных значений показателей физико-механических свойств дает возможность максимально использовать несущую способность грунтов и существенно снизить стоимость строительства. В практике инженерно-геологических исследований и проектирования такие показатели принято называть нормативными и расчетными характеристиками грунтов. В таблице 2.1.3 приведены ориентировочные значения физико-механических характеристик основных геологических отложений Санкт-Петербурга в зависимости от их генезиса (различными цветами в таблице выделены сильно-средне-и-слабо деформируемые грунты).

Таблица 2.1.3. Ориентировочные значения физико-механических характеристик грунтов Санкт-Петербурга в зависимости от их генезиса (красным цветом выделены преимущественно сильнодеформируемые грунты, желтым - среднедеформируемые, зеленым - слабодеформируемые) [5], [26], [35], [102]

| Показатели              | Обозначение, единица измерения | Наименование генезиса грунтов                                    |   |   |  |
|-------------------------|--------------------------------|--|---|---|--|
|                         |                                | 1. Свойства речных и морских отложений ( $al_{IV}$ , $ml_{IV}$ ) | 2. Свойства озерно-ледниковых отложений ( $lg_{IV}$ ) | 3. Свойства ледниковых моренных супесей и суглинков ( $g_{III}$ ) | 4. Свойства дочетвертичных вендских глин ( $vkt_2$ ) |
| Удельный вес            | $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>   | 17...20  | 17...20   | 18...20   | 20...22  |
| Влажность               | $W$ , %                        | 50...30  | 50...30   | 30...20   | 20...10  |
| Коэффициент пористости  | $e$ , д.е.                     | более 1,0...0,6  | более 1,0...0,6                                       | 0,8...0,5   | 0,5...0,3  |
| Показатель текучести    | $I_L$ , д.е.                   | более 1,0...0,75 (для глинистых грунтов)                         | более 1,0...0,75 (для глинистых грунтов)              | 0,75...0,25   | менее 0,25   |
| Удельное сцепление      | $c$ , кПа                      | (для песков) 1...20  | 5...20  | 20...50   | 50...100 и более                                     |
| Угол внутреннего трения | $\varphi$ , °                  | 20...30 (для песков)   | 5...20  | 15...30   | 15...30  |
| Модуль деформации       | $E$ , МПа                      | 5...15   | 5...15  | 15...40   | 20...100 и более                                     |

Определение несущей способности свай по грунту является сложной задачей, ее трудно точно определить, поскольку грунт представляет собой сложную систему, которая может изменять состояние в зависимости от природных условий и техногенных процессов. Таким образом, при расчете применяется множество различных способов для определения несущей способности свай. Обычно эта величина определяется тремя основными методами: на основе результатов полевых испытаний, теоретических методов и путем численного моделирования.

## 2.2 Аналитические методы расчета

### 2.2.1 Несущая способность свай с использованием табличных значений сопротивления грунтов

Наиболее распространенным методом определения несущей способности свай, которым пользуются для аналитической оценки, является метод расчета по таблицам нормативных сопротивлений грунтов. Расчет основан на том, что несущая способность висячей сваи складывается из сопротивления грунта под ее острием и сопротивления по боковой поверхности [25], [50], [56] и [75].

Процесс устройства буровых свай приводит к нарушению и разрушению структурных связей в грунте, окружающего скважину, поэтому расход бетонной смеси носит неравномерное распределение по глубине сваи. Определено, что возможно увеличение расхода бетонной смеси до 130%. Это приводит к уплотнению грунта вокруг скважины, поэтому увеличивается трение по боковой поверхности сваи (см. рис. 2.2.1).



Рисунок 2.2.1. Местные уширения ствола сваи под давление бетонирования

Эти особенности приводят к значительному увеличению объема бетона. Однако фактическая несущая способность свай, полученная в результате

статических полевых испытаний в  $1,4 \div 2,6$  раза, превышает рассчитанную с использованием табличных значений по [1].

Несущая способность сваи в зависимости от физико-механических свойств грунтов основания и распределения глубины заложения сваи в грунте может быть представлено в следующем виде [44], [127]:

$$F_d = f(I_L, e, D, L), \quad (2.2.1)$$

где  $I_L$  – показатель текучести;

$e$  – коэффициент пористости грунтов;

$D$  – диаметр ствола сваи, м;

$L$  – глубина заложения свай в грунте, м.

Расчётная схема расчета несущей способности сваи по грунту с учетом геологического разреза представлена на рис. 2.2.2:

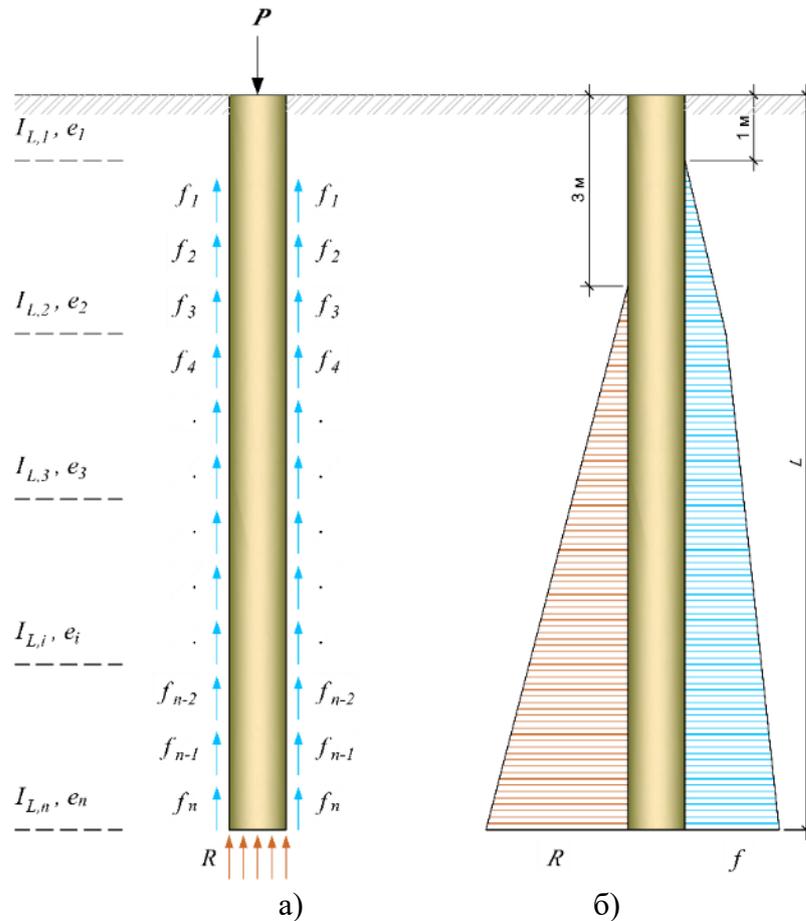


Рисунок 2.2.2. Расчетная схема при определении несущей способности по грунту сваи (а) и эпюр сопротивления грунтов по боковой поверхности и под острием свай (б)

На основании результатов статистической обработки полевых испытаний свай (более 3000 свай) [8], профессором Луга А. А. были получены эмпирические значения сопротивлений по боковой поверхности свай и по их острию и предложена формула 7.11 [1] для расчета несущей способности буровых свай ( $F_d$ ), работающей на вертикальную сжимающую нагрузку.

При устройстве буровых свай по различным технологиям используется бурение с выемкой грунта из скважины, при этом структура и плотность грунта приближаются к естественной. Поэтому величина сопротивления по боковой поверхности сваи будет занижена, поэтому она принимается по таблице как для забивных и вдавливаемых свай.

В связи с тенденцией проектирование и строительства высотных зданий, определение несущей способности свай с использованием табличных значений сопротивления грунтов, ограниченному длиной сваи ( $L \leq 40$  м) может быть недостаточно. Показатель текучести  $I_L$  грунта, по которому определяется несущая способность сваи с использованием табличных значений  $f$  и  $R$ , не характеризует в полной мере прочностные свойства грунта. Однако до настоящего времени, на стадии предварительного проектирования был выполнен этот метод для расчета несущей способности свай, далее необходимо произвести сравнение результатов со статическими полевыми испытаниями для получения окончательной несущей способности свай.

### 2.2.2 Несущая способность сваи по прочностным характеристикам грунта

В мировой практике существует способ расчета несущей способности сваи по прочностным характеристикам грунта [119], [120], [135], который не является обязательным в действующих нормативных документах РФ (однако отражен в рекомендациях). Его суть заключается в разбиении напластований грунтов на элементарные слои по длине сваи и определении действующих напряжений в каждом из элементарных слоев и последующем вычислении предельных сопротивлений по боковой поверхности и под пятой сваи.

Несущая способность свай зависит от показателей прочности грунта: угла внутреннего трения  $\varphi$  и удельного сцепления  $c$ . Существенное изменение несущей способности сваи при замачивании просадочного грунта происходит в основном за счет снижения сцепления  $c$  [87], [89]. Расчетная схема сваи по прочностным характеристикам грунта представлена на рис. 2.2.3.

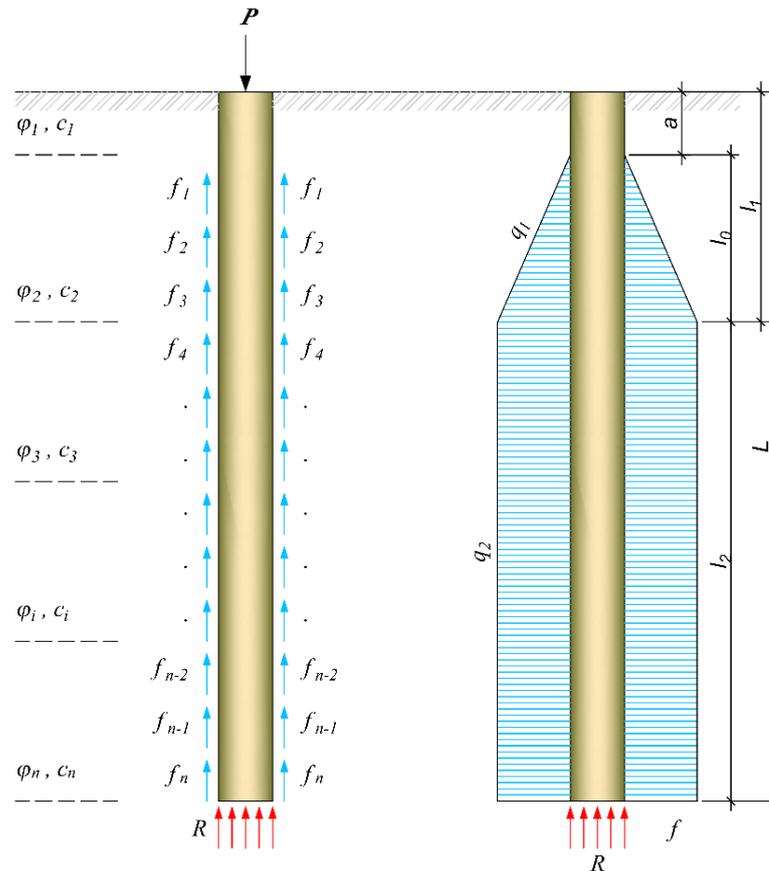


Рисунок 2.2.3. Расчетная схема при определении несущей способности сваи по прочностным характеристикам грунта

Расчет несущей способности свай в просадочных грунтах рекомендуется производить на основе приближенного решения упругопластической задачи предельного равновесия грунта в основании сваи. Несущая способность  $F_d$  определяется по формуле Е.16 (приложение Е) [1].

### 2.3 Численное моделирование

На сегодняшний день, в практике проектирования в области гражданского и промышленного строительства для определения несущей способности сваи,

распределения усилий в головах свай, осадки свайных фундаментов, расчетов котлованов... в пространственной постановке было выполнено моделирование в программном комплексе Plaxis. В комплексе Plaxis реализовано большое количество моделей грунтов, в частности: Mohr-Coulomb model (MC, модель Кулона-Мора), Soft Soil Model (модель слабого грунта), Hardening Soil Model (модель упрочняющегося грунта), Soft Soil Creep (модель слабого грунта с учетом ползучести), Hardening Soil with Small Strain (модель упрочняющегося грунта с учетом жесткости малых деформаций), Modified Cam-clay (модифицированная модель Cam-clay, MCC) и так далее.

В рамках исследования, с помощью программного комплекса Plaxis для расчета несущей способности сваи по грунту в сложных геологических условиях Санкт-Петербурга, полученные результаты достаточно близки к результатам статических полевых испытаний. На рисунке 2.3.1 представлен пример определения несущей способности буровых свай диаметром 1,18 м и длиной 34 м с помощью программы Plaxis 3D на примере объекта в Санкт-Петербурге.

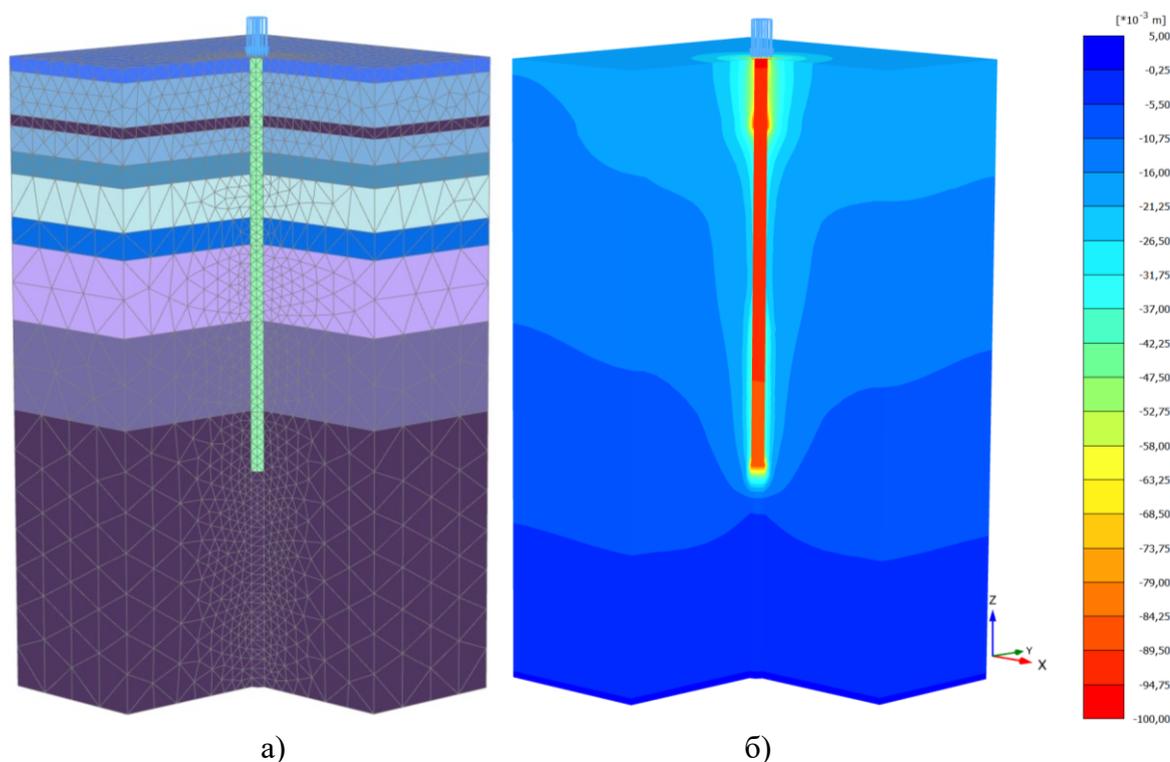


Рисунок 2.3.1. Численное моделирование для определения несущей способности свай под статическими нагрузками

а – модель в Plaxis 3D; б – вертикальные перемещения сваи

Результат численного моделирования для определения несущей способности свай статическими вдавливающими нагрузками представлен в графическом виде на рисунке 2.3.2.

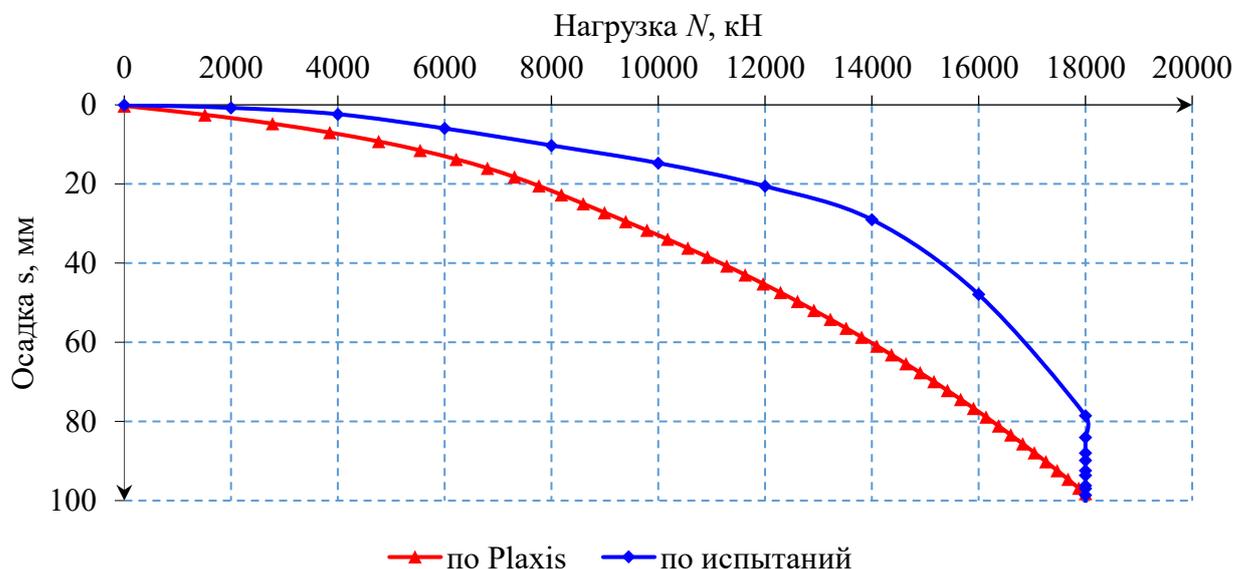


Рисунок 2.3.2. График «нагрузка-осадка» по результатам численного моделирования

Несущая способность сваи выполнена путем численного моделирования работы сваи под нагрузкой с использованием программного комплекса PLAXIS принимается при вертикальной осадке равной 4 см.

## 2.4 Статическое зондирование

В СССР статическое зондирование нашло широкое применение с начала 1960-х годов [60]. В последние годы инженерно-геологические организации стали проводить изыскания на строительных площадках с применением статического зондирования, что значительно повышает качество проектных решений. Аналогия зондирования со статическими испытаниями свай позволила искать пути перехода от результатов таких испытаний к определению несущей способности свай.

Для буровой сваи, работающей на сжимающую нагрузку, несущую способность сваи в точке зондирования  $F_{du}$ , кН, допускается оценивать без использования данных о сопротивлении грунта на муфте трения установки статического зондирования, на основании расчета по форму 7.29 п.7.3.12 [1].

Представленная зависимость  $F = f(H)$  позволяет выделить в глубине основания зоны слабого, средней плотности и плотного грунта, которые, как правило, соответствуют разным слоям грунта (рисунок 2.4.1).

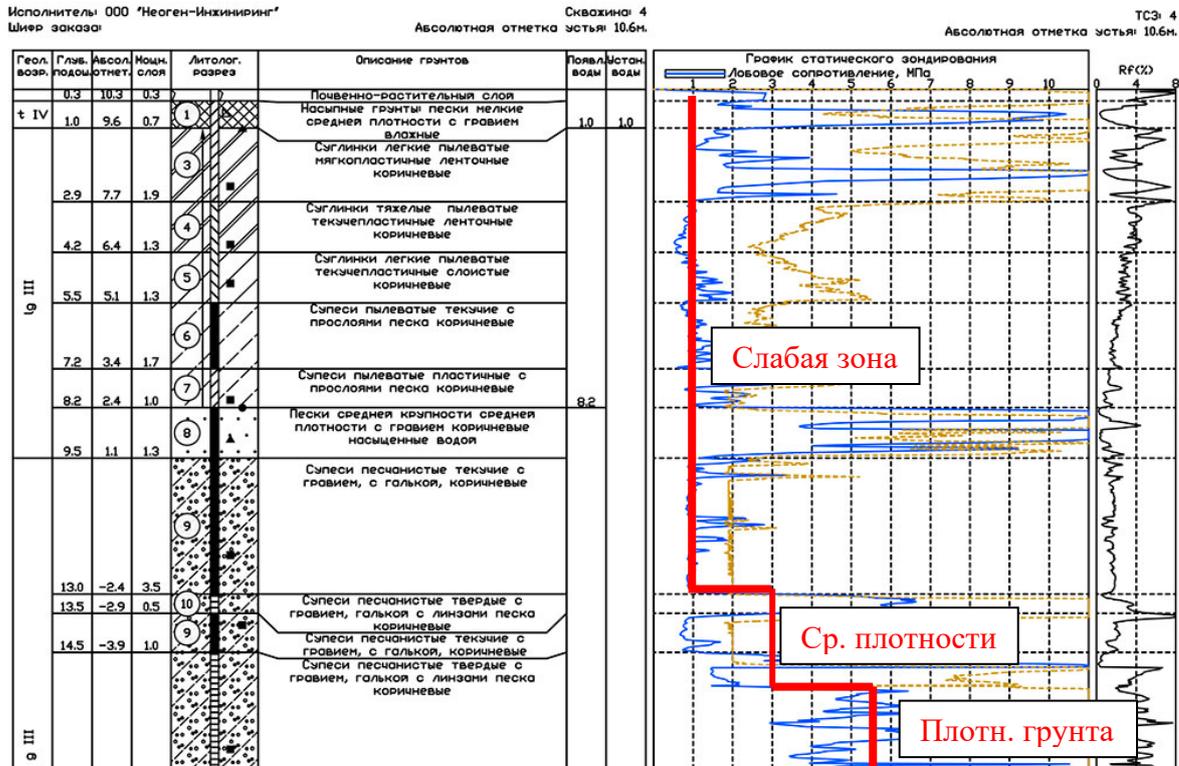


Рисунок 2.4.1. Схема обработки результатов зондирования основания по глубине

## 2.5 Статическое полевое испытание свай статической нагрузкой

Статические полевые испытания проводятся на месте на испытательных сваях для определения или проверки несущей способности свай. Обычно определение несущей способности сваи первоначально производится аналитическими или другими методами, основанными на расчетных нагрузках и характеристиках грунта. Статические полевые испытания свай проводятся на испытательных сваях на стадии проектирования для проверки проектной несущей способности. Если результаты полевых испытаний указывают неконтролируемые значительные осадки без изменения нагрузки (меньше, чем расчетная нагрузка), конструкция сваи должна быть соответствующим образом пересмотрена. Также данные, полученные при испытаниях свай на предельную нагрузку, используются при разработке критериев установки фундамента.

Для проведения статических полевых испытаний свай необходимо устройства в месте, где известны грунтовые условия (например, вблизи скважины). Испытательные сваи в глинах не должны загружаться до тех пор, пока не пройдет некоторое время (по крайней мере, несколько недель) после того, как сваи будут изготовлены. Однако испытательные сваи в песках могут быть загружены через несколько дней после их изготовления [48]. Испытательные сваи могут быть выполнена в виде грузовой платформы (система стальных балок) с грузами или системы стальных балок с анкерными сваями. Суммарная нагрузка на испытательные сваи должна составлять 150 - 200% от расчетной нагрузки. Нагрузка должна быть приложена к свае с шагом 10 - 25% от максимальной испытательной нагрузки. В любом случае, при загрузке и разгрузке каждой испытательной сваи необходимо вести учет нагрузки и соответствующего аналитического расчетного значения [1].

Далее построение графика зависимости нагрузки от осадки. Из этого графика можно получить зависимость между нагрузкой и осадкой. Согласно [2] несущая способность на сваю рекомендует принимать значение при осадке равной 4 см.

### 2.5.1 Статические испытания буровых свай на вдавливающую нагрузку

Статическое испытание состоит в передаче на сваю нагрузки, величина которой возрастает определенными ступенями и должно выполняться в соответствии с [4]. Одновременная регистрация осадок позволяет построить график зависимости осадки от нагрузки, по которому и определяется несущая способность свай.

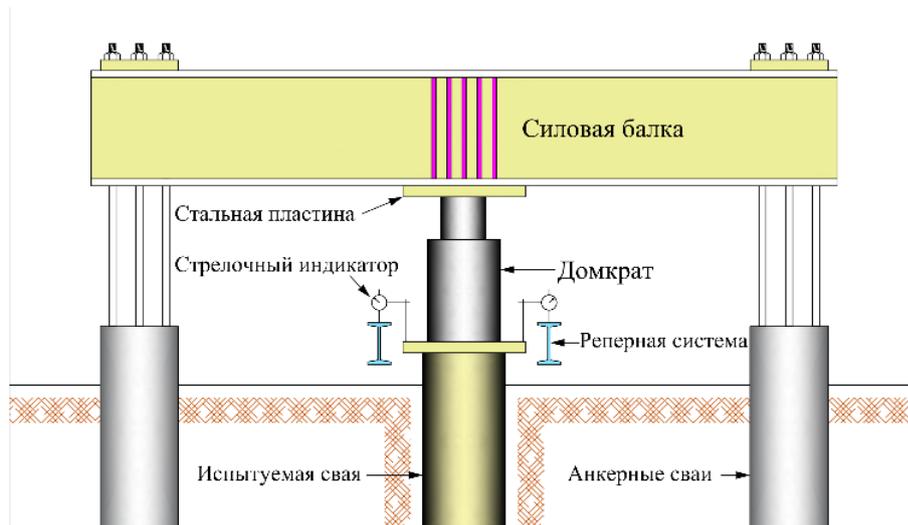
В состав установки для испытания грунтов сваями статическими вдавливающими нагрузками должны входить:

1. Устройство для нагружения сваи (домкраты или тарированный груз);
2. Опорная конструкция для восприятия реактивных сил (система балок или ферм с анкерными сваями и/или грузовая платформа);

3. Устройство для изменения перемещений сваи в процессе испытания (реперная система с измерительными приборами);

На рисунке 2.5.1 представлены схемы для испытания грунтов сваями статическими вдавливающими нагрузками:

а)



б)

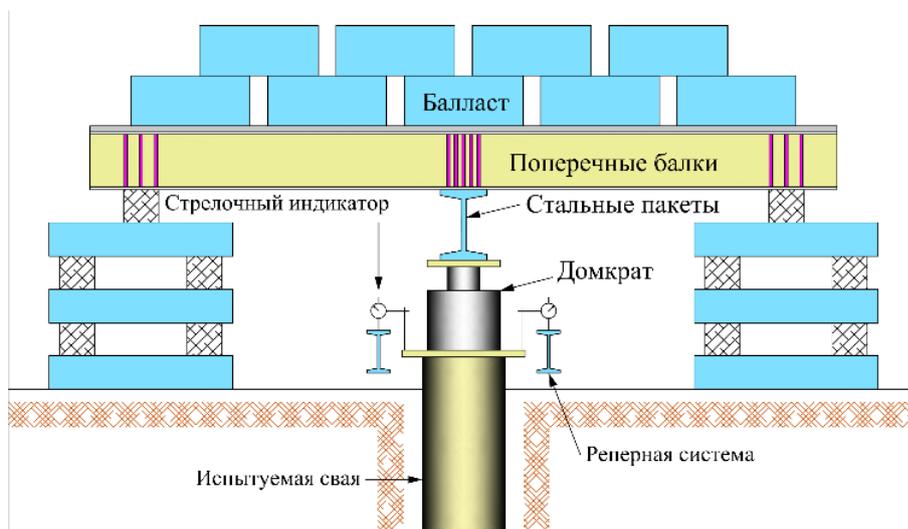


Рисунок 2.5.1. Схема установки статической испытательной сваи

*а* – с помощью гидравлического домкрата с анкерными сваями; *б* – с помощью статического нагружения платформой с грузами

Рассмотрим несколько схем загрузочных устройств, применяемых при испытаниях свай (рисунок 2.5.1). Желательно непосредственное приложение нагрузки к голове сваи (рисунок 2.5.1, а). В этом случае на смонтированную на свае платформу укладывают груз, в качестве которого обычно используют стальные или

чугунные отливки известной массы. При таких испытаниях необходимо строго соблюдать правила техники безопасности. Так, например, под углами платформы надо выкладывать для страховки шпальные клетки. Этот способ хорош тем, что в грунте возникает напряженное состояние только от усилий, передаваемых сваями, т. е. ее работа наблюдается в наиболее «чистом» виде. Недостатками способа являются большая трудоемкость приложения нагрузки, а также сложность устройства на голове сваи устойчивой платформы значительных размеров. Образование даже небольшого эксцентриситета при загрузке приводит к передаче на сваю дополнительного момента. Непосредственное приложение нагрузки обычно производится только к сваям небольшой несущей способности.

Испытание свай статической нагрузкой, как правило, выполняется путем передачи реактивных усилий на забитые или ввинченные симметрично анкерные сваи (рисунок 2.5.1, б), к которым с помощью тросов крепится траверсная балка. Домкрат, установленный на голову сваи для создания вертикального усилия, упирается в траверсную балку и через нее передает выдергивающие усилия на анкера. Такие испытания осуществимы в грунтах, имеющих достаточное сопротивление по боковой поверхности анкеров. От характера грунтов зависит также и количество анкеров.

На рисунке 2.5.2 представлены оборудования и приборы при проведении статических полевых испытаний.



Рисунок 2.5.2. Подготовка оборудования и нагрузка подаётся ступенями

## 2.5.2 Полевые испытания буровых свай методом погружного домкрата (метод O-cell)

Для испытания грунтов сваями используются различные методы полевых исследований. В отечественной практике испытание сваи с определением несущей способности выполняется при помощи статического нагружения платформой с грузами или посредством гидравлического домкрата с анкерными сваями по [4] (Static Load Test). Известен и метод динамического испытания сваи и сваи-баретты ударной нагрузкой (Statnamic) с молотами весом 250 кН с несущей способностью испытываемых свай до 45 000 кН.

В последнее десятилетие в России появился метод испытания свай ячейками Остерберга (метод O-cell), который позволяет определять несущую способность как отдельных инженерно-геологических элементов, так и грунтов по всей боковой поверхности и под пятой сваи. Силовая ячейка O-cell соединена гидравлическими шлангами с гидронасосом, установленным на поверхности. Насос создает давление в домкратах силовой ячейки. При увеличении нагрузки происходит раскрытие силовой ячейки и вертикальное перемещение испытываемых элементов. Величина перемещения фиксируется датчиками перемещения, а возникающие в процессе перемещения напряжения – тензometрами (strain gauge – SG), установленными в тело сваи на разных уровнях. Испытания продолжают до тех пор, пока не наступит один из трех случаев: достигнут предел удельного поверхностного трения, достигнута проектная несущая способность или достигнута максимальная мощность силовой ячейки [66].

Преимущества испытания свай ячейками Остерберга:

– высокие испытательные нагрузки (стандартные методы создают испытательные нагрузки до 30 МН (3000 тс). С помощью ячеек с погруженным гидравлическим домкратом можно передавать нагрузки до 300 МН (30 000 тс));

– экономичность: по мере повышения нагрузок метод погруженного домкрата становится экономически более эффективным, чем метод испытания статической вертикальной нагрузкой по [4].

В случае использования одного домкрата, силовая ячейка O-cell в виде гидравлического домкрата разделяет испытуемую сваю на две части: верхнюю (верхний испытуемый элемент – ВИЭ) и нижнюю (нижний испытуемый элемент – НИЭ). По результатам испытаний строятся кривые осадка-нагрузка ( $S-P$ ) и подъем-нагрузка ( $U-P$ ). Характерные результаты таких испытаний приводятся в работе [34]. На рисунке 2.5.3 приведены схемы проведения испытаний методом погружного гидравлического домкрата.

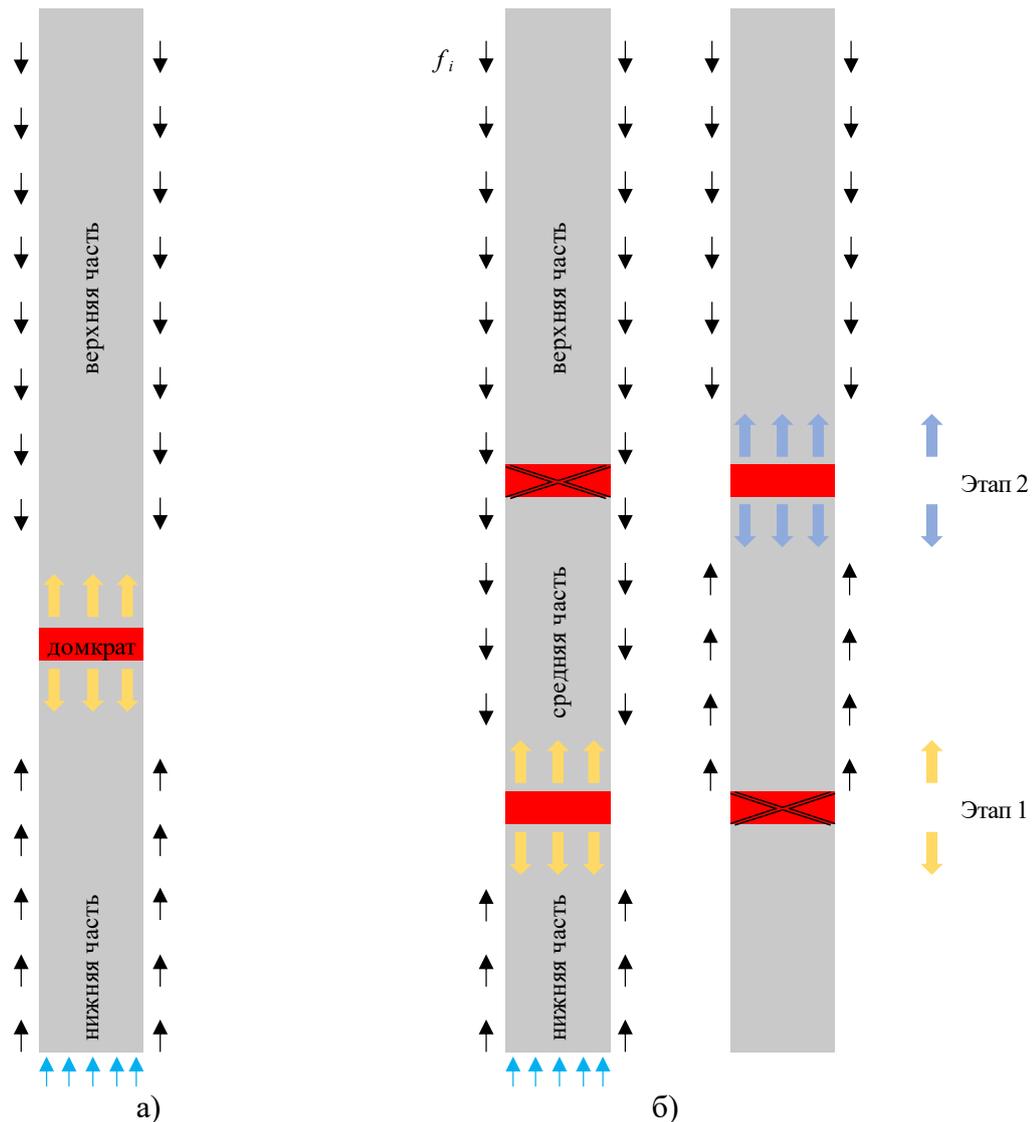


Рисунок 2.5.3. Схема полевых испытаний буровых свай с высокой несущей способностью методом Остерберга

а – испытания с одним домкратом; б – испытания с двумя домкратами

В случае использования двух домкратов, испытание опытных свай производилось в два этапа:

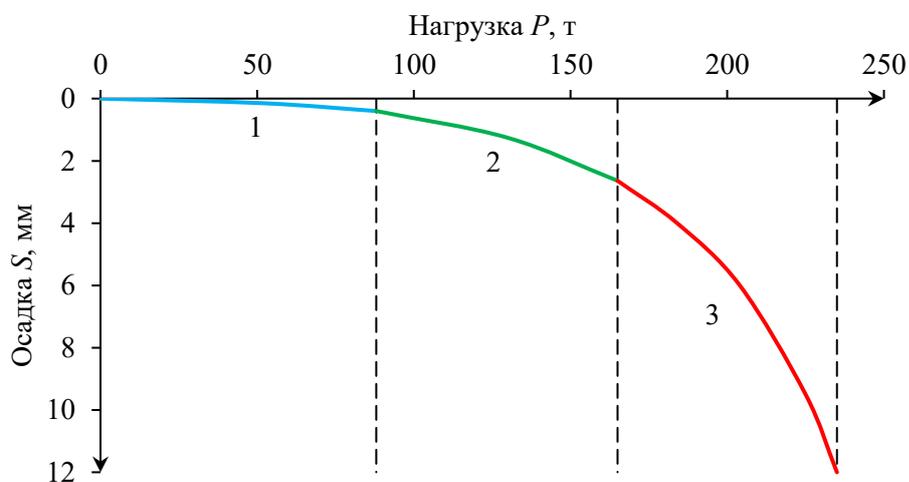
**Этап 1** – На нижнюю силовую ячейку подавалось давление для определения лобового сопротивления пяты сваи и силы трения по боковой поверхности сваи.

**Этап 2** – На верхнюю силовую ячейку подавалось давление для оценки характеристик трения по боковой поверхности средней части сваи, находящейся между двумя силовыми ячейками.

### 2.5.3 Обработка графиков зависимостей «нагрузка – осадка»

В процессе проведения полевых статических испытаний на вертикальную нагрузку определялось вертикальное перемещение сваи по датчикам, расположенным на голове сваи в зависимости от нагрузки испытания согласно требованиям п. 8.2.2 [4]. В процессе испытаний ведется полевой журнал, результатом проведения испытаний является технический отчет, подготовленный согласно требованиям [4], обязательной частью которого являются графические зависимости.

На графиках показываются: величина вертикальных перемещений и ход их развития в зависимости от инженерно-геологических условий, величины нагрузки и геометрических параметров свай. Как известно, существует три фазы напряженно-деформированного состояния грунта [39] представлены в рисунке 2.5.4:



1 – фаза уплотнения; 2 – фаза сдвигов; 3 – фаза разрушения

Рисунок 2.5.4. Фазы напряженно-деформированного состояния грунта

На рисунках 2.5.5 приведены типичные зависимости между нагрузкой и осадкой, построенные по результатам испытаний статической нагрузкой на сваи по данным ПКТИ.

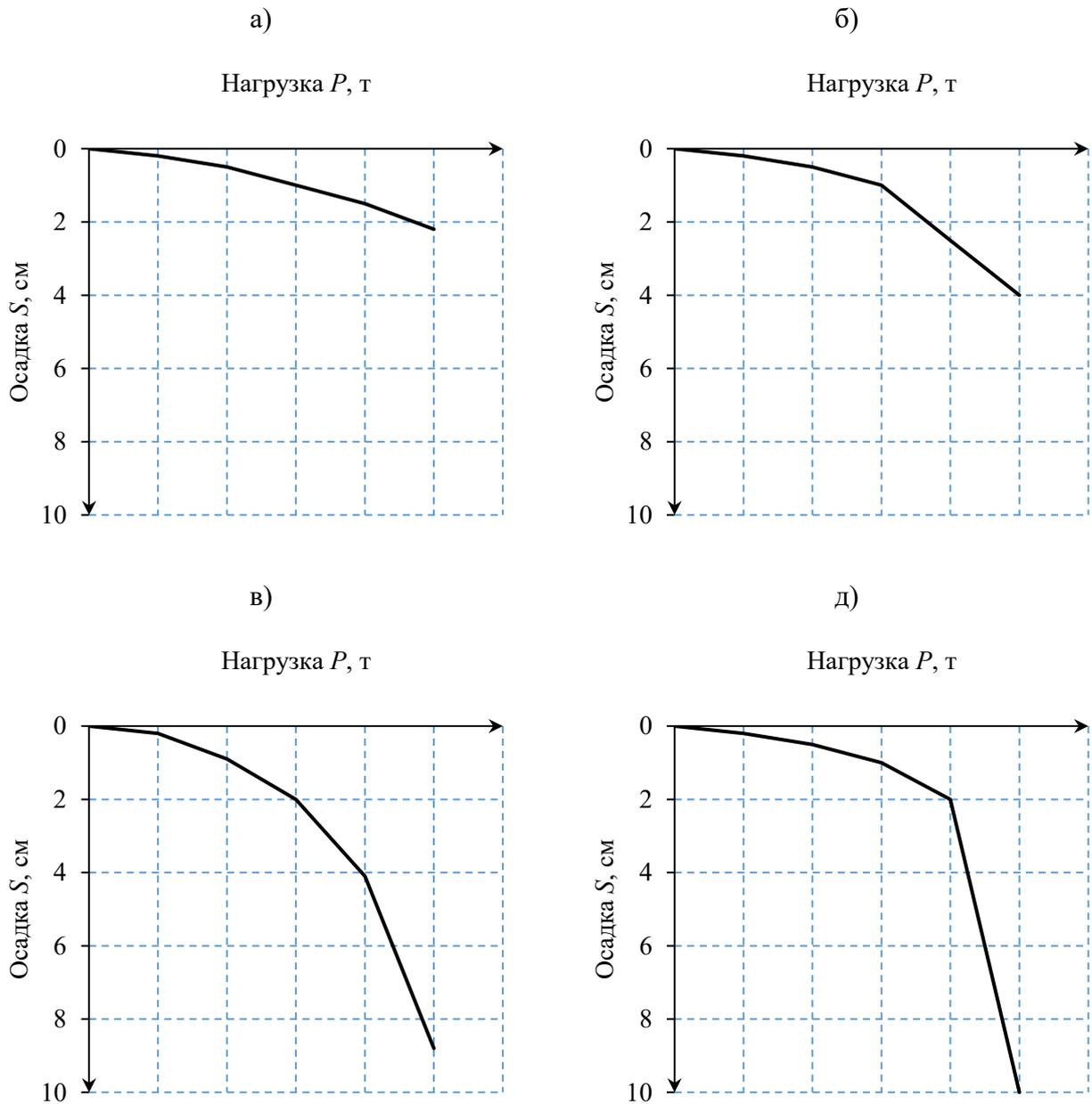


Рисунок 2.5.5. Типовые графики зависимостей «нагрузка-осадка»

а – по боковой поверхности свай преимущественно расположены грунты с модулем деформации  $E > 20$  МПа (слабдеформируемые грунты); б, в –  $E = 10 - 20$  МПа (среднедеформируемые грунты); д –  $E < 10$  МПа (сильнодеформируемые грунты)

Из рисунков 2.5.5 можно сделать вывод о том, что несущие способности по грунту свай не одинаковы значения для различных инженерно-геологических условий грунтов площадки.

Согласно [4] проведение испытаний буровых свай должно быть доведено до вертикальной осадки равной 4 см [2] за частное фактическое значение несущей способности по грунту сваи рекомендует принимать значение при осадке равной 4 см.

## **2.6 Оценка несущей способности свай, вычисленной по различным методикам**

Как отмечалось ранее, в современном строительстве имеется тенденция к максимальной функциональности новых зданий и сооружений. Именно поэтому, в последние десятилетия популярным направлением является строительство высотных зданий с развитым подземным пространством. Однако такие проекты являются очень сложными и затратными по времени и финансовым расходам в связи с вариативными конструктивно-технологическими решениями, недостаточно разработанной нормативной базой, небольшим проектным и производственным опытом при строительстве такого рода сооружений. При этом если не самым главным, то одним из важнейшим решений, влияющих на конечную стоимость объекта строительства, является выбор наиболее рационального и, в то же время, надежного варианта фундамента для высотного сооружения.

В настоящем исследовании проанализирована буровая свая с высокой несущей способностью для высотного здания. В настоящее время определение несущей способности сваи выполняется по регламентированной методике [1] с максимальной глубиной заложения пяты сваи 40 м. Однако условия современного высотного строительства требуют применения свай со значительно большей глубиной заложения, а рекомендации по расчетам таких свай в технических регламентах отсутствуют.

Расчеты несущей способности сваи выполнены по следующим методикам:

– по табличным значениям сопротивлений грунтов по боковой поверхности и под пятой сваи без учета экстраполяции значений трения грунтов на глубину более 40 м [1];

- по построенным графикам сопротивлений грунтов на глубину до 100 м методом экстраполяции [66];
- по прочностным характеристикам грунтов на основе научных исследований и рекомендаций технических регламентов [1];
- путем численного моделирования работы сваи под нагрузкой с использованием программного комплекса PLAXIS 3D [12];
- на основе сравнительного анализа результатов полевого испытания сваи на строительной площадке с результатами всех вышеуказанных расчетов.

Из характеристик каждого метода определения несущей способности буровой сваи на вертикальную нагрузку по грунту, можно сделать выводы о преимуществах, недостатках и области применения, показанные в таблицах 2.6.1:

Таблица 2.6.1. Преимущества и недостатки каждого метода определения несущей способности буровой сваи по грунту

| Методы определения несущей способности свай | Преимущества                                | Недостатки  |
|---|---|---|
| СП 24.13330.2011                            | Широкое применение в отечественной практике | Недостаточно для проектирования фундаментов высотных зданий ( $L > 40$ м) |
| Статическое зондирование                    | Низкая стоимость, скорость проведения       | Ограниченная глубина  |
| Численное моделирование                     | Более сложные модели грунтов, надежность    | Нужно много исходных данных   |
| Статическое полевое испытание               | Наиболее высокая степень надежности         | Трудоемко, долго, весьма дорого и опасно                                  |

### 2.6.1 Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки

Рассматриваемая строительная площадка расположена в Санкт-Петербурге и в геоморфологическом отношении входит в пределы Приморской низменности. В геолого-литологическом строении площадки в пределах изученных при проведении инженерно-геологических изысканий глубин принимают участие четвертичные отложения различного генезиса: с поверхности техногенные насыпные отложения (tIV), ниже залегают морские и озерные отложения (m, l IV),

которые подстилаются озерно-ледниковыми отложениями (lg III b); в нижней части залегают ледниковые отложения лужской стадии оледенения (g III lz) и верхнепротерозойские котлинские отложения (Vkt2).

В пределах рассматриваемой глубины бурения до 105,8 м выделено 14 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) (1а, 2, 2а, 2б, 3, 3а, 4, 4а, 5, 6, 6а, 7, 8, 9) [85]. Характеристики 14 ИГЭ, полученные по результатам инженерно-геологических исследований грунтов на площадке, представлены в рисунке 2.6.1.

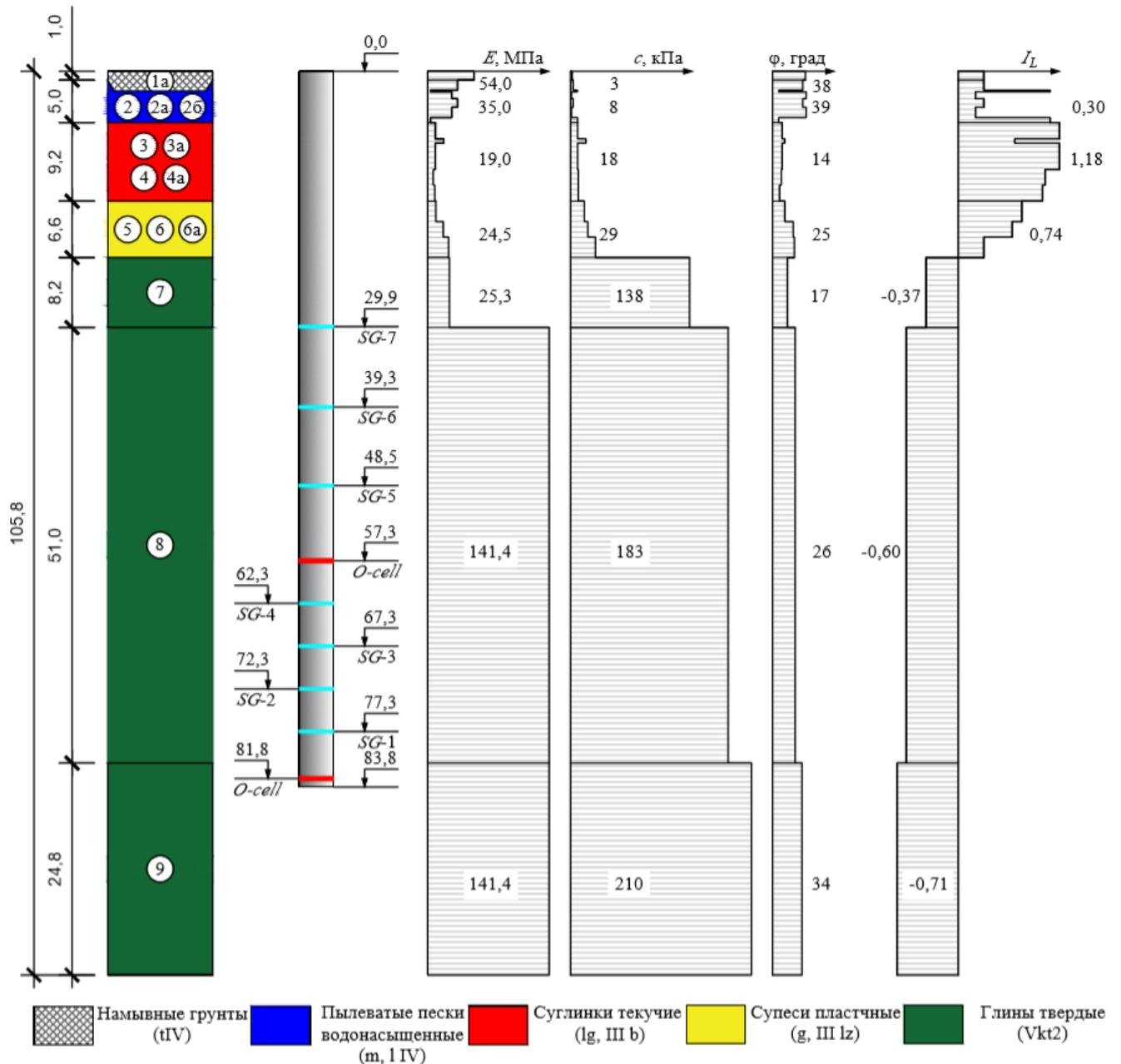


Рисунок 2.6.1. Инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки и местами расположения силовых ячеек в свае [13], [33], [86]

## 2.6.2 Особенности определения несущей способности буровых свай по грунту

Были произведены расчеты несущей способности сваи диаметром 2,0 м и глубиной заложения от планировочной отметки рельефа 83,8 м по различным методикам. В таблице 2.6.2 представлены результаты оценки несущей способности опытной сваи, выполненные по различным методикам [85].

Таблица 2.6.2. Результаты несущей способности опытной сваи, определенной по различным методикам

| Методика расчета несущей способности сваи                     | Значение несущей способности сваи, МН | Соотношение фактической и расчетной несущей способности сваи, $F_{field\ test}/F_d$ |
|---|---------------------------------------|---|
| Несущая способность сваи по норме (СП 24.13330.2011) $F_d$    | 42,36                                 | 3,2   |
| Несущая способность сваи нелинейной экстраполяции $F_d$       | 64,18                                 | 2,1   |
| Несущая способность сваи по Plaxis 3D при осадке 40 мм $F_d$  | 82,16                                 | 1,7   |
| Несущая способность сваи по прочностным характеристикам $F_d$ | 96,32                                 | 1,4   |
| Результаты полевых испытаний $F_{field\ test}$                | 136,3 <sup>2</sup>                    | –   |

Таким образом, полевое испытание опытной сваи глубокого заложения диаметром 2,0 м и длиной 83,8 м показало, что ее несущая способность:

- в 3 раза выше несущей способности, полученной по расчетам без учета экстраполяции;
- в 2 раза выше несущей способности, полученной с учетом линейной экстраполяции;

---

<sup>2</sup> Результаты полевого испытания сваи предоставлены генеральным директором ЗАО «Геострой» к.т.н. А. И. Осокиным. Полевые испытания проводились под руководством канд. техн. наук, доцента С. В. Татарина инженерами А. Б. Серебряковой, А. А. Беляшовым, В. В. Войтович.

– в 1,7 раза выше значения несущей способности при осадке сваи, равной 40 мм, при численном моделировании в программе Plaxis;

– в 1,4 раза выше несущей способности, определенной по прочностным характеристикам грунтов.

На основе анализа и статистической обработки многочисленных результатов статических полевых испытаний определены критерии по выбору способов расчетов несущей способности сваи в зависимости от длины, технологии изготовления и инженерно-геологических условий (таб. 2.6.3).

Таблица 2.6.3. Рекомендации по выбору способов расчетов несущей способности свай в зависимости от технологии изготовления, длины и генезиса грунтов под острием сваи (морена или венд)

| Грунтовые условия и длина свай |                        | Технология проходного шнека | Технология глинистого раствора | Технология обсадной трубы | Методы расчетов несущей способности свай |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| грунты                         | до мореного отложения  | +                           | +                              | +                         | п. 2.2.1; п. 2.3; п. 2.4; п. 2.5         |
|                                | до вендского отложения | ±                           | +                              | +                         | п. 2.2.2; п. 2.3; п. 2.4; п. 2.5; п. 3.3 |
| длина свай, м                  | < 20                   | +                           | +                              | +                         | п. 2.2.1; п. 2.3; п. 2.4; п. 2.5         |
|                                | 20 – 30                | +                           | +                              | +                         |  |
|                                | 30 – 40                | +                           | +                              | +                         |  |
|                                | 40 – 50                | –                           | +                              | +                         | п. 2.2.2; п. 2.3; п. 2.5; п. 3.3         |
|                                | 50 – 60                | –                           | +                              | +                         |  |
|                                | > 60                   | –                           | ±                              | +                         |  |

Примечания:

«+», «±» и «–» - технология сваи соответственно применима, возможно к применению и неприменима соответственно.

## 2.7 Выводы по второй главе

1. Проанализированы методы определения несущей способности буровых свай с указанием их достоинств и недостатков. Выполнен анализ характерного поведения сваи под нагрузкой 600 полевых испытаний свай.

2. На основе архивных материалов инженерно-геологических изысканий ГУП «Трест ГРИИ» и ЗАО «ЛенТИСИЗ» определены характерные физико-механические свойства и построены схематичные карты глубин залегания кровли ледниковых моренных отложений и дочетвертичных вендских глин, которые преимущественно являются несущими грунтами свайных фундаментов. На этапе предварительного проектирования фундаментов рекомендовано использовать эти карты для выбора длины свай исходя из месторасположения объекта строительства в Санкт-Петербурге.

3. Несущая способность буровых свай по грунту в зависимости от геометрических параметров, инженерно-геологических условий площадки, конструктивных решений здания, глубины подземного сооружения и технологии изготовления может составлять до 136 000 кН и более.

4. Выполнен сравнительный анализ расчета несущей способности сваи глубокого заложения (84 м) различными методами. Приведен пример уникального полевого испытания сваи длиной 84 м в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга с определением наиболее точного метода расчета свай глубокого заложения в вендских отложениях.

5. По результатам исследования составлена таблица с рекомендациями по выбору методик расчета несущей способности буровой сваи в зависимости от длины, технологии изготовления и генезиса грунтов под острием сваи (моренных или вендских отложений).

## ГЛАВА 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ

В данной главе была проведена полномасштабная статистическая обработка полевых статических испытаний более чем 600 буровых свай, проведенных ООО ПКТИ «Фундамент-тест» в Санкт-Петербурге с 2000 по 2020г. Статистическая обработка выполнена путем регрессионного анализа с использованием метода наименьших квадратов. По итогам обработки построены графики корреляции между несущей способностью свай, вычисленной по техническим регламентам и полученной в результате полевых испытаний с учетом технологии их изготовления и глубины заложения острия свай. На основе анализ многочисленных результатов статических полевых испытаний получены корректирующие коэффициенты  $k$ , позволяющие более точно рассчитать несущую способность буровых свай по грунту.

### 3.1 Методы статистической обработки данных

*Метод наименьших квадратов (МНК)* – это метод оценки параметров линейной регрессии, минимизирующий сумму квадратов отклонений зависимой переменной от искомой линейной функции [87]. Вид аппроксимирующей функции представлен следующей формулой [43]:

$$F_u = f(F_d, k) = k \cdot F_d, \quad (3.1.1)$$

где  $k$  – корректирующий коэффициент;

$F_d$  - несущая способность свай с использованием табличных значений сопротивления грунтов по таблицам [1], кН;

$F_u$  - несущая способность свай, полученная в результате полевых испытаний, кН.

Требуется определить такие параметры, при которых значения аппроксимирующей функции приблизительно совпадают со значениями

исследуемой функции в точках  $F_{d,i}$ , т.е.  $F_{u,i} \approx f(F_{d,i})$ . Разность между этими значениями (отклонения) обозначим через  $\Delta_i$ :

$$\Delta_i = f(F_{d,i}, k) - F_{u,i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.1.2)$$

где  $n$  – количество статических полевых испытаний свай.

Величина  $S$ , равная сумме квадратов разности между значениями многочлена и функции для всех точек  $F_{d,1}, F_{d,2}, \dots, F_{d,n}$ :

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (f(F_{d,i}, k) - F_{u,i})^2 \rightarrow \min. \quad (3.1.3)$$

Сумма квадратов отклонений запишется следующим образом:

$$S = S(k) = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (f(F_{d,i}, k) - F_{u,i})^2 = \sum_{i=1}^n (k \cdot F_{d,i} - F_{u,i})^2 \rightarrow \min. \quad (3.1.4)$$

Величина  $R^2$  является мерой точности функция регрессии в теории вероятностей и статистике, определяемой отношением между  $Q_{reg}$  и  $Q_{tot}$  [91]. При необходимости значение  $R^2$  всегда можно отобразить на диаграмме. Эта величина определяется по формулам 3.1.5 и 3.1.6:

$$R^2 = \frac{Q_{reg}}{Q_{tot}} = 1 - \frac{Q_{err}}{Q_{tot}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (k \cdot F_{d,i} - F_{u,i})^2}{\sum_{i=1}^n (F_{u,i} - \bar{F}_u)^2} \rightarrow 1, \quad (3.1.5)$$

$$Q_{tot} = Q_{reg} + Q_{err},$$

$$\sum_{i=1}^n (F_{u,i} - \bar{F}_u)^2 = \sum_{i=1}^n (k \cdot F_{d,i} - \bar{F}_u)^2 + \sum_{i=1}^n (k \cdot F_{d,i} - F_{u,i})^2, \quad (3.1.6)$$

где  $R^2$  – коэффициент детерминации;

$F_{d,i}$  – несущая способность свай с использованием табличных значений сопротивления грунтов по таблицам [1], соответствующая  $i$ -й свае, кН;

$F_{u,i}$  – несущая способность свай, полученная в результате полевых испытаний, соответствующая  $i$ -й свае, кН;

$\bar{F}_u$  – средняя величина несущей способности свай, полученное в результате полевых испытаний.

Использование вышеупомянутых формул для установления процедуры линейного регрессионного анализа для большого количества результатов полевых статических испытаний буровых свай показано блок-схемой на рисунке 3.1.1.

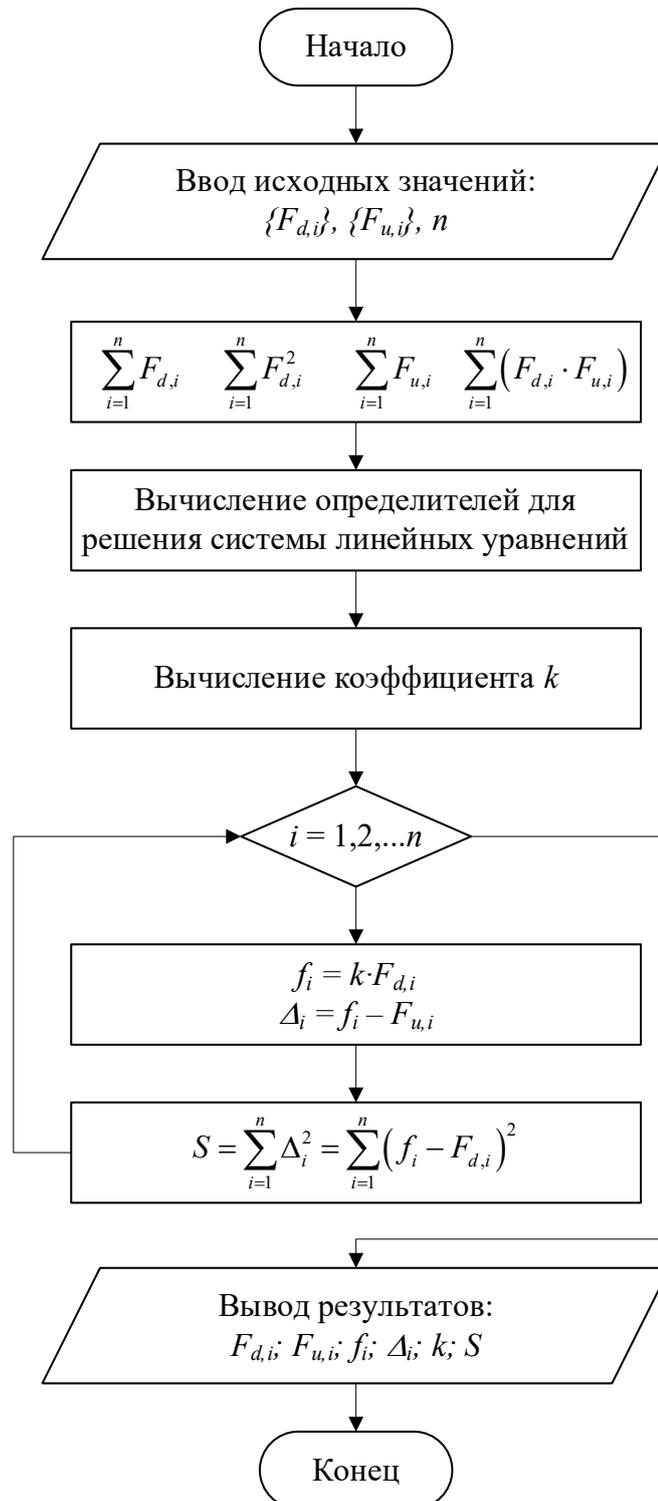


Рисунок 3.1.1. Укрупненная блок-схема метода наименьших квадратов

Полученные величины детерминации  $R^2$  находятся в пределах от 0,87 до 0,95. Эти величины указывают на тесную взаимосвязь между несущей способностью свай, полученной в результате полевых испытаний ( $F_u$ ) и определенной по техническим регламентам ( $F_d$ ).

На рисунке 3.1.1 приведена сравнительная диаграмма распределения корректирующих коэффициентов  $k = F_u/F_d$  по интервалам.

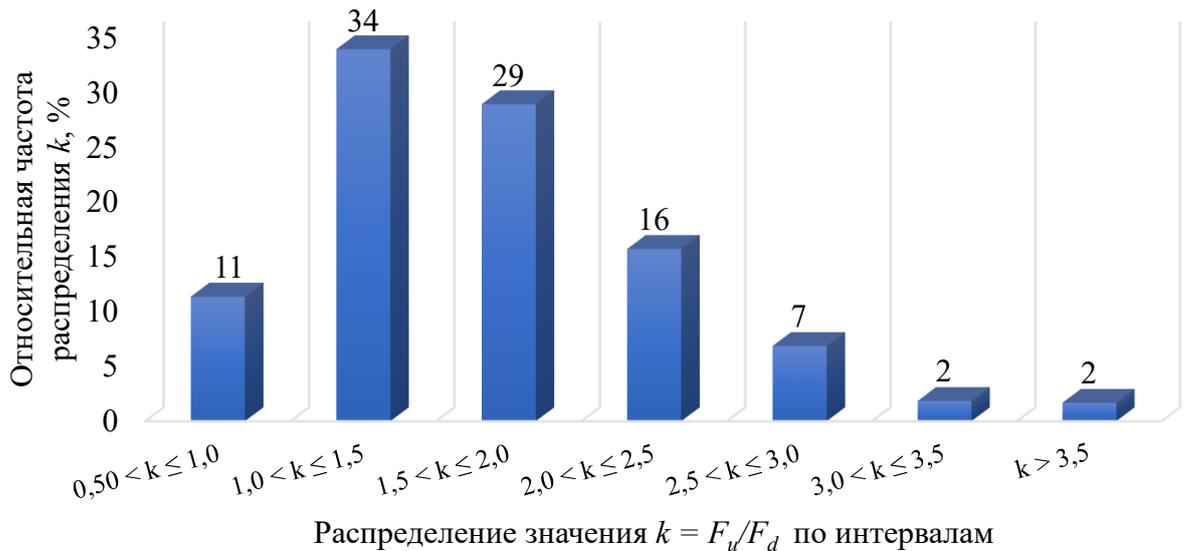


Рисунок 3.1.2. Сравнительная диаграмма относительной частоты распределения отношения  $k = F_u/F_d$  по интервалам (частотам распределения  $k$ )

Из рисунка 3.1.1 видно, что большая часть полевых испытанных свай превышает несущую способность по таблицам [1] до 2 раз (63% испытаний). Очевидно, что разброс значений несущей способности до 2 раз (200%) не является достаточной и достоверной величиной для проектирования и строительства свайных фундаментов.

### 3.2 Анализ результатов полевых испытаний буровых свай на вертикальную сжимающую нагрузку

С целью определения корректирующих коэффициентов  $k$ , позволяющих более точно рассчитать несущую способность буровых свай по грунту в зависимости от технологии их изготовления и глубины заложения острия свай.

На рисунке 3.2.1 представлена блок-схема способа проведения исследований.

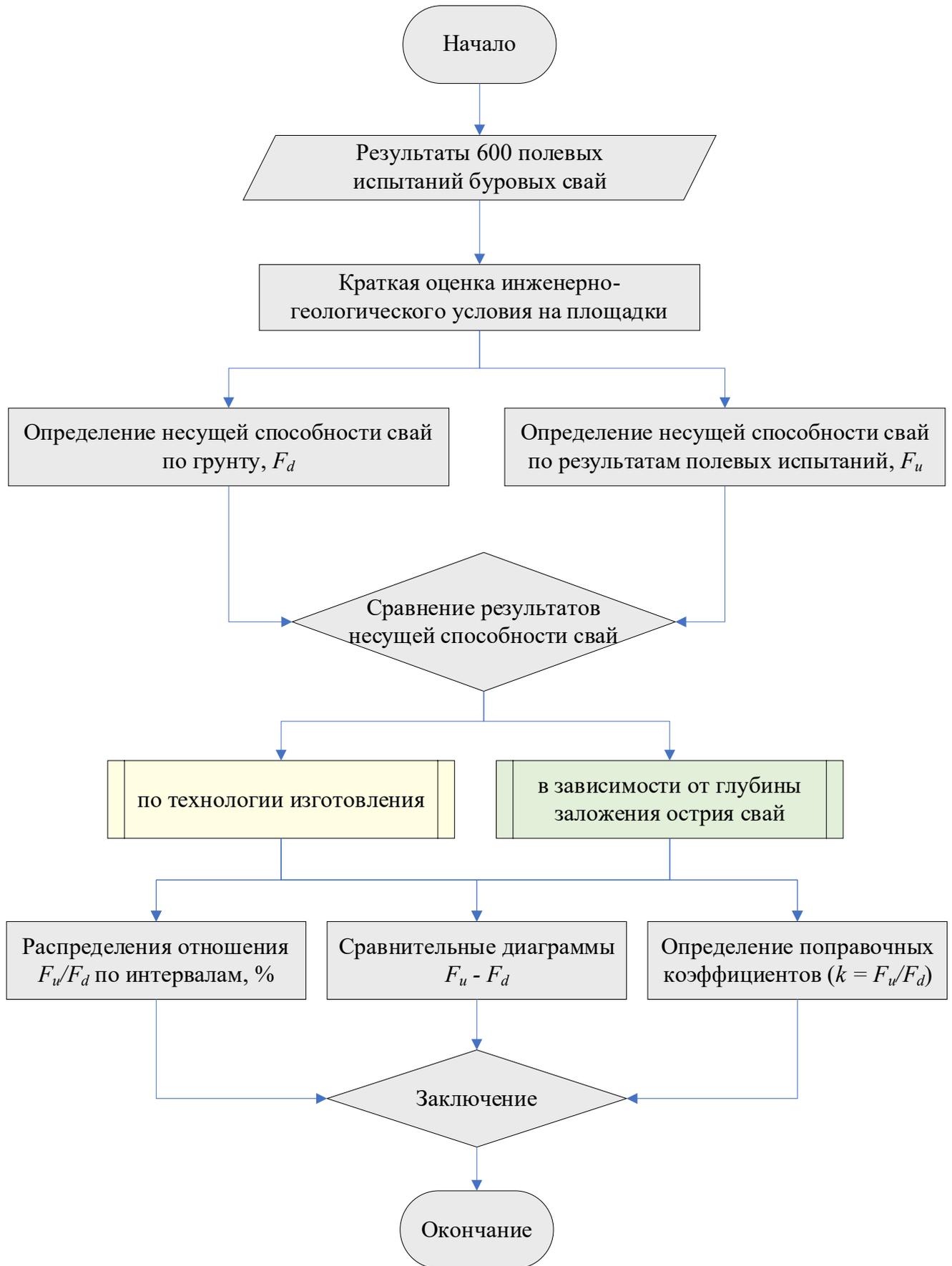


Рисунок 3.2.1. Укрупненная блок-схема способа проведения исследований

Согласно [4] нагрузка при испытании свай должна быть доведена до значения, при котором осадка свай составляет не менее 40 мм. По рекомендациям [7] если при максимальной достигнутой при испытаниях нагрузке осадка свай окажется менее нормируемого значения, то за частное значение предельного сопротивления свай ( $F_u$ ) допускается принимать максимальную нагрузку, полученную при испытаниях. В результате статистической обработки полевых испытаний было установлено, что 440 свай, (75%) из 600 испытанных свай, получили осадку менее 20 мм. Этот факт подтверждает вывод о том, что фактическая несущая способность свай, значительно превышает несущую способность свай, полученную при испытании.

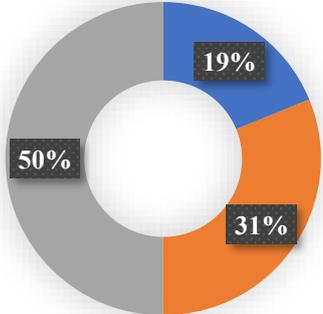
### 3.2.1 Несущая способность свай в зависимости от технологии изготовления

В исследовании проанализированы буровые сваи, выполняемые по следующим технологиям:

- под защитой обсадной трубы;
- под защитой глинистого раствора;
- с помощью проходного полога шнека.

В таблице 3.2.1 представлена выборка, в которую вошли три технологии изготовления буровых свай.

Таблица 3.2.1. Технологии изготовления буровых свай

| Технология изготовления свай    | Количество, шт |   |
|---------------------------------|----------------|---|
| Под защитой обсадной трубы      | 119            |  |
| Под защитой глинистого раствора | 187            |   |
| С помощью проходного шнека      | 299            |   |
| Всего:                          | 605            |   |

В таблице 3.2.2 представлена таблица некоторых геометрических параметров свай, а также значения вдавливающих нагрузок при испытаниях, по данным ООО ПКТИ «Фундамент-тест».

Таблица 3.2.2. Геометрические параметры свай и значения нагрузок при испытаниях

| Наименование технологии         | Диаметр свай $D$ , м | Длина свай $L$ , м | Максимальная нагрузка при испытаниях $N$ , кН |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|---|
| Под защитой обсадной трубы      | до 2,00              | до 85              | до 136 000                                    |
| Под защитой глинистого раствора | до 0,62              | до 35              | до 3500                                       |
| Проходной шнек                  | до 0,67              | до 28              | до 3000                                       |

Приведем краткую характеристику инженерно–геологических условий, в которых проводились полевые испытания свай в Санкт-Петербурге. Согласно сравнительной статистической обработке по боковой поверхности свай преимущественно расположены грунты с модулем деформации до 10 МПа (до 60% случаев). Под острием свай преимущественно расположены грунты с модулем деформации от 10 до 20 МПа (более 50% случаев) [41]. В таблице 3.2.3 представлена таблица распределения модуля деформации грунтов по боковой поверхности и под острием свай.

Таблица 3.2.3. Распределение модуля деформации грунтов по боковой поверхности и под острием свай ( $L$  – длина свай;  $n$  – количество испытательных свай)

| Расположен грунта           | Модуль деформация $E$ , МПа |                  |                  |          |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------|------------------|----------|
|                             | $E \leq 10$                 | $10 < E \leq 20$ | $20 < E \leq 30$ | $E > 30$ |
| по боковой поверхности свай | <b>0,6L</b>                 | 0,3L             | 0,07L            | 0,03L    |
| под острием свай            | 0                           | <b>0,5n</b>      | 0,3n             | 0,2n     |

В исследовании были выполнены аналитические расчеты несущей способности свай по грунту с использованием табличных значений сопротивления грунтов СП для каждой испытанной свай. Получены сравнительные результаты определения несущей способности свай с помощью аналитических расчетов и при полевых испытаниях путем отношения  $k = F_w/F_d$  для каждой технологии изготовления. Минимальное значение  $k$  составило 0,5, максимальное значение  $k = 4,4$ . Отношение было распределено на семь интервалов:  $0,5 < k \leq 1,0$ ;  $1,0 < k \leq 1,5$ ;  $1,5 < k \leq 2,0$ ;  $2,0 < k \leq 2,5$ ;  $2,5 < k \leq 3,0$ ;  $3,0 < k \leq 3,5$ ;  $k > 3,5$ . На рисунке 3.2.2 представлена относительная частота распределения корректирующих коэффициентов  $k$  по интервалам.

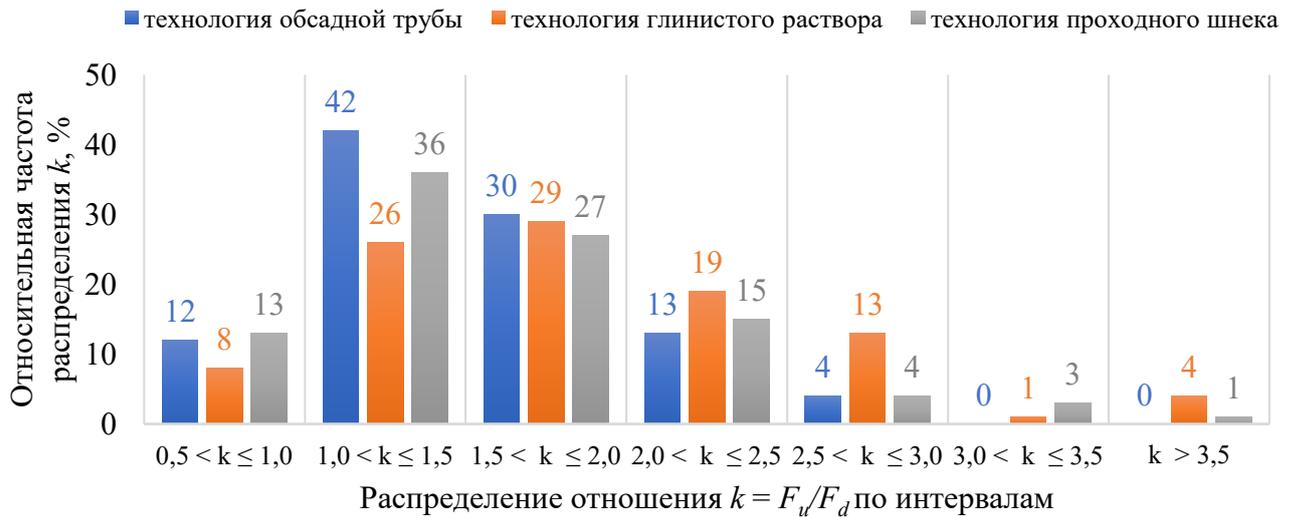


Рисунок 3.2.2. Гистограмма относительной частоты распределения корректирующих коэффициентов  $k = F_u/F_d$  по интервалам (частотам распределения  $k$ ) при различных технологиях

В исследовании была вычислена несущая способность свай по формуле [1] и проведена статистическая обработка результатов полевых испытаний свай на вдавливающую нагрузку<sup>3</sup> и произведено сравнение значений несущей способности свай, изготовленных по различным технологиям. Также были определены соотношения расчетных сопротивлений грунта по боковой поверхности и под острием свай. На рисунке 3.2.3 приведены результаты сравнения несущей способности свай, получаемые расчетным методом и полевыми испытаниями. Как видно из рисунка 3.2.3, фактическая несущая способность буровых свай в моренных отложениях в зависимости от технологии изготовления, превышает расчетную, определяемую по нормативным требованиям в 1,4÷1,6 раза, а фактическая несущая способность буровых свай в вендских отложениях по результатам полевых испытаний превышает расчетную, определяемую по нормативным требованиям до 2 раз и более. Занижение фактической несущей способности свай приводит к значительному удорожанию проектного решения свайного фундамента.

<sup>3</sup> Результаты статических полевых испытаний свай предоставлены ООО ПКТИ «Фундамент-тест» (генеральный директор Левинтов Г.В.).

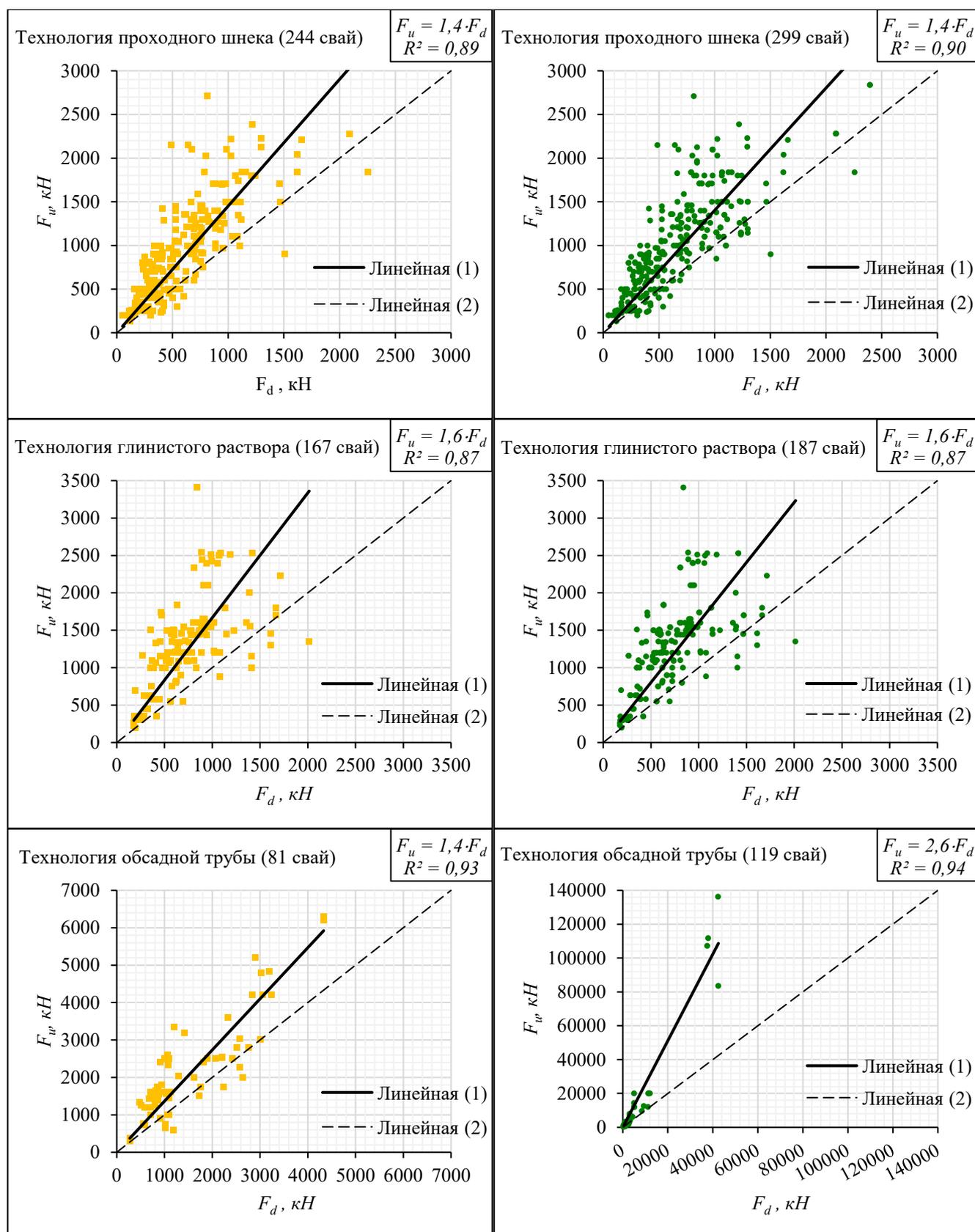


Рисунок 3.2.3. Сравнительные диаграммы значений несущей способности свай фактических и рассчитанных

1 – фактическая линия распределения между  $F_u$  и  $F_d$ ; 2 – линия идеального совпадения между  $F_u$  и  $F_d$ ; ■ – сваи в моренных отложениях; ● – сваи в моренных и вендских отложениях

В таблице 3.2.4 приведены основные статистические показатели, полученные при обработке величин несущей способности буровых свай фактических и теоретических для каждой технологии их изготовления.

Таблица 3.2.4. Основные статистические параметры, полученные при обработке величин несущей способности буровых свай

| № | Параметры   | Значение              |                       |                       |
|---|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|   |   | обсадная труба        | глинистый раствор     | проходной шнек        |
| 1 | Количество статических полевых испытаний свай, $n$          | 119                   | 187                   | 299                   |
| 2 | Минимальное значение, $k_{min} = (F_u/F_d)_{min}$           | 0,51                  | 0,67                  | 0,56                  |
| 3 | Максимальное значение, $k_{max} = (F_u/F_d)_{max}$          | 3,91                  | 4,31                  | 4,40                  |
| 4 | Интервал отношения, $k_{max} - k_{min}$                     | 3,40                  | 3,64                  | 3,84                  |
| 5 | Среднее арифметическое значение, $k_{cp} = (F_u/F_d)_{cp}$  | 1,61                  | 1,87                  | 1,64                  |
| 6 | Среднее квадратичное отклонение, $\sigma$                   | 1,48                  | 1,30                  | 1,07                  |
| 7 | Уравнения линейной регрессии для свай в моренных отложениях | $F_u = 1,4 \cdot F_d$ | $F_u = 1,6 \cdot F_d$ | $F_u = 1,4 \cdot F_d$ |
| 8 | Уравнения линейной регрессии для свай в вендских отложениях | $F_u = 2,6 \cdot F_d$ | $F_u = 1,6 \cdot F_d$ | $F_u = 1,4 \cdot F_d$ |
| 9 | Коэффициент детерминации – $R^2$                            | 0,94                  | 0,87                  | 0,90                  |

На рисунке 3.2.4 представлены сравнительные гистограммы отношения значений несущей способности свай фактических и расчетных по существующей методике [1] и по предлагаемой методике с учетом корректирующего коэффициента  $k$ .

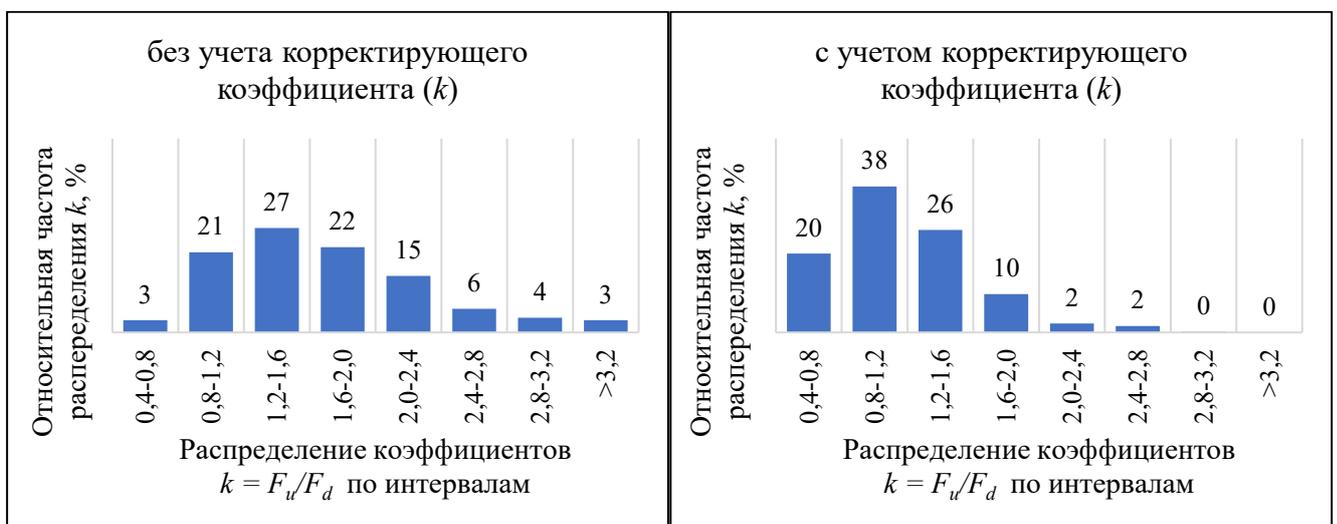


Рисунок 3.2.4. Сравнительная гистограмма относительной частоты распределения отношения  $F_u/F_d$  без учета и с учетом корректирующего коэффициента ( $k$ )

Из гистограммы на рисунке 3.2.4 подтверждают возможность определения несущей способности буровой сваи по грунту с использованием табличных значений сопротивления грунтов СП 24.1333.2011 [1] с учетом корректирующего коэффициента  $k$ .

На рисунке 3.2.5 показаны отношения расчетных сопротивлений грунта по боковой поверхности и под острием свай.

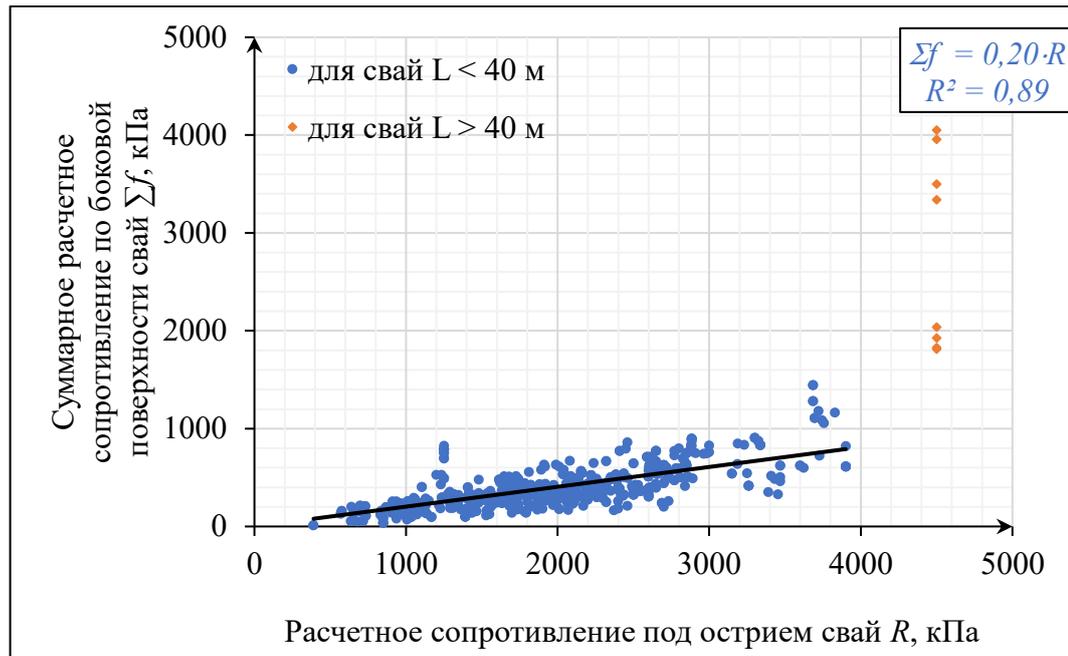


Рисунок 3.2.5. Сравнительные диаграммы сопротивления сваи по боковой поверхности и под острием сваи

$\Sigma f$  – суммарное расчетное сопротивление по боковой поверхности свай;  $R$  – расчетное сопротивление под острием свай

Как видно из рисунка 3.2.5, суммарное расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности свай составляет порядка 20% от сопротивления грунта под острием свай. Фактически, в Санкт-Петербурге до 60% длины сваи находится в сильнодеформируемом грунте с модулем деформации  $E \leq 10$  МПа, поэтому свая, изготавливаемая в грунте, должна быть достаточно длинной (20...30 м и более), чтобы опираться на надежное прочное основание.

Дополнительно в результате статистической обработки и анализа полученных результатов полевых испытаний предлагается упрощенная формула для определения несущей способности буровых свай по грунту, которая может

применяться в качестве предварительной оценки при проектировании и полевых испытаниях на строительных площадках:

$$F_d = R(A + 0,2 \cdot \gamma_{cf} \cdot u \cdot h_i), \quad (3.2.1)$$

где  $R, A, u, \gamma_{cf}, h_i$  – обозначения из формулы 7.11 [1].

Предлагаемая методика определения несущей способности свай по грунту, которая может применяться в качестве предварительной оценки при проектировании и полевых испытаниях на строительных площадках.

Широко используется способ приближенного расчета висячих свай, который основан на использовании геометрических параметров свай и средней величины сопротивления грунта. По этому способу предельная нагрузка на сваю определяется по формуле:

$$N = u \cdot L \cdot \sigma = \pi \cdot D \cdot L \cdot R_s, \quad (3.2.2)$$

где  $u$  – периметр свай, м;

$L$  – длина свай, м;

$D$  – диаметр свай, м;

$R_s$  – осредненное сопротивление грунта, полученное в результате статических полевых испытаний свай кПа.

По результатам обработки статических 600 полевых испытаний свай были получены значения осредненного сопротивления грунта:  $\sigma_{сред.} = 49$  кПа для свай залегания в моренных отложениях;  $\sigma_{сред.} = 68$  кПа для свай залегания в вендских отложениях.

### 3.2.2 Несущая способность свай в зависимости от глубины заложения острия свай

Несущая способность буровой свай по грунту преимущественно зависит от двух составляющих: сил трения по боковой поверхности и сопротивления грунта под острием свай [127]:

$$F_d = f(\sum f_i; R), \quad (3.2.3)$$

где  $f_i$  – расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи;  
 $R$  – расчетное сопротивление грунта под острием сваи.

На основе краткой классификации основных комплексов грунтов, расположенных по боковой поверхности и под острием большинства свай было выполнено условное разделение несущей способности буровых свай по грунту на двух характерных случаях (рисунок 3.2.6), как представлено в выражениях:

$$\sum f_1 < \sum f_2, \quad (3.2.4)$$

$$R_1 < R_2, \quad (3.2.5)$$

где  $\sum f_1, \sum f_2$  – суммарное расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности свай;

$R_1, R_2$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи (индексы 1, 2 соответствуют схемам I и II).

На основе краткой классификации основных видов грунтов, расположенных по боковой поверхности и под острием большинства свай, было выполнено условное разделение несущей способности буровых свай по грунту на две основные схемы: I – сваи залегания в моренных отложениях (492 сваи) и II – сваи залегания в вендских отложениях (113 сваи).

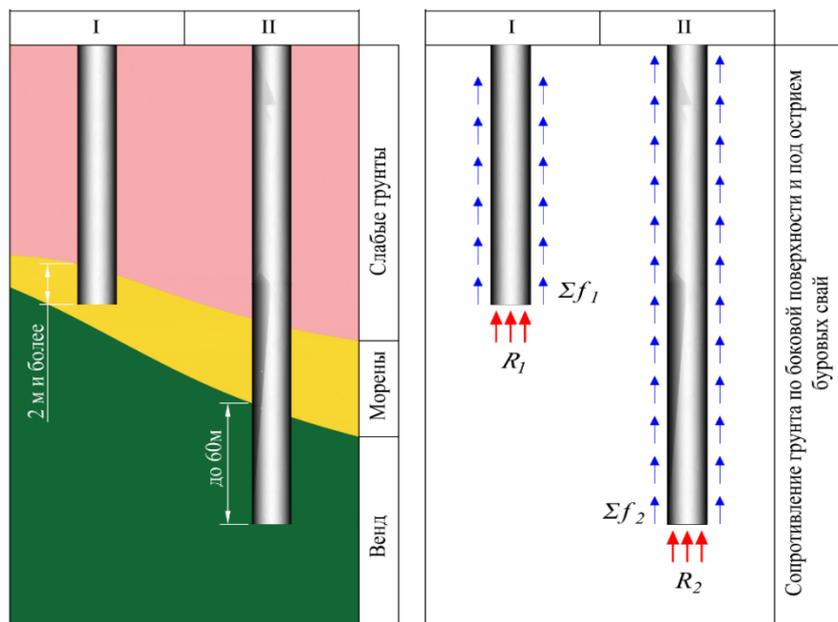


Рисунок 3.2.6. Условное разделение несущей способности буровых свай на двух основных схемы (по глубине расположения буровых свай в морене и венде)

В таблице 3.2.5 приведено распределение модуля общей деформации грунтов по боковой поверхности и под острием буровых свай из более чем 600 полевых испытаний.

Таблица 3.2.5. Распределение модуля деформации грунтов по боковой поверхности и под острием свай в зависимости от глубины заложения их острия

| Схема заложения буровых свай в грунте | Количество n, свай | Модуль деформации грунта $E$ , МПа |                  |
|---------------------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|
|                                       |                    | По боковой поверхности свай        | Под острием свай |
| I                                     | 492                | до 10                              | до 20            |
| II                                    | 113                | до 25                              | до 30 и более    |

На рисунке 3.2.7 приведены сравнительные диаграммы соотношения несущей способности свай, получаемые расчетным методом [1] и полевыми испытаниями в зависимости от схемы расположения сваи в грунте (схемы I, II на рисунке 3.2.6). Из сравнительных диаграмм видно, что в зависимости от схемы расположения сваи в грунте фактическая несущая способность свай, определенная по результатам статических полевых испытаний, возрастает в 1,5÷2,6 раза от расчетного значения. Этот факт говорит о том, что, чем больше глубина расположения сваи в грунте, тем в большую сторону отличается фактическая несущая способность свай от вычисленной по нормативным требованиям.

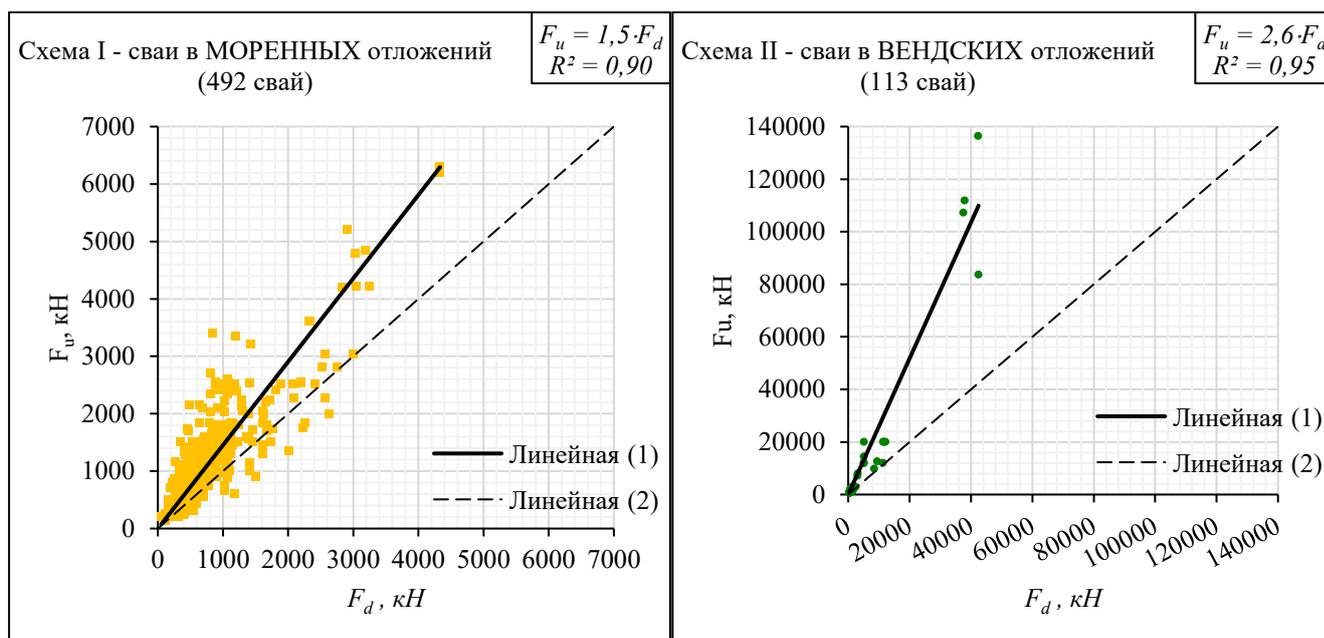


Рисунок 3.2.7. Сравнительные диаграммы значений несущей способности свай фактических и рассчитанных в зависимости от схемы расположения сваи в грунте

### 3.3 Исследование сопротивления песчаных и глинистых грунтов для буровых свай глубокого заложения

В настоящее время определение несущей способности сваи выполняется по регламентированной методике с максимальной глубиной заложения пяты сваи до 40 м от поверхности планировки, что не позволяет учитывать повышение сопротивления по пяте и боковой поверхности сваи, расположенной на большей глубине. Однако условия современного высотного строительства требуют применения свай со значительно большей глубиной заложения, а рекомендации по расчетам таких свай в технических регламентах отсутствуют. Для прогнозирования несущей способности свай длиной более 40 м выполнена нелинейная экстраполяция расчетных сопротивлений грунтов по боковой поверхности и под острием свай до глубины 100 м в зависимости от их физико-механических характеристик и глубины.

Шулятьевым О. А. были проведены экспериментальные исследования результатов расчёта с результатами испытаний показали, что разница в определении сопротивления грунтов  $f_i$  по таблицам СП [1] и по экспериментальным данным составила от 2 до 3 раза [108]. В связи с этим для определения несущей способности буровых свай глубокого заложения может быть применены таблицы 3.3.1 – 3.3.2 на основе нелинейной экстраполяции сопротивления грунта по боковой поверхности и под острием свай.

Проведена нелинейная экстраполяция сопротивлений грунтов в зависимости от физических свойств грунтов по боковой поверхности и под пятой буровых свай [44]. На рисунках 3.3.1, 3.3.2 приведены результаты нелинейной экстраполяции сопротивлений грунтов по боковой поверхности и под острием свай до глубины 100 м. Учитывая тот факт, что в настоящее время свайные фундаменты под высотные здания предполагает глубину их заложения порядка 40 м и более, Графики (рис. 3.3.1; рис. 3.3.2) и таблицы (таб. 3.3.1; таб. 3.3.2) могут использоваться для экспресс оценки несущей способности буровых свай длиной более 40 м.

Таблица 3.3.1. Расчетные сопротивления по боковой поверхности свай

| Расчетные сопротивления по боковой поверхности свай $f$ , кПа |                             |  |     |                        |                |
|---|-----------------------------|--|-----|------------------------|----------------|
| Песков средней плотности                                      | Крупных и средней крупности | Глинистых грунтов при показателе текучести $I_L$ | 0,2 | $f = 34,716z^{0,2861}$ | $R^2 = 0,9936$ |
|   | Мелких                      |  | 0,3 | $f = 24,349z^{0,2902}$ | $R^2 = 0,9898$ |
|   | Пылеватых                   |  | 0,4 | $f = 16,917z^{0,3058}$ | $R^2 = 0,9820$ |
|   | -                           |  | 0,5 | $f = 14,259z^{0,2644}$ | $R^2 = 0,9477$ |
|   | -                           |  | 0,6 | $f = 10,503z^{0,2261}$ | $R^2 = 0,8386$ |
|   | -                           |  | 0,7 | $f = 5,6088z^{0,2518}$ | $R^2 = 0,8369$ |
|   | -                           |  | 0,8 | $f = 5,1753z^{0,1694}$ | $R^2 = 0,6849$ |
|   | -                           |  | 0,9 | $f = 4,148z^{0,2027}$  | $R^2 = 0,6752$ |
|   | -                           |  | 1,0 | $f = 3,241z^{0,2372}$  | $R^2 = 0,6844$ |

Примечания:

1.  $z$  – средняя глубина расположения слоя грунта, м
2.  $f$  – расчетные сопротивления по боковой поверхности свай, кПа
3. при определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай  $f_i$  пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2м.
4. значения расчетного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай  $f$  следует увеличивать на 30% по сравнению со значениями, приведенными в таблице.
5. расчетные сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости  $e < 0,5$  и глин с коэффициентом пористости  $e < 0,6$  следует увеличивать на 15% по сравнению со значениями, приведенными в таблице, при любых значениях показателя текучести.

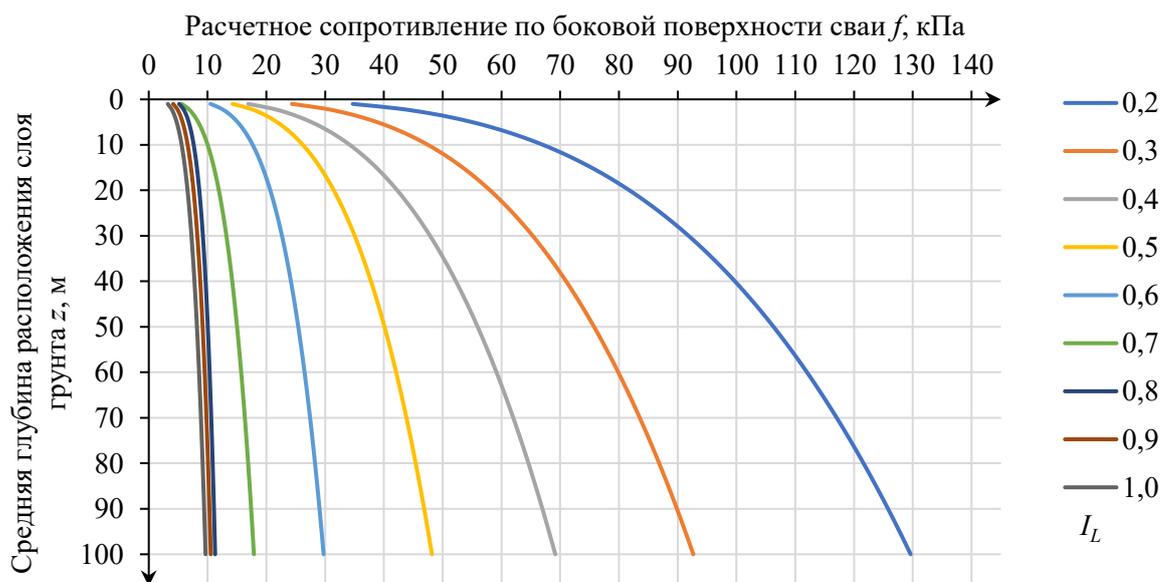


Рисунок 3.3.1. График распределения сил трения грунта по боковой поверхности свай до глубины 100 м

Таблица 3.3.2. Расчетные сопротивления под нижним концом свай

| Расчетные сопротивления $R$ , кПа, под нижним концом набивных и буровых свай и свай-оболочек, погружаемых с выемкой грунта и заполняемых бетоном, при глинистых грунтах, за исключением просадочных |                   |  |     |                                     |                |
|---|-------------------|--|-----|-------------------------------------|----------------|
| Песков средней плотности  | Гравелистых       | Глинистых грунтов при показателе текучести $I_L$ | 0,0 | $R = 0,7287z^2 + 67,372z + 636,88$  | $R^2 = 0,9998$ |
|   | Крупных           |  | 0,1 | $R = 0,4504z^2 + 69,632z + 500,81$  | $R^2 = 0,9996$ |
|   | -                 |  | 0,2 | $R = 0,2499z^2 + 67,026z + 408,23$  | $R^2 = 0,9984$ |
|   | Средней крупности |  | 0,3 | $R = 0,0403z^2 + 65,742z + 302,9$   | $R^2 = 0,9998$ |
|   | Мелких            |  | 0,4 | $R = -0,2019z^2 + 66,531z + 171,75$ | $R^2 = 0,9991$ |
|   | Пылеватых         |  | 0,5 | $R = -0,0861z^2 + 59,195z + 110,29$ | $R^2 = 0,9985$ |
|   | -                 |  | 0,6 | $R = -0,2276z^2 + 51,595z + 99,61$  | $R^2 = 0,9985$ |
| Примечания:   |                   |  |     |                                     |                |
| 1. $z$ – глубина заложения нижнего конца сваи, м  |                   |  |     |                                     |                |
| 2. $R$ – расчетные сопротивления под нижним концом сваи, кПа  |                   |  |     |                                     |                |
| 3. для промежуточных значений показателя текучести $I_L$ глинистых грунтов значения $R$ в таблице определяют интерполяцией.   |                   |  |     |                                     |                |

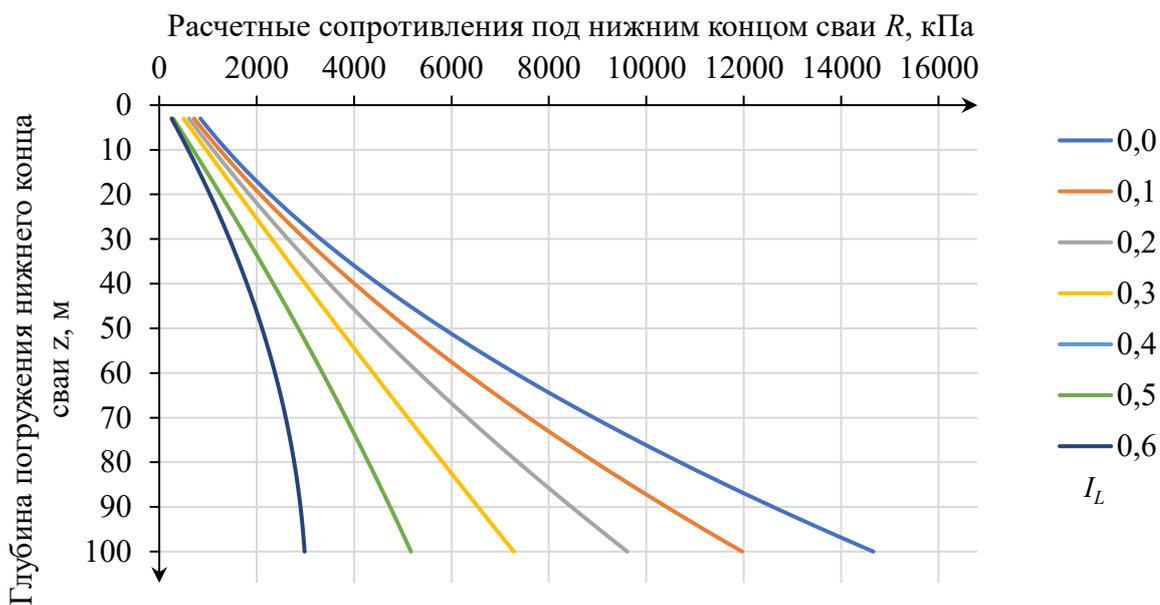


Рисунок 3.3.2. График распределения сопротивления грунта под нижним концом сваи до глубины 100 м

Для подтверждения несущей способности свай глубокого заложения автор провел дополнительные расчеты свай длиной более 40 м. В таблице 3.3.3 представлены результаты оценки несущей способности буровых свай длиной более 40 м.

Таблица 3.3.3. Результаты оценки несущей способности буровых свай глубокого заложения ( $L > 40$  м)

| Длина свай, м | Несущая способность свай по результатам:<br>кН |             |                          | Соотношения фактической и расчетной несущей способности свай |                      |
|---------------|--|-------------|--------------------------|--|----------------------|
|               | полевых испытаний                              | СП 24.13330 | нелинейной экстраполяции |  |                      |
| $L$           | $F_u$  | $F_{d1}$    | $F_{d2}$                 | $k_1 = F_u / F_{d1}$   | $k_2 = F_u / F_{d2}$ |
| 41            | 12000  | 8451        | 11259                    | 1,42   | 1,07                 |
| 41            | 6260   | 4700        | 5225                     | 1,44   | 1,19                 |
| 40            | 7563   | 5327        | 6246                     | 1,42   | 1,20                 |
| 43            | 35000  | 21983       | 28928                    | 1,59   | 1,20                 |
| 44            | 20000  | 11416       | 17391                    | 1,75   | 1,15                 |
| 45            | 20000  | 11510       | 17544                    | 1,74   | 1,14                 |
| 47            | 20000  | 12121       | 17075                    | 1,65   | 1,17                 |

Из таблицы видно, что отличие несущей способности буровых свай глубокого заложения от, рассчитываемой по методике из технического регламента, составляет до 1,75 раз (разброс до 75%), в то время как нелинейная экстраполяция, полученная автором, позволяет получить более достоверные значения несущей способности с точностью до 20%.

### 3.4 Выводы по третьей главе

1. По результатам статистической обработки полевых испытаний 600 буровых свай методом наименьших квадратов можно сделать выводы о том, что:

– Преимущественное распределение значений несущей способности полевых испытанных свай превышает несущую способность, вычисленную по СП, до 2 раз (63 % испытаний).

– На основе анализа результатов многочисленных полевых статических испытаний свай **в моренных отложениях** установлено, что фактическая несущая способность буровых свай в зависимости от технологии изготовления, превышает расчетную, определяемую по нормативным требованиям в 1,4 – 1,6 раза.

– Фактическая несущая способность буровых свай **в вендских отложениях** по результатам полевых испытаний превышает расчетную, определяемую по нормативным требованиям до 2 раз и более. Занижение фактической несущей способности сваи приводит к значительному удорожанию проектного решения свайного фундамента.

– Предлагаемый метод определения несущей способности буровых свай по грунту на основе анализа и статистической обработки результатов полевых испытаний, можно использовать в качестве предварительной оценки на этапе проектирования.

2. На основе нелинейной экстраполяции получены сопротивления грунтов по боковой поверхности и под острием свай для более точного определения несущей способности буровых свай длиной до 100 м.

## ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей главе приведены результаты внедрения разработанного метода расчета несущей способности буровых свай по грунту с использованием корректирующих коэффициентов на примере объекта в Санкт-Петербурге.

### 4.1 Краткая характеристика инженерно-геологических условий площадки

Инженерно-геологических условий площадки выполнялся на основе результатов инженерно-геологических изысканий, представленных ООО «ИЗЫСКАТЕЛЬ» в 2016 г.

Площадка, на которой проводились изыскания, ограничена следующими контурами:

- с востока площадкой строительства объекта МФК «Лахта центр»;
- с юга берегом Финского залива;
- с севера Приморским шоссе;
- с запада проектируемой улично-дорожной сетью и малоэтажной жилой застройкой поселка Лахта-Ольгино.

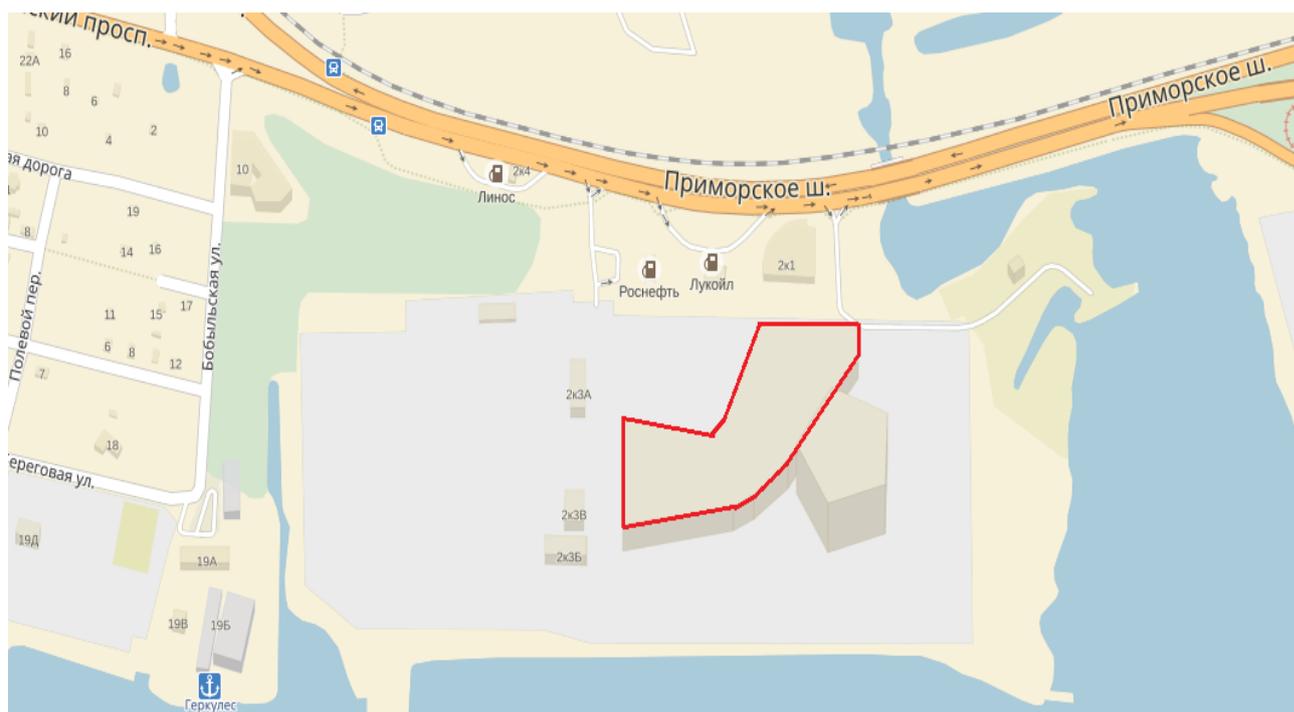


Рисунок 4.1.1. Обзорная схема расположения участка

В геолого-литологическом строении площадки в пределах изученных при проведении инженерно-геологических изысканий глубин принимают участие четвертичные отложения различного генезиса: в пределах рассматриваемой глубины бурения до 60 м с поверхности техногенные насыпные отложения ( $t IV$ ), ниже залегают морские и озерные отложения ( $m, l IV$ ), которые подстилаются озерно-ледниковыми отложениями ( $lg III$ ); в нижней части залегают ледниковые отложения лужской стадии оледенения ( $g III$ ) и верхнепротерозойские котлинские отложения ( $Vkt_2$ ). С учетом возраста, генезиса, номенклатурного вида грунтов, слагающих участок в пределах рассматриваемой глубины, выделено 20 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) (1в, 1г, 2, 2г, 2в, 2г, 2а, 2б, 3, 3а, 4, 4а, 5, 6, 6а, 6е, 6г, 7а, 7, 8).

На рисунке 4.1.2 представлен инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки:

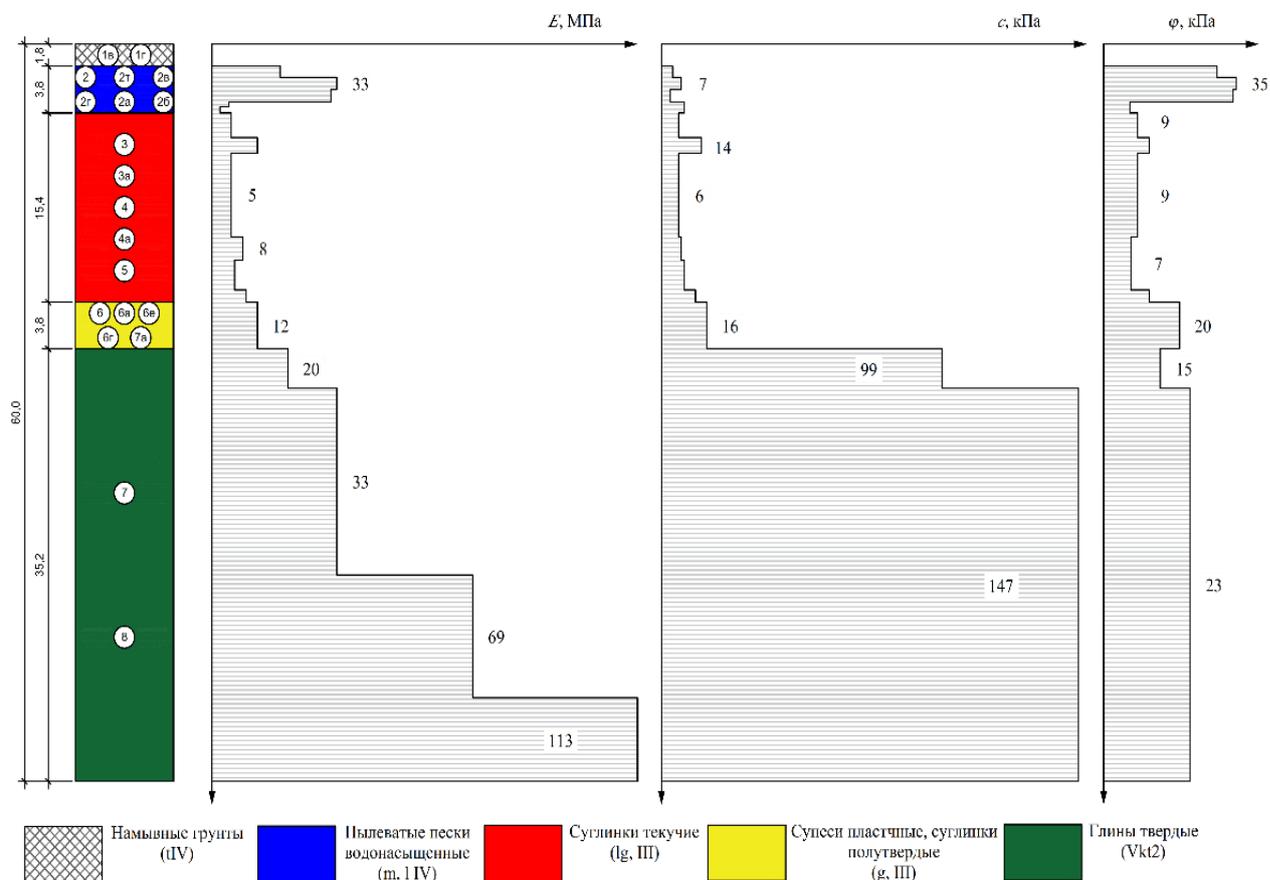


Рисунок 4.1.2. Инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки

В таблице 4.1.1 приведены нормативные и расчетные характеристики грунтов строительной площадки.

Таблица 4.1.1. Таблица показателей физико-механических свойств грунтов

| Геологический индекс | Номенклатурное наименование грунтов   | № № ИГЭ | Хар-ка          | Число пластичности I <sub>p</sub> | Прир. влажность W' | Плотн. грунта, ρ, т/м <sup>3</sup> | Коэфф. пористости e | Показатели консистенции |                | Показатели прочности |        | Модуль деформации E, МПа | Сопр. сдвигу c <sub>v</sub> , МПа | Коэф. фильтр. консолид. c <sub>v</sub> , см <sup>2</sup> /мин | Коэф. втор. консолид. c <sub>a</sub> | Временное сопр. одноос. сжат. R <sub>c</sub> , МПа |   |  |
|----------------------|---|---------|-----------------|-----------------------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|----------------------|--------|--------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|--|---|--|
|                      |   |         |                 |                                   |                    |                                    |                     | I <sub>L</sub>          | C <sub>B</sub> | φ, град.             | σ, кПа |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
| 1                    | 2   | 3       | 4               | 5                                 | 6                  | 7                                  | 8                   | 9                       | 10             | 11                   | 12     | 13                       | 14                                | 15  | 16                                   | 17   |   |  |
| t IV                 | Насыпные грунты: пески влажные и насыщенные водой, коричневые, со щебнем  | 1в      | X <sub>n</sub>  |                                   |                    |                                    |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  | R <sub>o</sub> = 1.0 кг/см <sup>2</sup> = 100 кПа |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    |                                    |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    |                                    |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
| t IV                 | Насыпные грунты: пески влажные и насыщенные водой, коричневые, супеси, со строительным мусором, с растительными остатками | 1г      | X <sub>n</sub>  |                                   |                    |                                    |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  | R <sub>o</sub> = 1.0 кг/см <sup>2</sup> =100 кПа  |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    |                                    |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    |                                    |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Слабозаторфованные грунты коричневые насыщенные водой   | 2       | X <sub>n</sub>  | 0.14                              | 0.96               | 1.40                               | 2.391               | 2.95                    |                |                      | 7      | 8                        | 4                                 |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.40±0.05                          |                     |                         |                |                      | 6      | 5                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.40±0.03                          |                     |                         |                |                      | 7      | 8                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Торфы слаборазложившиеся коричневые насыщенные водой  | 2г      | X <sub>n</sub>  |                                   | 2.95               | 1.11                               | 6.078               |                         |                |                      | -      | -                        | 2                                 |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.11±0.01                          |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.11±0.00                          |                     |                         |                |                      |        |                          |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Пески пылеватые серые с редкими растительными остатками плотные влажные и насыщенные водой                                | 2в      | X <sub>n</sub>  |                                   |                    | 1.90/2.08                          | 0.520               |                         |                | 35                   | 7      | 33                       |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.80/1.98                          |                     |                         |                |                      | 31     | 5                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.90/2.08                          |                     |                         |                |                      | 35     | 7                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Пески пылеватые серые с редкими растительными остатками средней плотности влажные и насыщенные водой                      | 2г      | X <sub>n</sub>  |                                   | 0.19               | 1.80/2.00                          | 0.650               |                         |                | 30                   | 4      | 18                       |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.71/1.90                          |                     |                         |                |                      | 27     | 3                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.80/2.00                          |                     |                         |                |                      | 30     | 4                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Пески мелкие коричневые с редкими растительными остатками средней плотности насыщенные водой                              | 2а      | X <sub>n</sub>  |                                   |                    | 2.02                               | 0.610               |                         |                | 34                   | 3      | 32                       |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.92                               |                     |                         |                |                      | 31     | 2                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 2.02                               |                     |                         |                |                      | 34     | 3                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Пески крупные коричневые с редкими растительными остатками средней плотности влажные и насыщенные водой                   | 2б      | X <sub>n</sub>  |                                   | 0.16               | 1.87/2.05                          | 0.580               |                         |                | 39                   | 0      | 37                       |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.78/1.95                          |                     |                         |                |                      | 36     | 0                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.87/2.05                          |                     |                         |                |                      | 39     | 0                        |                                   |   |                                      |  |   |  |
| m, I IV              | Суглинки легкие пылеватые серые неяснослонстые с прослоями песка, супеси с редкими растительными остатками текучие        | 3       | X <sub>n</sub>  | 0.10                              | 0.32               | 1.90                               | 0.900               | 1.22                    | 0.44           | 10                   | 7      | 7                        | 0.086                             | 0.04460   | 0.00448                              |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.90±0.00                          |                     |                         |                |                      | 9      | 5                        |                                   | 0.069   | 0.03568                              | 0.00358  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.90±0.00                          |                     |                         |                |                      | 9      | 6                        |                                   | 0.086   | 0.04460                              | 0.00448  |   |  |
| m, I IV              | Суглинки легкие пылеватые серые с редкими растительными остатками мягкопластичные   | 3а      | X <sub>n</sub>  | 0.10                              | 0.27               | 1.97                               | 0.758               | 0.68                    | 0.24           | 13                   | 18     | 12                       | 0.096                             | 0.03880   | 0.00306                              |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.97±0.01                          |                     |                         |                |                      | 11     | 12                       |                                   | 0.077   | 0.03104                              | 0.00245  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.97±0.01                          |                     |                         |                |                      | 12     | 14                       |                                   | 0.096   | 0.03880                              | 0.00306  |   |  |
| Ig III               | Глины легкие пылеватые коричневато-серые ленточные текучепластичные   | 4       | X <sub>n</sub>  | 0.18                              | 0.40               | 1.82                               | 1.118               | 0.86                    | 0.37           | 7                    | 9      | 8                        | 0.064                             | 0.03161   | 0.00566                              |  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>i</sub>  |                                   |                    | 1.82±0.00                          |                     |                         |                |                      | 6      | 6                        |                                   | 0.051   | 0.02529                              | 0.00453  |   |  |
|                      |   |         | X <sub>II</sub> |                                   |                    | 1.82±0.00                          |                     |                         |                |                      | 7      | 7                        |                                   | 0.064   | 0.03161                              | 0.00566  |   |  |

Продолжение таблицы 4.1.1

|                   |  |    |                |      |      |           |       |       |       |    |     |               |       |         |         |       |
|-------------------|--|----|----------------|------|------|-----------|-------|-------|-------|----|-----|---------------|-------|---------|---------|-------|
| lg III            | Суглинки тяжелые пылеватые коричневые ленточные текучие  | 4а | X <sub>н</sub> | 0.14 | 0.39 | 1.83      | 1.076 | 1.06  | 0.46  | 8  | 10  | 6             | 0.070 | 0.03740 | 0.00425 |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 1.83±0.00 |       |       |       | 7  | 7   |               | 0.056 | 0.02992 | 0.00340 |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 1.83±0.00 |       |       |       | 7  | 8   |               | 0.070 | 0.03740 | 0.00425 |       |
| lg III            | Суглинки легкие пылеватые серые слоистые с прослоями песка мягкопластичные                                 | 5  | X <sub>н</sub> | 0.10 | 0.29 | 1.95      | 0.793 | 0.66  | 0.19  | 13 | 16  | 9             | 0.146 | 0.03650 | 0.00468 |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 1.95±0.00 |       |       |       | 11 | 10  |               | 0.116 | 0.02920 | 0.00374 |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 1.95±0.00 |       |       |       | 12 | 12  |               | 0.146 | 0.03650 | 0.00468 |       |
| g III             | Супеси песчанистые серые с гравием, галькой до 15% с валунами с гнездами песка пластичные                  | 6  | X <sub>н</sub> | 0.04 | 0.13 | 2.22      | 0.364 | 0.47  | 0.16  | 22 | 20  | 12            | 0.164 | 0.03150 | 0.00327 |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.22±0.01 |       |       |       | 19 | 14  |               | 0.131 | 0.02520 | 0.00262 |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.22±0.01 |       |       |       | 20 | 16  |               | 0.164 | 0.03150 | 0.00327 |       |
| g III             | Супеси песчанистые серые с гравием, галькой до 20% с валунами с гнездами песка пластичные                  | 6а | X <sub>н</sub> | 0.04 | 0.11 | 2.28      | 0.303 | 0.10  | -0.03 | 26 | 33  | 17            |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.28±0.02 |       |       |       | 23 | 22  |               |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.28±0.02 |       |       |       | 26 | 33  |               |       |         |         |       |
| g III             | Пески крупные серые плотные насыщенные водой   | 6е | X <sub>н</sub> |      |      | 2.14      | 0.450 |       |       | 43 | 2   | 50            |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.14±0.11 |       |       |       | 39 | 1   |               |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.14      |       |       |       | 43 | 2   |               |       |         |         |       |
| g III             | Пески средней крупности серые плотные насыщенные водой   | 6г | X <sub>н</sub> |      |      | 2.13      | 0.470 |       |       | 40 | 3   | 48            |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.13±0.11 |       |       |       | 36 | 2   |               |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.13      |       |       |       | 40 | 3   |               |       |         |         |       |
| g III             | Суглинки легкие пылеватые голубовато-серые обогащенные глинистым материалом с гравием, галькой полутвердые | 7а | X <sub>н</sub> | 0.10 | 0.21 | 2.08      | 0.590 | 0.08  | -0.14 | 19 | 42  | 13            |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.08±0.01 |       |       |       | 17 | 28  |               |       |         |         |       |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.08±0.01 |       |       |       | 17 | 34  |               |       |         |         |       |
| V kt <sub>2</sub> | Глины пылеватые голубовато-серые дислоцированные с прослоями песка твердые                                 | 7  | X <sub>н</sub> | 0.13 | 0.18 | 2.13      | 0.525 | -0.26 | -0.24 | 16 | 123 | 20            | 0.349 | 0.01078 | 0.00666 | 0.205 |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.13±0.00 |       |       |       | 14 | 82  |               | 0.279 | 0.00862 | 0.00533 | 0.164 |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.13±0.00 |       |       |       | 15 | 99  |               | 0.349 | 0.01078 | 0.00666 | 0.205 |
| V kt <sub>2</sub> | Глины пылеватые голубовато-серые с прослоями песка твердые   | 8  | X <sub>н</sub> | 0.12 | 0.14 | 2.20      | 0.430 | -0.57 | -0.27 | 25 | 183 | 33 (30-40 м)  | 0.803 | 0.01157 | 0.00350 | 0.406 |
|                   |  |    | X <sub>1</sub> |      |      | 2.20±0.00 |       |       |       | 22 | 122 | 69 (40-50 м)  | 0.642 | 0.00925 | 0.00280 | 0.325 |
|                   |  |    | X <sub>н</sub> |      |      | 2.20±0.00 |       |       |       | 23 | 147 | 113 (50-60 м) | 0.803 | 0.01157 | 0.00350 | 0.406 |

## 4.2 Краткое описание конструктивных решений подземной части объекта

Этажность комплекса переменная: от 2 до 15 этажей, в том числе 2 подземных этажа. Абсолютная отметка верха кровли соответствует отметке +84,75 м. Высота здания (от пожарного проезда на отметке 1 этажа до отметки перекрытия антресоли 13-го этажа) – 58,800 м. Абсолютная отметка поверхности земли соответствует +2,20 м. Габариты сооружения – 273x180м.

Конструктивная часть здания ниже отметки  $\pm 0.000$  выполнена в монолитном железобетонном каркасе, основными несущими конструкциями которого являются колонны, балки, плиты перекрытий, стены и ядра жесткости. Конструктивная схема представляет собой нерегулярную сетку колонн переменного сечения и стен ядер жесткости, обеспечивающих совместно с перекрытиями пространственную жесткость здания.

Конструктивная схема надземной части здания включает в себя рамно-связевой стальной каркас, работающий совместно с железобетонными ядрами жесткости и перекрытиями, и монолитный железобетонный каркас.

Для возведения комплекса проектом предусмотрено устройство котлована глубиной до 8,2 м с устройством ограждающей конструкции – монолитной железобетонной «стены в грунте» толщиной 0,8 м и глубиной заложения до 26,2 м от поверхности земли. Конструкция «стены в грунте» габаритами 273x180м запроектирована по наружному периметру комплекса и имеет в плане неправильную форму, повторяющую его геометрию. Нижняя часть «стены в грунте» погружена в водоупорный слой грунта, которым являются глины ИГЭ-7, на 1,7 ... 4,2 м.

Проектом для комплекса зданий предусмотрен общий свайный фундамент на буровых сваях, выполняемых по технологии «под защитой обсадной трубы», диаметром 1,18 м и глубиной 34,2 м от поверхности земли (до абс. отм. -32,0 м). Пята свай устраивается в слое глин ИГЭ-8. Буровые сваи выполняются с выровненной дневной поверхности земли, верхняя часть скважины до разработки

котлована заполняется щебнем. Под ядрами жесткости здания сваи расставлены равномерно шагом 3 м, в остальной части расположение свай кустовое под колоннами, рядовое под стенами.

Свайное поле объединено единой ростверковой плитой. Ростверковая плита расположена непосредственно в суглинках текучей и мягкопластичной консистенции (ИГЭ-3, ИГЭ-3а). Представленные инженерно-геологические элементы являются неблагоприятным основанием для фундамента, так-как характеризуются низкими показателями модуля общей деформации (7 МПа). Толщина монолитного плитного ростверка принята от 0,6 до 2 м из расчета на продавливание, температурных воздействий и восприятия изгибающих моментов от вертикальной нагрузки.

Выбор типа фундамента проектируемого здания осуществляется на основании анализа инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, особенностей архитектурных и конструктивных особенностей с учетом уровня ответственности проектируемого здания. Вариантность выбора фундамента состоит в анализе работы под нагрузкой естественного основания, искусственного основания и свайного фундамента [21].

На рисунке 4.2.1 представлена модель проектируемого здания.

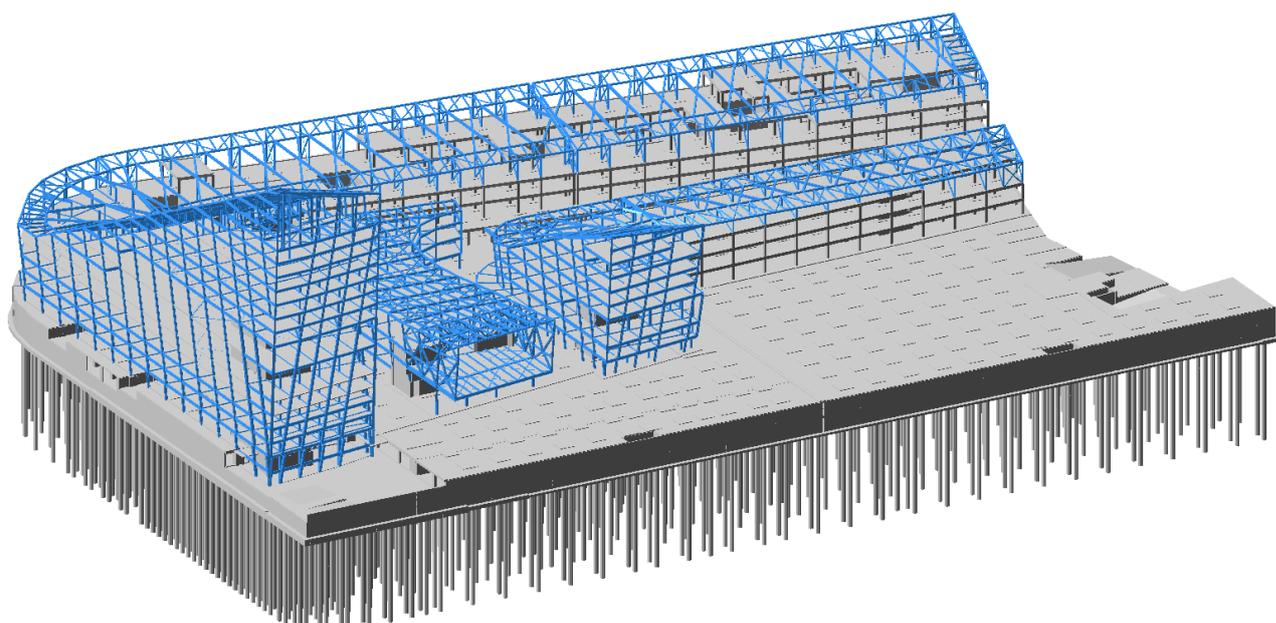


Рисунок 4.2.1. Модель проектируемого здания

### 4.3 Несущая способность одиночной сваи

Известно, несущая способность сваи зависит от инженерно-геологических условий, конструктивных особенностей зданий и сооружений, внешних нагрузок, передаваемых на фундаменты. В рамках исследования выполнены расчеты несущей способности свай в зависимости от глубины заложения их острия в несущем слое грунта по аналитическому методу, по результатам исследований (прогнозирование несущей способности свай по поправочному коэффициенту  $k$  и предлагаемых способов (по формуле 3.2.1)) и по результатам полевых статических испытаний свай. Предварительно принимаем следующие геометрические параметры сваи: диаметр  $D = 1,18$  м, длина  $L = 34$  м.

На рисунке 4.3.1 представлена блок-схема способа проведения исследований.

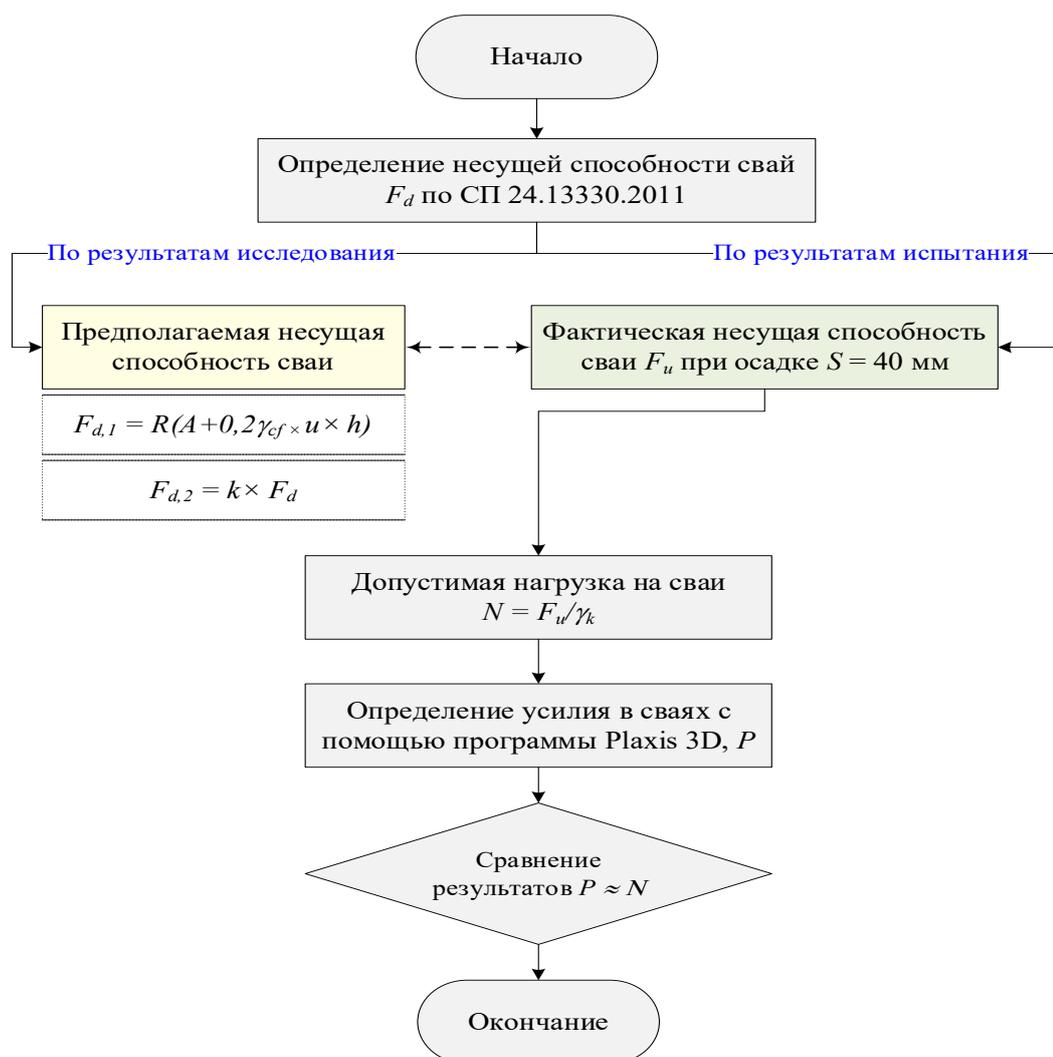


Рисунок 4.3.1. Блок-схема способа для проведения исследований

#### 4.3.1 Аналитический метод определения несущей способности сваи

##### 4.3.1.1. Несущая способность сваи по грунту (метод СП 24.13330.2011)

Методика расчета принята согласно [1], п. 7.1.11, 7.2.6-7.2.8. Расчет производится для условий висячей буровой, набивной сваи и сваи-оболочки, погружаемой с выемкой грунта и заполняемой бетоном.

На рисунке 4.3.2 представлена расчетная схема несущей способности буровых свай, соответствующей длине 34 м (абс. отм. -32 м).

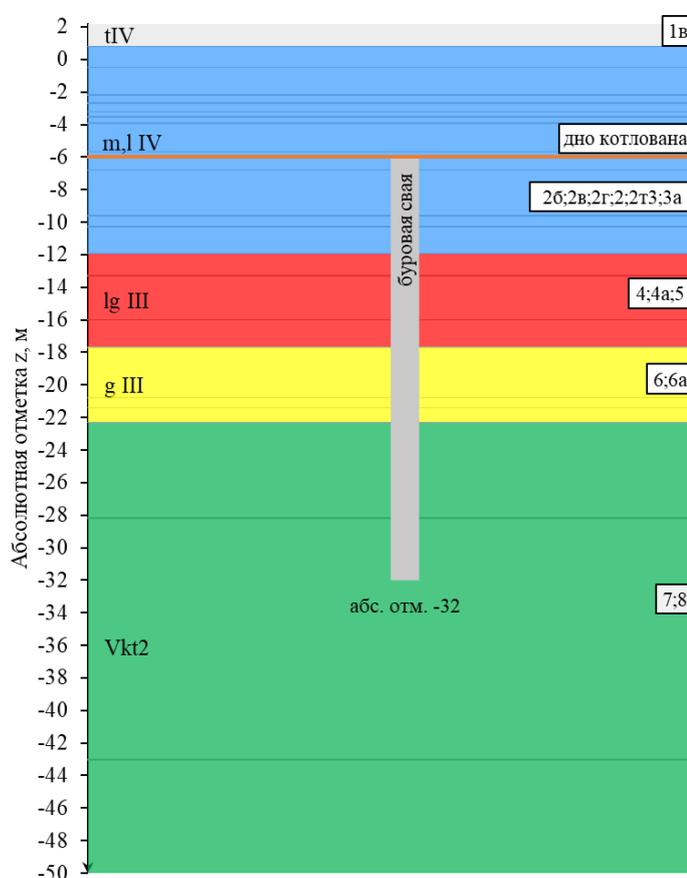


Рисунок 4.3.2. Схема расчета несущей способности буровой сваи с длиной сваи 34 м

В таблице 4.3.1 представлены результаты расчета несущей способности буровых свай по грунту согласно [1] в зависимости от глубины заложения их острия.

Свая работает на вдавливающую нагрузку в пределах глубины 26,00 м, с отметки -6,00 м до отметки -32,00 м.

Таблица 4.3.1. Несущая способность сваи по грунту в зависимости глубина заложения ее острия

| Инд.             | абс. отм. | ИГЭ | $h_i$ , м | $\gamma_{cf}$ | $z_{if}$ , м | $f_i$ , кПа | $F_f$ , кН | $z_{iR}$ , м | $R$ , кПа | $F_R$ , кН | $F_d$ , кН  |
|------------------|-----------|-----|-----------|---------------|--------------|-------------|------------|--------------|-----------|------------|-------------|
| 1                | 2         | 3   | 4         | 5             | 6            | 7           | 8          | 9            | 10        | 11         | 12          |
| m, l IV          | -6,8      | 3а  | 0,80      | 0,70          | 3,40         | 9,68        | 20         | 3,80         | 290       | 317        | <b>337</b>  |
|                  | -8,8      | 3   | 2,00      | 0,70          | 4,80         | 5,80        | 50         | 5,80         | 390       | 426        | <b>477</b>  |
|                  | -9,6      | 3   | 0,80      | 0,70          | 6,20         | 6,00        | 63         | 6,60         | 430       | 470        | <b>533</b>  |
|                  | -10,3     | 3а  | 0,70      | 0,70          | 6,95         | 11,70       | 84         | 7,30         | 465       | 509        | <b>592</b>  |
|                  | -11,9     | 3   | 1,60      | 0,70          | 8,10         | 6,00        | 109        | 8,90         | 545       | 596        | <b>705</b>  |
| lg III           | -13,3     | 4   | 1,40      | 0,60          | 9,60         | 7,40        | 116        | 10,30        | 615       | 673        | <b>789</b>  |
|                  | -15,3     | 4а  | 2,00      | 0,70          | 11,30        | 6,00        | 167        | 12,30        | 710       | 776        | <b>943</b>  |
|                  | -16,0     | 4а  | 0,70      | 0,70          | 12,65        | 6,00        | 178        | 13,00        | 733       | 802        | <b>980</b>  |
|                  | -17,7     | 5   | 1,70      | 0,70          | 13,85        | 14,37       | 241        | 14,70        | 790       | 864        | <b>1105</b> |
| g III            | -19,7     | 6   | 2,00      | 0,70          | 15,70        | 36,02       | 428        | 16,70        | 1124      | 1229       | <b>1657</b> |
|                  | -20,8     | 6   | 1,10      | 0,70          | 17,25        | 36,84       | 533        | 17,80        | 1184      | 1295       | <b>1828</b> |
|                  | -21,4     | 6е  | 0,60      | 0,70          | 18,10        | 99,24       | 688        | 18,40        | 1740      | 1903       | <b>2591</b> |
|                  | -22,3     | 6   | 0,90      | 0,70          | 18,85        | 37,69       | 776        | 19,30        | 1270      | 1389       | <b>2164</b> |
|                  | -24,3     | 7   | 2,00      | 0,60          | 20,30        | 91,33       | 1071       | 21,30        | 2430      | 2657       | <b>3729</b> |
|                  | -26,3     | 7   | 2,00      | 0,60          | 22,30        | 94,55       | 1492       | 23,30        | 2630      | 2876       | <b>4368</b> |
|                  | -28,2     | 7   | 1,90      | 0,60          | 24,25        | 97,69       | 1905       | 25,20        | 2820      | 3084       | <b>4989</b> |
| Vkt <sub>2</sub> | -30,2     | 8   | 2,00      | 0,60          | 26,20        | 100,83      | 2353       | 27,20        | 3020      | 3303       | <b>5656</b> |
|                  | -32,0     | 8   | 1,80      | 0,60          | 28,10        | 103,89      | 2769       | 29,00        | 3200      | 3499       | <b>6269</b> |

Примечание:

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, расположенного вдоль боковой поверхности сваи, м;

$\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности сваи по таблице 7.6 [1];

$z_{if}$  – средняя глубина расположения слоя грунта, м;

$f_i$  – расчетные сопротивления по боковой поверхности сваи принимается по табл.7.3, кПа;

$F_f$  – несущая способность сваи по ее боковой поверхности, кН;

$z_R$  – глубина заложения нижнего конца сваи, м;

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи принимается по табл.7.8, кПа;

$F_R$  – несущая способность сваи под ее нижним концом, кН;

$F_d$  – общая несущая способность сваи, кН;

Значение расчётного сопротивления плотных песков на боковой поверхности свай увеличивается на 30% по сравнению со значениями, приведенными в табл.7.3.

Значение расчётного сопротивления супесей и суглинков с коэффициентом пористости  $e$  менее 0,5 и глин с коэффициентом пористости менее 0,6 увеличивается на 15% по сравнению со значениями, приведенными в табл.7.3.

Из результатов расчета несущей способности буровых свай в таблице 4.3.1 видно, что с поверхности техногенные насыпные отложения ( $t IV$ ) до морского и озерного отложения ( $m, l IV$ ), несущая способность свай несколько увеличивается, и увеличивается значительно в нижней части, где залегают ледниковые отложения лужской стадии оледенения ( $g III$ ) и верхнепротерозойские котлинские отложения ( $Vkt_2$ ). На рисунке 4.3.3 представлен характер распределения сопротивления грунтов по боковой поверхности и под нижним концом свай в зависимости от глубины расположения свай в грунте.

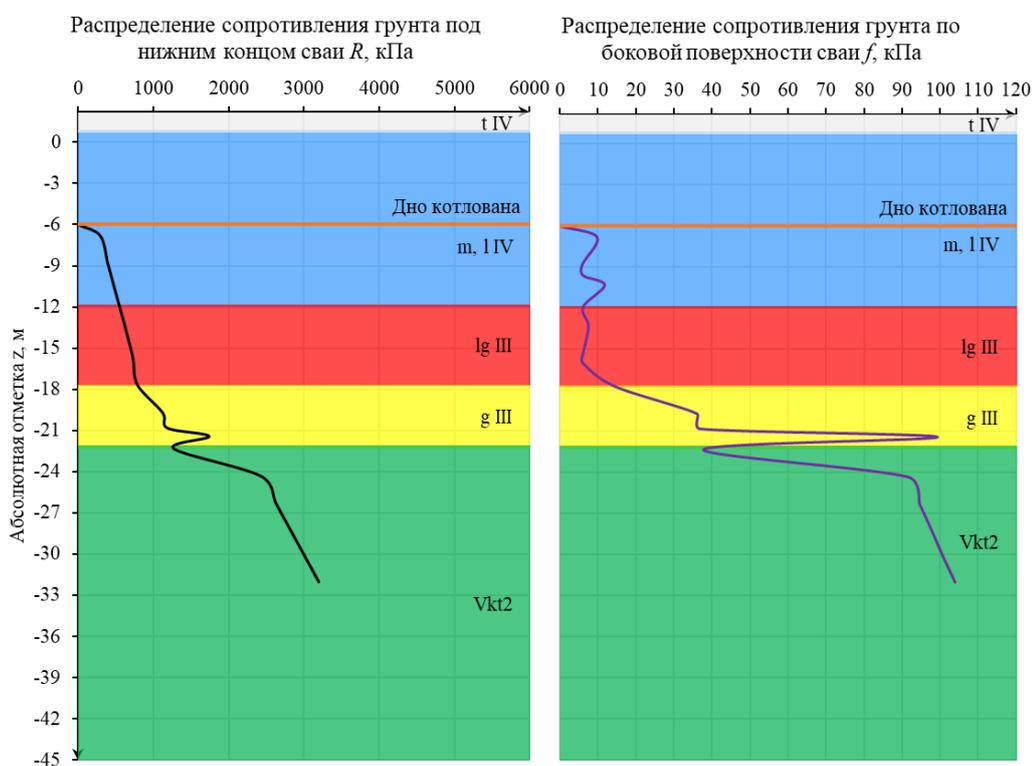


Рисунок 4.3.3. Характер распределения сопротивления грунтов по боковой поверхности и под нижним концом свай

Сопротивления грунтов по боковой поверхности и под нижним концом свай имеют тенденцию к сильному увеличению в зависимости от глубины свай в моренных и вендских отложениях. Отсюда, можно сделать вывод, что сопротивление грунтов в моренных и вендских отложениях вносит основной вклад в несущую способность свай.

На рисунке 4.3.4 показаны результаты расчета несущей способности свай в зависимости от глубины заложения их острия до 34 м.

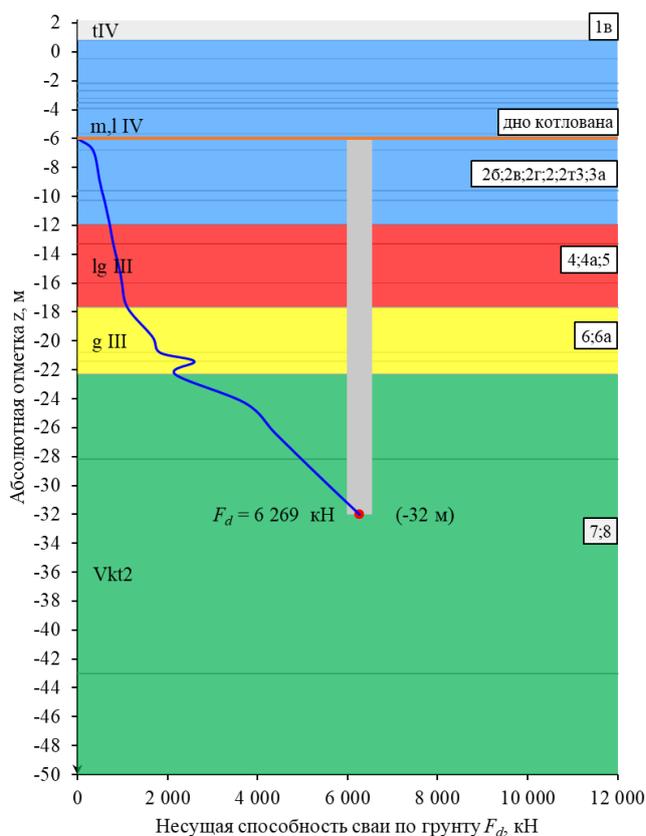


Рисунок 4.3.4. Сопоставительный анализ несущей способности буровой сваи по глубине

Несущая способность сваи по грунту составила:  $F_{d,l} = 6\ 269$  кН.

#### 4.3.1.2. Несущая способность сваи по грунту (предлагаемый способ)

Предлагаемый способ расчета несущей способности свай по формуле 3.2.1:

$$F_{d,2} = R(A + 0,2 \cdot \gamma_{cf} \cdot u \cdot h_i) = 3200(1,09 + 0,2 \cdot 0,7 \cdot 3,71 \cdot 2) = 6\ 821 \text{ кН} \quad (4.3.1)$$

где  $R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи принимается по табл.7.8 [1],  $R = 3200$  кПа;

$A$  – площадь поперечного сечения свай,  $A = 1,09$  м<sup>2</sup>;

$\gamma_{cf}$  – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности сваи по таблице 7.6 [1],  $\gamma_{cf} = 0,7$ ;

$u$  – периметр сваи,  $u = 3,71$  м;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, расположенного вдоль боковой поверхности сваи,  $h_i = 2$  м;

#### 4.3.1.3. Несущая способность сваи по материалу

Несущая способность сваи диаметром  $D = 1,18$  м по материалу определяется по формуле:

$$F_{dm} = \gamma_c \varphi (\gamma_{cb} b \gamma_{cb}' R_b A_b + \gamma_s R_{sc} A_s) \quad (4.3.2)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условия работы сваи при  $D > 0,2$  м  $\gamma_c = 1$ .

$\varphi$  – коэффициент продольного изгиба. Для низкого ростверка  $\varphi = 1$ ;

Согласно п.7.1.9.[1]:

$\gamma_{cb}$  – коэффициент учитывающий условия работы.  $\gamma_{cb} = 0,85$ ;

$\gamma_{cb}'$  – коэффициент учитывающий влияния способа производства  $\gamma_{cb}' = 0,8$ ;

$\gamma_a$  – коэффициент условия работы арматуры  $\gamma_a = 1$ ;

$R_b$  – расчетное сопротивление бетона сжатию,  $R_b = 19\,500$  кПа;

$R_{sc}$  – расчетное сопротивление арматуры А500 сжатию  $R_{sc} = 435\,000$  кПа;

$A_b, A_s$  – площадь поперечного сечения бетона и арматуры соответственно, м<sup>2</sup>.

$$F_{dm} = 1 \cdot 1 \cdot (0,85 \cdot 0,8 \cdot 19500 \cdot 1,093 + 1 \cdot 435000 \cdot 0,0145) = \mathbf{20\,801 \text{ кН.}}$$

#### 4.3.2 Определение несущей способности свай с применением коэффициентов соотношений фактических и теоретических параметров исследованных свай

Величина расчетной несущей способности буровых свай согласно [1] значительно меньше значения, полученного по результатам полевых статических испытаний аналогичной сваи в схожих грунтовых условиях полученных по [44]. Именно отношения  $F_u$  (испытания) и  $F_d$  (СП) возрастает в 1,6÷2,6 раза. Таким образом, данный эффект следует связывать с высокой погрешностью аналитического расчета, не учитывающего специфики грунтов Санкт-Петербурга.

Проведенная статистическая обработка результатов полевых испытаний буровых свай в Санкт-Петербурге на основе ООО ПКТИ «Фундамент-тест» позволяет более точно прогнозировать несущую способность свай. На рисунке 4.3.5 представлена сравнительная диаграмма соотношения несущей способности свай, получаемые расчетным методом [1] и полевыми испытаниями для свай, заходящей в вендские отложения на 5-15 м.

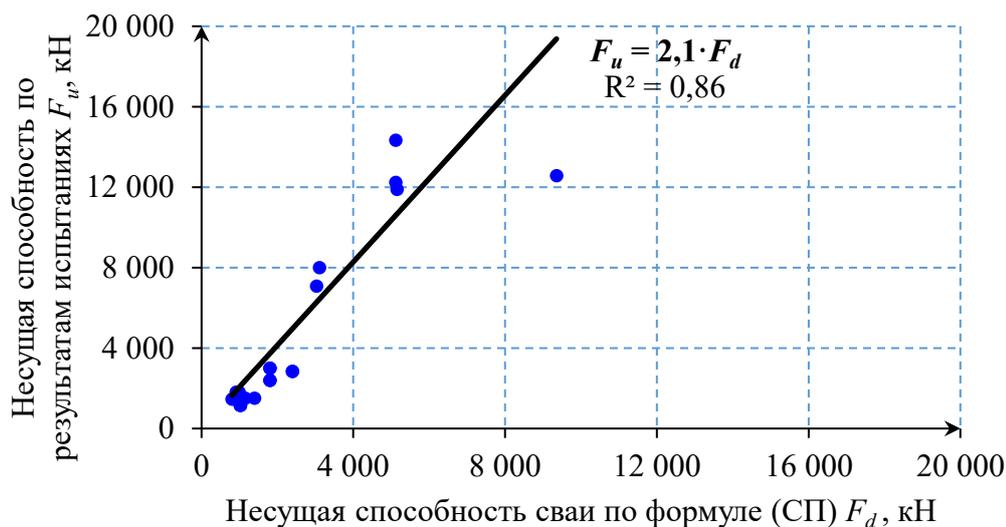


Рисунок 4.3.5. Сравнительная диаграмма соотношения несущей способности свай по результатам полевых испытаний и, вычисленной по требованиям норм, для свай заходящей в вендские отложения на 5-15 м

Таким образом, несущая способность свай по результатам исследования с использованием корректирующих коэффициентов  $k$ :  $F_{k,1} = k \cdot F_{d,1} = 2,1 \cdot 6269 = 13\ 165$  кН;  $F_{k,2} = k \cdot F_{d,2} = 2,1 \cdot 6821 = 14\ 324$  кН.

#### 4.3.3 Определение несущей способности свай по результатам статических полевых испытаний

Результаты полевого испытания сваи статической представлены в графическом виде на рисунке 4.3.6.

За частное значение сопротивления сваи принята нагрузка 1484 тс - интерполированное значение предельного сопротивления при  $s = 40$  мм (п. 7.3.5) [1].

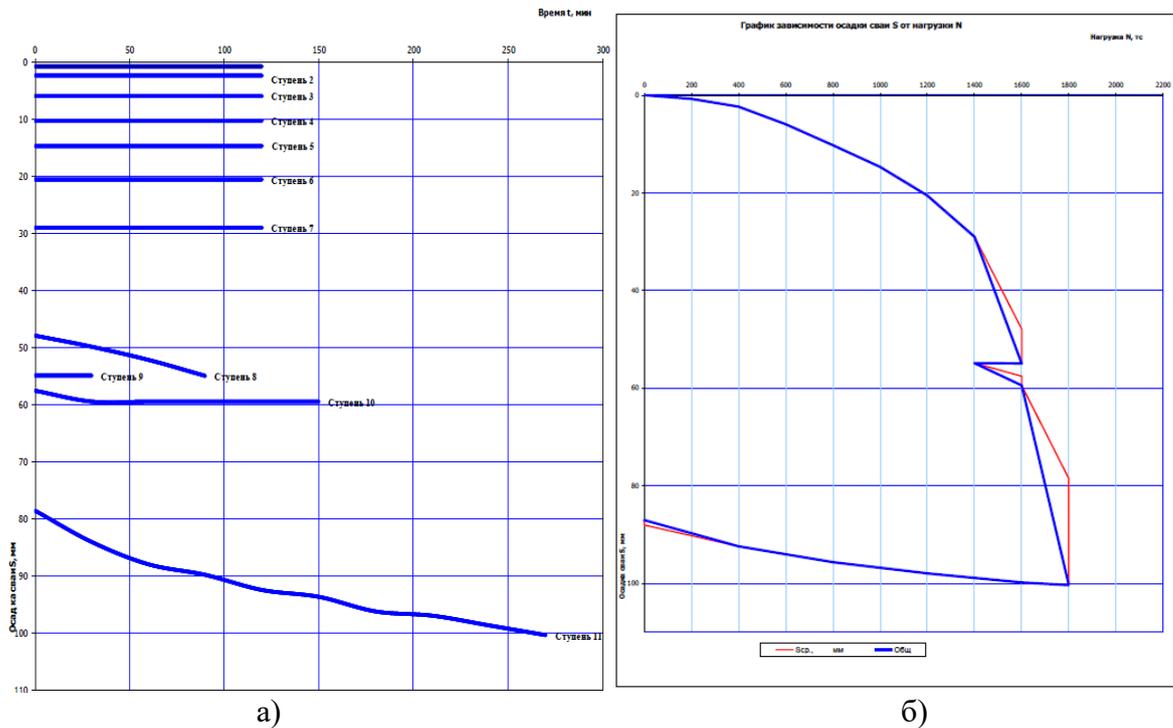


Рисунок 4.3.6. Результаты полевого испытания свай статической нагрузкой  
 а – график зависимости осадки свай от времени нагружения; б – график зависимости осадки свай от приложенной нагрузки

По результатам полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой были получены следующие результаты, которые сведены в таблицу 4.3.2:

Таблица 4.3.2. Несущая способность свай, полученная в результате испытаний

| D/L, м  | Значения максимальных испытательных нагрузок, тс | Общая осадка свай $S$ , мм | Подтверждённая несущая способность, $F_d$ , тс | Допустимая нагрузка на сваи, $N$ , тс |
|---------|--|----------------------------|--|---------------------------------------|
| 1,18/34 | 1800   | 100,4                      | <b>1484</b>                                    | <b>1236</b>                           |

Таким образом, величина несущей способности свай по грунту составляет -  $F_d = 14\ 840$  кН. Допускаемую нагрузку на сваю принимаем  $N = 12\ 360$  кН.

Полученное значение несущей способности буровых свай, полученных по результатам полевых статических испытаний свай, значительно превышает значение расчетной несущей способности, а именно  $F_d$  (СНиП) = 6 269 кН  $\ll F_d$  (испытания) = 14 840 кН (отношение  $k = F_u/F_d = 2,36$ ). Очевидно, что разброс

значений несущей способности более 2 раз (200%) не является достаточной и достоверной величиной для проектирования и строительства свайных фундаментов.

Несущая способность сваи, получается с использованием корректирующего коэффициента  $k$ , приближается к значению несущей способности свай по результатам полевых статических испытаний, а именно отношение  $k = F_u/F_d = 14840/13165 = 1,12$ .

Результаты испытаний свай длиной 34 м подтвердили достоверность разработанной методики, по которой получен аналитический результат расчета.

#### **4.4 Численное моделирование свайного фундамента**

Для определения осадки свайного фундамента в пространственной постановке было выполнено моделирование в программном комплексе Plaxis 3D в модели упрочняющегося грунта.

Значение жесткостей свайного поля было выполнено на основании расчета осадки свайного куста методом [1] с учетом данных полевых испытаний. Моделирование нулевого цикла включает в себя моделирование конструкции «стена в грунте» толщиной 0,8 м и глубиной 27 м (забой конструкции расположен на абс. отм. минус 24,0).

Моделирование конструкции «стена в грунте» выполнено специальным плитными элементами с учетом жесткостей ( $EI$ ;  $EA$ ) и удельного веса конструкции. Характер работы грунта на контакте с бетонными элементами учитывался специальными интерфейсными элементами ( $R_{inter} = 0,67$ ), понижающими характеристики грунта в области установки стены в грунте.

При анализе нагрузок от надземной части здания были выделены зоны действия средней равномерно распределенной нагрузки. На рисунке 4.4.1 приведена расчетная схема ростверковой плиты с нумерацией расчетных блоков.

В таблице 4.4.1 приведены основные сведения о геометрических параметрах, нагрузках и количестве свай в свайном фундаменте.

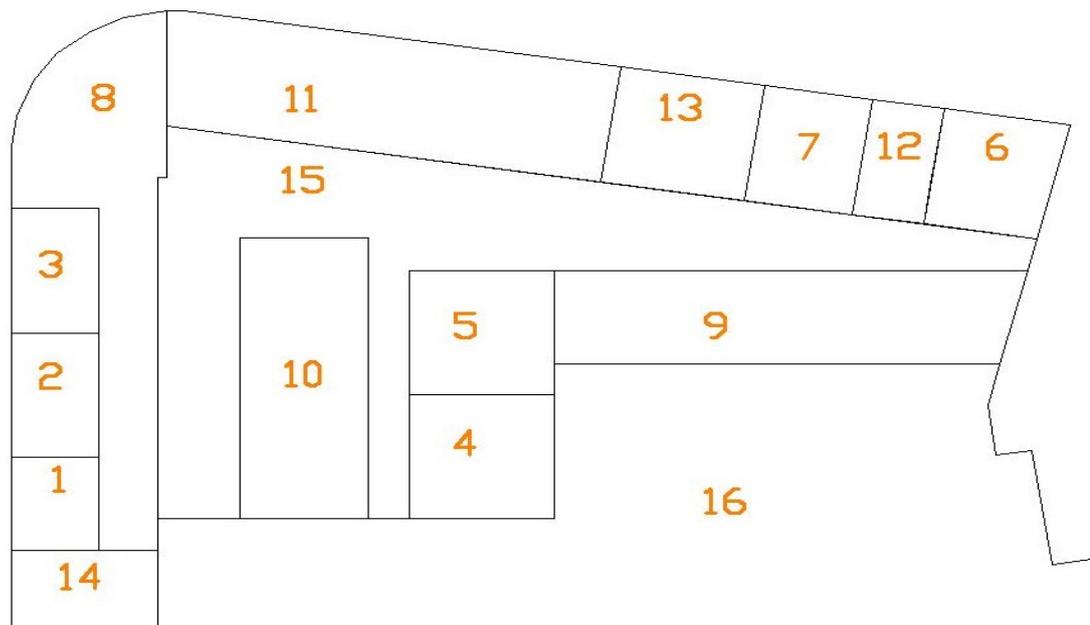


Рисунок 4.4.1. Схема деления ростверка на блоки с постоянным давлением под подошвой ростверка

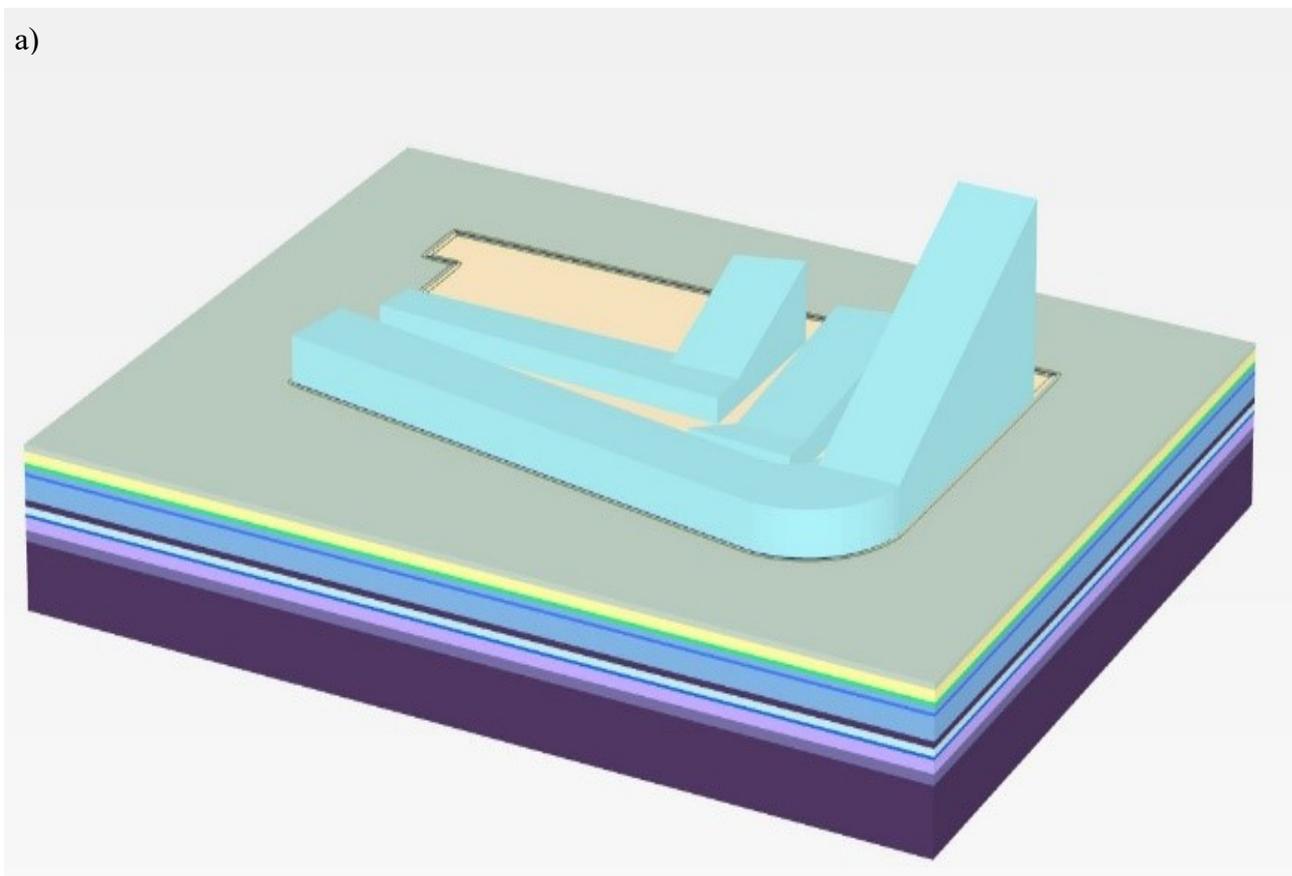
Таблица 4.4.1. Основные сведения о геометрических параметрах, нагрузках и количестве свай в свайном фундаменте

| номер блока | $A, \text{ м}^2$ | $Q, \text{ т/м}^2$ | $G, \text{ т}$ | $n, \text{ свай}$ |
|-------------|------------------|--------------------|----------------|-------------------|
| 1           | 585              | 115                | 67275          | 79                |
| 2           | 780              | 60                 | 46800          | 88                |
| 3           | 780              | 45                 | 35100          | 45                |
| 4           | 1296             | 40                 | 51840          | 63                |
| 5           | 1296             | 35                 | 45360          | 47                |
| 6           | 1010             | 35                 | 35350          | 45                |
| 7           | 911              | 35                 | 31885          | 40                |
| 8           | 3288             | 27                 | 88776          | 138               |
| 9           | 3072             | 20                 | 61440          | 97                |
| 10          | 2585             | 18                 | 46530          | 84                |
| 11          | 3749             | 18                 | 67482          | 167               |
| 12          | 608              | 15                 | 9120           | 24                |
| 13          | 1215             | 15                 | 18225          | 50                |
| 14          | 859              | 12                 | 10308          | 42                |
| 15          | 7480             | 8                  | 59840          | 180               |
| 16          | 12554            | 6                  | 75324          | 216               |
| $\Sigma$    | 42068            | -                  | 750655         | 1395              |

Моделирование совместной работы «основание-фундамент-сооружение» осуществлялось следующим образом. Характер распределения деформаций основания моделировался приложением фактических нагрузок по подошве ростверка. Конструкции надземной части моделировались укрупненно по показателю изгибной жесткости перекрытий с учетом высоты этажа. Указанное допущение имеет место в задачах определения деформаций основания на большой глубине и при отсутствии необходимости определения усилий в надземной конструкции.

Зная поведение одиночной сваи под нагрузкой, можно эффективно использовать несущую способность сваи благодаря расстановке свай в свайном поле по грузовым площадям. Изменение шага свай в плане позволит получить равномерную деформацию всего сооружения. После конструирования свайного поля с помощью численной модели оценивается распределение усилий и деформаций в свайном фундаменте и при необходимости свайный фундамент корректируется. На рисунке 4.4.2 представлены результаты моделирования свайного поля в программном комплексе Plaxis 3D.

a)



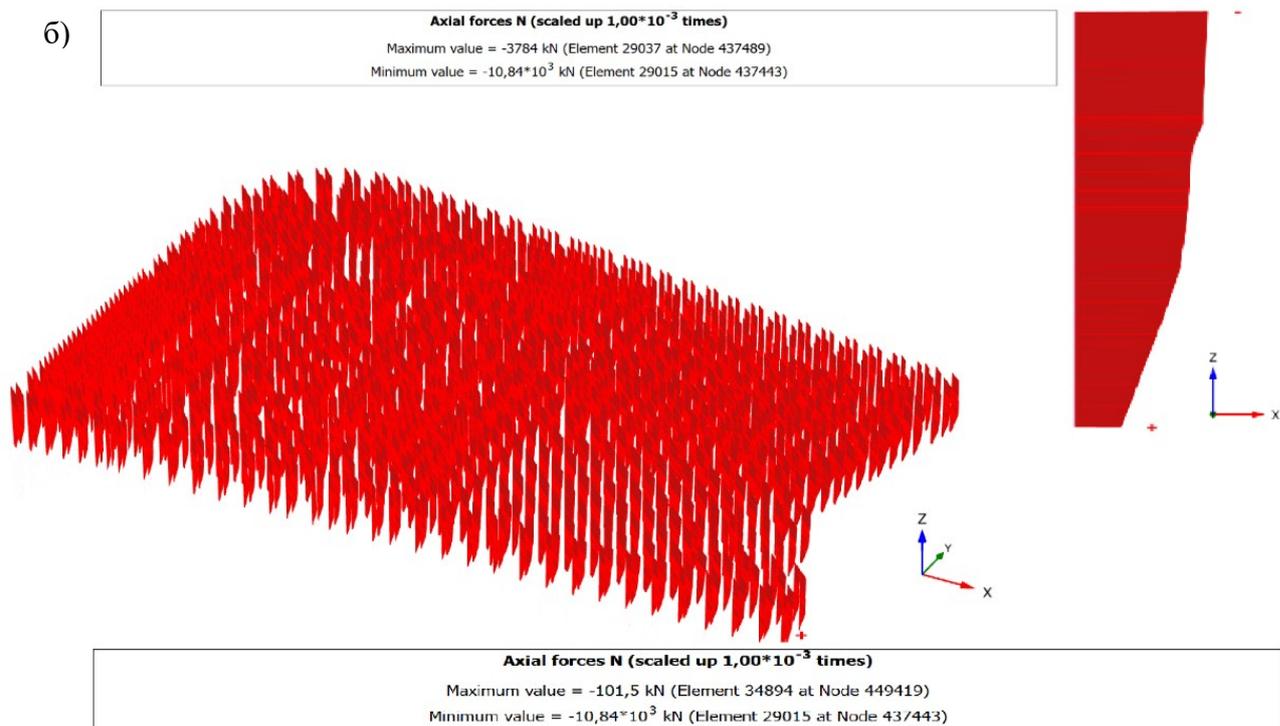


Рисунок 4.4.2. Результаты моделирования свайного поля

а – общий вид расчетной схемы в программном комплексе Plaxis; б – распределение усилий в головах свай

Таким образом, максимальное значение усилий в сваях составляет  $P_{max} = 10840$  кН.

В таблице 4.4.2 представлено сравнение основных технических показателей несущей способности буровой сваи.

Таблица 4.4.2. Сравнение основных технических показателей несущей способности буровой сваи

| Основные параметры   |  | Обозначение       | Значение      |
|--|--|-------------------|---------------|
| Несущая способность сваи по грунту, кН   | Метод СП 24.13330.2011                 | $F_{d,1}$         | <b>62 70</b>  |
|  | Предлагаемый способ по формуле (3.2.1) | $F_{d,2}$         | <b>6 820</b>  |
| Несущая способность сваи по материалу, кН  |  | $F_{dm}$          | <b>20 800</b> |
| Предполагаемая несущая способность сваи по исследованиям с использованием корректирующих коэффициентов, кН |  | $k \cdot F_{d,1}$ | <b>13 165</b> |
|  |  | $k \cdot F_{d,2}$ | <b>14 325</b> |
| Несущая способность сваи, полученная в результате полевых испытаний, кН                                    |  | $F_u$             | <b>14 840</b> |
| Допускаемая нагрузка на сваю, кН   |  | $N$               | <b>12 360</b> |
| Максимальное усилие в сваях путем численного моделирования, кН   |  | $P_{max}$         | <b>10 840</b> |

Из сравнительной таблицы результатов видно, что максимальное значение усилий в сваях ( $P_{max} = 10840$  кН) приблизительно равна значению допустимой нагрузки на сваи ( $N = 12360$  кН).

На основе результатов аналитических расчетов с полученными корректирующими коэффициентами с достаточной точностью произведен прогноз несущей способности буровых свай до проведения статических полевых испытаний на строительном объекте. Проведенные после устройства свайного поля полевые испытания свай подтвердили несущую способность, определенную по методике автора.

#### **4.5 Выводы по четвертой главе**

3. На примере строительного объекта в Санкт-Петербурге метод определения несущей способности буровых свай на основе нормативных регламентов на этапе разработки проектного решения приводил к значительному удорожанию стоимости свайного поля за счет избыточной длины свай до 45 м.

4. На основе результатов аналитических расчетов и полученных корректирующих коэффициентов с достаточной точностью произведен прогноз несущей способности буровых свай до проведения статических полевых испытаний на строительном объекте. Проведенные после устройства свайного поля полевые испытания свай подтвердили предполагаемую несущую способность, определенную по методике автора.

5. По результатам геотехнических расчетов методом конечных элементов произведена оценка качественного и количественным распределения усилий свайного фундамента от надземных конструкций сооружения.

6. Анализ контрольных полевых испытаний свай в вендских отложениях на этапе строительства объекта подтвердил теоретические исследования по несущей способности буровых свай в вендских отложениях и позволил выполнить оптимизацию проектного решения и сократить длину свай с 45 м до 34 м.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам диссертационного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Обозначены границы применимости методов расчета несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, в зависимости от технологии изготовления и инженерно-геологических условий.

2. Разработаны схематичные карты глубин залегания кровли ледниковых моренных отложений и дочетвертичных вендских глин, которые преимущественно являются несущими грунтами свайных фундаментов, для Санкт-Петербурга. На этапе предварительного проектирования фундаментов рекомендовано использовать эти карты и назначать длину свай исходя из месторасположения объекта строительства в Санкт-Петербурге.

3. На основе анализа результатов многочисленных полевых статических испытаний буровых свай предложен корректирующий коэффициент  $k = F_u/F_d$  для расчета несущей способности свай по грунту с достаточной точностью в зависимости от технологии изготовления и глубины заложения острия.

4. Разработан способ расчёта несущей способности буровых свай по грунту для получения более точных результатов, который значительно сокращают время расчета и может использоваться для предварительного этапа проектирования.

5. Построены графики для расчета несущей способности буровых свай глубокого заложения длиной от 40 м до 100 м на основе нелинейной экстраполяции сопротивления грунта.

6. Разработаны рекомендации по выбору метода расчета несущей способности свай, изготавливаемых в грунте, в зависимости от длины, технологии изготовления и генезиса грунтов под острием сваи (моренных или вендских отложений).

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 (с Опечаткой, с Изменениями N 1, 2, 3).
2. ТСН 50-302-2004 Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.
3. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием (Издание с Изменением N 1).
4. ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
5. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М. : АСВ, 2016. – 1024 с.
6. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (с Изменениями N 1, 2, 3).
7. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов».
8. Бахолдин, Б. В. К вопросу о сопротивлении грунта по боковой поверхности сваи / Б. В. Бахолдин, Н. Т. Игонькин // Труды НИИОСП (Основания, фундаменты и подземные сооружения). – 1968. – № 58. – С. 9-13.
9. Бахолдин, Б. В. Исследование сопротивления грунта по боковой поверхности сваи / Б. В. Бахолдин // Сборник докладов и сообщений по свайным фундаментам. – 1968. – С. 53-59.
10. Борозенец, Л.М. Экспериментально-теоретическое исследование несущей способности основания буровых свай / Л.М. Борозенец, Е.А. Ушакова // Вестник ЮУрГУ. – 2017. – № 2(16). – С. 5-10.
11. Ван Импе, В.Ф. Фундаменты глубокого заложения: тенденции и перспективы развития / В.Ф. Ван Импе // Интернет-журнал. – 2005. – № 9. – С. 7-33.
12. Васенин, В. А. Численное моделирование испытаний буронабивных свай и баретты для строительства высотного здания в Санкт-Петербурге/ В. А. Васенин // Геотехника. – 2010. – № 5. – С. 38-47.

13. Верстов, В.В. Технология устройства свай и свайных фундаментов / В.В. Верстов, А.Н. Гайдо. – СПб: СПбГАСУ, 2010. – 232 с.
14. Гайдо, А.Н. Анализ результатов определения несущей способности грунтов / А.Н. Гайдо // Вестник Гражданских Инженеров. – 2013. – № 2. – С. 117-124.
15. Гайдо, А.Н. Пути совершенствования технологических решений устройства свайных фундаментов жилых зданий в условиях городской застройки / А.Н. Гайдо // Жилищное строительство. – 2015. – № 9. – С. 12-15.
16. Гайдо, А.Н. Оценка несущей способности свай в зависимости от значений технологических параметров их устройства или изготовления / А.Н. Гайдо // Геотехника. – 2016. – № 6. – С. 42-52.
17. Готман, А. Л. Технология устройства свай и свайных фундаментов: учебно-методическое пособие / А. Л. Готман. – Пермь: Изд-во ПГТУ, – 2005. – 85 с.
18. Готман, А.Л. Исследование формирования сопротивления грунта на боковой поверхности буронабивной сваи / А. Л. Готман // Сборник трудов СПбГАСУ. – 2013. – С. 90-94.
19. Готман, Н.З. Расчет свайных фундаментов в слабых грунтах по результатам статического зондирования / Н. З. Готман // Сборник научных статей БашНИИстрой. – 2004. – С. 29-41.
20. Готман, Н. З. Определение предельного сопротивления основания сваи в составе группы свай / Н. З. Готман, В. С. Алехин, Ф. В. Сергеев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – № 3(8). – С. 13-21.
21. Далматов, Б. И. Проектирование свайных фундаментов в условиях слабых грунтов / Б. И. Далматов, Ф. К. Лапшин, Ю. В. Россихин. – Л., Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1975. – 240 с.
22. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. Отделение, 1988. – 415 с.

23. Далматов, Б.И. Оценка несущей способности свай трения / Б. И. Далматов // Сборник научных трудов ЛИСИ. – 1972.
24. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты / Б. И. Далматов. – М., Стройиздат, 1981. – 319 с.
25. Далматов, Б.И. Основания и фундаменты часть 2 / Б. И. Далматов, В. Н. Бронин, В. Д. Карлов, Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров, С. Н. Сотников, В. М. Улицкий, А. Б. Фадеев. – М. : Изд-во АСВ; СПбГАСУ, 2002. – 392 с.
26. Дашко, Р. Э. Особенности инженерно - геологических условий Санкт-Петербурга / Р. Э. Дашко, О. Ю. Александрова, П. В. Котюков, А. В. Шидловская // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2011. – № 1. – С. 1-7.
27. Денисенко, В.В. Метод оценки несущей способности свай с ростверком / В. В. Денисенко, П. А. Ляшенко // Научные труды КубГТУ. – 2017. – № 3. – С. 42-50.
28. Дидух, Б. И. Упругопластическое деформирование грунтов / Б. И. Дидух. – М. : УДН, 1987. – 166 с.
29. Дьяконов, И. П. Теоретические предпосылки оценки величины трения по боковой поверхности свай «Фундекс» / И. П. Дьяконов, А. А. Веселов, Л. Н. Кондратьева // Жилищное строительство. – 2017. – № 11. – С. 30-33.
30. Димов, Л. А. Несущая способность свай в глинистых грунтах по результатам расчетов и полевых испытаний / Л. А. Димов // Основания, фундаменты и механика грунтов: научно-технический журнал. – 2006. – №3. – С. 26-29.
31. Ершов, А. В. Оценка несущей способности набивных свай с использованием данных статического зондирования / А. В. Ершов, В. В. Нутрихин // Инженерные изыскания. – 2011. – № 17. – С. 42-52.
32. Ершов, А. В. Некоторые аспекты проектирования свайных фундаментов / А. В. Ершов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 2. – С. 76-85.
33. Ершов, А.В. Перспективы развития методов расчета несущей способности свай по данным статического зондирования / А. В. Ершов // Геотехника. – 2011. – № 1. – С. 60-75.

34. Зарецкий, Ю.К. Расчетная оценка взаимодействия экспериментальных свай с основанием и сравнение с результатами испытаний / Ю. К. Зарецкий, М. И. Карабаев // Научно-технический журнал МГСУ. – 2006. – № 1. – С. 93-99.

35. Заручевныз, И.Ю. Механика грунтов в схемах и таблицах / И. Ю. Заручевныз, А. Л. Невзоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во АСВ, 2007. – 136 с.

36. Колесник, Г.С. Определение несущей способности свай по результатам статического зондирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00 / Колесник Георгий Степанович. – Одесса. – 1972. – 149 с.

37. Конюшков, В. В. К определению несущей способности буройнъекционных свай усиления / В. В. Конюшков // Межвузовский тематический сборник трудов СПбГАСУ. – 2006. – С. 106-110.

38. Конюшков, В. В. Техничко-экономическое сравнение технологий набивных и буровых свай на основе расчетно-теоретического анализа их несущей способности / В. В. Конюшков // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2(19). – С. 105-108.

39. Конюшков, В. В. Несущая способность буройнъекционных свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки с учетом технологии изготовления: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Конюшков Владимир Викторович. – СПб., 2007. – 217 с.

40. Конюшков, В. В. Комплексный анализ результатов инженерных изысканий для проектирования, строительства и эксплуатации сооружений / В. В. Конюшков, А. А. Веселов, Л. Н. Кондратьева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – № 11(328). – С. 111-125.

41. Конюшков, В. В. Ускоренные способы определения несущей способности буровых свай / В. В. Конюшков, Л. Н. Кондратьева, В. М. Кириллов, **В. Ч. Ле** // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 3(74). – С. 52-60.

42. Конюшков, В. В. Исследование несущей способности буройнъекционных свай с учетом технологии их изготовления / В. В. Конюшков,

В. М. Улицкий // Известия Орловского государственного технического университета. – Орел: ОрелГТУ. – 2007. – С. 68-74.

43. Конюшков, В. В. Оценка несущей способности буроинъекционных свай / В. В. Конюшков, В. М. Улицкий // Вестник гражданских инженеров. – СПб. : СПбГАСУ. – 2007. – С. 52-57.

44. **Ле Ван Чонг.** Несущая способность буровых свай глубокого заложения / Ван Чонг Ле // Вестник гражданских инженеров. – 2020. – № 3 (80). – С. 116-126.

45. Луга, А. А. К нормам расчетных сопротивлений свай по грунту / А. А. Луга // – М. : Транспорт. – 1965. – С. 52-57.

46. Малышева, Т. А. Численные методы и компьютерное моделирование лабораторный практикум по аппроксимации функций: учеб.-метод. пособие. / Т. А. Малышева. – СПб. : ИТМО, – 2016. – 33 с.

47. Мангушев, Р. А. Применение современных конструктивных и технологических методов для устройства подземного пространства в г. Санкт-Петербурге / Р. А. Мангушев // Геотехника. – 2010. – № 2. – С. 58-67.

48. Мангушев, Р. А. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии / Р. А. Мангушев, А. Л. Готман, В. В. Знаменский, А. Б. Пономарев. – М. : АСВ. – 2015. – 320 с.

49. Мангушев, Р. А. Современные свайные технологии / Р. А. Мангушев, А. В. Ершов, А. И. Осокин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во АСВ. – 2010. – 240 с.

50. Мангушев, Р. А. Основания и фундаменты / Р. А. Мангушев, В. Д. Карлов, И. И. Сахаров, А. И. Осокин // – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ. – 2011. – 394 с.

51. Мангушев, Р. А., Кошман, А.В. Об определении несущей способности буронабивных и буроинъекционных свай / Р. А. Мангушев, А. В. Кошман // Материалы 54-ой научной конференции. – СПб.: СПбГАСУ. – 1997. – С. 23-24.

52. Мангушев, Р. А. Оценка и анализ несущей способности буронабивных свай свай-баррет глубокого заложения для высотного здания на слабых грунтах по результатам расчетов и полевых испытаний / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова //

International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2018. – № 14(2). – С. 109-116.

53. Мангушев, Р. А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах / Р. А. Мангушев, Н. С. Никифорова, В. В. Конюшков, А. И. Осокин, Д. А. Сапин. – М. : АСВ. – 2013. – 248 с.

54. Мангушев, Р. А. Геотехника Санкт-Петербурга / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин. – М. : АСВ. – 2010. – 264 с.

55. Мангушев, Р. А. Особенности устройства фундаментов исторических зданий Санкт-Петербурга / Р. А. Мангушев, А. И. Осокин // Жилищное строительство. – 2009. – № 2. – С. 46-48.

56. Мангушев, Р. А. Основания и фундаменты / Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров. – М. : Изд-во АСВ. – 2019. – 468 с.

57. Мангушев, Р. А. Механика грунтов / Р. А. Мангушев, И. И. Сахаров. – М. : Изд-во АСВ. – 2020. – 294 с.

58. Миронова, И.П. Анализ критериев оценки несущей способности свай по результатам статических испытаний / И. П. Миронова // Прочность и разрушение мат-лов и констр.: Сб. докл. всерос. науч. -техн. конф., – Орск. – 1998. – С. 59-60.

59. Мишкина, Г.Б. Об уточнении расчета несущей способности свай по консистенции грунта / Г. Б. Мишкина // Свайные фундам. в пром. и жил. строит. – 1981. – С. 34-40.

60. Моради Сани Б. Статическое зондирование в геотехнической практике / Б. Моради Сани // Архитектура и строительство. – 2015. – № 4. – С. 76-81.

61. Мяснянкин, А. В. Влияние трения грунта на боковые поверхности свай / А. В. Мяснянкин, С. Д. Сокова, Е. А. Сорокина // Жилищное строительство. – 2001. – № 9. – С. 24.

62. Нарбут, Р. М. Работа свай в глинистых грунтах / Р. М. Нарбут. – Л. : Стройиздат. – 1972. – 210 с.

63. Никифорова, Н. С. Закономерности деформирования оснований зданий вблизи глубоких котлованов и защитные мероприятия / Н. С. Никифорова. – М. 2008. – 324с.

64. Никифорова, Н.С. Снижение геотехнического риска при устройстве глубоких котлованов в городских условиях / Н. С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2005. – № 5. – С. 12-16.

65. Никифорова, Н.С. Влияние строительства уникальных объектов с подземной частью на примыкающие исторические здания / Н. С. Никифорова, Ф. Ф. Зехниев, С. В. Астафьев, О. В. Буртовая // Вестник гражданских инженеров. – 2009. – № 2. – С. 126-129.

66. Осокин, А. И. Оценка несущей способности буровой сваи для строительства высотного здания с развитым подземным пространством / А. И. Осокин, В. В. Конюшков, И. П. Дьяконов, **В. Ч. Ле** // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 4(75). – С. 58-67.

67. Осокин, А. И. Особенности устройства буронабивных свай в слабых грунтах / А. И. Осокин, А. В. Сбитнев, А. Б. Серебрякова, С. В. Татаринов // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 6. – С. 50-52.

68. Осокин, А. И. Современные технологии свайного фундаментостроения (буронабивные сваи) / А. И. Осокин, А. Б. Серебрякова // Стройка Санкт-Петербурга. – 2008. – № 14. – Режим доступа: <http://stroit.ru/stati/sovremennye-tehnologii-svaynogo-fundamentostroeniya-buronabivnye-svai/>

69. Осокин, А. И. Особенности устройства буронабивных свай при подаче бетона под давлением / А. И. Осокин, С. В. Татаринов, А. В. Сбитнев // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 9. – С. 65-66.

70. Парамонов, В. Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники / В. Н. Парамонов. – СПб.: Группа компаний «Геореконструкция», 2012. – 260 с.

71. Парамонов, В. Н. Несущая способность буровых свай в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга / В. Н. Парамонов // Труды международного семинара по механике грунтов. – 2000. – С. 250-252.

72. Парамонов, В. Н. Математическое моделирование устройства свайных фундаментов в условиях плотной городской застройки / В. Н. Парамонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1998. – № 4. – С. 13-18.

73. Полищук, А. И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий / А. И. Полищук. – 3-е изд., доп. – Нортхэмптон: SST; Томск: SST, 2007. – 476 с.

74. Пономарев, А. Б. Сравнение методов определения несущей способности забивных свай по результатам статического зондирования в слабых глинистых грунтах / А. Б. Пономаев, М. А. Безгодов, П. А. Безгодов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. – 2015. – № 2. – С. 24-39.

75. Пономарев А.Б. Основания и фундаменты / А. Б. Пономарев, А. В. Захаров, Д. Г. Золотозубов, С. В. Калошина. – учеб.-метод. пособие – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – 2015. – 318 с.

76. Пьянков, С. А. Механика грунтов / С. А. Пьянков, З. К. Азизов, – Ульяновск: УлГТУ. – 2008. – 103 с.

77. Родкевич, Г. С. Определение несущей способности свай по данным зондирования / Г. С. Родкевич // Строительство и архитектура Белоруссии. – 1981. – № 3. – С. 34-35.

78. Саенко, Ю. В. Оценка несущей способности забивных свай в фундаментах существующих зданий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Саенко Юрий Викторович. – СПб., 2018. – 127 с.

79. Сбитнев А. В. Несущая способность свай, выполненных по технологии вытеснения в слабых грунтах: автореф. дис. ... канд. тех. наук / Сбитнев Андрей Владимирович. – СПб. : СПбГАСУ., 2009. 21 с.

80. Сидоров В. В. Напряженно-деформированное состояние неоднородного грунтового массива, взаимодействующего с барретами большой длины: дис. ... канд. техн. наук / Сидоров Виталий Валентинович. – М., 2013. 159 с.

81. Сидоров, В. В. Исследование взаимодействия баррет с основанием с учетом их размера и формы / В. В. Сидоров, К. Ю. Степанищев // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2017. – № 3(8). – С. 78-88.

82. Сотников, С. Н. Опыт применения буровых свай при строительстве зданий в центре Санкт-Петербурга / С. Н. Сотников, А. В. Соловьева, И. Д. Зиновьева // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1999. – № 5. – С. 8-12.

83. Татаринов, С. В. Влияние расхода бетона на несущую способность буронабивных свай / С. В. Татаринов, А. И. Осокин, А. В. Сбитнев // Межвузовский тематический сборник трудов СПбГАСУ. – 2006. – С. 162-165.

84. Тер-Мартirosян, А. З. Взаимодействие фундаментов зданий и сооружений с водонасыщенным основанием при учете нелинейных и реологических свойств грунтов / А. З. Тер-Мартirosян // – М. – 2016. – С. 186-197.

85. Тер-Мартirosян, А. З. Напряженно-деформированное состояние оснований фундаментов глубокого заложения / А. З. Тер-Мартirosян, З. Г. Тер-Мартirosян, И. Н. Лузин // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – № 2(8). – С. 96-103.

86. Тер-Мартirosян, З. Г. Напряженно-деформированное состояние в грунтовом массиве при его взаимодействии со сваем и фундаментом глубокого заложения / З. Г. Тер-Мартirosян // Вестник МГСУ. – 2006. – № 1. – С. 38-39.

87. Тер-Мартirosян, З. Г. Механика грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян. – М. : АСВ., 2005. – 480 с.

88. Тер-Мартirosян, З. Г. Взаимодействие задавливаемой сваи с однородным и неоднородным основанием с учетом нелинейных и реологических свойств грунтов / З. Г. Тер-Мартirosян, М. В. Королев, В.М. Конаш // Вестник МГСУ. – 2008. – № 2. – С. 63-80.

89. Тер-Мартirosян, З. Г. Theoretical Bases of Deep Pile and Barrette / З. Г. Тер-Мартirosян, В. В. Сидоров, П. В. Струнин // Вестник ПНИПУ. – 2014. – № 2. – С. 190-206.

90. Травуш, В. И. Анализ результатов геотехнического мониторинга башни «Лахта центра» / В. И. Травуш, О. А. Шулятьев, С. О. Шулятьев, А. М. Шахраманьян, Ю. А. Колотовичев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 2. С. 15-21.

91. Улицкий В. М. Совершенствование технологии устройства свай усиления / В. М. Улицкий, Б. А. Королев, В. М. Рошин, С. В. Бровин // *Фундаменты реставрируемых и реконструируемых зданий и памятников архитектуры: материалы конференции.* – 1991. – С. 37-43.

92. Улицкий, В. М. Геотехническое сопровождение реконструкции городов / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин. – М. : АСВ. – 1999. – 327 с.

93. Улицкий, В. М. Определение несущей способности буровых свай / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, В. Н. Парамонов // *Основания, фундаменты и механика грунтов.* – 2001. – № 2. – С. 13-16.

94. Улицкий, В.М., Шашкин, А.Г., Шашкин, К.Г. Гид по геотехнике. Путеводитель по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. – СПб. : ПИ Геореконструкция, 2012. – 288 с.

95. Уткин, В. С. Определение длины висячей сваи по критерию несущей способности грунта / В. С. Уткин // *Transport business in Russia.* – 2017. – № 3. – С. 105-106.

96. Уткин, В. С. Испытания и расчет железобетонных висячих свай по несущей способности сваи и грунта основания / В. С. Уткин // *Vestnik MGSU.* – 2018. – № 8(13). – С. 952-958.

97. Фадгрев, В. И. Вопросы моделирования несущей способности свай в глинистых грунтах / В. И. Фадгрев // *Перспективы развития и опыт внедрения эффективных строительных мат-лов и конструкций на Дальнем Востоке.* – 1982. – С. 49-51.

98. Фадеев, А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А. Б. Фадеев. – М. : Недра, 1987. – 220 с.

99. Фадеев, А. Б. Исследование механизма взаимодействия свай при работе их в кустах и свайных полях / А. Б. Фадеев, Е. А. Девальтовский // *Прогрессивные конструктивные фундаменты зданий.* – 1981. – С. 42-43.

100. Федоровский, В. Г. Сваи в гидротехническом строительстве / В. Г. Федоровский, С. Н. Левачев, С. В. Курило, Ю. М. Колесников. – М. : АСВ., 2003. – 240 с.
101. Филиппов, Н. Б. Геологический атлас Санкт-Петербурга / Н. Б. Филиппов, М. А. Спиридонов, Т. С. Бахарев и др. – СПб. : Комильфо, 2009. – 57 с.
102. Фурса, В. М. Строительные свойства грунтов района Ленинграда / В. М. Фурса. – Л. : Стройиздат, 1975. – 142 с.
103. Цытович, Н. А. Основания и фундаменты: учебник для строит. вузов / Н. А. Цытович, В. Г. Березанцев, Б. И. Далматов, М. Ю. Абелев. – М., Высш. школа, 1970. – 384 с.
104. Чернышов, П. О. Сравнительный анализ применяемых методик оценки несущей способности буронабивных свай / П. О. Чернышов // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 1(36). – С. 77-82.
105. Шашкин, А. Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга / А. Г. Шашкин. – М. : Академическая наука, 2014. – 352 с.
106. Шашкин, А. Г. Влияние буронабивных свай замещения на деформации водонасыщенных глинистых грунтов / А. Г. Шашкин, А. А. Шацкий // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 12. – С. 15-22.
107. Шементов Ю. М. Исследование взаимодействия боковой поверхности буронабивных свай с основанием и их расчет по данным статического зондирования / Ю. М. Шементов // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 11. – С. 22-24.
108. Шулятьев, О. А. Основные принципы расчета и конструирования плитных и свайных фундаментов высотных зданий. дис. ... доктор. техн. наук: 05.23.02 / Шулятьев Олег Александрович. – М. – 2019. 396 с.
109. Шулятьев, О. А. Основания и фундаменты высотных зданий / О. А. Шулятьев. – М. : Изд-во АСВ., 2016. – 392 с.
110. Шулятьев, О. А. Освоение подземного пространства городов / О. А. Шулятьев, О. А. Мозгачева, В. С. Поспехов. – М. : Изд-во АСВ., 2017. – 510 с.

111. Alkroosh, I. S. Regressive approach for predicting bearing capacity of bored piles from cone penetration test data / I. S. Alkroosh, M. Bahadori, H. Nikraz, A. Bahadori // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. – 2015. – №5(7). pp. 584-592.
112. Baxter, D. J. Innovation in the design of continuous flight auger and bored displacement piles / D. J. Baxter // – Leatherhead. – 2009. – pp. 206-207.
113. Borozenets, L. Experimental and theoretical study on a bearing capacity of the bored pile foundation / L. Borozenets, E. Ushakova // *Bulletin of South Ural State University series “Construction Engineering and Architecture.”* – 2017. – № 2(16). – pp. 5-10.
114. Chin, F. K. Diagnosis of pile condition / F. K. Chin // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. – 1978. – № 9. – pp. 85-104.
115. Chin, F. K. Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure / F. K. Chin // *Proceedings of the Second Southeast Asian Conference on Soil Engineering*. Singapore. – 1970. – № 1. – pp. 81-90.
116. Dan, A. B. Engineering Design and Construction of Continuous Flight Auger Piles / A. B. Dan, D. D. Steven, W. R. Thompson, A. L. Carlos. – Security, 2007. – № 8. – 293 pp.
117. Wael, N. A. E. Evaluation of the Ultimate Capacity of Friction Piles / N. A. E. Wael // *Engineering*. – 2012. – №11(4). – pp. 778-789.
118. Engelhardt, K. Large diameter bored piles / K. Engelhardt // –1985. – pp. 131-142.
119. Baguelin, F. Theoretical Study of Lateral Reaction Mechanism of Piles / F. Baguelin, R. Frank, Y. Said // *Geotechnique*. – 1977. – № 3. – pp. 405-434.
120. Fellenius, Bengt H. Basics of Foundation Design / Bengt H. Fellenius., 2020. – 529 pp.
121. Fellenius, B. H. Prediction of pile capacity / B. H. Fellenius // *Geotechnical Special Publication*. – 1989. – № 23. – pp. 293-302.

122. Frank, M. Fuller. Pile Load Tests Including Quick-Load Test Method, Conventional Methods, and Interpretations / M. F. Frank, E. H. Horace // Highw Res Rec. – 1970. – № 33. – pp. 74-86.

123. Gotman, A. Study of the Large-Scale Bored Piles on the Horizontal Load and Their Calculation / A. Gotman, A. Gaisin // PNRPU Construction and Architecture Bulletin. – 2018. – № 3(9). – pp. 14-27.

124. Hansen, J. B. A revised and extended formula for bearing capacity / J. B. Hansen // Bulletin of the Danish Geotechnical Institute. – 1970. – № 28. – pp. 5-11.

125. Houlsby, G. T., Withers N.J. Analysis of the cone pressure meter test in clay / G. T. Houlsby, N. J. Withers // Geotechnique. – 1988. – № 4(38). – pp. 575-587.

126. Kondratieva, L. Analysis of bored piles' field test results / L. Kondratieva, V. Konyushkov, V. T. Le, V. Kirillov // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. – 2019. – № 828. – pp. 194-201.

127. Konyushkov, V.V. Side friction of sandy and clay soils and their resistance under the toe of deep bored piles (at a depth of up to 100 m) / V.V. Konyushkov, V. T. Le // Architecture and Engineering. – 2020. – № 1(5). – pp. 36-44.

128. Leemon, C. R. Single piles and pile groups under lateral loading / C. R. Leemon, W. F. Van Impe. – Rotterdam: CRC Pres, 2011. – 508 pp.

129. Mahler, A. Use of CPT in pile design / A. Mahler // Period, politechn. Civil Engineering. – 2003. – № 2. – pp. 189-197.

130. Meyerhof, G. G. Scale effects of ultimate pile capacity / G. G. Meyerhof // Journal of Geotechnical Engineering. – 1983. – № 8(110). – 1156-1159.

131. Meyerhof, G. G. Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations / G. G. Meyerhof // Canadian Geotechnical Journal. – 1963. – № 1(1). – pp. 16-26.

132. Saglamer, A. Comparison of field loading test results of bored piles with bearing capacity analysis based on various standards / A. Saglamer, H. K. Ozalp, B. Kargioglu // Ce/Papers. – 2018. – № 2–3(2). – pp. 93-112.

133. Schanz, T. The hardening soil model: Formulation and verification / T. Schanz, P. A. Vermeer, P. G. Bonnier // *Beyond 2000 in computational geotechnics. Ten Years of PLAXIS International.* – 1999. – pp. 281-296.
134. Terzaghi, K. *Theoretical Soil Mechanics* / K. Terzaghi. – New York: John Wiley & Sons, 1943. – 503 pp.
135. Tomlinson, M. *Pile Design and Construction Practice* / M. Tomlinson, J. Woodward. – NY: Taylor & Francis, 2007. – 551 pp.
136. Van der Veen, C. The bearing capacity of a pile / C. Van der Veen. *Proc. 3rd. ICSMFE.*, 1953. – pp. 84-90.
137. Van Weele, A. F. A Method of Separating the Bearing Capacity of a Pile into Skin-friction and Point-resistance / A. F. Van Weele // *Proc 4th Int Conf Soil Mech Found Engrg.* – 1957. – pp. 76-80.
138. Vesic, A. S. Expansion of cavities in infinite soil mass / A. S. Vesic, J. A. Jones // *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division.* – 1972. – № 98. – pp. 265-290.
139. Wong, L.W. *Numerical Analysis of Bored Piles in Sandstones* / L. W. Wong // *The HKIE Geotechnical Division Annual Seminar.* – 2017. – pp. 343-352.
140. Wrana, B. *Pile Load Capacity – Calculation Methods* / B. Wrana // *Studia Geotechnica et Mechanica.* – 2016. – № 4(37). – pp. 83-93.
141. Kok-Kwang, P. *Risk and reliability in geotechnical engineering* / P. Kok-Kwang, C. Jianye // *CRC Press*, 2015. – 624 pp.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А****«ООО» ПРОЕКТНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ TMB CONS**Адрес: 16. Нхан Хоа 4, Хоа Суан. Кам Ле, Дананг город, Вьетнам

«11» января 2021 г.

Диссертационный совет Д 212.223.07

**СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ**

О внедрении научных результатов диссертации Ле Ван Чонга на тему **«Несущая способность свай, изготавливаемых в грунте, по результатам статических полевых испытаний»**

Настоящей справкой информируем диссертационный совет Д 212.223.07 по защите докторских и кандидатских диссертаций при Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в том, что результаты диссертационных исследований Ле Ван Чонга на тему «Несущая способность свай, изготавливаемых в грунте, по результатам статических полевых испытаний» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 - основания и фундаменты, подземные сооружения приняты к использованию в ООО «ТМВ CONS» для расчетов и проектирования свай, изготавливаемых в грунте с дополнительными поправочными коэффициентами к несущей способности свай в зависимости от технологии их изготовления и глубины заложения их острия (в моренных или вендских отложениях).

ООО Проектно-строительная компания «ТМВ CONS»



Bo Van Vinh

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ БУРОВЫХ СВАЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТАТИЧЕСКУЮ СЖИМАЮЩУЮ НАГРУЗКУ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Таблица А.1. Данные о полевых испытаниях буровых свай, изготавливаемых под защитой обсадной трубы

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 1     | 4948          | Петроградский     | 15,30           | 0,50              | RTG-RG-21                 | 308  | 1800  | 763  | 1210  | 1,58  |
| 2     | 4948          | Петроградский     | 15,30           | 0,50              | RTG-RG-21                 | 308  | 1800  | 763  | 1210  | 1,58  |
| 3     | 4763          | Центральный       | 24,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 268  | 1910  | 807  | 1260  | 1,56  |
| 4     | 4763          | Центральный       | 24,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 171  | 1070  | 514  | 1260  | 2,45  |
| 5     | 4763          | Центральный       | 24,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 268  | 1910  | 807  | 1260  | 1,56  |
| 6     | 4213          | Калининский       | 26,10           | 0,50              | УГБ1ВС                    | 826  | 2880  | 1812   | 2710  | 1,50  |
| 7     | 4213          | Калининский       | 26,10           | 0,50              | УГБ1ВС                    | 826  | 2880  | 1812   | 2710  | 1,50  |
| 8     | 4213          | Калининский       | 26,10           | 0,50              | УГБ1ВС                    | 766  | 2880  | 1765   | 2710  | 1,54  |
| 9     | 4269          | Калининский       | 24,50           | 0,50              | УГБ1ВС                    | 602  | 2720  | 1480   | 2340  | 1,58  |
| 10    | 4269          | Калининский       | 24,50           | 0,50              | УГБ1ВС                    | 576  | 2720  | 1569   | 3100  | 1,98  |
| 11    | 6012          | Приморский        | 13,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 368  | 1633  | 936  | 1800  | 1,92  |
| 12    | 5875          | Московский        | 14,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 252  | 1537  | 670  | 1440  | 2,15  |
| 13    | 5875          | Московский        | 15,80           | 0,50              | ПБУ-2                     | 321  | 1660  | 849  | 1440  | 1,70  |
| 14    | 6210          | Василеостровский  | 34,50           | 0,50              | ПБУ-2                     | 336  | 2601  | 1044   | 2500  | 2,39  |
| 15    | 6210          | Василеостровский  | 34,50           | 0,50              | ПБУ-2                     | 389  | 2601  | 1091   | 2500  | 2,29  |
| 16    | 6222          | Красногвардейский | 31,70           | 0,50              | ПБУ-2                     | 750  | 2850  | 2073   | 2510  | 1,21  |

Продолжение таблицы А.1

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 17    | 6222          | Красногвардейский | 31,70           | 0,50              | ПБУ-2                     | 622  | 3468  | 1892   | 2510  | 1,33  |
| 18    | 4409          | Калининский       | 20,50           | 0,50              | УГБ-1 ВС                  | 409  | 2320  | 1000   | 2510  | 2,51  |
| 19    | 4409          | Калининский       | 20,50           | 0,50              | УГБ-1 ВС                  | 409  | 2320  | 1089   | 2510  | 2,30  |
| 20    | 4409          | Калининский       | 20,30           | 0,50              | УГБ-1 ВС                  | 409  | 2300  | 1068   | 2600  | 2,43  |
| 21    | 4409          | Калининский       | 20,40           | 0,50              | УГБ-1 ВС                  | 339  | 1907  | 910  | 2420  | 2,66  |
| 22    | 4409          | Калининский       | 20,40           | 0,50              | УГБ-1 ВС                  | 377  | 2310  | 1081   | 2340  | 2,17  |
| 23    | 7300          | Василеостровский  | 23,30           | 0,50              | BAUER                     | 312  | 2600  | 958  | 1600  | 1,67  |
| 24    | 4035          | Выборгский        | 28,80           | 0,50              | УРБ-2,5                   | 611  | 1918  | 1421   | 3200  | 2,25  |
| 25    | 6352          | Ленинградская     | 9,40            | 0,50              | JUNTTAN                   | 256  | 910   | 554  | 770   | 1,39  |
| 26    | 6352          | Ленинградская     | 9,80            | 0,50              | JUNTTAN                   | 256  | 937   | 581  | 725   | 1,25  |
| 27    | 4058          | Пушкин            | 3,30            | 0,50              | БК301                     | 86   | 850   | 274  | 375   | 1,37  |
| 28    | 5591          | Петроградский     | 22,80           | 0,50              | SOILMEC CM120             | 363  | 2550  | 1091   | 1460  | 1,34  |
| 29    | 5067          | Василеостровский  | 26,80           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 479  | 2355  | 1297   | 2040  | 1,57  |
| 30    | 5412          | Калининский       | 13,20           | 0,50              | ПБУ-2                     | 265  | 1325  | 712  | 1600  | 2,25  |
| 31    | 5656          | Приморский        | 30,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 794  | 2450  | 1733   | 1510  | 0,87  |
| 32    | 5445          | Московский        | 14,30           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 140  | 1123  | 478  | 1338  | 2,80  |
| 33    | 7182          | Приморский        | 35,30           | 0,50              | УРБ-2А2                   | 613  | 3900  | 1799   | 2400  | 1,33  |
| 34    | 7182          | Приморский        | 35,30           | 0,50              | УРБ-2А2                   | 613  | 3900  | 1799   | 2400  | 1,33  |
| 35    | 7182          | Приморский        | 35,30           | 0,50              | УРБ-2А2                   | 613  | 3900  | 1799   | 3000  | 1,67  |
| 36    | 7182          | Приморский        | 35,30           | 0,50              | УРБ-2А2                   | 613  | 3900  | 1799   | 3000  | 1,67  |
| 37    | 8196          | Красногвардейский | 31,70           | 0,50              | ПБУ-2                     | 750  | 2850  | 2073   | 2510  | 1,21  |
| 38    | 8196          | Красногвардейский | 31,70           | 0,50              | ПБУ-2                     | 622  | 3468  | 1892   | 2510  | 1,33  |

Продолжение таблицы А.1

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 39    | 8196          | Красногвардейский | 29,40           | 0,50              | ПБУ-2                     | 542  | 2652  | 1628   | 2000  | 1,23  |
| 40    | 4144          | Пушкин            | 3,30            | 0,50              | БКМ-317                   | 86   | 850   | 274  | 300   | 1,10  |
| 41    | 5484          | Всеволожский      | 13,00           | 0,50              | ЛБУ-50                    | 321  | 1345  | 905  | 900   | 0,99  |
| 42    | 4715          | Фрунзенский       | 19,30           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 431  | 2200  | 1120   | 1600  | 1,43  |
| 43    | 4715          | Фрунзенский       | 18,30           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 354  | 2100  | 1016   | 1600  | 1,58  |
| 44    | 4715          | Фрунзенский       | 18,40           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 431  | 2110  | 1026   | 1600  | 1,56  |
| 45    | 5204          | Московский        | 19,30           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 267  | 2000  | 859  | 1729  | 2,01  |
| 46    | 5204          | Московский        | 19,30           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 277  | 2000  | 844  | 1750  | 2,07  |
| 47    | 7160          | Василеостровский  | 34,30           | 0,50              | ПБУ-2                     | 363  | 2580  | 1025   | 2490  | 2,43  |
| 48    | 3957          | Петроградский     | 12,80           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 272  | 1487  | 823  | 1600  | 1,94  |
| 49    | 3957          | Петроградский     | 12,80           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 272  | 1487  | 823  | 1650  | 2,00  |
| 50    | 3829          | Петроградский     | 12,70           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 290  | 1592  | 792  | 1532  | 1,93  |
| 51    | 3829          | Петроградский     | 13,40           | 0,50              | УГБ-1ВС                   | 342  | 1537  | 879  | 1551  | 1,77  |
| 52    | 7738          | Василеостровский  | 23,50           | 0,50              | BAUER                     | 396  | 2650  | 1007   | 1400  | 1,39  |
| 53    | 7738          | Василеостровский  | 23,50           | 0,50              | BAUER                     | 396  | 2650  | 1007   | 1400  | 1,39  |
| 54    | 8687          | Чкаловский пр     | 18,00           | 0,60              | Bauer 28                  | 132  | 1135  | 589  | 1200  | 2,04  |
| 55    | 8687<br>А     | Чкаловский пр     | 18,00           | 0,60              | Bauer 28                  | 132  | 1135  | 589  | 1200  | 2,04  |
| 56    | 7474          | Выборгский        | 11,00           | 0,60              | Casagrande B-130E         | 313  | 1420  | 1070   | 1000  | 0,93  |
| 57    | 7474          | Выборгский        | 11,00           | 0,60              | Casagrande B-130E         | 301  | 1420  | 1093   | 1000  | 0,91  |
| 58    | 3913          | Приморский        | 24,25           | 0,60              | Бауэр-25                  | 201  | 2700  | 1203   | 3350  | 2,79  |

Продолжение таблицы А.1

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 59    | 7075          | Пушкинский       | 14,11           | 0,60              | SOILMEC                   | 240  | 1726  | 800  | 1400  | 1,75  |
| 60    | 7075          | Пушкинский       | 14,18           | 0,60              | SOILMEC                   | 240  | 1732  | 808  | 1400  | 1,73  |
| 61    | 7075          | Пушкинский       | 14,00           | 0,60              | SOILMEC                   | 269  | 1717  | 859  | 1400  | 1,63  |
| 62    | 8399-Б        | Адмиралтейский   | 25,44           | 0,60              | BAUER-BG40                | 499  | 2844  | 1811   | 2420  | 1,34  |
| 63    | 8399-Б        | Адмиралтейский   | 25,49           | 0,60              | BAUER-BG40                | 641  | 2849  | 1825   | 2420  | 1,33  |
| 64    | 8399-Б        | Адмиралтейский   | 25,31           | 0,60              | BAUER-BG40                | 689  | 2831  | 1945   | 2420  | 1,24  |
| 65    | 8399-Б        | Адмиралтейский   | 25,29           | 0,60              | BAUER-BG40                | 689  | 2829  | 1962   | 2420  | 1,23  |
| 66    | 8093          | Приморский       | 26,10           | 0,60              | SOILMEC                   | 748  | 2910  | 2320   | 3600  | 1,55  |
| 67    | 8399          | Адмиралтейский   | 25,10           | 0,60              | BG-40                     | 499  | 2810  | 1763   | 1740  | 0,99  |
| 68    | 8399-А        | Адмиралтейский   | 25,43           | 0,60              | BG-40                     | 641  | 2843  | 1788   | 2150  | 1,20  |
| 69    | 8014-А        | Приморский       | 27,00           | 0,60              | SOILMEC                   | 828  | 3000  | 2571   | 3037  | 1,18  |
| 70    | 8014-А/1      | Приморский       | 25,50           | 0,60              | SOILMEC                   | 752  | 2850  | 2336   | 3600  | 1,54  |
| 71    | 3637          | ЛОТ.1            | 25,27           | 0,60              | Casagrande                | 699  | 2827  | 2419   | 2510  | 1,04  |
| 72    | 5018          | Всеволожского    | 9,80            | 0,60              | BG-25                     | 326  | 1317  | 1022   | 650   | 0,64  |
| 73    | 5018          | Всеволожского    | 9,80            | 0,60              | BG-25                     | 326  | 1317  | 1022   | 750   | 0,73  |
| 74    | 8794          | Литейный пр. Д56 | 26,00           | 0,60              | Росстройгеология          | 701  | 2608  | 2234   | 1750  | 0,78  |
| 75    | 8794          | Литейный пр. Д56 | 26,00           | 0,60              | Росстройгеология          | 701  | 2608  | 2234   | 1750  | 0,78  |

Продолжение таблицы А.1

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                 | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                               | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 76    | 7325          | пос.Шушары                      | 15,00           | 0,60              | SOILMEC                   | 374  | 1800  | 1279   | 1450  | 1,13  |
| 77    | 7325          | пос.Шушары                      | 15,00           | 0,60              | SOILMEC                   | 412  | 1800  | 1250   | 1450  | 1,16  |
| 78    | 7325          | пос.Шушары                      | 15,00           | 0,60              | SOILMEC                   | 393  | 1800  | 1321   | 1300  | 0,98  |
| 79    | 7343          | Ленинградский (г. Сосновый Бор) | 13,50           | 0,60              | CFA                       | 379  | 1675  | 1233   | 1500  | 1,22  |
| 80    | 6677          | Ленинградский                   | 16,50           | 0,60              | УРБ-2,5                   | 206  | 1440  | 801  | 1077  | 1,34  |
| 81    | 8267          | Красногвардейский               | 35,00           | 0,60              | MAIT HR 260               | 821  | 3900  | 2756   | 2810  | 1,02  |
| 82    | 8267          | Красногвардейский               | 33,55           | 0,60              | MAIT HR 260               | 721  | 3726  | 2518   | 2810  | 1,12  |
| 83    | 8842          | Литейный пр.д56                 | 25,80           | 0,60              | MAIT HR 260               | 710  | 2590  | 2206   | 2530  | 1,15  |
| 84    | 8842          | Литейный пр.д56                 | 25,80           | 0,60              | MAIT HR 260               | 710  | 2590  | 2206   | 2560  | 1,16  |
| 85    | 8842          | Литейный пр.д56                 | 25,80           | 0,60              | MAIT HR 260               | 710  | 2590  | 2206   | 2560  | 1,16  |
| 86    | 7713          | Петроградский                   | 19,50           | 0,60              | CASAGRANDE B-130E         | 325  | 2090  | 1184   | 600   | 0,51  |
| 87    | 3435          | наб.Лейтенанта шмидта           | 18,70           | 0,60              | CASAGRANDE B-130E         | 210  | 2170  | 954  | 1600  | 1,68  |
| 88    | 3508          | наб.Лейтенанта шмидта           | 21,90           | 0,60              | CASAGRANDE B-130E         | 210  | 2460  | 1036   | 1560  | 1,51  |
| 89    | 5092          | Приморский                      | 38,30           | 0,88              | BAUER BG-25               | 788  | 1250  | 3191   | 4840  | 1,52  |
| 90    | 5092          | Приморский                      | 38,30           | 0,88              | BAUER BG-25               | 788  | 1250  | 3191   | 4840  | 1,52  |
| 91    | 5092          | Приморский                      | 38,30           | 0,88              | BAUER BG-25               | 694  | 1250  | 2902   | 5200  | 1,79  |
| 92    | 5092          | Приморский                      | 38,30           | 0,88              | BAUER BG-25               | 788  | 1250  | 3191   | 4840  | 1,52  |
| 93    | 7143          | Петроградский                   | 28,85           | 1,50              | Мостинжстрой              | 637  | 3185  | 8515   | 9743  | 1,14  |
| 94    | 7143          | Петроградский                   | 28,89           | 1,50              | Мостинжстрой              | 845  | 3189  | 9355   | 12571   | 1,34  |

Продолжение таблицы А.1

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания         | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                       | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 95    | 6538          | Московский              | 40,95           | 1,10              | CASAGRANDE                | 1813   | 4500  | 11259  | 12000   | 1,07  |
| 96    | 7056          | Московский              | 47,00           | 1,10              | CASAGRANDE                | 2038   | 4500  | 12121  | 20000   | 1,65  |
| 97    | 7020          | Московский              | 43,60           | 1,10              | CASAGRANDE                | 1830   | 4500  | 11415  | 20000   | 1,75  |
| 98    | 6912          | Московский              | 44,90           | 1,10              | CASAGRANDE                | 1927   | 4500  | 11510  | 20000   | 1,74  |
| 99    | 6962          | г. Колпино              | 8,00            | 1,05              | не обнаружено             | 55   | 637   | 703  | 1000  | 1,42  |
| 100   | 6962          | г. Колпино              | 8,00            | 1,05              | не обнаружено             | 55   | 637   | 703  | 1200  | 1,71  |
| 101   | 4050          | Василеостровский        | 23,10           | 0,88              | BG-14                     | 426  | 2512  | 3024   | 4800  | 1,59  |
| 102   | 5870          | Невский пр.д59          | 32,00           | 0,88              | BAUER                     | 621  | 3600  | 4332   | 6200  | 1,43  |
| 103   | 5870          | Невский пр.д59          | 32,00           | 0,88              | BAUER                     | 621  | 3600  | 4332   | 6300  | 1,45  |
| 104   | 3666          | Ленинградская           | 19,75           | 1,02              | не обнаружено             | 264  | 2090  | 2571   | 2278  | 0,89  |
| 105   | 4640          | Приморский              | 32,00           | 0,88              | BAUER                     | 700  | 1250  | 2834   | 4200  | 1,48  |
| 106   | 4640          | Приморский              | 36,00           | 0,88              | BAUER                     | 752  | 1250  | 3003   | 3029  | 1,01  |
| 107   | 4946          | Приморский              | 36,30           | 0,88              | BAUER                     | 752  | 1250  | 3051   | 4210  | 1,38  |
| 108   | 4946          | Приморский              | 38,80           | 0,88              | BAUER                     | 824  | 1250  | 3246   | 4210  | 1,30  |
| 109   | 7265          | пос.<br>Александровская | 10,00           | 1,20              | Casagrande B-250          | 289  | 1400  | 2637   | 2000  | 0,76  |
| 110   | ТР01          | Приморский              | 84,01           | 2,00              | Bauer                     | 3955   | 4500  | 42455  | 83600   | 1,97  |
| 111   | ТР02          | Приморский              | 83,80           | 2,00              | Bauer                     | 4052   | 4500  | 42364  | 136300  | 3,22  |
| 112   | ТР03          | Приморский              | 73,09           | 2,00              | Bauer                     | 3338   | 4500  | 37518  | 107200  | 2,86  |
| 113   | ТР04          | Приморский              | 74,06           | 2,00              | Bauer                     | 3498   | 4500  | 37938  | 111800  | 2,95  |
| 114   | 880           | Приморский              | 33,50           | 0,88              | Bauer                     | 1106   | 3696  | 5117   | 12238   | 2,39  |
| 115   | 880           | Приморский              | 33,50           | 0,88              | Bauer                     | 1179   | 3720  | 5151   | 11891   | 2,31  |

Продолжение таблицы А.1

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3               | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 116   | 880           | Приморский      | 33,50           | 0,88              | Bauer                     | 1161   | 3828  | 5112   | 14326   | 2,80  |
| 117   | 880           | Приморский      | 33,50           | 0,88              | Bauer                     | 1109   | 3696  | 5119   | 20000   | 3,91  |
| 118   | 0653          | Приморский      | 32,00           | 0,62              | Bauer                     | 1083   | 3744  | 3102   | 8000  | 2,58  |
| 119   | 0653          | Приморский      | 32,00           | 0,62              | Bauer                     | 1056   | 3756  | 3033   | 7074  | 2,33  |

Таблица А.2. Данные о полевых испытаниях буровых свай, изготавливаемых под защитой глинистого раствора

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 120   | 5398          | Петроградский    | 21,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 370  | 2400  | 859  | 1600  | 1,86  |
| 121   | 5398          | Петроградский    | 21,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 390  | 2410  | 805  | 1600  | 1,99  |
| 122   | 6425          | Приморский       | 19,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 580  | 2040  | 1190   | 2510  | 2,11  |
| 123   | 6425          | Приморский       | 17,80           | 0,45              | ПБУ-2                     | 579  | 1892  | 1069   | 2500  | 2,34  |
| 124   | 6425          | Приморский       | 17,00           | 0,45              | ПБУ-2                     | 528  | 1233  | 956  | 2100  | 2,20  |
| 125   | 6425          | Приморский       | 16,50           | 0,45              | ПБУ-2                     | 528  | 1200  | 934  | 2100  | 2,25  |
| 126   | 6425          | Приморский       | 14,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 488  | 1742  | 914  | 2100  | 2,30  |
| 127   | 5797          | Приморский       | 23,30           | 0,45              | ЛБУ-50                    | 714  | 2610  | 1360   | 1600  | 1,18  |
| 128   | 4075          | Василеостровский | 35,30           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 423  | 2530  | 884  | 1200  | 1,36  |
| 129   | 3747          | Петроградский    | 24,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 433  | 1881  | 841  | 3410  | 4,05  |
| 130   | 3948          | Петроградский    | 18,20           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 249  | 2070  | 520  | 1100  | 2,11  |
| 131   | 3948          | Петроградский    | 18,40           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 249  | 2090  | 534  | 1200  | 2,25  |
| 132   | 3948          | Петроградский    | 18,30           | 0,55              | УГБ-1ВС                   | 249  | 2110  | 891  | 2540  | 2,85  |
| 133   | 3948          | Петроградский    | 18,40           | 0,55              | УГБ-1ВС                   | 248  | 2100  | 893  | 2450  | 2,74  |
| 134   | 3623          | Петроградский    | 18,30           | 0,40              | УГБ-50М                   | 387  | 1780  | 624  | 1338  | 2,14  |
| 135   | 4016          | Адмиралтейский   | 26,80           | 0,40              | СБУ-100                   | 365  | 2553  | 1615   | 1460  | 0,90  |
| 136   | 4016          | Адмиралтейский   | 26,80           | 0,40              | СБУ-100                   | 365  | 2553  | 1615   | 1300  | 0,80  |
| 137   | 4025          | Невский          | 14,30           | 0,40              | СБУ-100                   | 449  | 1749  | 787  | 1200  | 1,53  |
| 138   | 4508          | Невский          | 30,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 906  | 3300  | 1667   | 1800  | 1,08  |
| 139   | 4508          | Невский          | 30,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 906  | 3300  | 1667   | 1700  | 1,02  |
| 140   | 4010          | Колпино          | 15,80           | 0,45              | УГБ-50М                   | 399  | 1407  | 623  | 1000  | 1,61  |
| 141   | 4010          | Колпино          | 15,80           | 0,45              | УГБ-50М                   | 399  | 1407  | 623  | 1000  | 1,61  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                 | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                               | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 142   | 4577          | Адмиралтейский                  | 17,50           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 256  | 1910  | 565  | 1100  | 1,95  |
| 143   | 4577          | Адмиралтейский                  | 17,40           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 179  | 1900  | 557  | 1100  | 1,97  |
| 144   | 7968          | Центральный                     | 24,10           | 0,45              | ПБУ-2                     | 312  | 2430  | 918  | 1500  | 1,63  |
| 145   | 8071          | Центральный                     | 23,80           | 0,40              | СБУ-100ГМЦ                | 371  | 1957  | 669  | 900   | 1,34  |
| 146   | 8071          | Центральный                     | 23,80           | 0,40              | СБУ-100ГМЦ                | 371  | 1957  | 669  | 900   | 1,34  |
| 147   | 5085          | Московский                      | 18,40           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 313  | 2135  | 592  | 1200  | 2,03  |
| 148   | 5085          | Московский                      | 18,50           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 278  | 1535  | 599  | 1200  | 2,00  |
| 149   | 5085          | Московский                      | 18,50           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 278  | 1535  | 599  | 1200  | 2,00  |
| 150   | 4987          | ул.<br>Домостроительная,<br>д4  | 16,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 385  | 1931  | 578  | 750   | 1,30  |
| 151   | 4987          | ул.<br>Домостроительная,<br>д4  | 16,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 385  | 1931  | 578  | 750   | 1,30  |
| 152   | 3467          | ул. Профессора<br>Качалова, 6-а | 19,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 222  | 1742  | 360  | 750   | 2,08  |
| 153   | 3468          | Центральный                     | 22,20           | 0,62              | УГБ-50М                   | 418  | 2202  | 1395   | 1550  | 1,11  |
| 154   | 7258          | Василеостровский                | 22,10           | 0,42              | УГБ-50                    | 410  | 2490  | 906  | 1600  | 1,77  |
| 155   | 6375          | Петроградский                   | 16,80           | 0,45              | ПБУ-2                     | 175  | 1420  | 452  | 1150  | 2,54  |
| 156   | 6375          | Петроградский                   | 16,80           | 0,45              | ПБУ-2                     | 175  | 1420  | 452  | 1350  | 2,99  |
| 157   | 54483         | Невский                         | 23,30           | 0,42              | ПБУ-2                     | 488  | 2256  | 939  | 1440  | 1,53  |
| 158   | 6613          | Приморский                      | 17,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 611  | 2010  | 1090   | 2530  | 2,32  |
| 159   | 6613          | Приморский                      | 21,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 771  | 2410  | 1418   | 2530  | 1,78  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 160   | 6613          | Приморский       | 21,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 771  | 2410  | 1418   | 2530  | 1,78  |
| 161   | 3509          | Петроградский    | 25,30           | 0,45              | СБУ-100МЦГ                | 489  | 2890  | 2015   | 1350  | 0,67  |
| 162   | 3416          | Юго-Запад        | 10,10           | 0,45              | УГБ-1-ВС                  | 184  | 1400  | 388  | 718   | 1,85  |
| 163   | 3416          | Юго-Запад        | 10,10           | 0,45              | УГБ-1-ВС                  | 252  | 1343  | 380  | 613   | 1,61  |
| 164   | 4659          | Фрунзенский      | 18,00           | 0,45              | УГБ-1-ВС                  | 461  | 2140  | 817  | 1600  | 1,96  |
| 165   | 4659          | Фрунзенский      | 18,00           | 0,45              | УГБ-1-ВС                  | 334  | 2110  | 924  | 1600  | 1,73  |
| 166   | 4738          | Василеостровский | 35,30           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 423  | 2530  | 884  | 1540  | 1,74  |
| 167   | 4738          | Василеостровский | 35,30           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 360  | 2536  | 776  | 1440  | 1,86  |
| 168   | 8208          | Петроградский    | 17,00           | 0,42              | СБУ-100ГМЦ                | 272  | 2000  | 624  | 826   | 1,32  |
| 169   | 8208          | Петроградский    | 17,00           | 0,42              | СБУ-100ГМЦ                | 301  | 1955  | 626  | 1200  | 1,92  |
| 170   | 8208          | Петроградский    | 17,00           | 0,42              | СБУ-100ГМЦ                | 261  | 1954  | 645  | 1087  | 1,69  |
| 171   | 4198          | Адмиралтейский   | 30,50           | 0,45              | УГБ-50М                   | 176  | 2010  | 527  | 1500  | 2,84  |
| 172   | 4198          | Адмиралтейский   | 30,50           | 0,45              | УГБ-50М                   | 176  | 2010  | 527  | 1500  | 2,84  |
| 173   | 4177          | Центральный      | 31,30           | 0,45              | МРК-750; УРБ-2А2; УРБ-2,5 | 540  | 2731  | 1078   | 1200  | 1,11  |
| 174   | 4177          | Центральный      | 31,30           | 0,45              | МРК-750; УРБ-2А2; УРБ-2,5 | 540  | 2731  | 1078   | 886   | 0,82  |
| 175   | 5232          | Петроградский    | 18,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 308  | 1856  | 617  | 1210  | 1,96  |
| 176   | 5232          | Петроградский    | 18,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 235  | 1880  | 599  | 1436  | 2,40  |
| 177   | 5251          | Адмиралтейский   | 14,40           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 323  | 1733  | 597  | 1496  | 2,50  |
| 178   | 5251          | Адмиралтейский   | 14,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 252  | 1725  | 590  | 1510  | 2,56  |
| 179   | 4189          | Невский          | 15,80           | 0,35              | УГБ-150М                  | 93   | 1028  | 178  | 263   | 1,48  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3               | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 180   | 4189          | Невский         | 15,80           | 0,35              | УГБ-150М                  | 93   | 1028  | 178  | 230   | 1,29  |
| 181   | 4108          | Петроградский   | 20,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 248  | 2320  | 1407   | 1000  | 0,71  |
| 182   | 4108          | Петроградский   | 20,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 248  | 2320  | 1407   | 1150  | 0,82  |
| 183   | 7391          | Приморский      | 30,00           | 0,45              | СБУ-100Г                  | 416  | 3260  | 941  | 2400  | 2,55  |
| 184   | 7391          | Приморский      | 30,00           | 0,45              | СБУ-100Г                  | 416  | 3260  | 941  | 2400  | 2,55  |
| 185   | 6182          | Приморский      | 27,60           | 0,40              | УРБ-2,5                   | 353  | 2072  | 664  | 1200  | 1,81  |
| 186   | 7199          | Приморский      | 15,00           | 0,35              | СБУ                       | 140  | 1435  | 288  | 630   | 2,19  |
| 187   | 7199          | Приморский      | 15,00           | 0,35              | СБУ                       | 189  | 1417  | 286  | 630   | 2,20  |
| 188   | 7199          | Приморский      | 15,00           | 0,35              | СБУ                       | 221  | 1443  | 357  | 630   | 1,77  |
| 189   | 7199          | Приморский      | 15,00           | 0,35              | СБУ                       | 189  | 1417  | 286  | 630   | 2,20  |
| 190   | 5353          | Адмиралтейский  | 11,00           | 0,35              | УРБ-2,5                   | 160  | 1105  | 240  | 350   | 1,46  |
| 191   | 5353          | Адмиралтейский  | 11,00           | 0,35              | УРБ-2,5                   | 160  | 1105  | 240  | 330   | 1,37  |
| 192   | 5312          | Красносельский  | 18,60           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 547  | 2160  | 725  | 817   | 1,13  |
| 193   | 5312          | Красносельский  | 18,60           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 547  | 2160  | 725  | 900   | 1,24  |
| 194   | 5312          | Красносельский  | 18,60           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 547  | 2160  | 725  | 1000  | 1,38  |
| 195   | 5312          | Красносельский  | 18,60           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 547  | 2160  | 725  | 900   | 1,24  |
| 196   | 5312          | Красносельский  | 18,60           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 547  | 2160  | 725  | 897   | 1,24  |
| 197   | 7524          | Приморский      | 10,00           | 0,45              | ПБУ-2                     |  |   | 579  | 1350  | 2,33  |
| 198   | 7524          | Московский      | 15,50           | 0,35              | Hutte                     | 222  | 1000  | 356  | 1000  | 2,81  |
| 199   | 7524          | Московский      | 15,50           | 0,35              | Hutte                     | 222  | 1000  | 356  | 1000  | 2,81  |
| 200   | 7524          | Московский      | 23,50           | 0,35              | Hutte                     | 571  | 2600  | 836  | 1000  | 1,20  |
| 201   | 5153          | Московский      | 8,30            | 0,25              | ЛБУ-50                    | 214  | 697   | 194  | 200   | 1,03  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 202   | 5045          | Выборгский        | 23,80           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 398  | 2607  | 987  | 2510  | 2,54  |
| 203   | 6338          | Приморский        | 13,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 462  | 1667  | 809  | 2340  | 2,89  |
| 204   | 6338          | Приморский        | 13,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 462  | 1667  | 809  | 2340  | 2,89  |
| 205   | 4931          | Василеостровский  | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 494  | 2462  | 688  | 710   | 1,03  |
| 206   | 6724          | Московский        | 23,30           | 0,35              | ПБУ-1                     | 303  | 2600  | 558  | 1200  | 2,15  |
| 207   | 6724          | Московский        | 23,30           | 0,35              | ПБУ-1                     | 303  | 2600  | 558  | 1200  | 2,15  |
| 208   | 5327          | Адмиралтейский    | 17,30           | 0,33              | Беркут                    | 143  | 1792  | 282  | 350   | 1,24  |
| 209   | 5327          | Адмиралтейский    | 16,80           | 0,42              | СБУ-100                   | 143  | 1792  | 421  | 350   | 0,83  |
| 210   | 5327          | Адмиралтейский    | 16,80           | 0,42              | СБУ-100                   | 143  | 1792  | 421  | 350   | 0,83  |
| 211   | 5327          | Адмиралтейский    | 18,80           | 0,42              | СБУ-100                   | 218  | 1970  | 563  | 550   | 0,98  |
| 212   | 5327          | Адмиралтейский    | 18,80           | 0,42              | СБУ-100                   | 218  | 1970  | 563  | 550   | 0,98  |
| 213   | 5599          | Петроградский     | 12,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 124  | 1550  | 410  | 1070  | 2,61  |
| 214   | 5599          | Петроградский     | 12,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 209  | 1558  | 545  | 1070  | 1,96  |
| 215   | 4638          | Красногвардейский | 12,30           | 0,30              | УРБ 2А2                   | 205  | 730   | 183  | 300   | 1,64  |
| 216   | 4638          | Красногвардейский | 12,30           | 0,30              | УРБ 2А2                   | 205  | 730   | 183  | 350   | 1,92  |
| 217   | 4632          | Центральный       | 25,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 505  | 2860  | 1132   | 1800  | 1,59  |
| 218   | 4632          | Центральный       | 25,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 505  | 2860  | 1132   | 1800  | 1,59  |
| 219   | 4632          | Центральный       | 25,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 411  | 2840  | 1019   | 1600  | 1,57  |
| 220   | 7645          | Адмиралтейский    | 24,00           | 0,40              | УРБ-4Т                    | 440  | 2700  | 826  | 800   | 0,97  |
| 221   | 7645          | Адмиралтейский    | 24,00           | 0,40              | УРБ-4Т                    | 440  | 2700  | 826  | 800   | 0,97  |
| 222   | 7880          | Центральный       | 28,60           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 540  | 3150  | 1148   | 1450  | 1,26  |
| 223   | 7880          | Центральный       | 28,60           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 540  | 3150  | 1148   | 1450  | 1,26  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 224   | 4065          | Озеро Долгое      | 14,00           | 0,40              | УГБ-50М                   | 205  | 1683  | 508  | 1000  | 1,97  |
| 225   | 4065          | Озеро Долгое      | 14,00           | 0,40              | УГБ-50М                   | 205  | 1700  | 521  | 1150  | 2,21  |
| 226   | 3922          | СПЧ               | 31,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 351  | 3390  | 989  | 1540  | 1,56  |
| 227   | 3922          | СПЧ               | 31,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 329  | 3452  | 892  | 1510  | 1,69  |
| 228   | 3922          | СПЧ               | 22,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 150  | 1050  | 355  | 1510  | 4,26  |
| 229   | 3922          | СПЧ               | 31,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 600  | 3624  | 1389   | 1510  | 1,09  |
| 230   | 3922          | СПЧ               | 31,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 484  | 3432  | 1144   | 1510  | 1,32  |
| 231   | 3938          | г. Клпино         | 15,80           | 0,45              | УГБ-50М                   | 291  | 1393  | 614  | 1200  | 1,95  |
| 232   | 3914          | Василеостровский  | 31,85           | 0,40              | СБУ-100                   | 462  | 3468  | 1007   | 1740  | 1,73  |
| 233   | 3914          | Василеостровский  | 31,85           | 0,40              | СБУ-100                   | 503  | 3468  | 1010   | 1740  | 1,72  |
| 234   | 3986          | Адмиралтейский    | 16,30           | 0,30              | УГБ-50М                   | 170  | 855   | 190  | 700   | 3,68  |
| 235   | 3986          | Адмиралтейский    | 30,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 489  | 1250  | 777  | 1500  | 1,93  |
| 236   | 3986          | Адмиралтейский    | 30,30           | 0,45              | УГБ-50М                   | 489  | 1250  | 774  | 1500  | 1,94  |
| 237   | 4874          | Василеостровский  | 26,80           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 268  | 1631  | 1224   | 1500  | 1,23  |
| 238   | 4874          | Василеостровский  | 29,80           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 311  | 1747  | 1389   | 2000  | 1,44  |
| 239   | 5675          | Красногвардейский | 19,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 447  | 2225  | 900  | 1650  | 1,83  |
| 240   | 5675          | Красногвардейский | 19,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 454  | 2225  | 917  | 1650  | 1,80  |
| 241   | 5713          | Всеволожский      | 8,00            | 0,40              | HUTTE H605                | 159  | 575   | 269  | 1160  | 4,31  |
| 242   | 5713          | Всеволожский      | 8,00            | 0,40              | HUTTE H605                | 159  | 575   | 269  | 1160  | 4,31  |
| 243   | 4092          | Василеостровский  | 25,30           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 193  | 1050  | 465  | 1740  | 3,74  |
| 244   | 7957          | Адмиралтейский    | 30,00           | 0,45              | СБУ-100ГМЦ                | 833  | 3336  | 1473   | 1700  | 1,15  |
| 245   | 7957          | Адмиралтейский    | 30,00           | 0,45              | СБУ-100ГМЦ                | 833  | 3336  | 1473   | 1700  | 1,15  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания     | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивлений по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|---------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                   | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 246   | 7980          | Центральный         | 29,20           | 0,45              | УРБ-4Т                    | 415  | 2278  | 1022   | 1200  | 1,17  |
| 247   | 8076          | Адмиралтейский      | 30,00           | 0,45              | УРБ-4Т                    | 830  | 3336  | 1469   | 1450  | 0,99  |
| 248   | 8076          | Адмиралтейский      | 30,00           | 0,45              | УРБ-4Т                    | 830  | 3336  | 1469   | 1450  | 0,99  |
| 249   | 4834          | Невский             | 29,30           | 0,45              | ЛБУ-50                    | 835  | 3230  | 1715   | 2230  | 1,30  |
| 250   | 4083          | Невский             | 14,90           | 0,40              | СБУ-100                   | 472  | 1733  | 809  | 1100  | 1,36  |
| 251   | 4083          | Невский             | 14,50           | 0,40              | СБУ-100                   | 393  | 1741  | 741  | 1089  | 1,47  |
| 252   | 3956          | Василевский отстров | 19,40           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 273  | 2200  | 573  | 1460  | 2,55  |
| 253   | 3956          | Василевский отстров | 19,90           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 321  | 2226  | 683  | 1460  | 2,14  |
| 254   | 3956          | Василевский отстров | 20,80           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 447  | 2322  | 916  | 1460  | 1,59  |
| 255   | 5119          | Выборгский          | 23,90           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 398  | 2617  | 996  | 2420  | 2,43  |
| 256   | 5120 А        | Ломоносовский       | 6,70            | 0,40              | СБУ-100АМЦ                | 129  | 570   | 209  | 300   | 1,44  |
| 257   | 5120 А        | Ломоносовский       | 8,70            | 0,40              | СБУ-100АМЦ                | 223  | 943   | 322  | 450   | 1,40  |
| 258   | 7262          | Центральный         | 21,50           | 0,45              | СБУ-100ГА                 | 346  | 1658  | 737  | 1100  | 1,49  |
| 259   | 7262          | Центральный         | 21,50           | 0,42              | СБУ-100ГА                 | 142  | 1033  | 371  | 1100  | 2,96  |
| 260   | 6157 А        | Невский             | 18,80           | 0,28              | СБУ-100                   | 240  | 1478  | 310  | 450   | 1,45  |
| 261   | 6233          | Петроградский       | 18,30           | 0,42              | СБУ-100                   | 230  | 2100  | 619  | 800   | 1,29  |
| 262   | 5137          | Центральный         | 19,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 100  | 1390  | 258  | 300   | 1,16  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 263   | 5137          | Центральный      | 19,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 100  | 1390  | 258  | 300   | 1,16  |
| 264   | 5137          | Центральный      | 19,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 100  | 1390  | 258  | 300   | 1,16  |
| 265   | 5137          | Центральный      | 19,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 100  | 1390  | 258  | 300   | 1,16  |
| 266   | 5134          | Московский       | 17,30           | 0,40              | УГБ-1ВС                   | 188  | 1308  | 407  | 1330  | 3,27  |
| 267   | 6224          | Василеостровский | 26,80           | 0,45              | ПБУ-2                     | 421  | 1974  | 930  | 1540  | 1,66  |
| 268   | 6224          | Василеостровский | 26,80           | 0,45              | ПБУ-2                     | 421  | 1974  | 930  | 1540  | 1,66  |
| 269   | 5895          | г. Сестрорецк    | 10,00           | 0,45              | ПБУ-2                     | 334  | 1417  | 635  | 1840  | 2,90  |
| 270   | 5895          | г. Сестрорецк    | 10,00           | 0,45              | ПБУ-2                     | 334  | 1417  | 635  | 1840  | 2,90  |
| 271   | 5895          | г. Сестрорецк    | 10,00           | 0,45              | ПБУ-2                     | 334  | 1417  | 635  | 1840  | 2,90  |
| 272   | 5942Б         | Адмиралтейский   | 19,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 321  | 2170  | 606  | 1450  | 2,39  |
| 273   | 5942Б         | Адмиралтейский   | 19,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 321  | 2170  | 606  | 1450  | 2,39  |
| 274   | 5947          | г. Сестрорецк    | 10,00           | 0,45              | ПБУ-2                     | 334  | 1417  | 635  | 1840  | 2,90  |
| 275   | 5826          | Василеостровский | 18,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 343  | 2130  | 756  | 1340  | 1,77  |
| 276   | 5826          | Василеостровский | 18,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 257  | 2060  | 657  | 1340  | 2,04  |
| 277   | 5942          | Адмиралтейский   | 19,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 286  | 2176  | 587  | 1450  | 2,47  |
| 278   | 5942          | Адмиралтейский   | 19,00           | 0,42              | СБУ-100                   | 286  | 2176  | 587  | 1450  | 2,47  |
| 279   | 6204          | Московский       | 18,20           | 0,42              | JUNTTAN                   | 240  | 1096  | 449  | 580   | 1,29  |
| 280   | 6204          | Московский       | 18,30           | 0,35              | JUNTTAN                   | 241  | 1112  | 393  | 580   | 1,47  |
| 281   | 5938          | Центральный      | 28,20           | 0,45              | HUTTE H605                | 240  | 2687  | 704  | 1540  | 2,19  |
| 282   | 5938          | Центральный      | 28,20           | 0,45              | HUTTE H605                | 240  | 2687  | 704  | 1540  | 2,19  |
| 283   | 5197          | Петроградский    | 13,80           | 0,45              | ПБУ-2                     | 198  | 1693  | 467  | 1699  | 3,64  |
| 284   | 5197          | Петроградский    | 15,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 199  | 1822  | 578  | 1497  | 2,59  |

Продолжение таблицы А.2

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 285   | 5197          | Петроградский     | 16,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 278  | 1895  | 637  | 1300  | 2,04  |
| 286   | 5197          | Петроградский     | 16,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 278  | 1895  | 637  | 1210  | 1,90  |
| 287   | 5197          | Петроградский     | 16,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 278  | 1895  | 637  | 1270  | 1,99  |
| 288   | 5152          | Красногвардейский | 19,30           | 0,35              | УРБ-2.5                   | 439  | 2200  | 698  | 550   | 0,79  |
| 289   | 6587          | Центральный       | 31,30           | 0,40              | ПБУ-2                     | 516  | 3408  | 909  | 1650  | 1,81  |
| 290   | 7563          | Приморский        | 29,80           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 542  | 3250  | 1061   | 2400  | 2,26  |
| 291   | 7563          | Приморский        | 29,80           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 416  | 3260  | 941  | 2400  | 2,55  |
| 292   | 6168          | Адмиралтейский    | 30,30           | 0,42              | СБУ-100АМЦ                | 433  | 2141  | 867  | 1500  | 1,73  |
| 293   | 6168          | Адмиралтейский    | 30,30           | 0,42              | СБУ-100АМЦ                | 433  | 2141  | 867  | 1450  | 1,67  |
| 294   | 5896          | Калининский       | 22,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 138  | 1699  | 383  | 1000  | 2,61  |
| 295   | 5354          | Невский           | 23,30           | 0,42              | ПБУ-2                     | 504  | 2438  | 1020   | 1220  | 1,20  |
| 296   | 5354          | Невский           | 23,30           | 0,42              | ПБУ-2                     | 505  | 2349  | 954  | 1540  | 1,61  |
| 297   | 5532          | Центральный       | 26,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 389  | 1773  | 842  | 1440  | 1,71  |
| 298   | 5532          | Центральный       | 26,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 398  | 1781  | 809  | 1440  | 1,78  |
| 299   | 7614          | Центральный       | 22,00           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 155  | 1780  | 483  | 1000  | 2,07  |
| 300   | 7614          | Центральный       | 22,00           | 0,45              | УГБ-1ВС                   | 155  | 1780  | 483  | 1000  | 2,07  |
| 301   | 7437          | Василеостровский  | 29,50           | 0,45              | ПБУ-2                     | 289  | 2099  | 717  | 1360  | 1,90  |
| 302   | 7437          | Василеостровский  | 29,50           | 0,45              | ПБУ-2                     | 289  | 2099  | 717  | 1360  | 1,90  |
| 303   | 7411          | Василеостровский  | 28,00           | 0,45              | ПБУ-2                     | 341  | 1696  | 726  | 1200  | 1,65  |
| 304   | 6254          | Красногвардейский | 18,70           | 0,40              | ПБУ-2                     | 113  | 1528  | 337  | 630   | 1,87  |
| 305   | 6254          | Красногвардейский | 18,50           | 0,40              | ПБУ-2                     | 161  | 1532  | 387  | 580   | 1,50  |
| 306   | 5874          | Центральный       | 17,30           | 0,45              | ПБУ-2                     | 308  | 1583  | 650  | 1340  | 2,06  |

Таблица А.3. Данные о полевых испытаниях буровых свай, изготавливаемых с помощью проходной шнек

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_b$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3               | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 307   | 6142Б         | Центральный     | 15,00           | 0,15              | СБУ132                    | 288  | 1515  | 167  | 260   | 1,56  |
| 308   | 5038          | Невский         | 15,30           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 173  | 1734  | 323  | 600   | 1,86  |
| 309   | 5034          | Невский         | 19,71           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 202  | 996   | 320  | 698   | 2,18  |
| 310   | 5034          | Невский         | 19,71           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 207  | 1046  | 353  | 745   | 2,11  |
| 311   | 6445          | Невский         | 14,30           | 0,32              | Аллигатор                 | 186  | 1015  | 282  | 300   | 1,06  |
| 312   | 6445          | Невский         | 14,30           | 0,32              | Аллигатор                 | 186  | 1015  | 282  | 300   | 1,06  |
| 313   | 7173          | Петродворцовый  | 9,30            | 0,40              | ЛБУ-50                    | 283  | 1310  | 484  | 700   | 1,45  |
| 314   | 7173          | Петродворцовый  | 9,30            | 0,40              | ЛБУ-50                    | 283  | 1310  | 484  | 700   | 1,45  |
| 315   | 8172          | Пушкинский      | 11,00           | 0,42              | Беркут                    | 430  | 1230  | 668  | 900   | 1,35  |
| 316   | 8172          | Пушкинский      | 9,00            | 0,42              | Беркут                    | 289  | 1283  | 543  | 500   | 0,92  |
| 317   | 4458          | Фрунзенский     | 20,30           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 293  | 1722  | 556  | 1050  | 1,89  |
| 318   | 5972          | Московский      | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 325  | 2500  | 534  | 900   | 1,68  |
| 319   | 5972          | Московский      | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 325  | 2500  | 534  | 900   | 1,68  |
| 320   | 5979          | Невский         | 10,30           | 0,32              | Беркут                    | 129  | 939   | 216  | 500   | 2,32  |
| 321   | 5979          | Невский         | 10,30           | 0,32              | Беркут                    | 129  | 939   | 216  | 450   | 2,08  |
| 322   | 5979          | Центральный     | 17,85           | 0,33              | МДТ                       | 395  | 2090  | 635  | 1000  | 1,57  |
| 323   | 4690          | Приморский      | 6,00            | 0,35              | ПБУ-50                    | 11   | 390   | 51   | 200   | 3,90  |
| 324   | 4690          | Приморский      | 6,00            | 0,35              | ПБУ-50                    | 11   | 390   | 51   | 200   | 3,90  |
| 325   | 6142          | Центральный     | 25,00           | 0,45              | СБУ-100ГТ                 | 648  | 2237  | 1466   | 1500  | 1,02  |
| 326   | 7277          | Кировский       | 15,00           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 306  | 2160  | 909  | 1269  | 1,40  |
| 327   | 7277          | Кировский       | 15,00           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 306  | 2160  | 909  | 1400  | 1,54  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания       | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-----------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                     | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 328   | 3933          | Московский            | 10,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 308  | 1495  | 426  | 800   | 1,88  |
| 329   | 3933          | Московский            | 10,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 308  | 1495  | 426  | 800   | 1,88  |
| 330   | 4842          | Московский            | 23,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 620  | 2850  | 1039   | 1100  | 1,06  |
| 331   | 4842          | Московский            | 23,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 620  | 2850  | 1039   | 1100  | 1,06  |
| 332   | 4806          | Ленинградской области | 16,50           | 0,35              | ПБУ-50                    | 203  | 1560  | 326  | 250   | 0,77  |
| 333   | 3994 А        | Василеостровский      | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 440  | 2084  | 705  | 670   | 0,95  |
| 334   | 3994 А        | Василеостровский      | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 440  | 2084  | 705  | 1014  | 1,44  |
| 335   | 3967          | Петроградский         | 18,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 303  | 1800  | 491  | 650   | 1,32  |
| 336   | 3967          | Петроградский         | 18,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 303  | 1800  | 491  | 750   | 1,53  |
| 337   | 3951          | Василеостровский      | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 605  | 2605  | 876  | 1400  | 1,60  |
| 338   | 3951          | Василеостровский      | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 440  | 2084  | 705  | 1260  | 1,79  |
| 339   | 3951          | Василеостровский      | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 605  | 2605  | 881  | 1260  | 1,43  |
| 340   | 4204          | г. Сестрорецк         | 15,30           | 0,25              | СБУ-100ГТ                 | 253  | 1800  | 278  | 400   | 1,44  |
| 341   | 4131          | Тверской обл.         | 12,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 268  | 1310  | 501  | 400   | 0,80  |
| 342   | 4131          | Тверской обл.         | 12,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 268  | 1310  | 501  | 400   | 0,80  |
| 343   | 4381          | Адмиралтейский        | 15,30           | 0,15              | СБУ-132                   | 137  | 905   | 85   | 200   | 2,36  |
| 344   | 4381          | Адмиралтейский        | 17,80           | 0,25              | СБУ-100ГТ                 | 331  | 1920  | 378  | 550   | 1,45  |
| 345   | 5919          | Невский               | 14,60           | 0,35              | Беркут                    | 118  | 832   | 194  | 460   | 2,37  |
| 346   | 5919          | Невский               | 14,60           | 0,35              | Беркут                    | 118  | 832   | 194  | 460   | 2,37  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 347   | 6173          | Невский           | 7,10            | 0,40              | ЛБУ-50                    | 120  | 1015  | 212  | 250   | 1,18  |
| 348   | 6722          | Петроградский     | 22,02           | 0,45              | SF-50 "Soilmec"           | 289  | 2123  | 645  | 2150  | 3,34  |
| 349   | 6722          | Петроградский     | 21,43           | 0,45              | SF-50 "Soilmec"           | 208  | 1345  | 489  | 2150  | 4,40  |
| 350   | 5218          | Всеволожский      | 12,30           | 0,45              | SM-120                    | 362  | 1556  | 815  | 2710  | 3,32  |
| 351   | 3558          | г. Кириши         | 9,70            | 0,35              | УГБ-1ВС                   | 212  | 1131  | 425  | 340   | 0,80  |
| 352   | 3580          | Петроградский     | 17,60           | 0,35              | ПБУ-50                    | 387  | 1743  | 548  | 902   | 1,65  |
| 353   | 3580          | Петроградский     | 16,20           | 0,35              | ПБУ-50                    | 236  | 1633  | 412  | 920   | 2,23  |
| 354   | 3580          | Петроградский     | 17,60           | 0,35              | ПБУ-50                    | 338  | 1743  | 527  | 920   | 1,75  |
| 355   | 5355          | Калининский       | 11,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 247  | 1288  | 378  | 741   | 1,96  |
| 356   | 5277          | Адмиралтейский    | 24,30           | 0,30              | СБУ-100ГТ                 | 329  | 1910  | 480  | 750   | 1,56  |
| 357   | 5277          | Адмиралтейский    | 24,30           | 0,30              | СБУ-100ГТ                 | 329  | 1910  | 480  | 850   | 1,77  |
| 358   | 4117          | Адмиралтейский    | 17,20           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 187  | 955   | 289  | 798   | 2,76  |
| 359   | 4858          | Красногвардейский | 19,80           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 163  | 2370  | 524  | 1045  | 1,99  |
| 360   | 4858          | Красногвардейский | 18,80           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 168  | 2070  | 411  | 1424  | 3,46  |
| 361   | 4283          | Центральный       | 21,00           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 154  | 1465  | 324  | 750   | 2,32  |
| 362   | 6138          | Приморский        | 14,30           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 447  | 1621  | 944  | 1700  | 1,80  |
| 363   | 8445          | Невский           | 14,00           | 0,42              | не обнаружено             | 196  | 1297  | 407  | 880   | 2,16  |
| 364   | 8445          | Невский           | 14,00           | 0,42              | не обнаружено             | 196  | 1297  | 407  | 908   | 2,23  |
| 365   | 6698          | Петроградский     | 21,80           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 298  | 2258  | 890  | 968   | 1,09  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F_b$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной k |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 366   | 6698          | Петроградский    | 21,80           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 298  | 2258  | 890  | 1020  | 1,15  |
| 367   | 5351          | Невский          | 25,40           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 633  | 2649  | 963  | 1260  | 1,31  |
| 368   | 5351          | Невский          | 25,40           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 625  | 2703  | 864  | 1260  | 1,46  |
| 369   | 5351          | Невский          | 25,40           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 629  | 2604  | 880  | 1260  | 1,43  |
| 370   | 3822          | ОАО ПК "Балтика" | 9,70            | 0,32              | НУТТЕ                     | 237  | 1082  | 225  | 350   | 1,56  |
| 371   | 3822          | ОАО ПК "Балтика" | 9,70            | 0,32              | НУТТЕ                     | 260  | 1029  | 265  | 650   | 2,45  |
| 372   | 3759          | Полюстрово       | 21,20           | 0,35              | ПБУ-50                    | 183  | 2398  | 427  | 314   | 0,74  |
| 373   | 3759          | Полюстрово       | 21,20           | 0,35              | ПБУ-50                    | 183  | 2398  | 427  | 494   | 1,16  |
| 374   | 3994          | Василеостровский | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 514  | 2084  | 768  | 1300  | 1,69  |
| 375   | 3994          | Василеостровский | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 514  | 2084  | 768  | 1460  | 1,90  |
| 376   | 5828          | Московский       | 18,00           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 364  | 2305  | 695  | 1193  | 1,72  |
| 377   | 5828          | Московский       | 18,00           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 364  | 2305  | 695  | 1100  | 1,58  |
| 378   | 5828          | Московский       | 19,00           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 364  | 2350  | 729  | 1050  | 1,44  |
| 379   | 7954          | о. Гладский      | 12,50           | 0,25              | Аллигатор                 | 109  | 734   | 120  | 133   | 1,11  |
| 380   | 7954          | о. Гладский      | 12,50           | 0,25              | Аллигатор                 | 109  | 734   | 120  | 133   | 1,11  |
| 381   | 6122          | Приморский       | 19,00           | 0,45              | KLEMM KR-709              | 522  | 2220  | 983  | 2100  | 2,14  |
| 382   | 6122          | Приморский       | 19,00           | 0,45              | KLEMM KR-709              | 522  | 2220  | 983  | 2100  | 2,14  |
| 383   | 6122          | Приморский       | 19,00           | 0,45              | KLEMM KR-709              | 522  | 2220  | 983  | 2100  | 2,14  |
| 384   | 6122          | Приморский       | 16,00           | 0,45              | KLEMM KR-709              | 323  | 1440  | 677  | 2100  | 3,10  |
| 385   | 6371          | Красносельский   | 12,60           | 0,45              | SR-30                     | 402  | 1742  | 843  | 1969  | 2,34  |
| 386   | 6371          | Красносельский   | 12,60           | 0,45              | SR-30                     | 402  | 1742  | 843  | 1950  | 2,31  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                           | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|---|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3   | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 387   | 6371          | Красносельский                            | 12,60           | 0,45              | SR-30                     | 402  | 1742  | 843  | 2126  | 2,52  |
| 388   | 5932          | Адмиралтейский                            | 22,00           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 324  | 2417  | 608  | 1360  | 2,24  |
| 389   | 5932          | Адмиралтейский                            | 22,00           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 325  | 2439  | 624  | 1360  | 2,18  |
| 390   | 5849          | Московский                                | 17,70           | 0,35              | НУТТЕ-203                 | 338  | 2012  | 602  | 420   | 0,70  |
| 391   | 5857<br>А     | Центральный                               | 19,30           | 0,35              | СБУ-100                   | 436  | 1920  | 692  | 600   | 0,87  |
| 392   | 3682          | Фрунзенский                               | 6,00            | 0,40              | БГМ-1                     | 38   | 850   | 166  | 306   | 1,85  |
| 393   | 3682          | Фрунзенский                               | 6,00            | 0,40              | БГМ-1                     | 38   | 850   | 164  | 344   | 2,10  |
| 394   | 3682          | Фрунзенский                               | 6,00            | 0,40              | ПБУ-50                    | 38   | 850   | 162  | 500   | 3,09  |
| 395   | 4320          | Приморский                                | 7,55            | 0,25              | СБУ-132                   | 257  | 1010  | 197  | 500   | 2,53  |
| 396   | 4933          | Выборгский                                | 21,60           | 0,41              | ЛБУ-50                    | 286  | 2302  | 725  | 1590  | 2,19  |
| 397   | 6142<br>А     | Центральный                               | 15,00           | 0,40              | СБУ-100ГТ                 | 282  | 1590  | 625  | 700   | 1,12  |
| 398   | 4648          | Юго-Запад жилой                           | 16,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 565  | 2155  | 912  | 1100  | 1,21  |
| 399   | 4648          | Юго-Запад жилой                           | 16,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 565  | 2155  | 912  | 1100  | 1,21  |
| 400   | 5116          | Кировский                                 | 21,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 534  | 2384  | 749  | 1210  | 1,62  |
| 401   | 5116          | Кировский                                 | 21,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 403  | 2399  | 695  | 1333  | 1,92  |
| 402   | 4199          | Центральный                               | 21,80           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 153  | 1450  | 321  | 750   | 2,34  |
| 403   | 5141          | Московский                                | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 667  | 2320  | 954  | 970   | 1,02  |
| 404   | 5141          | Московский                                | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 667  | 2320  | 954  | 970   | 1,02  |
| 405   | 4086          | г. Ломоносов,<br>Ленинградский<br>области | 16,50           | 0,35              | ПБУ-50                    | 203  | 1560  | 326  | 250   | 0,77  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 406   | 4854          | Невский           | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 187  | 1046  | 335  | 1000  | 2,99  |
| 407   | 4854          | Невский           | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 181  | 996   | 288  | 808   | 2,80  |
| 408   | 4854          | Невский           | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 187  | 1046  | 335  | 601   | 1,79  |
| 409   | 4854          | Невский           | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 266  | 1041  | 392  | 900   | 2,30  |
| 410   | 3934          | Московский        | 10,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 267  | 1495  | 389  | 800   | 2,06  |
| 411   | 3934          | Московский        | 10,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 267  | 1495  | 389  | 800   | 2,06  |
| 412   | 3867          | Московский        | 10,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 267  | 1495  | 389  | 649   | 1,67  |
| 413   | 8458          | г. Сестрорецк     | 18,50           | 0,40              | Casagrande                | 613  | 2620  | 1112   | 1500  | 1,35  |
| 414   | 8458          | г. Сестрорецк     | 18,50           | 0,40              | Casagrande                | 613  | 2620  | 1112   | 1500  | 1,35  |
| 415   | 4896          | Петроградский     | 16,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 388  | 2187  | 708  | 850   | 1,20  |
| 416   | 4896          | Петроградский     | 16,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 291  | 1050  | 403  | 850   | 2,11  |
| 417   | 3794          | Полюстрово        | 19,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 257  | 2398  | 537  | 593   | 1,10  |
| 418   | 3576          | г. Кириши         | 10,20           | 0,35              | УГБ-1-ВС                  | 283  | 1131  | 463  | 500   | 1,08  |
| 419   | 3554          | Всеволожский      | 8,20            | 0,46              | ПБУ-50                    | 216  | 1217  | 566  | 500   | 0,88  |
| 420   | 5463          | Калининский       | 20,90           | 0,45              | ЛБУ-50                    | 438  | 2060  | 952  | 1340  | 1,41  |
| 421   | 5463          | Калининский       | 20,90           | 0,45              | ЛБУ-50                    | 438  | 2060  | 952  | 1340  | 1,41  |
| 422   | 5463          | Калининский       | 20,90           | 0,45              | ЛБУ-50                    | 438  | 2060  | 952  | 1340  | 1,41  |
| 423   | 5463          | Калининский       | 20,90           | 0,45              | ЛБУ-50                    | 438  | 2060  | 952  | 1340  | 1,41  |
| 424   | 7233          | Приморский        | 23,57           | 0,45              | SoilMec SF-70             | 568  | 2657  | 1244   | 1800  | 1,45  |
| 425   | 7233          | Приморский        | 23,57           | 0,45              | SoilMec SF-70             | 534  | 2657  | 1207   | 1800  | 1,49  |
| 426   | 7233          | Приморский        | 23,57           | 0,45              | SoilMec SF-70             | 435  | 2647  | 1066   | 1800  | 1,69  |
| 427   | 6069          | Красногвардейский | 16,30           | 0,25              | SoilMec SM-400            | 226  | 1810  | 247  | 450   | 1,82  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                         | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|---|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                                       | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 428   | 6069          | Красногвардейский                       | 16,30           | 0,25              | SoilMec SM-400            | 226  | 1810  | 247  | 450   | 1,82  |
| 429   | 6061          | Фрунзенский                             | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 759  | 3000  | 1152   | 1450  | 1,26  |
| 430   | 6930          | Усть-Цилемского района. Республика Коми | 10,30           | 0,35              | Беркут                    | 208  | 1343  | 351  | 645   | 1,84  |
| 431   | 6930          | Усть-Цилемского района. Республика Коми | 11,30           | 0,35              | Беркут                    | 209  | 1440  | 404  | 600   | 1,49  |
| 432   | 6030          | Центральный                             | 25,30           | 0,40              | СБУ-100ГТ                 | 246  | 1595  | 523  | 1059  | 2,03  |
| 433   | 6080          | Кировский                               | 27,90           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 366  | 2089  | 763  | 1200  | 1,57  |
| 434   | 4227          | Калининский                             | 14,30           | 0,42              | ЛБУ-50                    | 178  | 1717  | 488  | 970   | 1,99  |
| 435   | 7070          | Ижорские заводы                         | 10,00           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 180  | 958   | 289  | 500   | 1,73  |
| 436   | 7070          | Ижорские заводы                         | 10,00           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 180  | 958   | 289  | 560   | 1,94  |
| 437   | 7797 А        | Центральный                             | 18,30           | 0,33              | МДТ                       | 255  | 1870  | 399  | 1000  | 2,51  |
| 438   | 4300          | Василеостровский                        | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 744  | 2982  | 1104   | 1000  | 0,91  |
| 439   | 4300          | Василеостровский                        | 20,80           | 0,35              | ПБУ-50                    | 742  | 2962  | 1103   | 1000  | 0,91  |
| 440   | 4300          | Василеостровский                        | 15,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 441  | 2130  | 681  | 1000  | 1,47  |
| 441   | 7369          | Выборский                               | 17,30           | 0,35              | Беркут                    | 341  | 2065  | 540  | 300   | 0,56  |
| 442   | 7378          | Шушары                                  | 20,00           | 0,45              | SOILMEC                   | 439  | 2280  | 1017   | 1380  | 1,36  |
| 443   | 7378 А        | Шушары                                  | 20,00           | 0,45              | SOILMEC                   | 439  | 2280  | 1017   | 1150  | 1,13  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                      | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                                    | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 444   | 7378 А        | Шушары                               | 20,00           | 0,45              | SOILMEC                   | 439  | 2280  | 1017   | 850   | 0,84  |
| 445   | 7378 А        | Шушары                               | 20,00           | 0,45              | SOILMEC                   | 439  | 2280  | 1017   | 1150  | 1,13  |
| 446   | 7378 А        | Шушары                               | 20,00           | 0,45              | SOILMEC                   | 439  | 2280  | 1017   | 1150  | 1,13  |
| 447   | 7414          | Петроградский                        | 22,00           | 0,42              | СБУ-100ГТ                 | 394  | 2500  | 886  | 1200  | 1,35  |
| 448   | 7409          | Курортный                            | 8,60            | 0,45              | SOILMEC                   | 187  | 1291  | 503  | 850   | 1,69  |
| 449   | 7409Б         | Курортный                            | 9,50            | 0,45              | SOILMEC                   | 148  | 703   | 366  | 850   | 2,32  |
| 450   | 7409 А        | Курортный                            | 9,00            | 0,45              | SOILMEC                   | 200  | 728   | 398  | 850   | 2,13  |
| 451   | 7420          | г. Кировск.<br>Ленинградская область | 10,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 199  | 640   | 307  | 425   | 1,38  |
| 452   | 7420 А        | г. Кировск.<br>Ленинградская область | 10,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 137  | 655   | 209  | 437   | 2,09  |
| 453   | 4672          | Парнас                               | 18,30           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 463  | 2100  | 797  | 1400  | 1,76  |
| 454   | 4041          | Адмиралтейский                       | 17,20           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 157  | 835   | 253  | 870   | 3,44  |
| 455   | 4547          | Выборгский                           | 21,80           | 0,40              | ПБУ-50                    | 243  | 1969  | 530  | 1400  | 2,64  |
| 456   | 4545          | Фрунзенский                          | 6,00            | 0,40              | СБУ-100ГТ                 | 180  | 920   | 379  | 350   | 0,92  |
| 457   | 4033          | г. Удомля,<br>Тверская обл.          | 8,50            | 0,35              | ПБУ-50                    | 166  | 1018  | 323  | 784   | 2,42  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания          | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|--------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                        | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 458   | 4033          | г. Удомля, Тверская обл. | 8,50            | 0,35              | ПБУ-50                    | 215  | 1003  | 331  | 900   | 2,72  |
| 459   | 4033          | г. Удомля, Тверская обл. | 8,50            | 0,35              | ПБУ-50                    | 215  | 1004  | 344  | 896   | 2,61  |
| 460   | 4033          | г. Удомля, Тверская обл. | 9,50            | 0,35              | ПБУ-50                    | 274  | 1060  | 389  | 400   | 1,03  |
| 461   | 4033          | г. Удомля, Тверская обл. | 9,50            | 0,35              | ПБУ-50                    | 274  | 1060  | 389  | 400   | 1,03  |
| 462   | 4020          | Невский                  | 14,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 413  | 1733  | 758  | 1100  | 1,45  |
| 463   | 4020          | Невский                  | 14,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 413  | 1733  | 758  | 921   | 1,21  |
| 464   | 5332          | Московский               | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 900   | 1,63  |
| 465   | 5332          | Московский               | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 900   | 1,63  |
| 466   | 8161          | Московский               | 19,50           | 0,45              | CFA                       | 402  | 1105  | 791  | 1840  | 2,33  |
| 467   | 8161          | Московский               | 19,50           | 0,45              | CFA                       | 402  | 1105  | 791  | 1840  | 2,33  |
| 468   | 8306 А        | Приморский               | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 408  | 2090  | 954  | 1710  | 1,79  |
| 469   | 8306 А        | Приморский               | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 478  | 1613  | 886  | 1710  | 1,93  |
| 470   | 8306 А        | Приморский               | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 478  | 1613  | 886  | 1710  | 1,93  |
| 471   | 8306 А        | Приморский               | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 510  | 1647  | 865  | 1710  | 1,98  |
| 472   | 8306 А        | Приморский               | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 510  | 1647  | 865  | 1710  | 1,98  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 473   | 8306 А        | Приморский        | 21,00           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 861  | 2460  | 1464   | 1710  | 1,17  |
| 474   | 8306          | Приморский        | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 505  | 2140  | 1028   | 1500  | 1,46  |
| 475   | 8306          | Приморский        | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 495  | 2100  | 978  | 1500  | 1,53  |
| 476   | 8306          | Приморский        | 17,50           | 0,45              | Casgrande CFA 425         | 495  | 2100  | 978  | 1710  | 1,75  |
| 477   | 4423          | Невский           | 18,30           | 0,55              | Soilmec CM-120            | 478  | 1660  | 1220   | 2388  | 1,96  |
| 478   | 4423          | Невский           | 22,30           | 0,55              | Soilmec CM-120            | 629  | 1988  | 1658   | 2208  | 1,33  |
| 479   | 5299          | Петроградский     | 16,90           | 0,25              | Беркут                    | 222  | 2070  | 280  | 500   | 1,78  |
| 480   | 4511          | Фрунзенский       | 10,30           | 0,40              | ПБУ-50                    | 293  | 1235  | 617  | 600   | 0,97  |
| 481   | 4511          | Фрунзенский       | 10,30           | 0,40              | ПБУ-50                    | 293  | 1235  | 617  | 600   | 0,97  |
| 482   | 4512          | Приморский        | 14,30           | 0,25              | СБУ-100ГТ                 | 354  | 1288  | 344  | 700   | 2,03  |
| 483   | 4029          | Красногвардейский | 8,30            | 0,35              | ЛБУ-50                    | 155  | 1442  | 308  | 200   | 0,65  |
| 484   | 4029          | Красногвардейский | 8,30            | 0,35              | ЛБУ-50                    | 155  | 1442  | 308  | 200   | 0,65  |
| 485   | 5296          | Фрунзенский       | 13,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 220  | 1293  | 405  | 731   | 1,80  |
| 486   | 5297          | Колпинский        | 10,50           | 0,30              | Беркут                    | 78   | 937   | 131  | 260   | 1,98  |
| 487   | 5297          | Колпинский        | 12,50           | 0,30              | Беркут                    | 114  | 935   | 166  | 228   | 1,37  |
| 488   | 8484          | Петроградский     | 13,00           | 0,35              | Беркут                    | 272  | 1423  | 431  | 600   | 1,39  |
| 489   | 8484          | Петроградский     | 13,00           | 0,35              | Беркут                    | 272  | 1423  | 431  | 600   | 1,39  |
| 490   | 8499          | Московский        | 23,90           | 0,67              | Delmag RH-32              | 511  | 2599  | 2091   | 2280  | 1,09  |
| 491   | 8499          | Московский        | 23,90           | 0,67              | Delmag RH-32              | 511  | 2599  | 2091   | 2280  | 1,09  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания   | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной k |
|-------|---------------|-------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                 | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 492   | 8499          | Московский        | 23,90           | 0,67              | Delmag RH-32              | 511  | 2599  | 2091   | 2280  | 1,09  |
| 493   | 8099          | Московский        | 28,00           | 0,55              | CFA                       | 871  | 3324  | 2396   | 2840  | 1,19  |
| 494   | 8099          | Московский        | 28,00           | 0,55              | CFA                       | 871  | 3324  | 2396   | 2840  | 1,19  |
| 495   | 4524          | Адмиралтейский    | 19,70           | 0,40              | ПБУ-50                    | 352  | 1683  | 698  | 950   | 1,36  |
| 496   | 5246          | Красногвардейский | 22,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 471  | 2710  | 752  | 1050  | 1,40  |
| 497   | 5246          | Красногвардейский | 22,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 545  | 2670  | 774  | 907   | 1,17  |
| 498   | 5546          | Приморский        | 24,80           | 0,45              | KLEMM KR-709-1            | 472  | 2770  | 1069   | 1840  | 1,72  |
| 499   | 5546          | Приморский        | 24,80           | 0,45              | KLEMM KR-709-1            | 472  | 2770  | 1069   | 1840  | 1,72  |
| 500   | 4470          | Выборгский        | 22,30           | 0,40              | ПБУ-50                    | 243  | 1968  | 529  | 1300  | 2,46  |
| 501   | 4387          | г. Колпино        | 12,20           | 0,35              | ПБУ-50                    | 95   | 1168  | 230  | 800   | 3,48  |
| 502   | 4387          | г. Колпино        | 12,20           | 0,35              | ПБУ-50                    | 95   | 1168  | 230  | 800   | 3,48  |
| 503   | 4349          | Выборгский        | 21,80           | 0,40              | ПБУ-50                    | 243  | 1968  | 529  | 1450  | 2,74  |
| 504   | 4349          | Выборгский        | 20,30           | 0,40              | ПБУ-50                    | 169  | 1866  | 422  | 1286  | 3,05  |
| 505   | 4342          | Центральный       | 14,60           | 0,15              | СБУ-132                   | 235  | 969   | 103  | 200   | 1,94  |
| 506   | 8285          | Шушары            | 8,70            | 0,42              | CFA                       | 281  | 1343  | 629  | 600   | 0,95  |
| 507   | 4371          | Московский        | 14,30           | 0,25              | СБУ-100ГТ                 | 241  | 1633  | 238  | 250   | 1,05  |
| 508   | 4352          | Красногвардейский | 10,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 261  | 1149  | 337  | 500   | 1,48  |
| 509   | 4352          | Красногвардейский | 10,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 261  | 1149  | 337  | 400   | 1,19  |
| 510   | 4411          | Центральный       | 12,30           | 0,35              | БМ-812                    | 263  | 1325  | 394  | 237   | 0,60  |
| 511   | 5578          | Калининский       | 22,50           | 0,55              | CFA                       | 725  | 2770  | 2258   | 1840  | 0,81  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                  | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F_b$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной k |
|-------|---------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 512   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 869  | 2885  | 1275   | 1245  | 0,98  |
| 513   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 779  | 2875  | 1238   | 1500  | 1,21  |
| 514   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 779  | 2875  | 1238   | 1142  | 0,92  |
| 515   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 896  | 2885  | 1299   | 1144  | 0,88  |
| 516   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 896  | 2885  | 1299   | 1188  | 0,91  |
| 517   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 896  | 2885  | 1299   | 1500  | 1,15  |
| 518   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 779  | 2875  | 1238   | 1150  | 0,93  |
| 519   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 896  | 2885  | 1299   | 1500  | 1,15  |
| 520   | 5023          | Московский                       | 23,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 779  | 2875  | 1238   | 1126  | 0,91  |
| 521   | 3432          | г. Кронштадт                     | 5,10            | 0,35              | ПБУ-50                    | 50   | 680   | 134  | 200   | 1,49  |
| 522   | 3430          | г. Приморске                     | 5,75            | 0,35              | БГМ-1                     | 100  | 1038  | 250  | 300   | 1,20  |
| 523   | 5063          | Красногвардейский                | 24,50           | 0,42              | SOILMEC SM-120            | 628  | 2700  | 1294   | 2130  | 1,65  |
| 524   | 5063          | Красногвардейский                | 24,50           | 0,42              | SOILMEC SM-120            | 628  | 2700  | 1294   | 2230  | 1,72  |
| 525   | 5063          | Красногвардейский                | 22,30           | 0,42              | SOILMEC SM-120            | 543  | 2436  | 1089   | 1740  | 1,60  |
| 526   | 5030          | Кировский                        | 18,30           | 0,35              | KLEMM KR 709-1            | 670  | 2080  | 746  | 950   | 1,27  |
| 527   | 5030          | Кировский                        | 18,30           | 0,35              | KLEMM KR 709-1            | 400  | 2050  | 661  | 1000  | 1,51  |
| 528   | 5105          | Центральный                      | 15,30           | 0,45              | KLEMM KR 709              | 78   | 847   | 240  | 730   | 3,04  |
| 529   | 4772          | Адмиралтейский                   | 23,30           | 0,35              | KLEMM KR 709              | 514  | 2600  | 751  | 1120  | 1,49  |
| 530   | 4772          | Адмиралтейский                   | 23,30           | 0,35              | KLEMM KR 709              | 389  | 2600  | 715  | 1070  | 1,50  |
| 531   | 4687          | г. Тихвин,<br>Ленинградской обл. | 7,80            | 0,40              | ПБУ-50                    | 183  | 1228  | 468  | 450   | 0,96  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания               | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность сваи по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность сваи $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|-------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                             | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 532   | 4687          | г. Тихвин, Ленинградской обл. | 4,30            | 0,40              | ПБУ-50                    | 121  | 975   | 255  | 250   | 0,98  |
| 533   | 3190          | Петроградский                 | 17,00           | 0,40              | БГМ-1                     | 241  | 1593  | 506  | 500   | 0,99  |
| 534   | 3190          | Петроградский                 | 17,00           | 0,40              | БГМ-1                     | 241  | 1593  | 506  | 500   | 0,99  |
| 535   | 3376          | Петроградский                 | 17,50           | 0,35              | ПБУ-50                    | 310  | 2025  | 508  | 920   | 1,81  |
| 536   | 3378          | Балтийский завод              | 24,30           | 0,25              | ПБУ-50                    | 259  | 2732  | 388  | 580   | 1,49  |
| 537   | 3477          | Петроградский                 | 17,30           | 0,35              | ПБУ-50                    | 310  | 1970  | 471  | 972   | 2,06  |
| 538   | 5369          | Калининский                   | 25,15           | 0,42              | СФА                       | 796  | 2800  | 1620   | 2040  | 1,26  |
| 539   | 5369          | Калининский                   | 25,20           | 0,42              | СФА                       | 571  | 2792  | 1126   | 1840  | 1,63  |
| 540   | 5369          | Калининский                   | 25,15           | 0,42              | СФА                       | 770  | 2770  | 1620   | 1840  | 1,14  |
| 541   | 5369          | Калининский                   | 25,15           | 0,42              | СФА                       | 595  | 2781  | 1154   | 1840  | 1,59  |
| 542   | 4039          | Петроградский                 | 16,00           | 0,25              | HUTTE H605                | 371  | 1754  | 364  | 425   | 1,17  |
| 543   | 5438          | Фрунзенский                   | 23,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 772  | 2650  | 1052   | 1205  | 1,14  |
| 544   | 5438          | Фрунзенский                   | 23,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 772  | 2650  | 1052   | 1205  | 1,14  |
| 545   | 5438          | Фрунзенский                   | 23,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 772  | 2650  | 1052   | 1205  | 1,14  |
| 546   | 5373          | Фрунзенский                   | 20,30           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 368  | 2301  | 821  | 1338  | 1,63  |
| 547   | 5373          | Фрунзенский                   | 20,30           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 432  | 2267  | 934  | 1177  | 1,26  |
| 548   | 5373          | Фрунзенский                   | 20,30           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 365  | 2246  | 825  | 1277  | 1,55  |
| 549   | 4286          | Красногвардейский             | 10,30           | 0,35              | СБУ-100                   | 152  | 1065  | 253  | 250   | 0,99  |
| 550   | 6535          | Петроградский                 | 15,55           | 0,35              | ЛБУ-50, МС-1200           | 222  | 1733  | 388  | 450   | 1,16  |
| 551   | 6535          | Петроградский                 | 15,55           | 0,35              | ЛБУ-50, МС-1200           | 222  | 1733  | 388  | 450   | 1,16  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина сваи L, м | Диаметр сваи D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 552   | 6504          | Приморский       | 14,30           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 476  | 1480  | 801  | 2030  | 2,54  |
| 553   | 6504          | Приморский       | 15,70           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 505  | 1679  | 1027   | 2030  | 1,98  |
| 554   | 6504          | Приморский       | 22,30           | 0,45              | Casagrande CFA 425        | 505  | 1679  | 1027   | 2220  | 2,16  |
| 555   | 6925 А        | Невский          | 25,01           | 0,45              | SoilMec SF-50             | 467  | 2393  | 1115   | 1300  | 1,17  |
| 556   | 5785          | Калининский      | 15,30           | 0,40              | Беркут                    | 401  | 1894  | 772  | 750   | 0,97  |
| 557   | 5785          | Калининский      | 15,30           | 0,40              | Беркут                    | 401  | 1894  | 772  | 750   | 0,97  |
| 558   | 5070          | Василеостровский | 26,30           | 0,40              | KLEMM KR-709              | 314  | 2170  | 756  | 1400  | 1,85  |
| 559   | 5070          | Василеостровский | 26,30           | 0,40              | KLEMM KR-709              | 314  | 2170  | 756  | 1460  | 1,93  |
| 560   | 5070          | Василеостровский | 26,30           | 0,40              | KLEMM KR-709              | 314  | 2170  | 756  | 820   | 1,08  |
| 561   | 6497          | Приморский       | 11,40           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 175  | 1360  | 292  | 250   | 0,86  |
| 562   | 6497          | Приморский       | 11,40           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 300  | 1410  | 410  | 250   | 0,61  |
| 563   | 5479          | Центральный      | 21,70           | 0,40              | ПБУ-50                    | 532  | 2036  | 1089   | 1350  | 1,24  |
| 564   | 5479          | Центральный      | 22,00           | 0,40              | ПБУ-50                    | 532  | 2036  | 1089   | 1350  | 1,24  |
| 565   | 5431          | Московский       | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 720   | 1,31  |
| 566   | 5431          | Московский       | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 720   | 1,31  |
| 567   | 5431          | Московский       | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 720   | 1,31  |
| 568   | 5431          | Московский       | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 720   | 1,31  |
| 569   | 5101          | Московский       | 21,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 771  | 2875  | 1226   | 1510  | 1,23  |
| 570   | 5101          | Московский       | 21,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 824  | 2885  | 1269   | 1300  | 1,02  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                              | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 571   | 5101          | Московский                     | 21,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 771  | 2875  | 1226   | 1260  | 1,03  |
| 572   | 5419          | Московский                     | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 379  | 2500  | 550  | 720   | 1,31  |
| 573   | 4812          | Калининский                    | 19,30           | 0,25              | KLEMM KR-709-1            | 69   | 1006  | 110  | 250   | 2,28  |
| 574   | 7470          | Пр. Ветеранов(Берег р. Новой)  | 7,60            | 0,35              | не обнаружено             | 198  | 869   | 277  | 600   | 2,16  |
| 575   | 7470          | Пр. Ветеранов(Берег р. Новой)  | 7,60            | 0,35              | не обнаружено             | 198  | 869   | 277  | 700   | 2,52  |
| 576   | 7462          | г. Кировск, Ленинградская обл. | 10,70           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 137  | 655   | 205  | 446   | 2,17  |
| 577   | 5753          | Петроградский                  | 13,80           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 272  | 1675  | 527  | 1181  | 2,24  |
| 578   | 5753          | Петроградский                  | 16,10           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 413  | 1880  | 670  | 1300  | 1,94  |
| 579   | 5753          | Петроградский                  | 16,10           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 395  | 1880  | 696  | 1350  | 1,94  |
| 580   | 5753          | Петроградский                  | 13,90           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 429  | 1716  | 694  | 910   | 1,31  |
| 581   | 5792          | Московский                     | 15,20           | 0,35              | HUTTE-203                 | 156  | 1073  | 289  | 420   | 1,45  |
| 582   | 5792          | Московский                     | 15,20           | 0,35              | HUTTE-203                 | 123  | 1073  | 275  | 420   | 1,53  |
| 583   | 5069          | Невский                        | 15,30           | 0,35              | СБУ-100ГТ                 | 173  | 1734  | 323  | 580   | 1,80  |
| 584   | 5732          | Московский                     | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 325  | 2500  | 534  | 750   | 1,40  |
| 585   | 5732          | Московский                     | 22,30           | 0,35              | KLEMM KR-709              | 325  | 2500  | 534  | 930   | 1,74  |
| 586   | 7240          | Красногвардейский              | 12,50           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 53   | 717   | 176  | 400   | 2,27  |
| 587   | 7240          | Красногвардейский              | 12,50           | 0,40              | ЛБУ-50                    | 53   | 717   | 176  | 400   | 2,27  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания                      | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum F$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|--------------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                                    | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 588   | 7535          | Ломоносовский район, г. Сосновый Бор | 13,20           | 0,42              | SOILMEC                   | 433  | 1653  | 815  | 1800  | 2,21  |
| 589   | 7535          | Ломоносовский район, г. Сосновый Бор | 12,70           | 0,42              | SOILMEC                   | 442  | 1778  | 796  | 1461  | 1,84  |
| 590   | 4743          | Московский                           | 23,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 590  | 2800  | 1084   | 1100  | 1,01  |
| 591   | 4743          | Московский                           | 23,80           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 590  | 2800  | 1084   | 1100  | 1,01  |
| 592   | 5381          | Приморский                           | 23,80           | 0,45              | БМ-818                    | 667  | 2650  | 1505   | 900   | 0,60  |
| 593   | 7487 А        | Ломоносовский обл. г. Сосновый Бор   | 13,15           | 0,42              | SOILMEC                   | 556  | 1810  | 909  | 1800  | 1,98  |
| 594   | 7487 А        | Ломоносовский обл. г. Сосновый Бор   | 14,20           | 0,42              | SOILMEC                   | 629  | 1910  | 983  | 1800  | 1,83  |
| 595   | 7487          | Ломоносовский обл. г. Сосновый Бор   | 10,30           | 0,42              | SOILMEC                   | 339  | 1480  | 667  | 1827  | 2,74  |
| 596   | 7487          | Ломоносовский обл. г. Сосновый Бор   | 12,00           | 0,42              | SOILMEC                   | 514  | 1725  | 837  | 1800  | 2,15  |
| 597   | 4973          | Невский                              | 19,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 427  | 1824  | 668  | 1210  | 1,81  |
| 598   | 4973          | Невский                              | 19,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 381  | 1819  | 667  | 1500  | 2,25  |
| 599   | 4973          | Невский                              | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 405  | 1788  | 626  | 1210  | 1,93  |

Продолжение таблицы А.3

| № п/п | № отчета ПКТИ | Район испытания  | Длина свай L, м | Диаметр свай D, м | Тип бурового оборудования | Сумма сопротивления по боковой поверхности свай $\sum f$ , кПа | Расчетное сопротивление под острием свай R, кПа | Несущая способность свай по расчету $F_d$ , кН | Фактическая несущая способность свай $F_u$ , кН | Отношение фактической несущей способности к расчетной $k$ |
|-------|---------------|------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|--|---|--|---|---|
| 1     | 2             | 3                | 4               | 5                 | 6                         | 7  | 8   | 9  | 10  | 11  |
| 600   | 4973          | Невский          | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 404  | 1757  | 604  | 1120  | 1,86  |
| 601   | 4973          | Невский          | 18,30           | 0,35              | ЛБУ-50                    | 442  | 1784  | 671  | 1210  | 1,80  |
| 602   | 6918          | Петродворцовый   | 9,30            | 0,35              | Беркут                    | 300  | 1317  | 443  | 700   | 1,58  |
| 603   | 6918          | Петродворцовый   | 9,30            | 0,35              | Беркут                    | 330  | 1277  | 415  | 700   | 1,69  |
| 604   | 5731          | Василеостровский | 22,30           | 0,40              | KLEMM KR-709              | 645  | 2500  | 1066   | 1500  | 1,41  |
| 605   | 5731          | Василеостровский | 22,30           | 0,40              | KLEMM KR-709              | 645  | 2500  | 1066   | 1500  | 1,41  |