

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

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ	12
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
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БУРОВЫХ СВАЙ.....	30
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

ГЛАВА 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ.....	59
3.1 Методы статистической обработки данных	59
3.2 Анализ результатов полевых испытаний буровых свай на вертикальную 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 свай.....	70
3.3 Исследование сопротивления песчаных и глинистых грунтов для буровых свай глубокого заложения.....	73
3.4 Выводы по третьей главе	76
ГЛАВА 4. ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	78
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 соотношений фактических и теоретических параметров исследованных свай	89
4.3.3 Определение несущей способности свай по результатам статических полевых испытаний.....	90
4.4 Численное моделирование свайного фундамента.....	92
4.5 Выводы по четвертой главе	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	98
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	113

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].

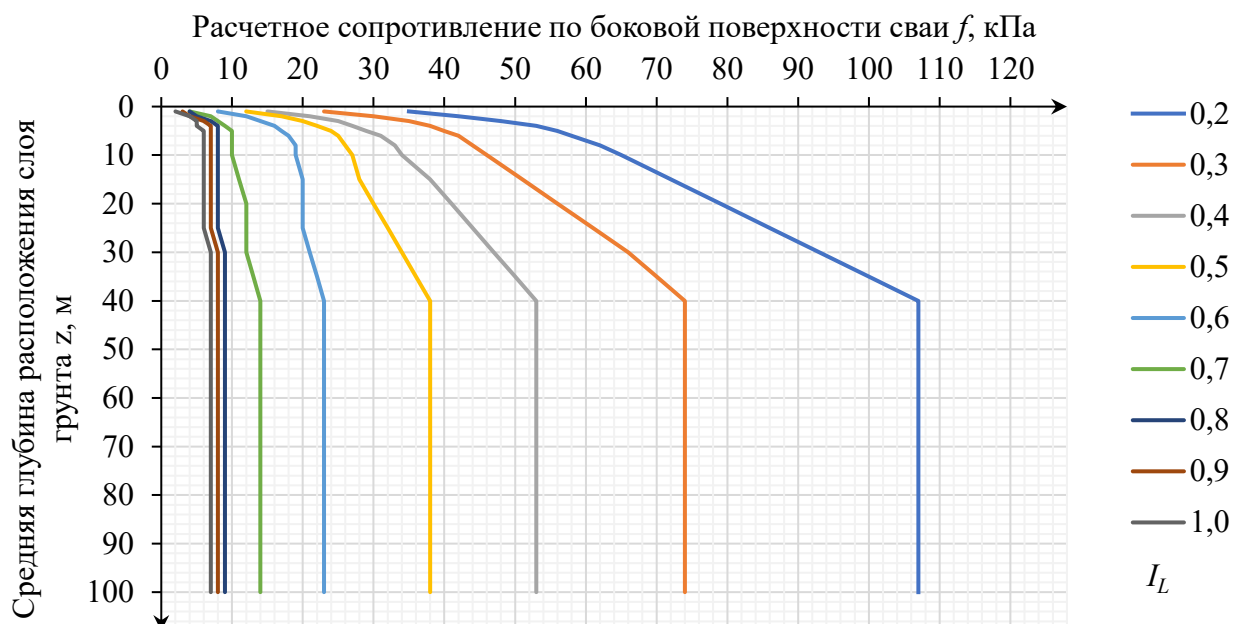


Рисунок 1.1.1. Зависимость расчетного сопротивления грунтов по боковой поверхности сваи от глубины расположения слоя Z и показателя текучести I_L

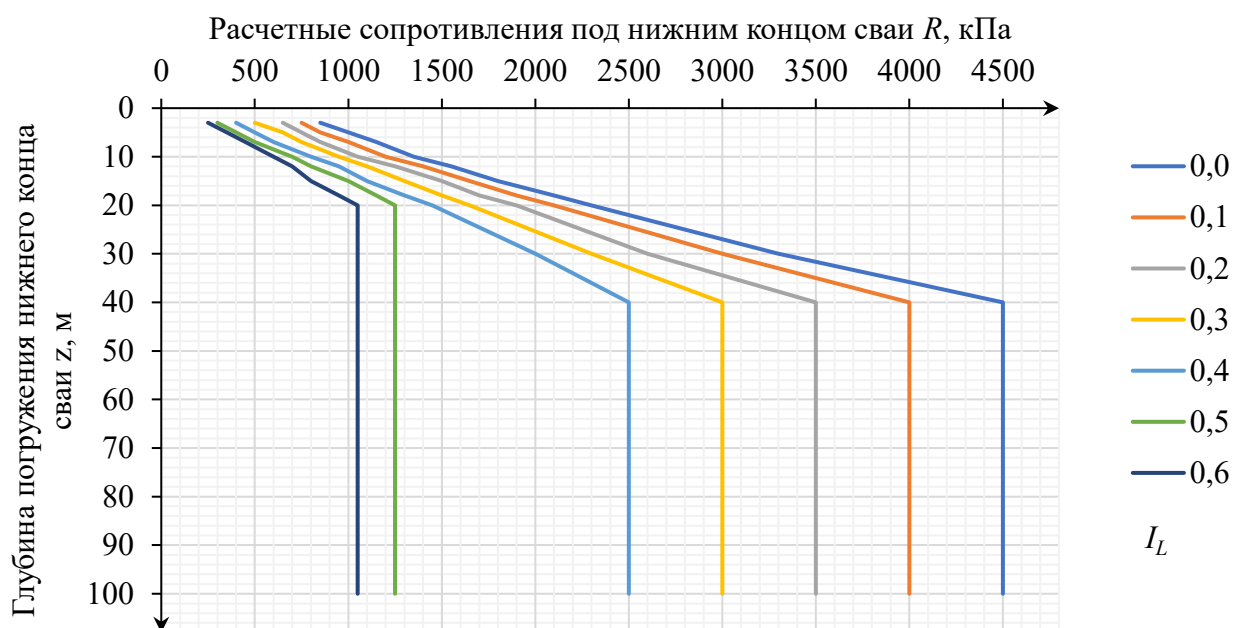


Рисунок 1.1.2. Зависимость расчетного сопротивления грунтов под нижним концом сваи от глубины расположения слоя Z и показателя текучести I_L

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;
- буруинъекционные 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 – 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 – Супеси и глины твердые – 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].

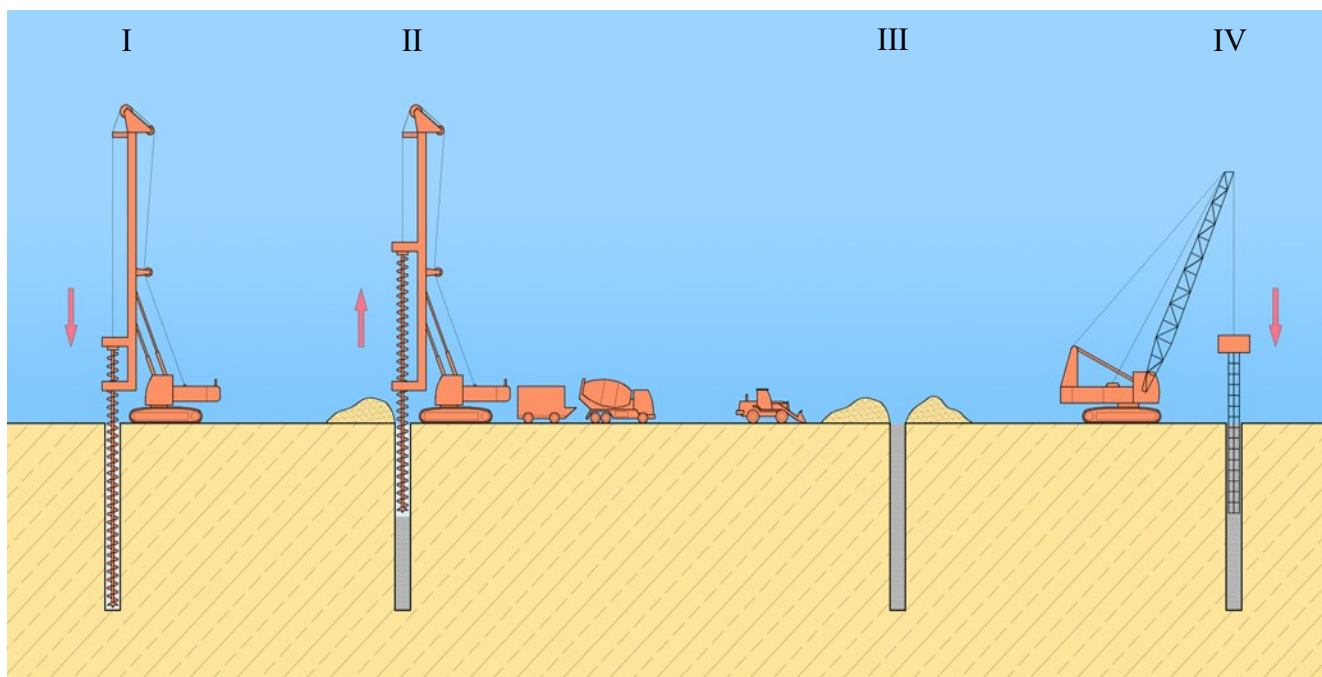


Рисунок 1.2.1. Технологическая схема устройства свай проходным шнеком
 I – бурение грунта колонной полых шнеков; II – заполнение скважины бетоном через колонну шнеков с помощью бетононасоса; III – уборка выбуренного грунта с устья скважины; IV – установка аромкаркаса в скважину с помощью вибропогружателя

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].

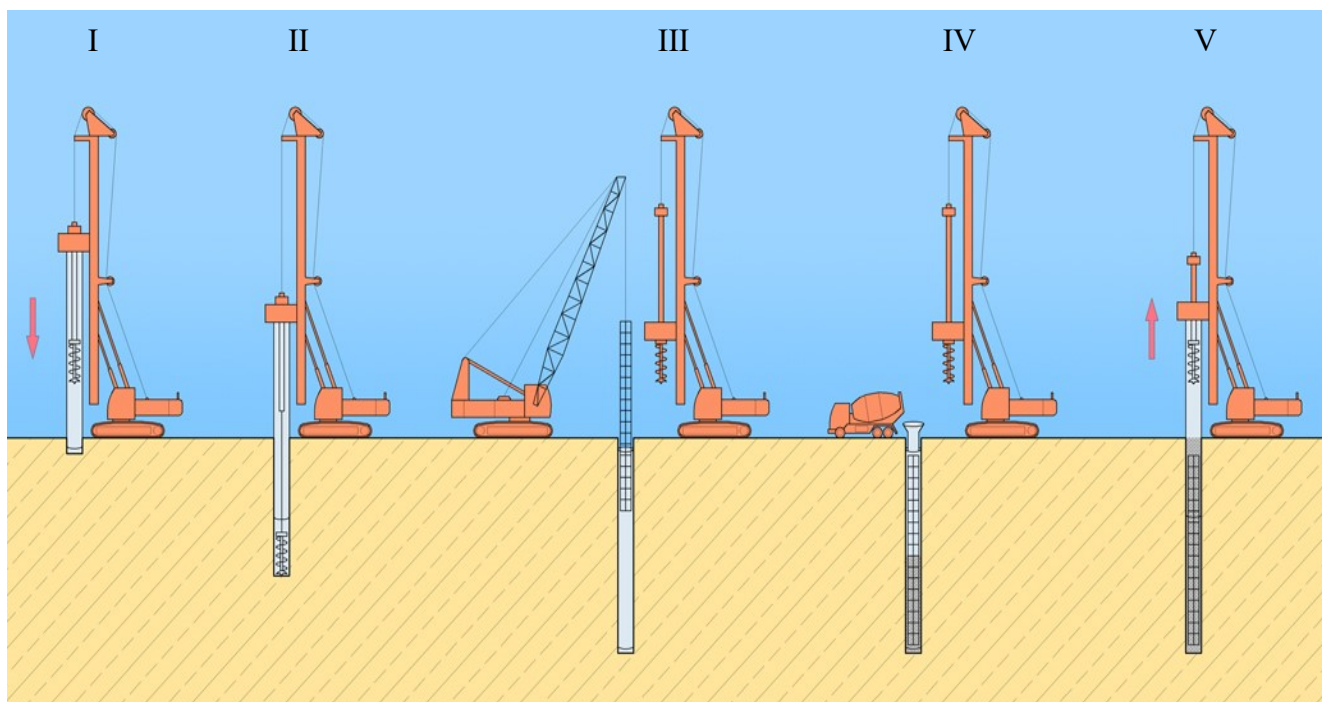


Рисунок 1.2.2. Технологическая схема устройства свай под защитой обсадной трубы

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/см³. 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].

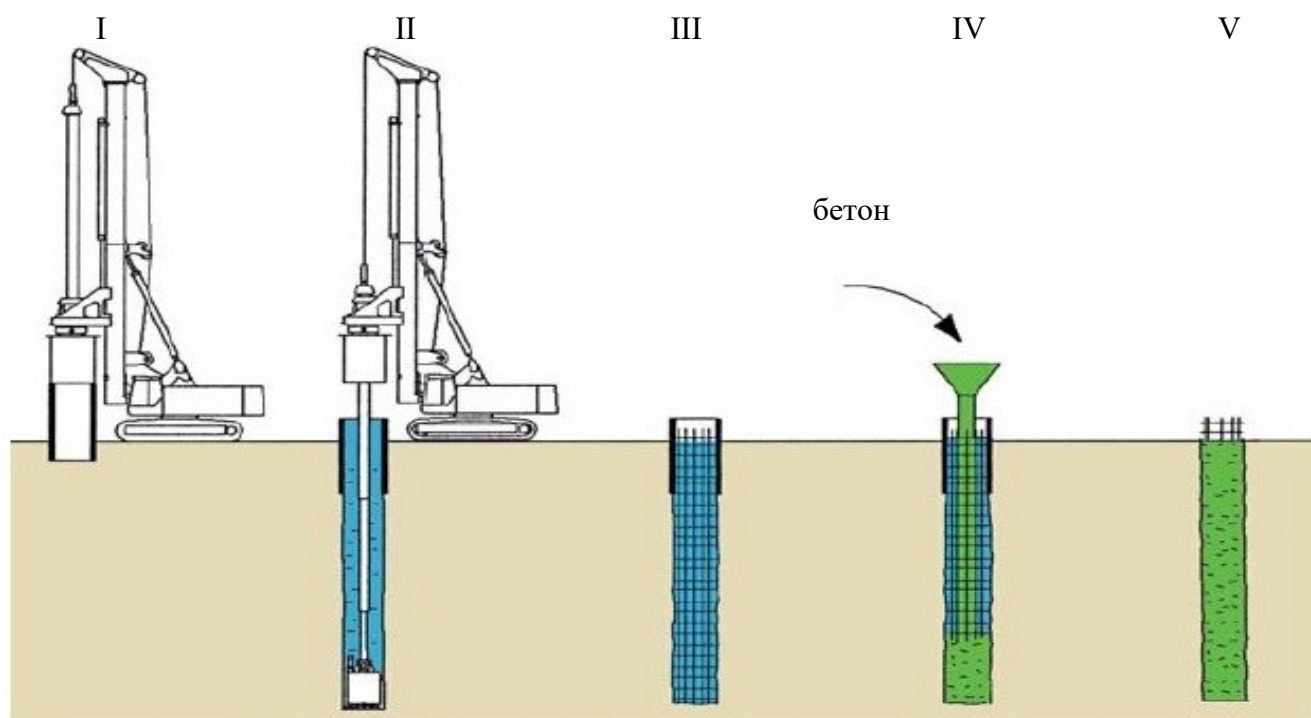


Рисунок 1.2.3. Технологическая схема устройства свай под защитой глинистого раствора

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».

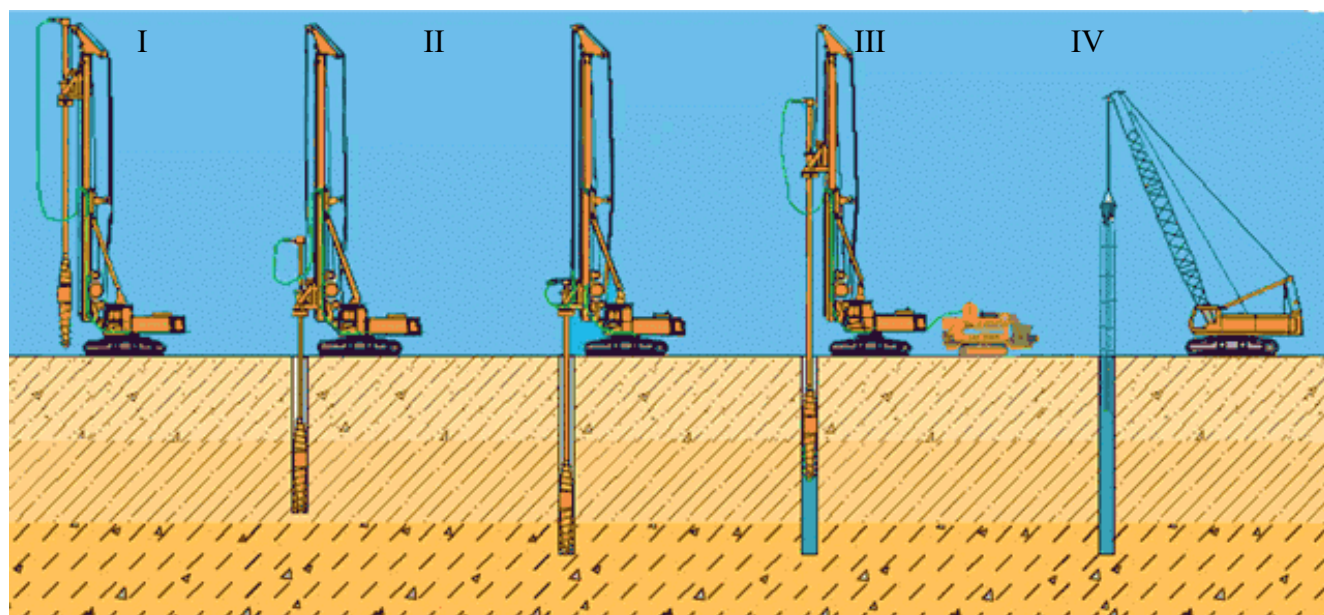


Рисунок 1.2.5. Технологическая схема устройства свай DDS [48], [49]

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».

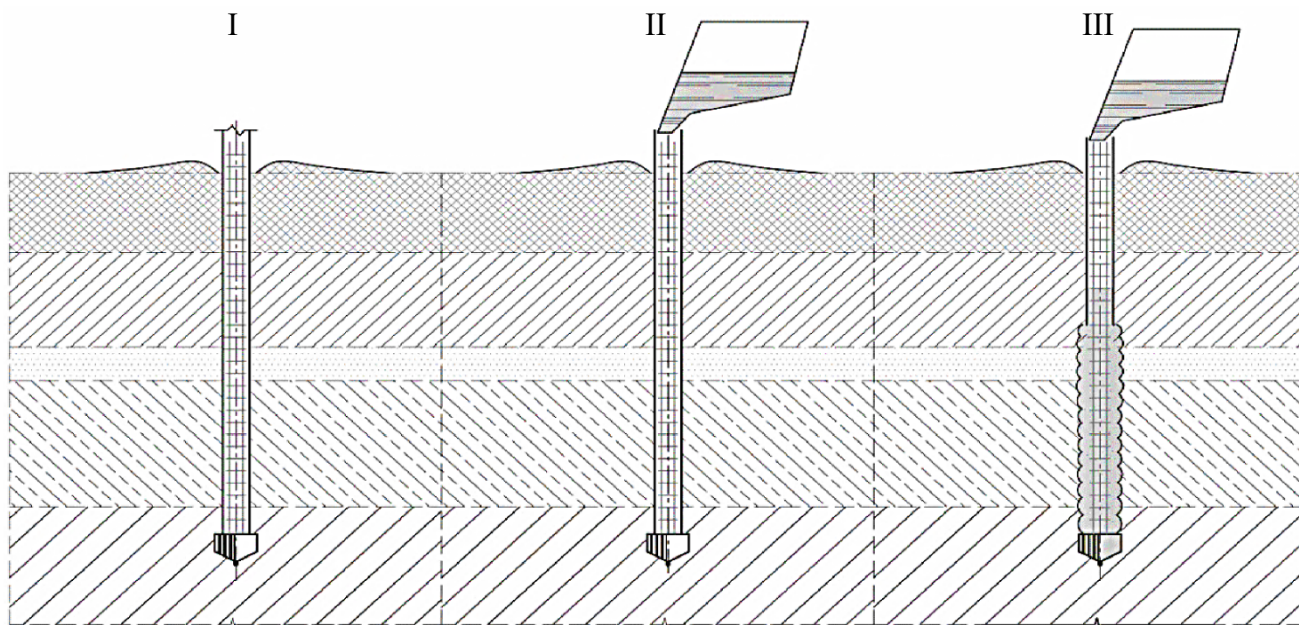


Рисунок 1.2.6. Технологическая схема устройства свай Фундекс

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».

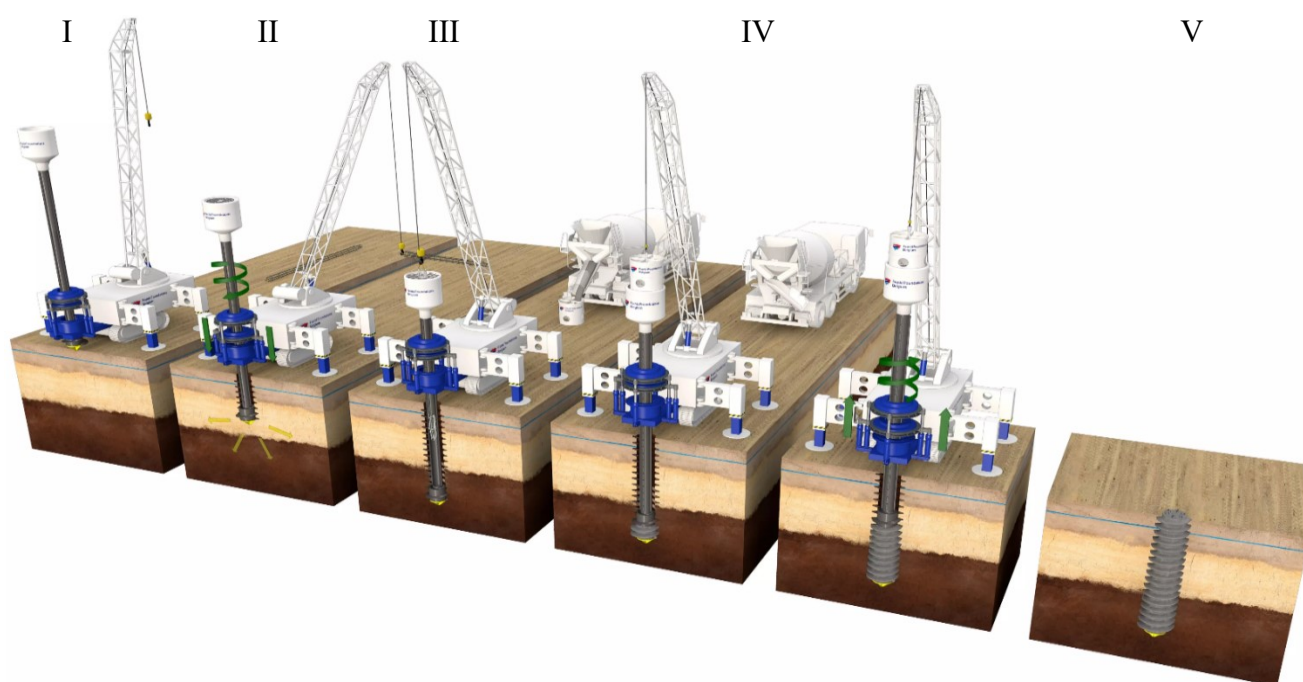


Рисунок 1.2.7. Технологическая схема устройства свай Атлас

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 Δr [23]:

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

где ν – 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.

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

E – модуль деформации грунта, кПа.

Зная изменение радиуса Δr , 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, м³; 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.

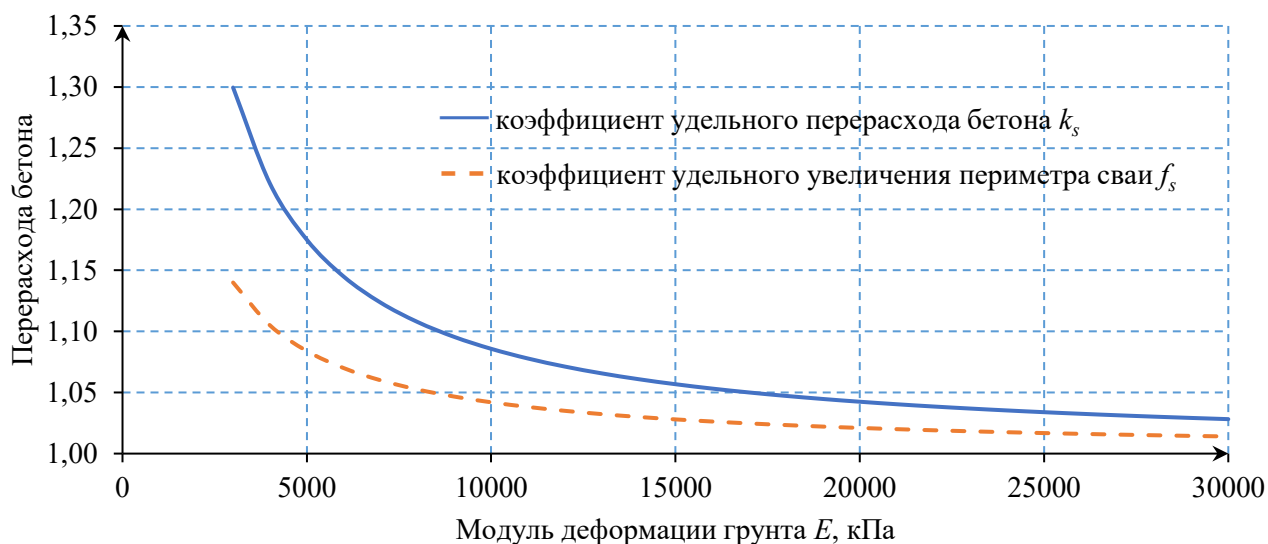


Рисунок 1.3.1. График распределения коэффициентов перерасхода бетона и коэффициента удельного увеличения периметра сваи в зависимости от модуля деформации грунта

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 1.3.2¹.

¹ 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.

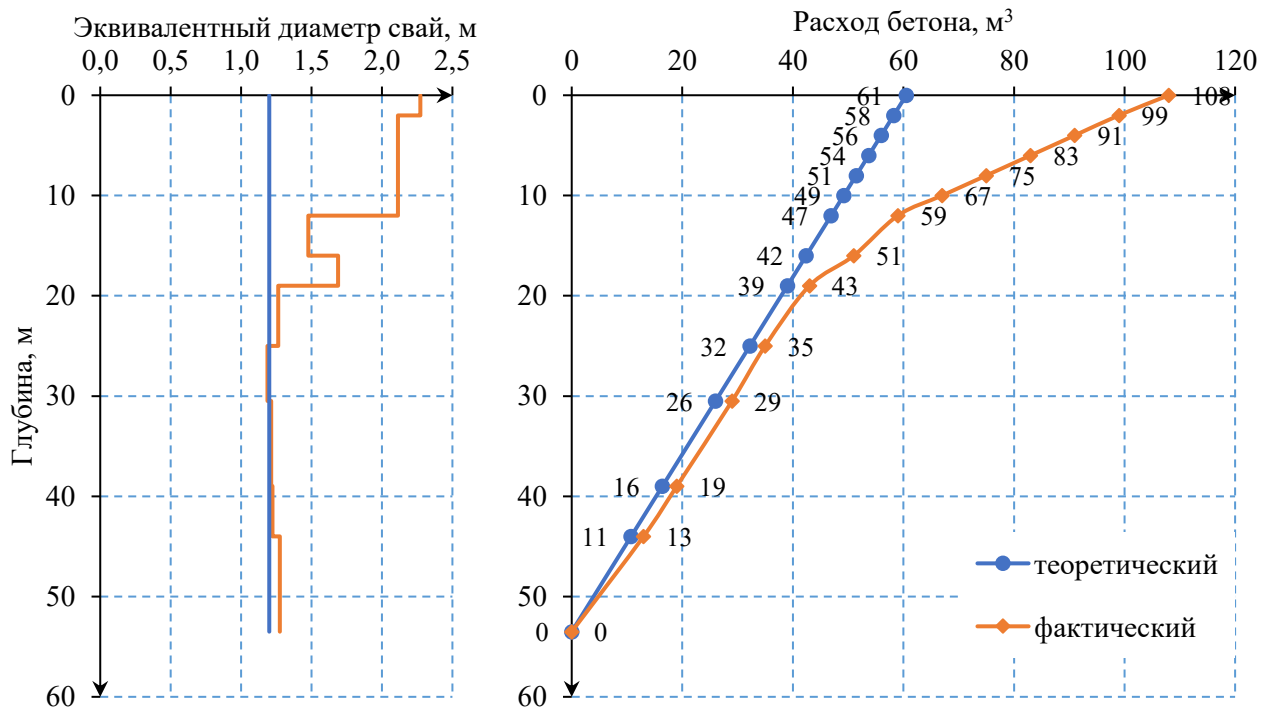


Рисунок 1.3.2. График изменения эквивалентного диаметра свай по глубине и расхода бетона при устройстве буровой свай диаметром 1200 мм

Таким образом объем уложенного бетона в захватку составил: 108 м³. 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).

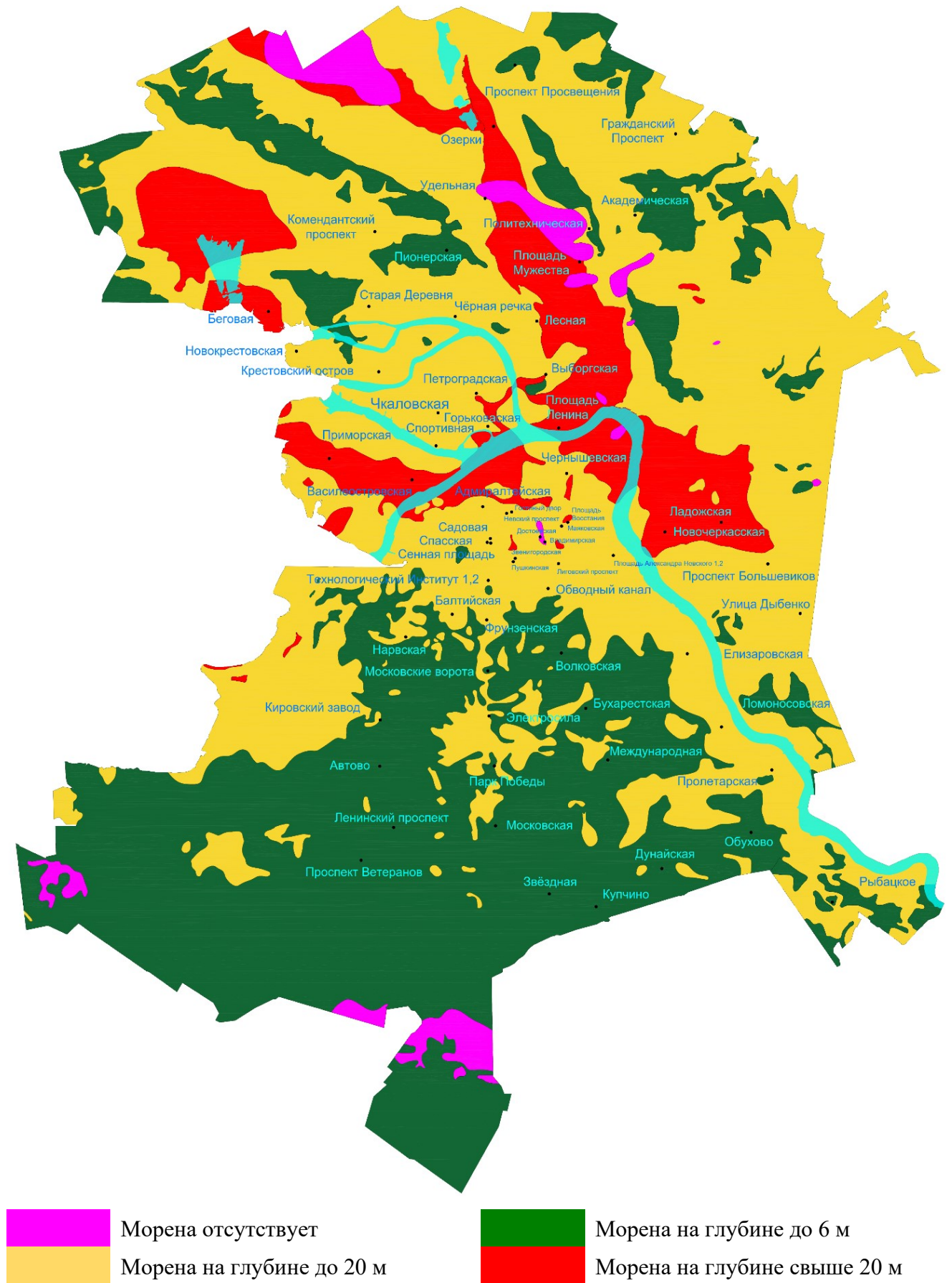


Рисунок 2.1.1. Схематичная карта Санкт-Петербурга с цветовым отображением глубины залегания кровли ледниковых моренных отложений

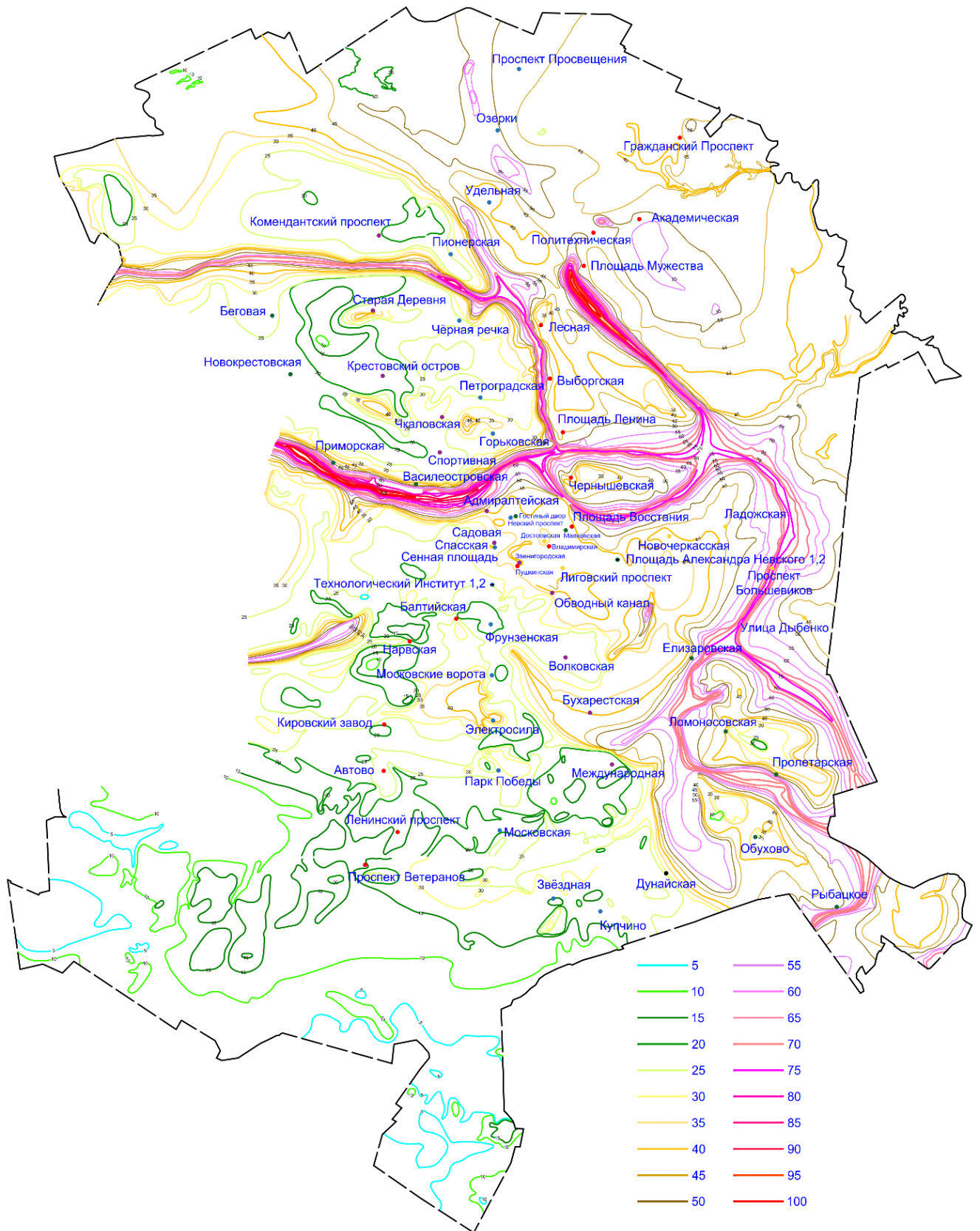


Рисунок 2.1.2. Схематичная карта Санкт-Петербурга с изолиниями глубины залегания кровли дочетвертичных вендских отложений

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	γ , кН/м ³	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	φ , °	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:

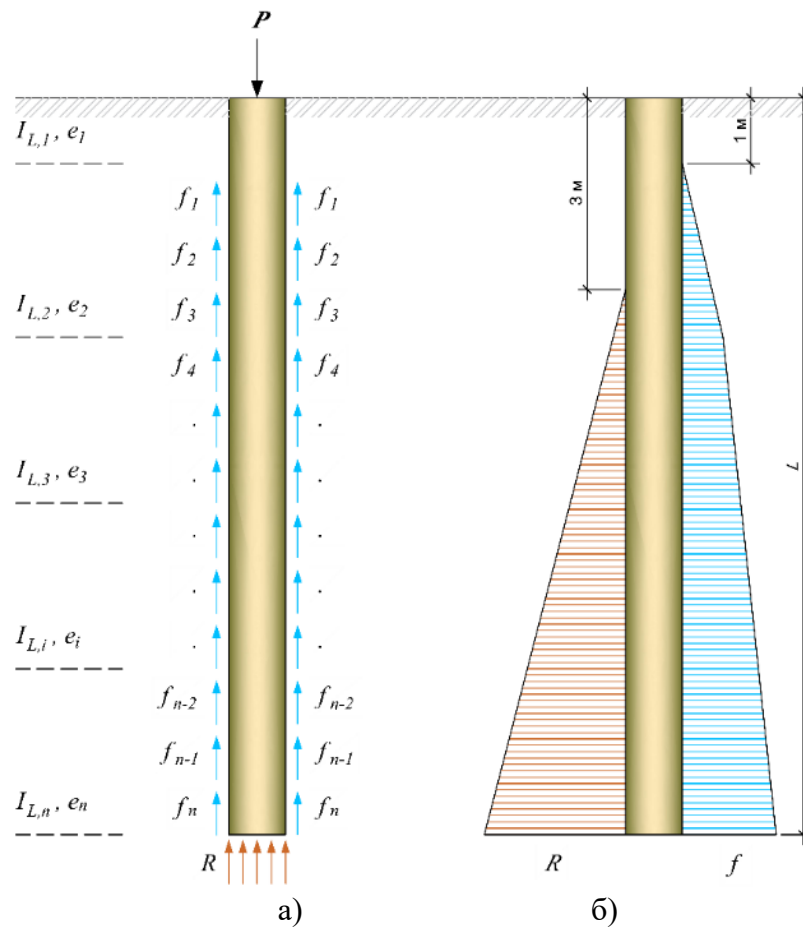


Рисунок 2.2.2. Расчетная схема при определении несущей способности по грунту сваи (а) и эпюр сопротивления грунтов по боковой поверхности и под острием свай (б)

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 φ 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.

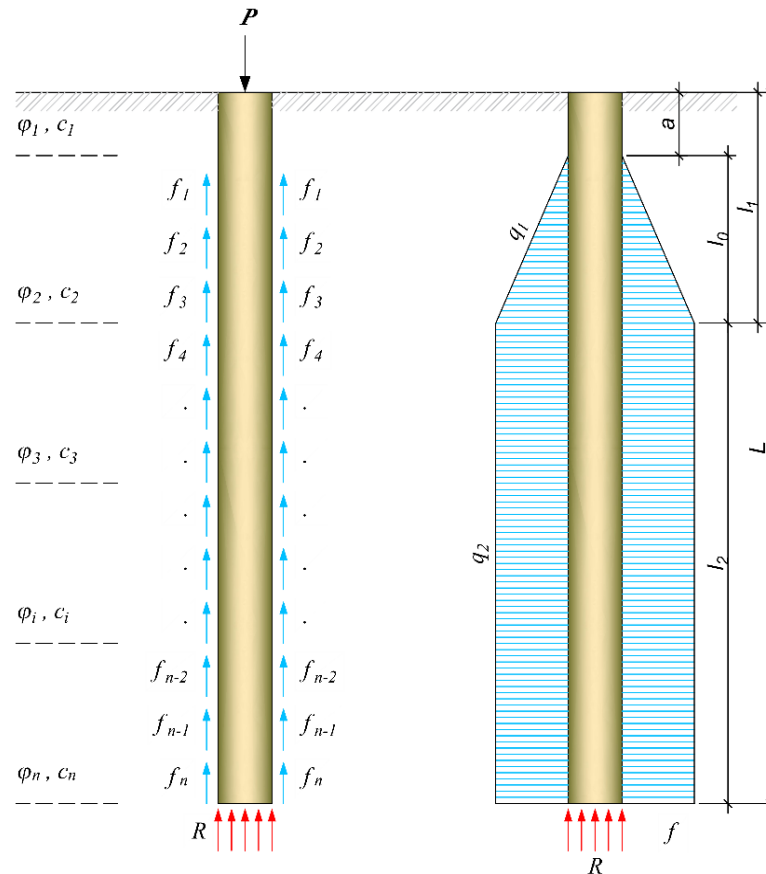


Рисунок 2.2.3. Расчетная схема при определении несущей способности сваи по прочностным характеристикам грунта

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.

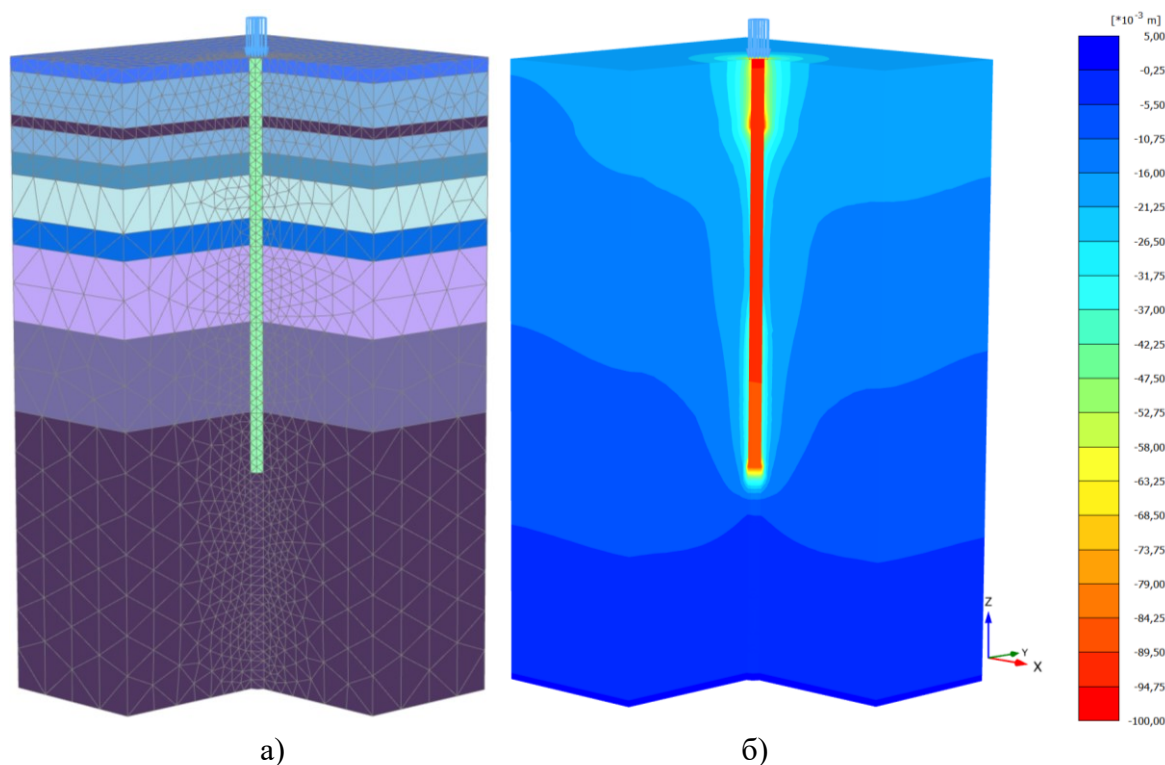


Рисунок 2.3.1. Численное моделирование для определения несущей способности свай под статическими нагрузками

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.

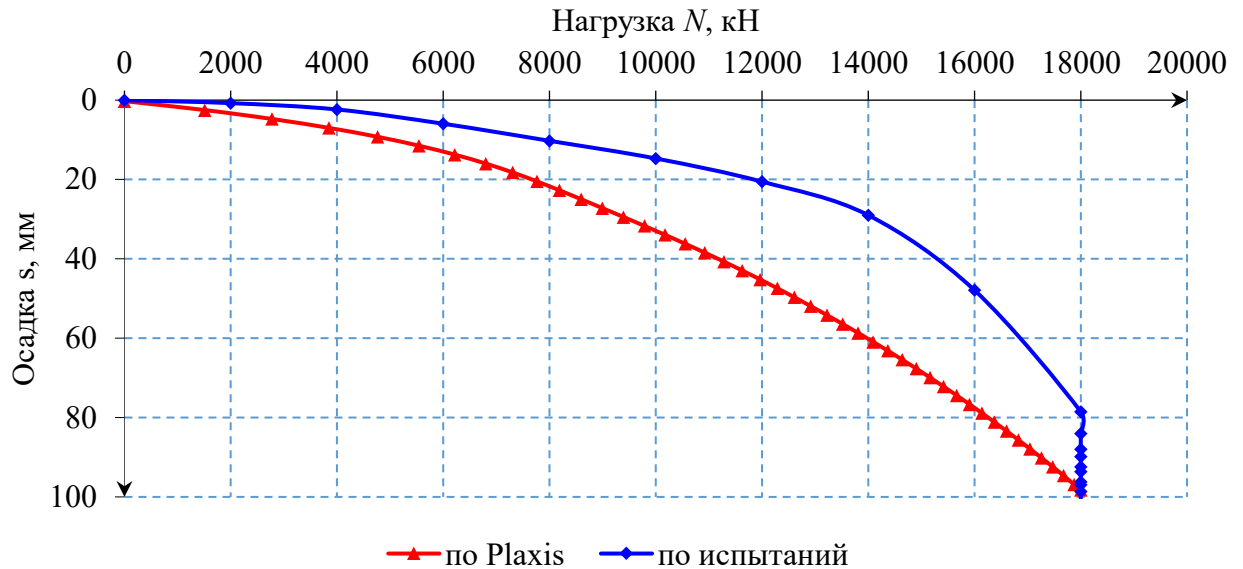


Рисунок 2.3.2. График «нагрузка-осадка» по результатам численного моделирования

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).

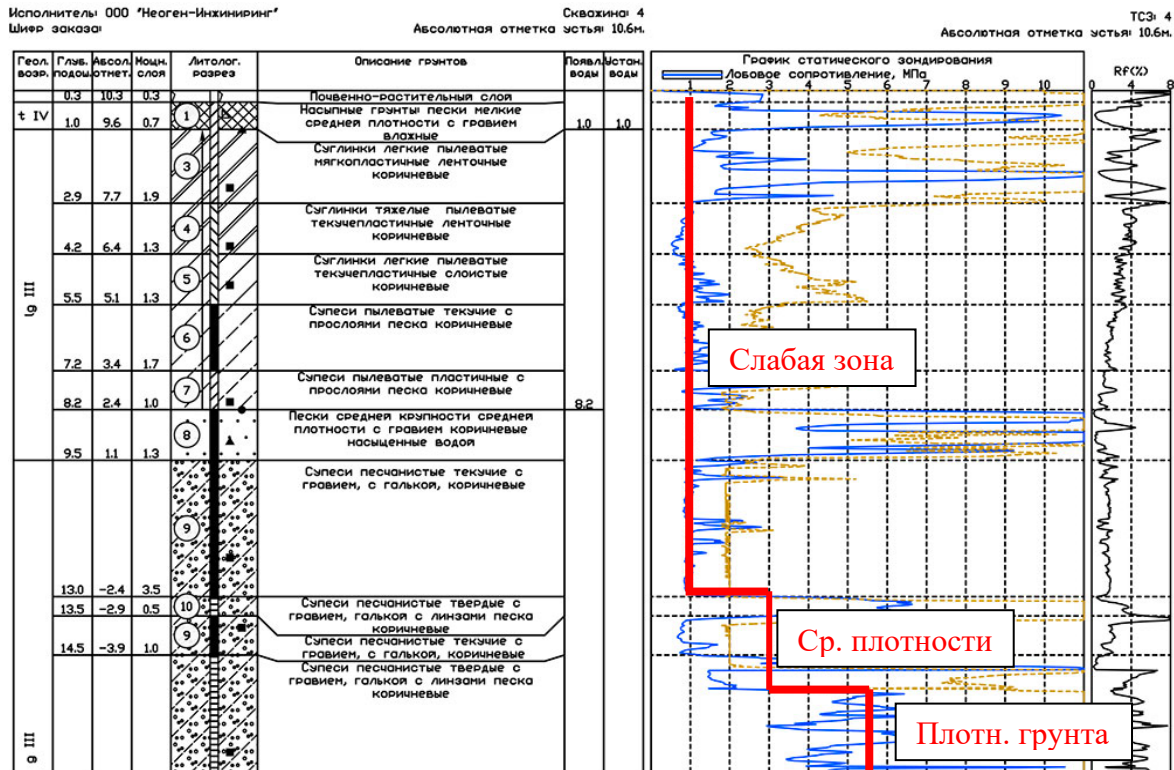


Рисунок 2.4.1. Схема обработки результатов зондирования основания по глубине

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 сваи.

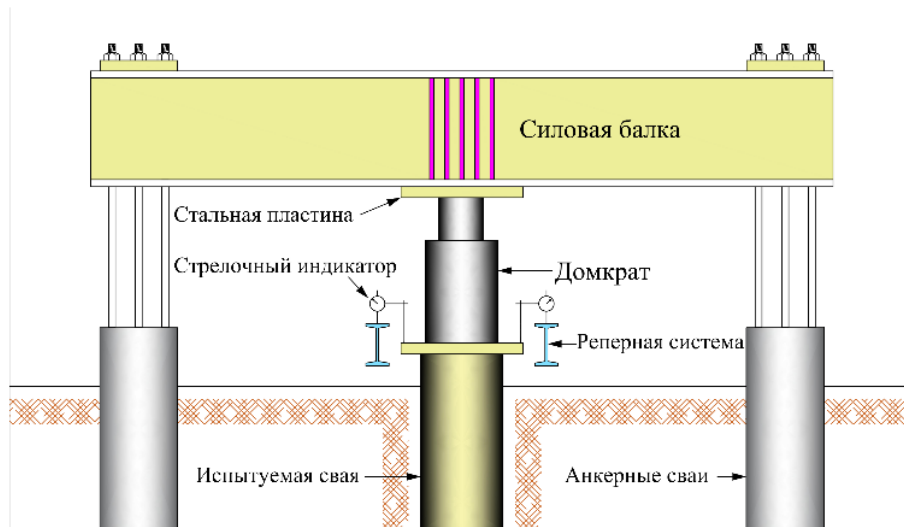
В состав установки для испытания грунтов сваями статическими вдавливающими нагрузками должны входить:

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)

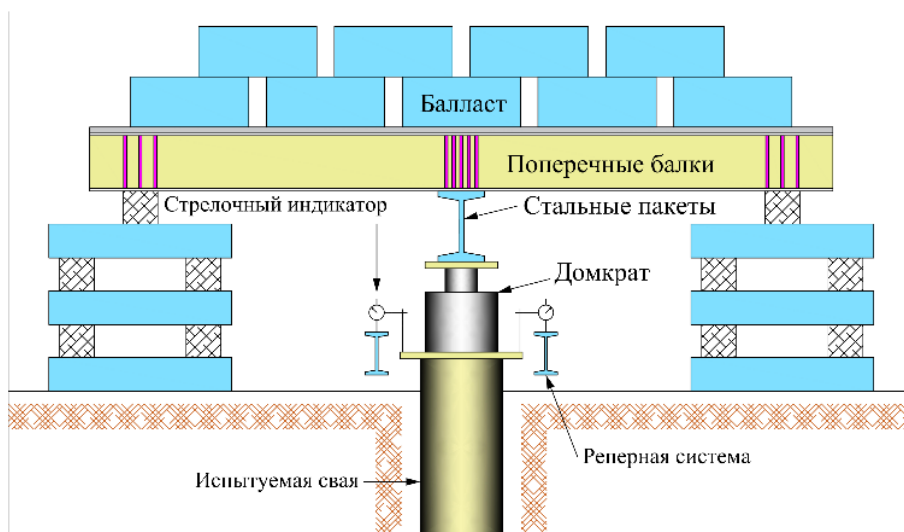


Рисунок 2.5.1. Схема установки статической испытательной сваи

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.

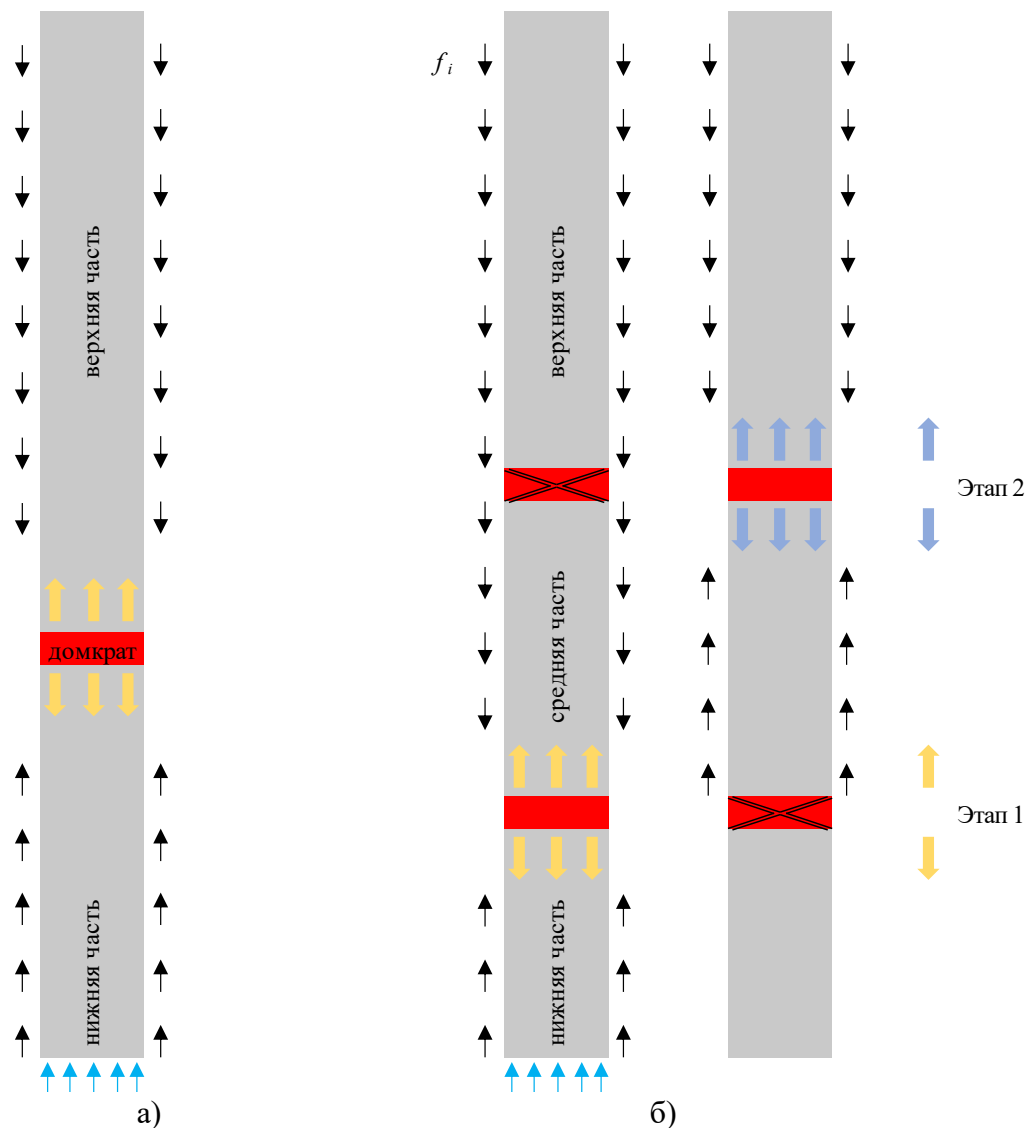


Рисунок 2.5.3. Схема полевых испытаний буровых свай с высокой несущей способностью методом Остерберга

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

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

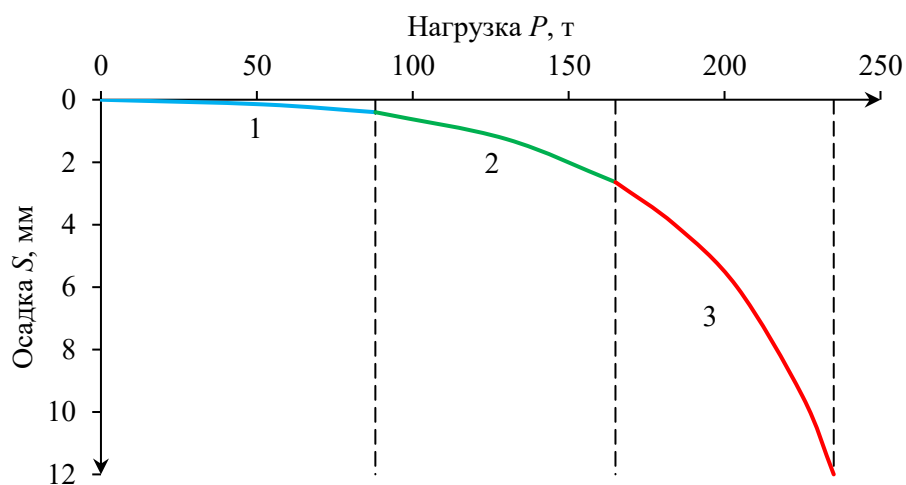
Этап 1 – На нижнюю силовую ячейку подавалось давление для определения лобового сопротивления пяты сваи и силы трения по боковой поверхности сваи.

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.

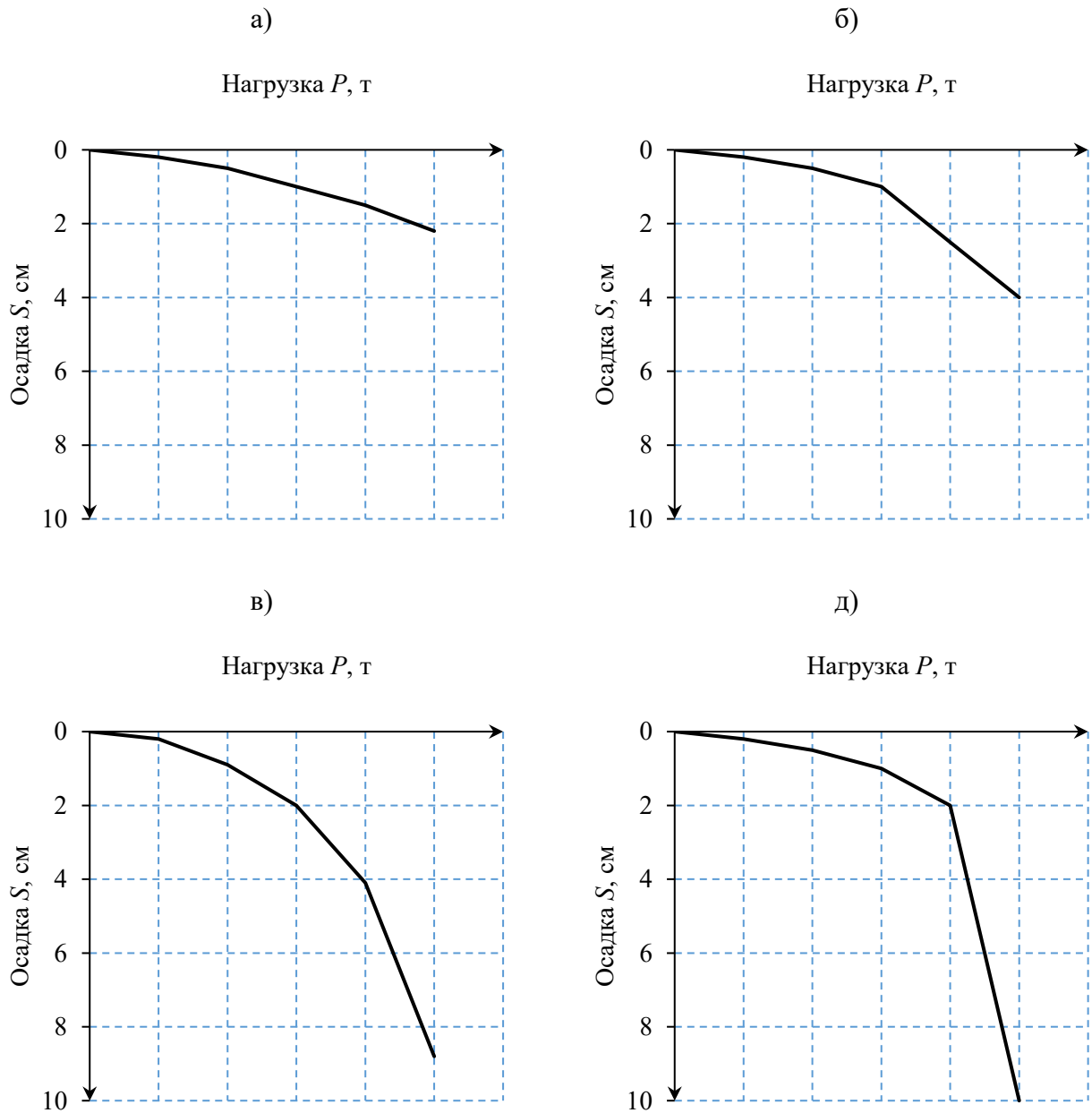


Рисунок 2.5.5. Типовые графики зависимостей «нагрузка-осадка»

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.

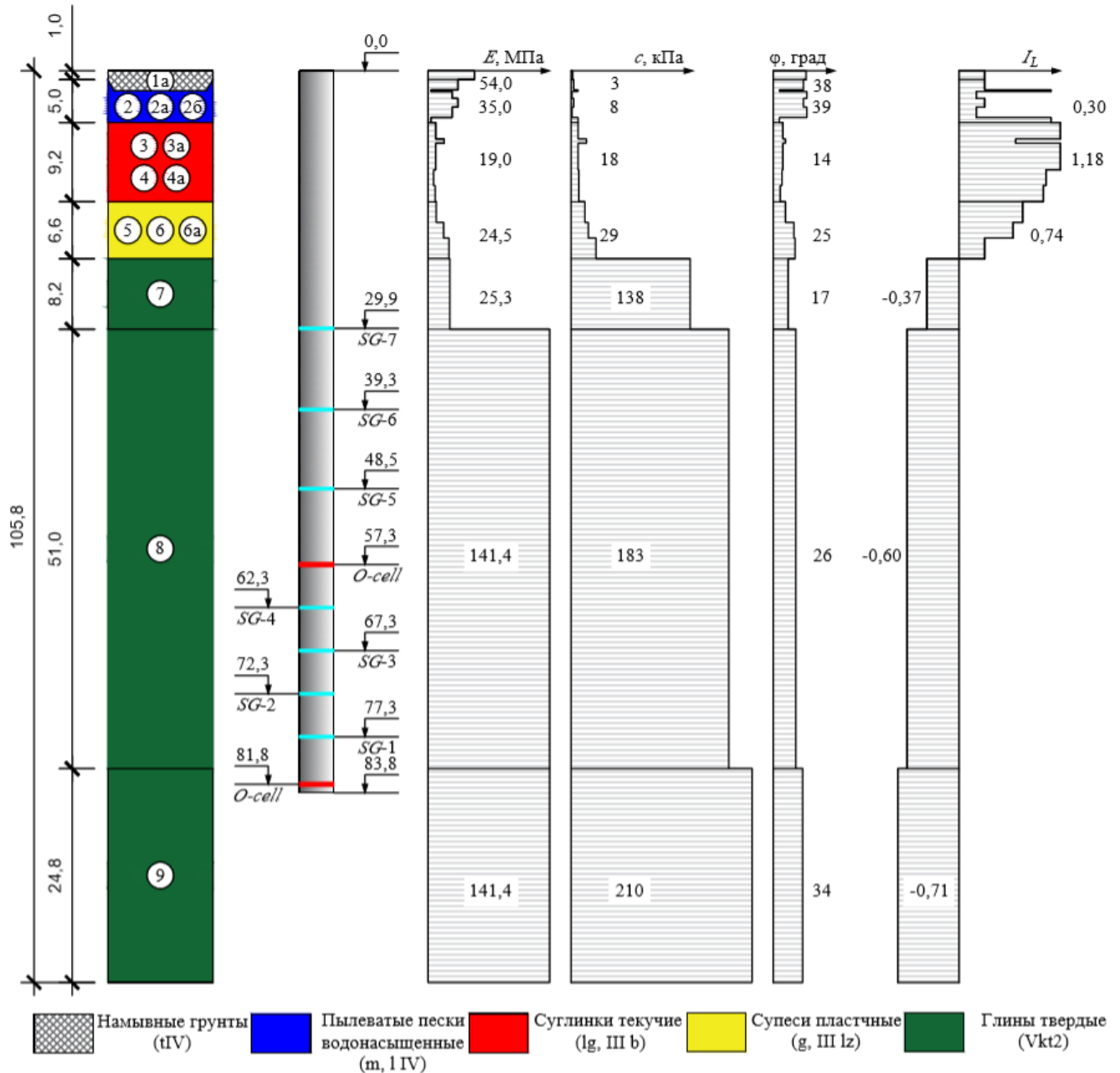


Рисунок 2.6.1. Инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки и местами расположения силовых ячеек в свае [13], [33], [86]

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 ²	–

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;

² 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 свай 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 Δ_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.

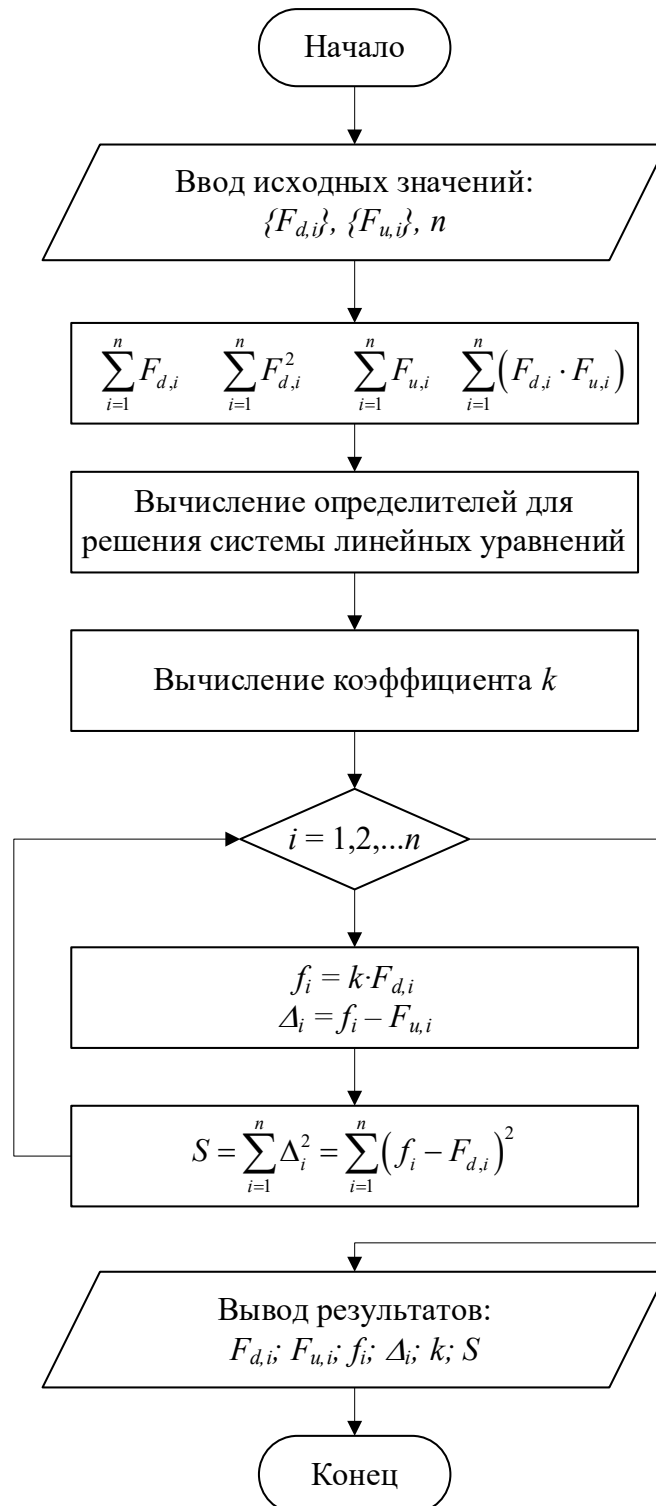


Рисунок 3.1.1. Укрупненная блок-схема метода наименьших квадратов

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.

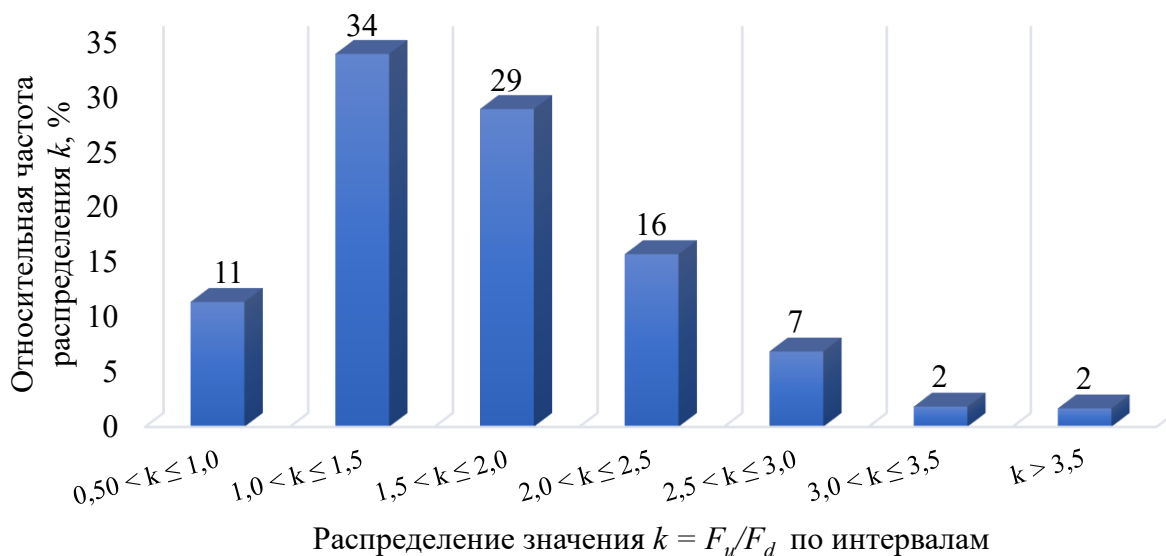


Рисунок 3.1.2. Сравнительная диаграмма относительной частоты распределения отношения $k = F_u/F_d$ по интервалам (частотам распределения k)

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.

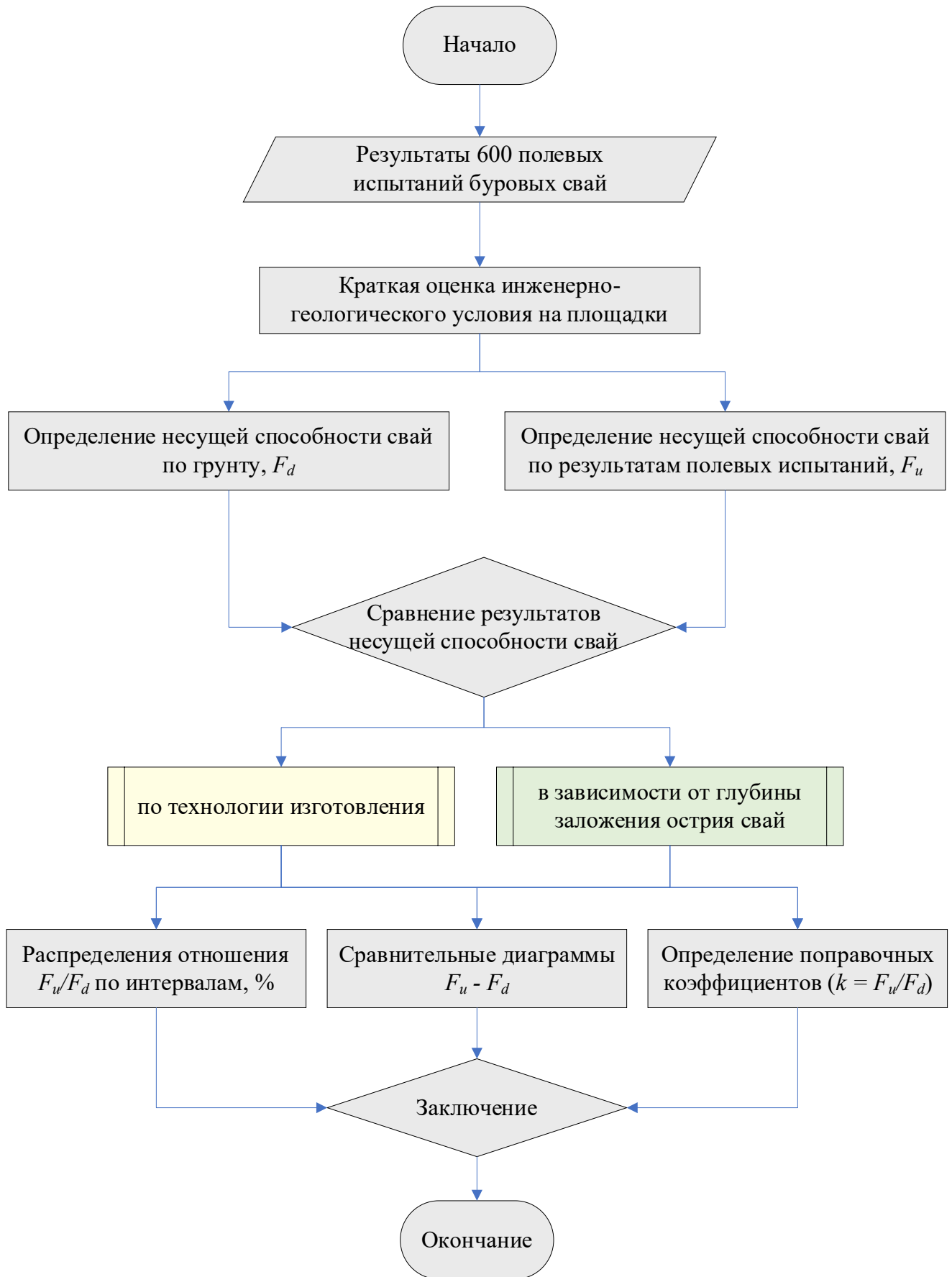


Рисунок 3.2.1. Укрупненная блок-схема способа проведения исследований

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.

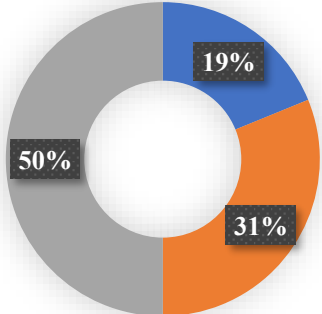
3.2.1 Несущая способность свай в зависимости от технологии изготовления

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	0,6L	0,3L	0,07L	0,03L
под острием свай	0	0,5n	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.

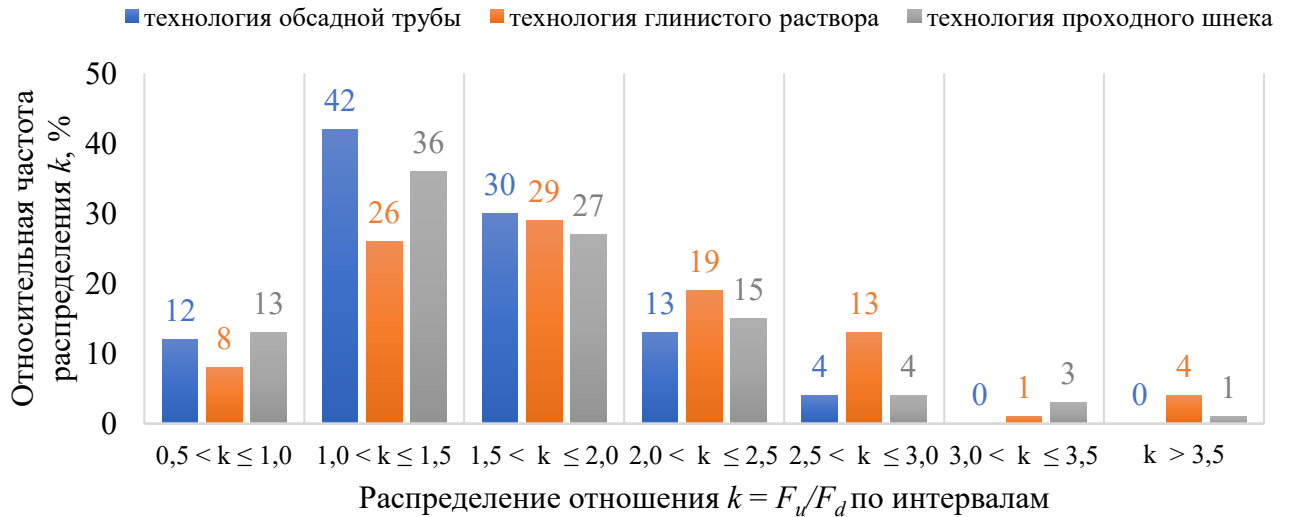


Рисунок 3.2.2. Гистограмма относительной частоты распределения корректирующих коэффициентов $k = F_u/F_d$ по интервалам (частотам распределения k) при различных технологиях

В исследовании была вычислена несущая способность свай по формуле [1] и проведена статистическая обработка результатов полевых испытаний свай на вдавливающую нагрузку³ 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.

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

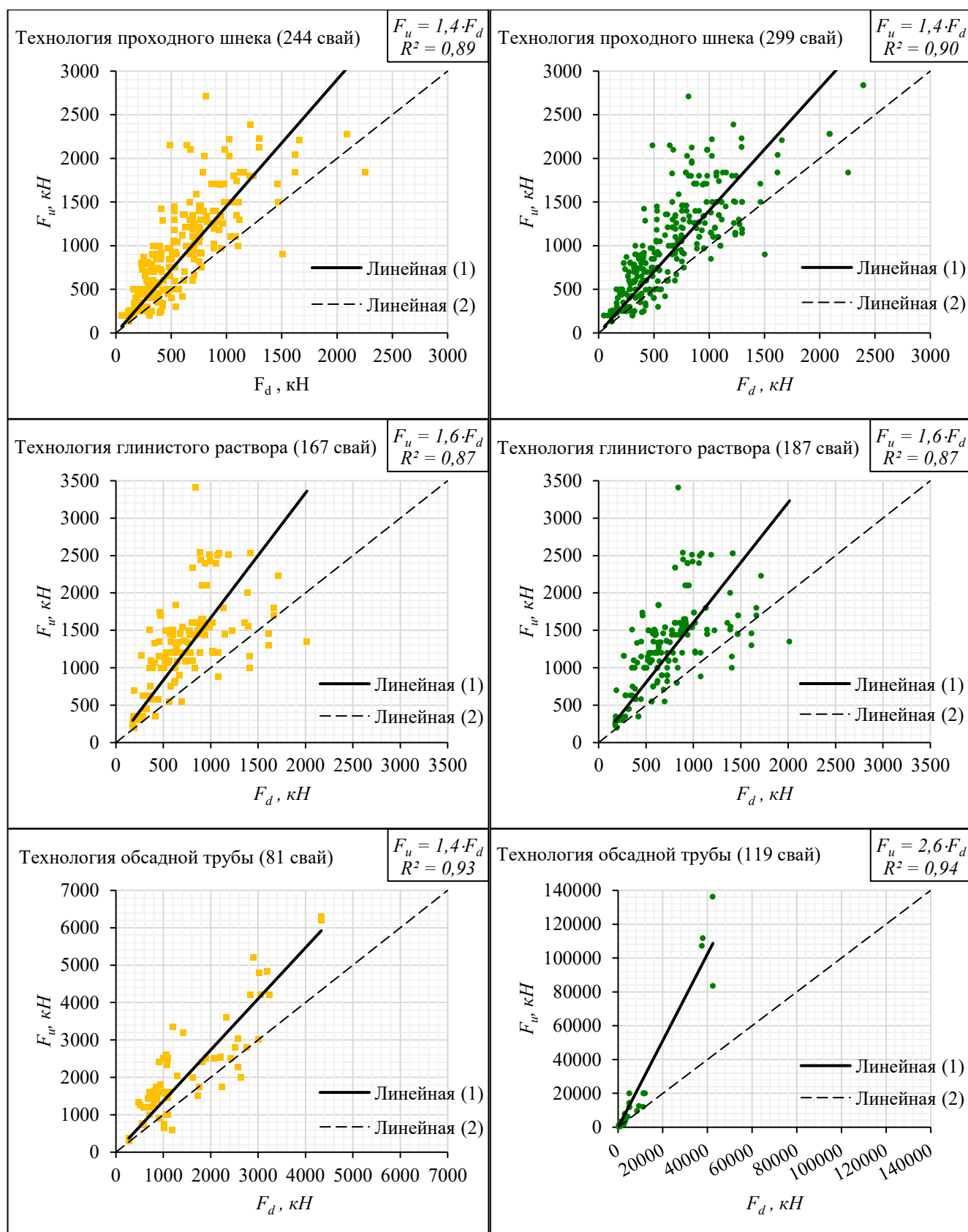


Рисунок 3.2.3. Сравнительные диаграммы значений несущей способности свай фактических и рассчитанных

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, σ	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 .

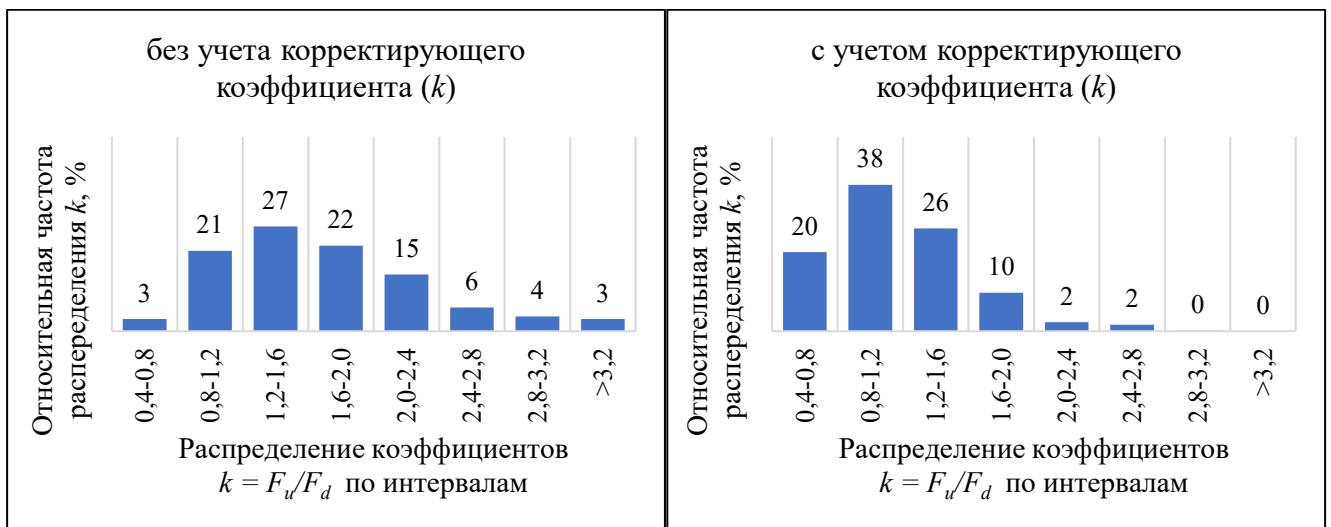


Рисунок 3.2.4. Сравнительная гистограмма относительной частоты распределения отношения F_u/F_d без учета и с учетом корректирующего коэффициента (k)

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.

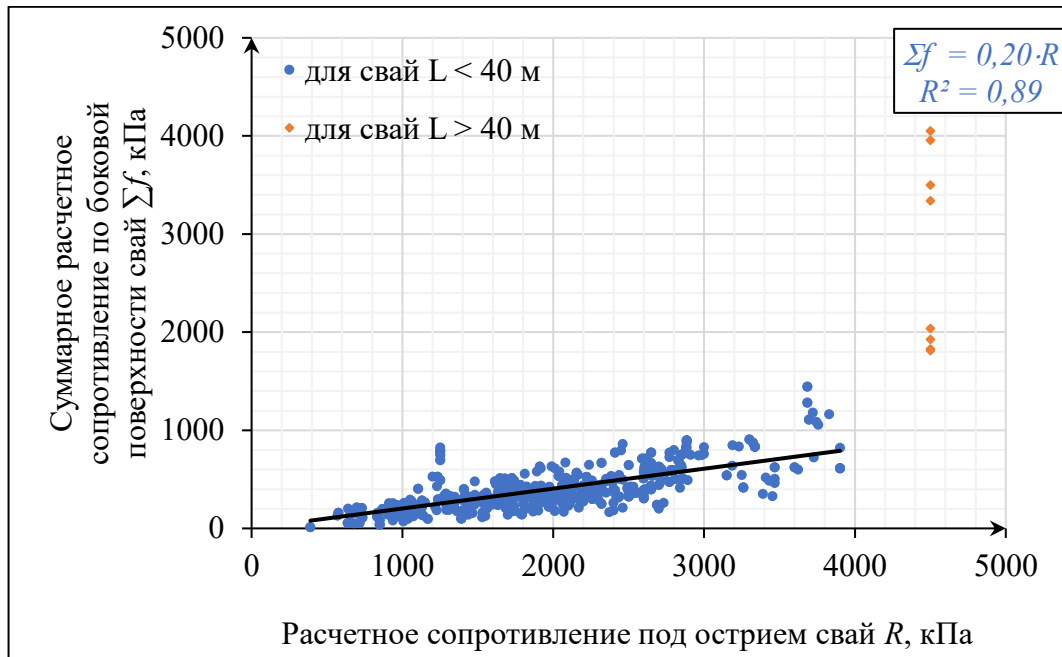


Рисунок 3.2.5. Сравнительные диаграммы сопротивления сваи по боковой поверхности и под острием сваи

Σf – 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 свай).

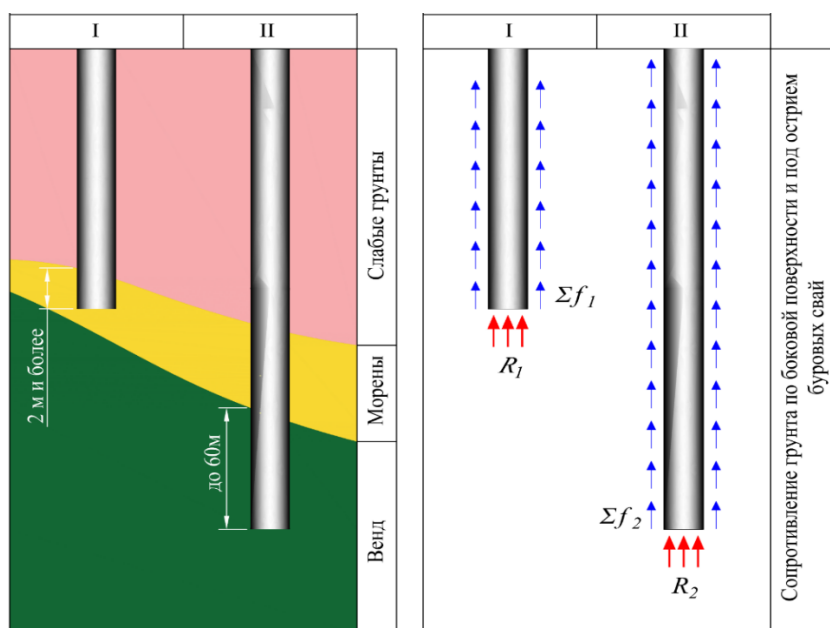


Рисунок 3.2.6. Условное разделение несущей способности буровых свай на двух основных схемы (по глубине расположения буровых свай в морене и венде)

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.

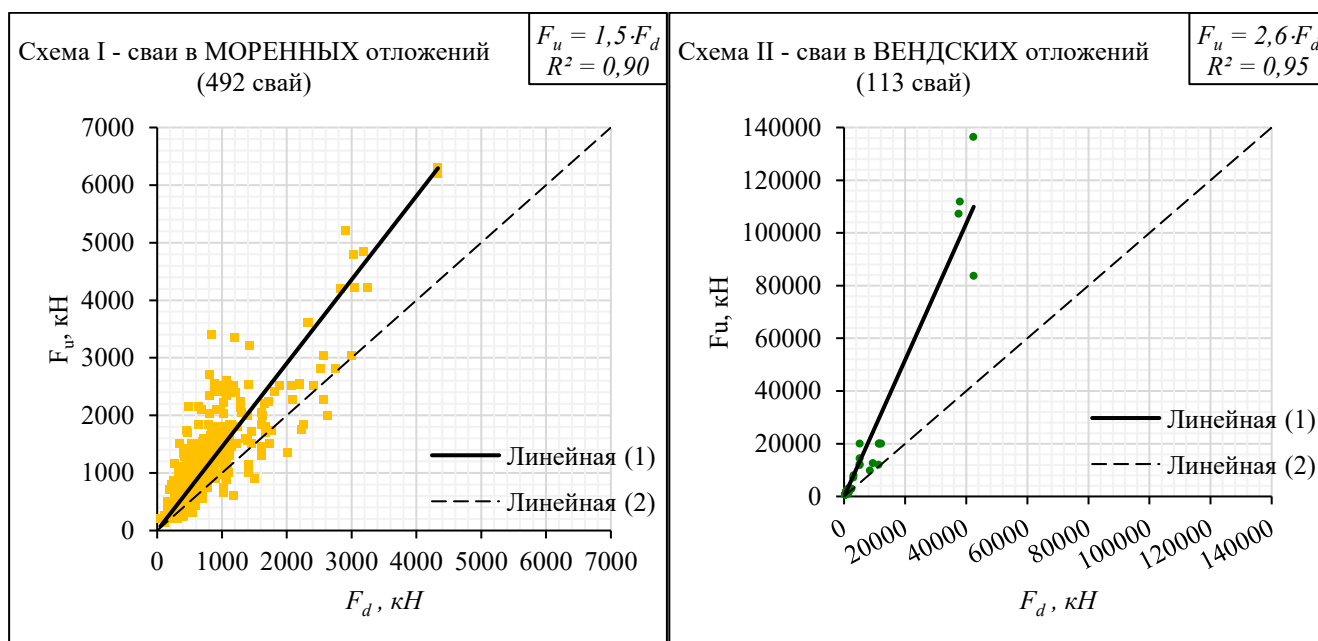


Рисунок 3.2.7. Сравнительные диаграммы значений несущей способности свай фактических и рассчитанных в зависимости от схемы расположения сваи в грунте

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 сваи

Расчетные сопротивления по боковой поверхности сваи 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 сваи, 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.

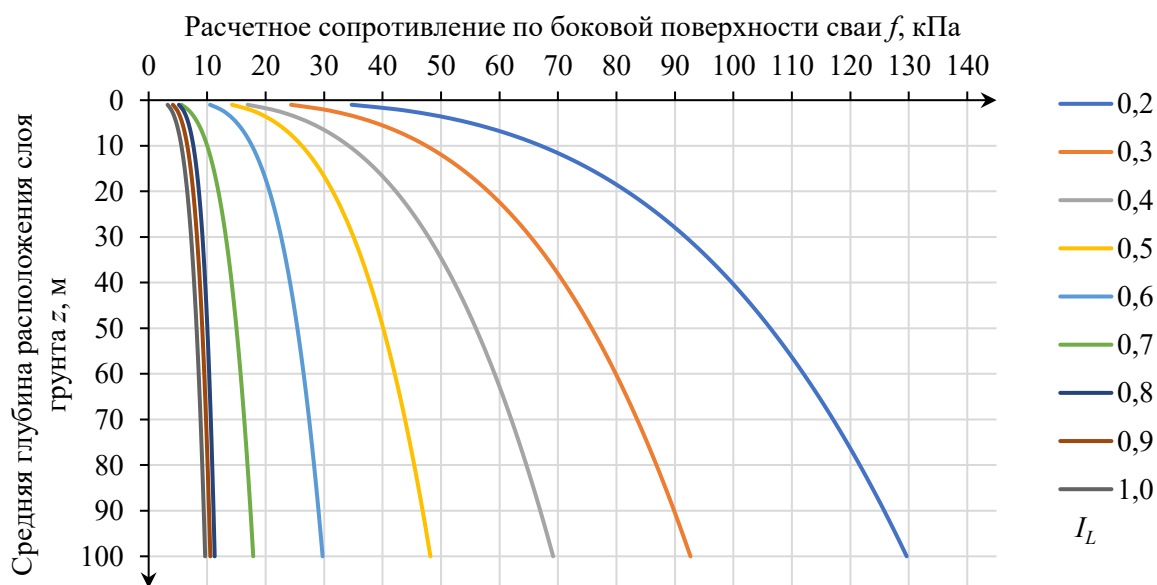


Рисунок 3.3.1. График распределения сил трения грунта по боковой поверхности сваи до глубины 100 м

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.					

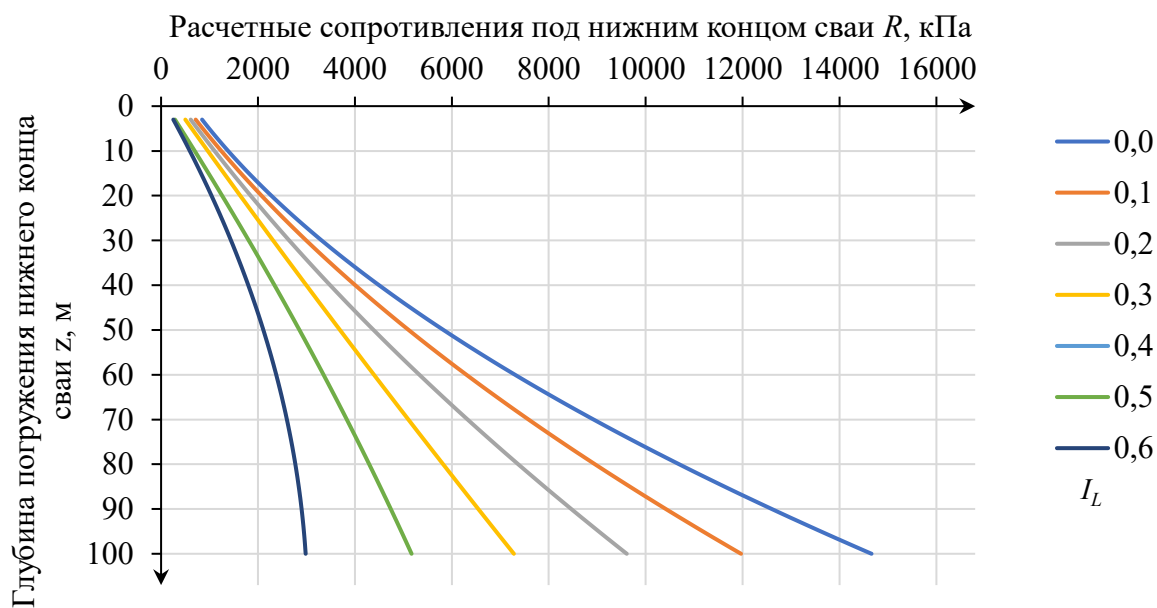


Рисунок 3.3.2. График распределения сопротивления грунта под нижним концом сваи до глубины 100 м

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: 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:

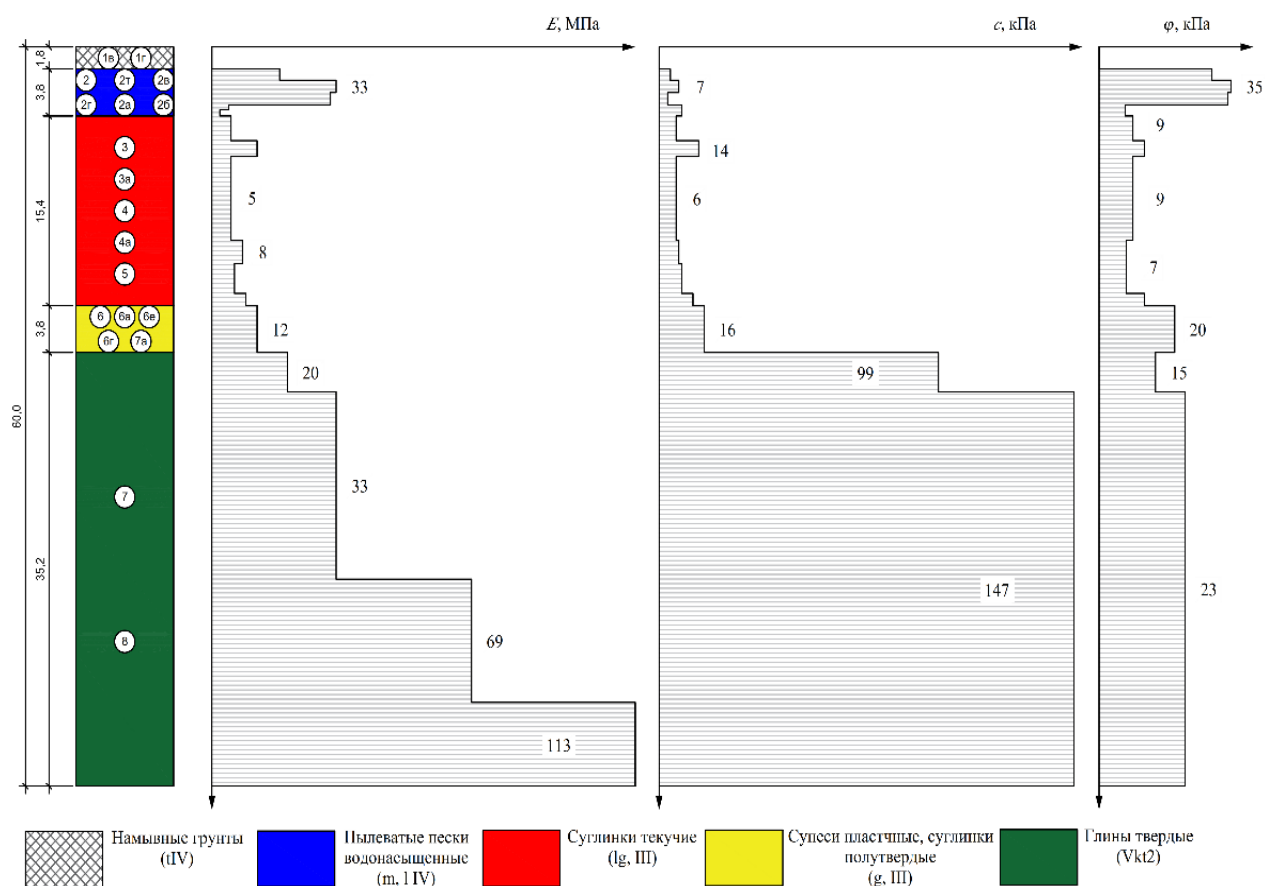


Рисунок 4.1.2. Инженерно-геологический разрез с характеристиками грунтов площадки

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 _p	Прир. влажность W	Плотн. грунта, ρ, т/м ³	Коэфф. пористости e	Показатели консистенции		Показатели прочности		Модуль деформации E, МПа	Сопр. надрезу C _u , МПа	Коэф. фильтр. консолид. c _v , см ² /мин	Коэф. втор. консолид. s _a	Временное сопр. одноос. сжат. R _c , МПа	
								I _L	C _B	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 _н							R ₀ = 1.0 кг/см ² = 100 кПа							
			X _л														
			X _и														
t IV	Насыпные грунты: пески влажные и насыщенные водой, коричневые, супеси, со строительным мусором, с растительными остатками	1г	X _н							R ₀ = 1.0 кг/см ² = 100 кПа							
			X _л														
			X _и														
m, I IV	Слабозаторфованные грунты коричневые насыщенные водой	2	X _н	0.14	0.96	1.40	2.391	2.95		7	8	4					
			X _л			1.40±0.05				6	5						
			X _и			1.40±0.03				7	8						
m, I IV	Торфы слаборазложившиеся коричневые насыщенные водой	2г	X _н		2.95	1.11	6.078			-	-	2					
			X _л			1.11±0.01											
			X _и			1.11±0.00											
m, I IV	Пески пылеватые серые с редкими растительными остатками плотные влажные и насыщенные водой	2в	X _н			1.90/2.08	0.520			35	7	33					
			X _л			1.80/1.98				31	5						
			X _и			1.90/2.08				35	7						
m, I IV	Пески пылеватые серые с редкими растительными остатками средней плотности влажные и насыщенные водой	2г	X _н		0.19	1.80/2.00	0.650			30	4	18					
			X _л			1.71/1.90				27	3						
			X _и			1.80/2.00				30	4						
m, I IV	Пески мелкие коричневые с редкими растительными остатками средней плотности насыщенные водой	2а	X _н			2.02	0.610			34	3	32					
			X _л			1.92				31	2						
			X _и			2.02				34	3						
m, I IV	Пески крупные коричневые с редкими растительными остатками средней плотности влажные и насыщенные водой	2б	X _н		0.16	1.87/2.05	0.580			39	0	37					
			X _л			1.78/1.95				36	0						
			X _и			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 _н	0.10	0.32	1.90	0.900	1.22	0.44	10	7	7	0.086	0.04460	0.00448		
			X _л			1.90±0.00					9	5		0.069	0.03568	0.00358	
			X _и			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 _н	0.10	0.27	1.97	0.758	0.68	0.24	13	18	12	0.096	0.03880	0.00306		
			X _л			1.97±0.01					11	12		0.077	0.03104	0.00245	
			X _и			1.97±0.01					12	14		0.096	0.03880	0.00306	
lg III	Глины легкие пылеватые коричневатые-серые ленточные текучепластичные	4	X _н	0.18	0.40	1.82	1.118	0.86	0.37	7	9	8	0.064	0.03161	0.00566		
			X _л			1.82±0.00					6	6		0.051	0.02529	0.00453	
			X _и			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 _н	0.14	0.39	1.83	1.076	1.06	0.46	8	10	6	0.070	0.03740	0.00425	
			X ₁			1.83±0.00				7	7		0.056	0.02992	0.00340	
			X _н			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 _н	0.10	0.29	1.95	0.793	0.66	0.19	13	16	9	0.146	0.03650	0.00468	
			X ₁			1.95±0.00				11	10		0.116	0.02920	0.00374	
			X _н			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 _н	0.04	0.13	2.22	0.364	0.47	0.16	22	20	12	0.164	0.03150	0.00327	
			X ₁			2.22±0.01				19	14		0.131	0.02520	0.00262	
			X _н			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 _н	0.04	0.11	2.28	0.303	0.10	-0.03	26	33	17				
			X ₁			2.28±0.02				23	22					
			X _н			2.28±0.02				26	33					
g III	Пески крупные серые плотные насыщенные водой	6е	X _н			2.14	0.450			43	2	50				
			X ₁			2.14±0.11				39	1					
			X _н			2.14				43	2					
g III	Пески средней крупности серые плотные насыщенные водой	6г	X _н			2.13	0.470			40	3	48				
			X ₁			2.13±0.11				36	2					
			X _н			2.13				40	3					
g III	Суглинки легкие пылеватые голубовато-серые обогащенные глинистым материалом с гравием, галькой полутвердые	7а	X _н	0.10	0.21	2.08	0.590	0.08	-0.14	19	42	13				
			X ₁			2.08±0.01				17	28					
			X _н			2.08±0.01				17	34					
V kt ₂	Глины пылеватые голубовато-серые дислоцированные с прослоями песка твердые	7	X _н	0.13	0.18	2.13	0.525	-0.26	-0.24	16	123	20	0.349	0.01078	0.00666	0.205
			X ₁			2.13±0.00				14	82		0.279	0.00862	0.00533	0.164
			X _н			2.13±0.00				15	99		0.349	0.01078	0.00666	0.205
V kt ₂	Глины пылеватые голубовато-серые с прослоями песка твердые	8	X _н	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 ₁			2.20±0.00				22	122	69 (40-50 м)	0.642	0.00925	0.00280	0.325
			X _н			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 ± 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.

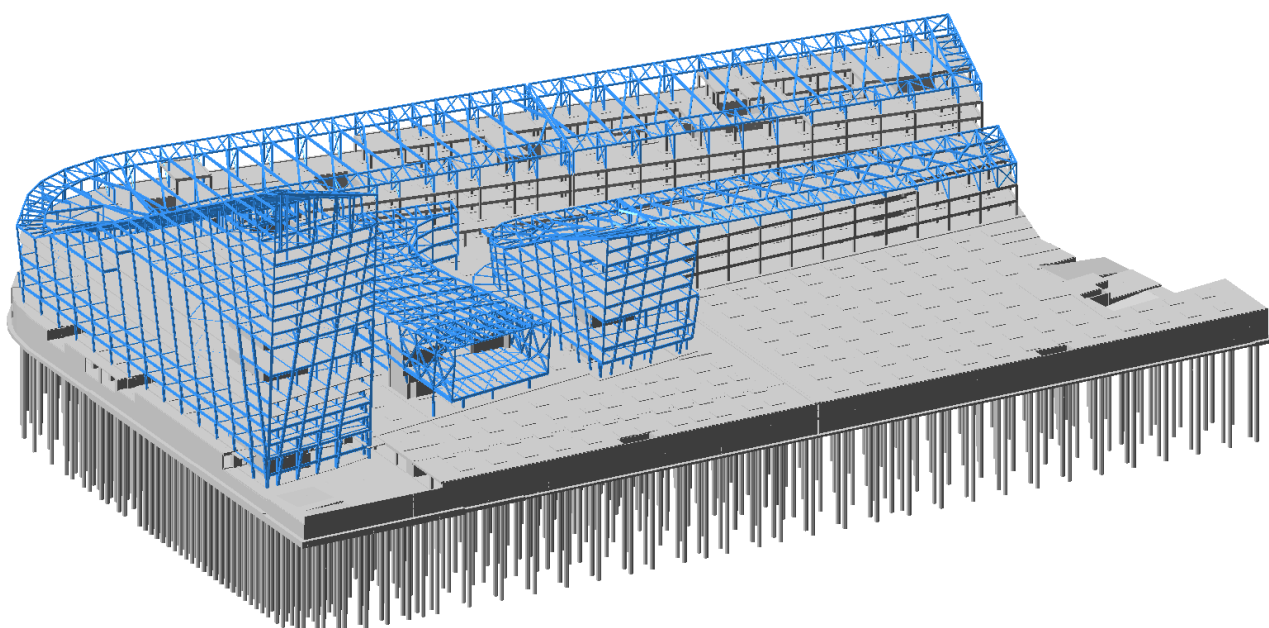


Рисунок 4.2.1. Модель проектируемого здания

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.

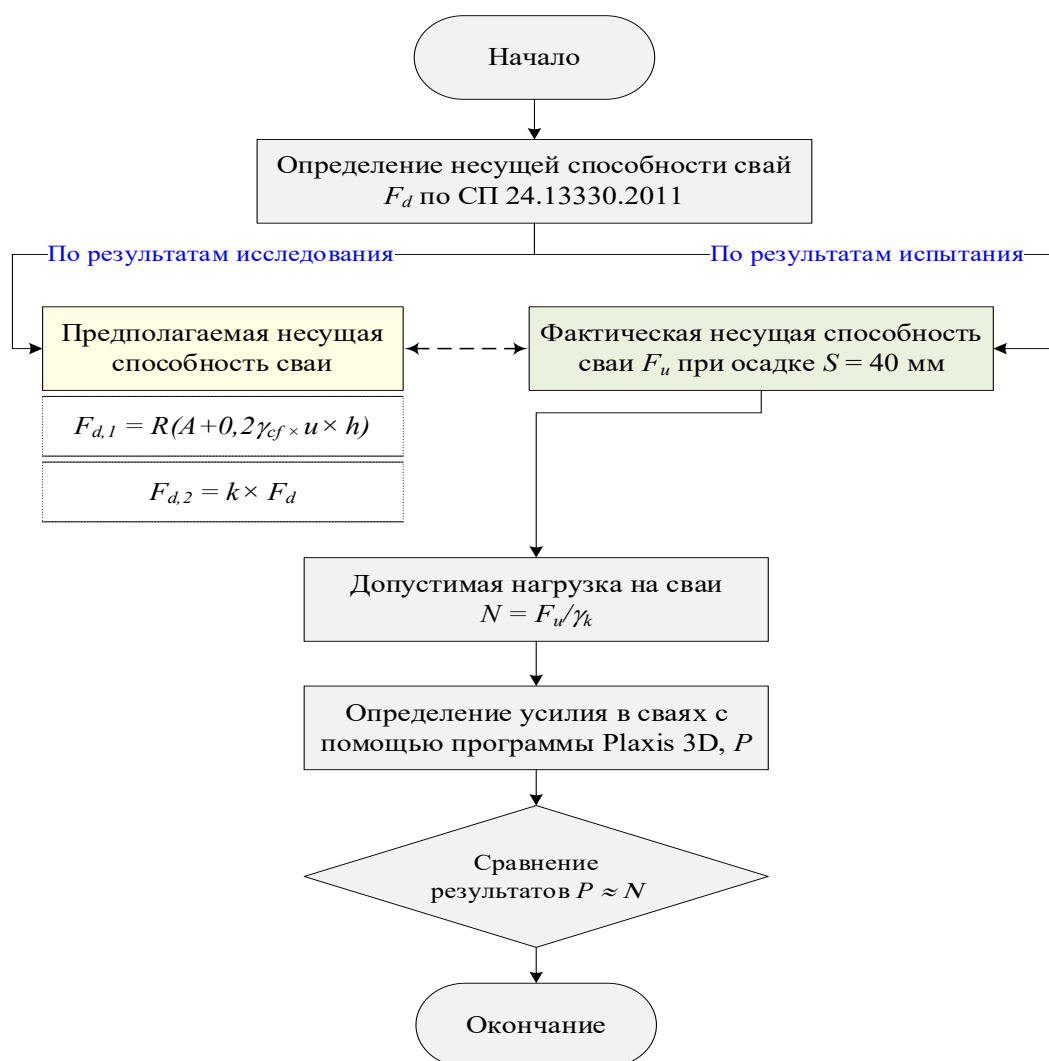


Рисунок 4.3.1. Блок-схема способа для проведения исследований

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).

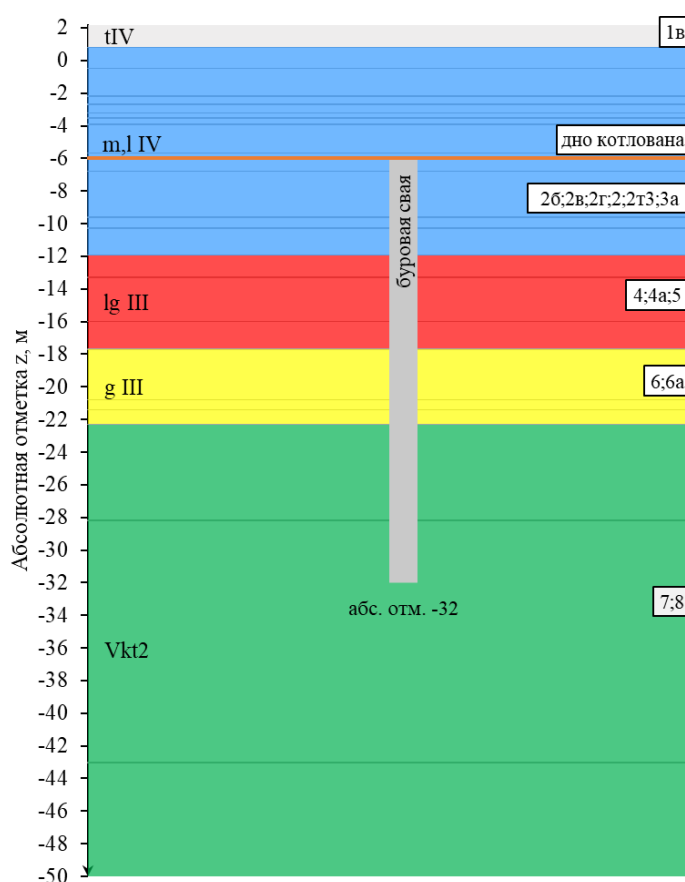


Рисунок 4.3.2. Схема расчета несущей способности буровой сваи с длиной сваи 34 м

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	γ_{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	337
	-8,8	3	2,00	0,70	4,80	5,80	50	5,80	390	426	477
	-9,6	3	0,80	0,70	6,20	6,00	63	6,60	430	470	533
	-10,3	3а	0,70	0,70	6,95	11,70	84	7,30	465	509	592
	-11,9	3	1,60	0,70	8,10	6,00	109	8,90	545	596	705
lg III	-13,3	4	1,40	0,60	9,60	7,40	116	10,30	615	673	789
	-15,3	4а	2,00	0,70	11,30	6,00	167	12,30	710	776	943
	-16,0	4а	0,70	0,70	12,65	6,00	178	13,00	733	802	980
	-17,7	5	1,70	0,70	13,85	14,37	241	14,70	790	864	1105
g III	-19,7	6	2,00	0,70	15,70	36,02	428	16,70	1124	1229	1657
	-20,8	6	1,10	0,70	17,25	36,84	533	17,80	1184	1295	1828
	-21,4	6е	0,60	0,70	18,10	99,24	688	18,40	1740	1903	2591
	-22,3	6	0,90	0,70	18,85	37,69	776	19,30	1270	1389	2164
	-24,3	7	2,00	0,60	20,30	91,33	1071	21,30	2430	2657	3729
	-26,3	7	2,00	0,60	22,30	94,55	1492	23,30	2630	2876	4368
	-28,2	7	1,90	0,60	24,25	97,69	1905	25,20	2820	3084	4989
Vkt ₂	-30,2	8	2,00	0,60	26,20	100,83	2353	27,20	3020	3303	5656
	-32,0	8	1,80	0,60	28,10	103,89	2769	29,00	3200	3499	6269

Примечание:

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

γ_{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.

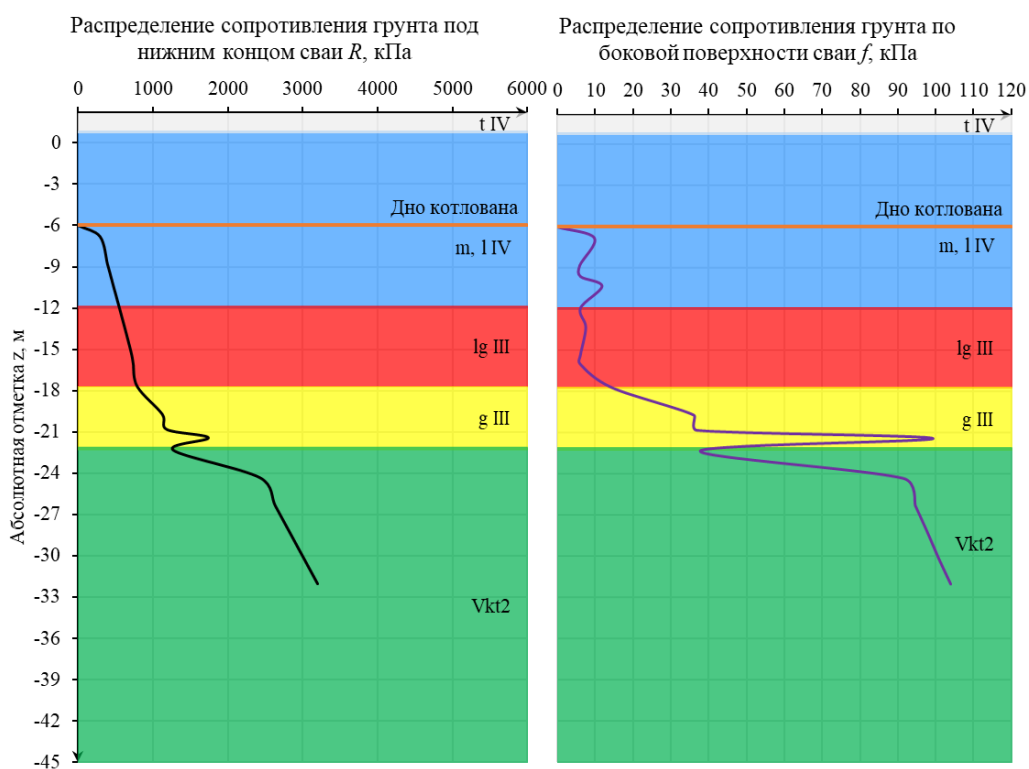


Рисунок 4.3.3. Характер распределения сопротивления грунтов по боковой поверхности и под нижним концом свай

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.

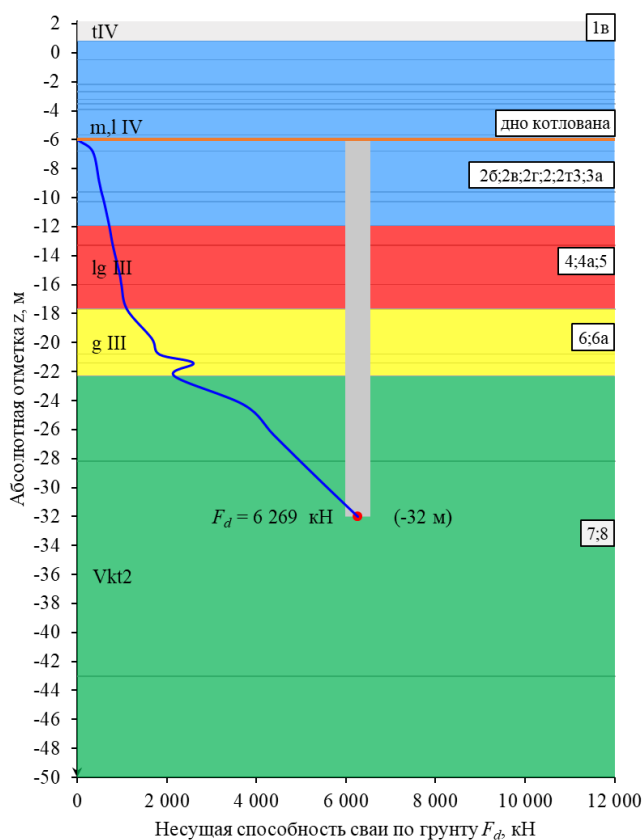


Рисунок 4.3.4. Сопоставительный анализ несущей способности буровой сваи по глубине

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, $A = 1,09$ м²;

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

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

Согласно п.7.1.9.[1]:

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

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

γ_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, м².

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

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.

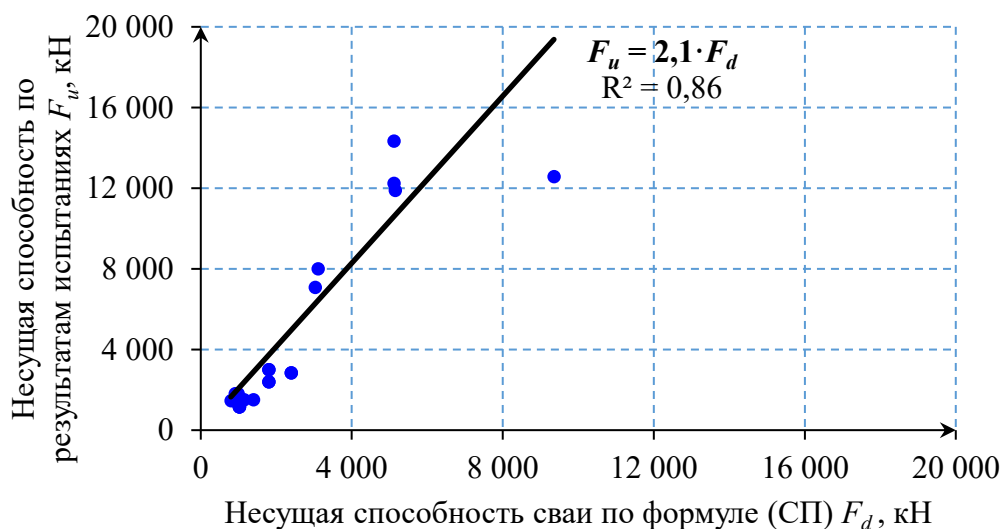


Рисунок 4.3.5. Сравнительная диаграмма соотношения несущей способности свай по результатам полевых испытаний и, вычисленной по требованиям норм, для свай заходящей в вендские отложения на 5-15 м

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].

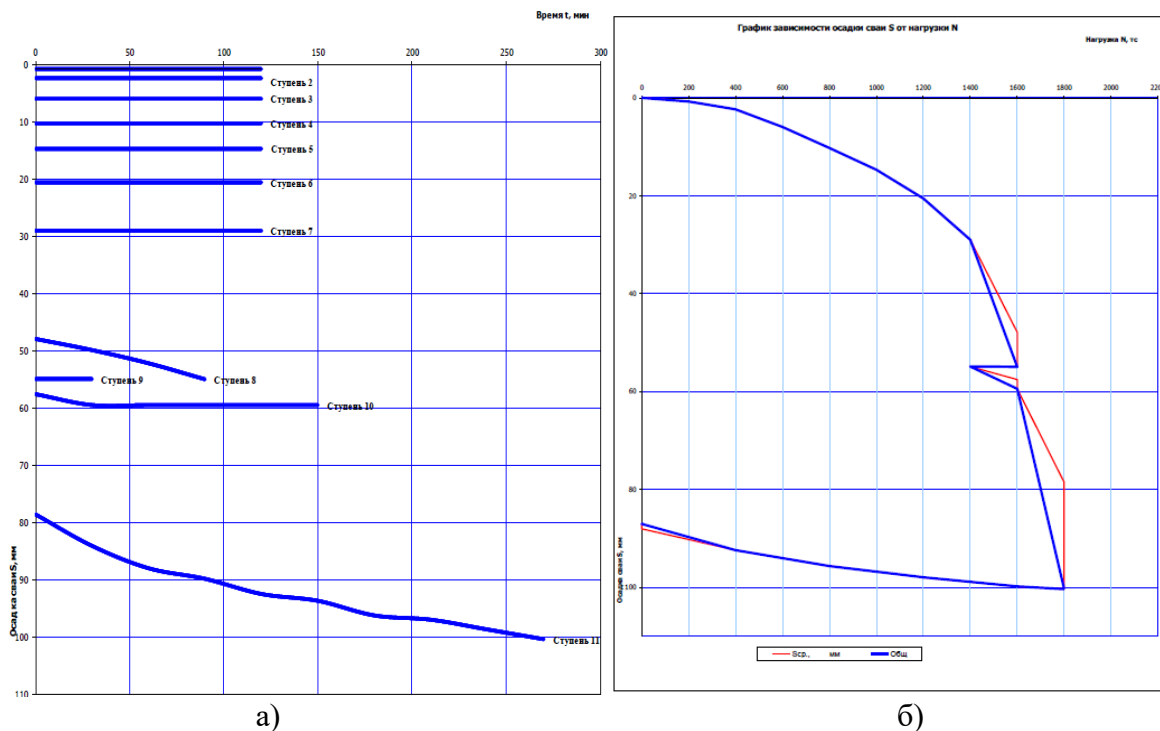


Рисунок 4.3.6. Результаты полевого испытания свай статической нагрузкой
 а – график зависимости осадки свай от времени нагружения; б – график зависимости осадки свай от приложенной нагрузки

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	1484	1236

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.

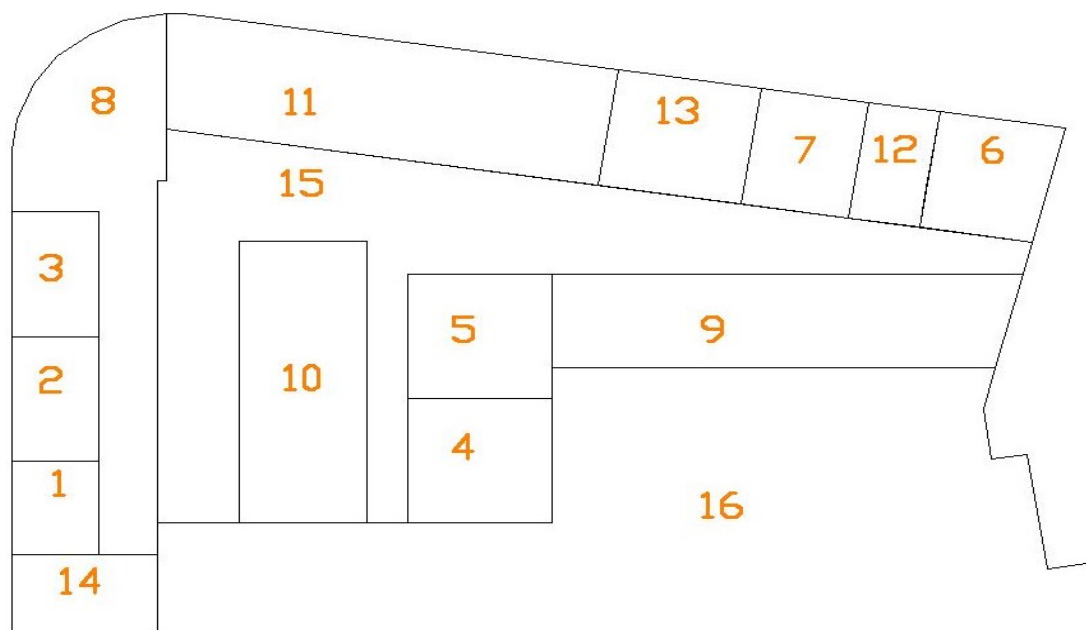


Рисунок 4.4.1. Схема деления ростверка на блоки с постоянным давлением под подошвой ростверка

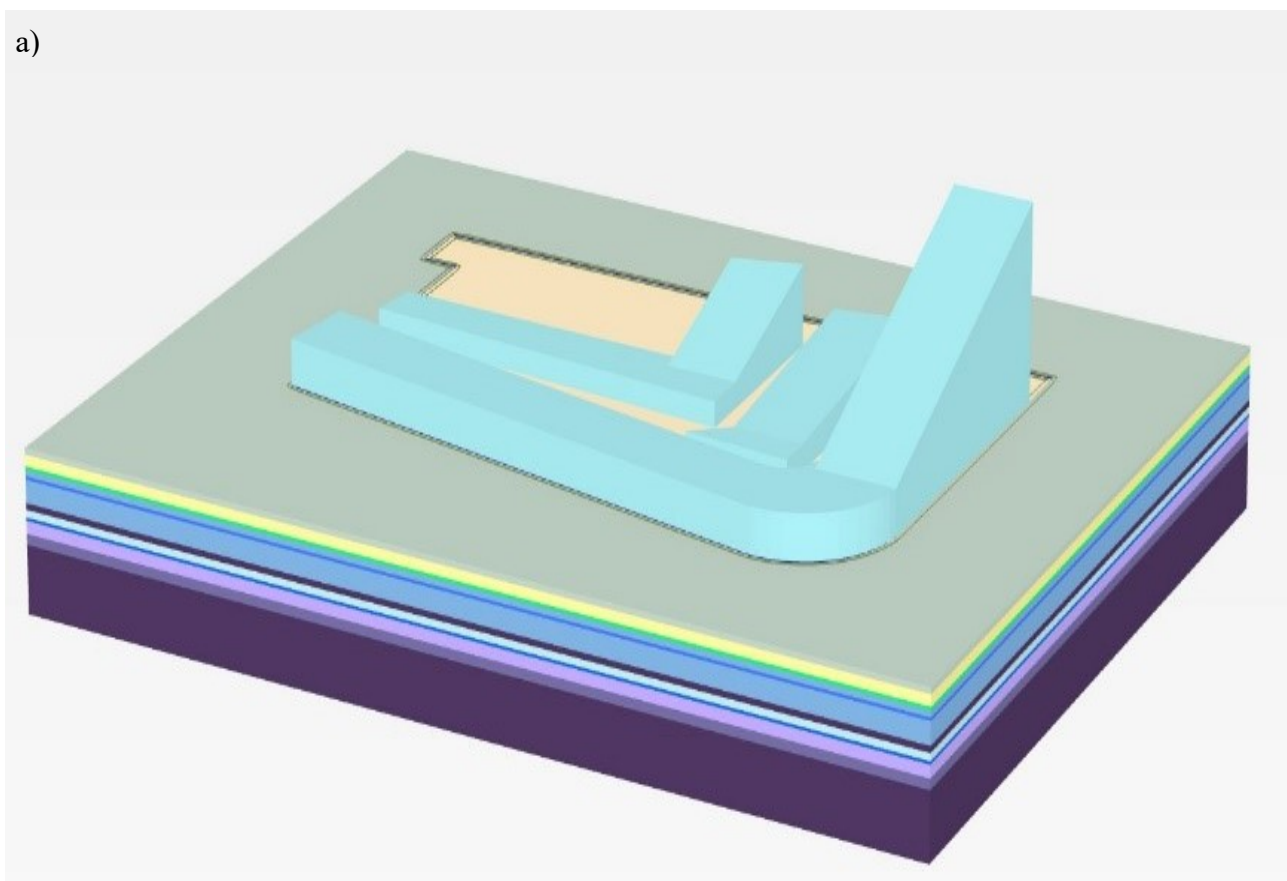
Таблица 4.4.1. Основные сведения о геометрических параметрах, нагрузках и количестве свай в свайном фундаменте

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
Σ	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)



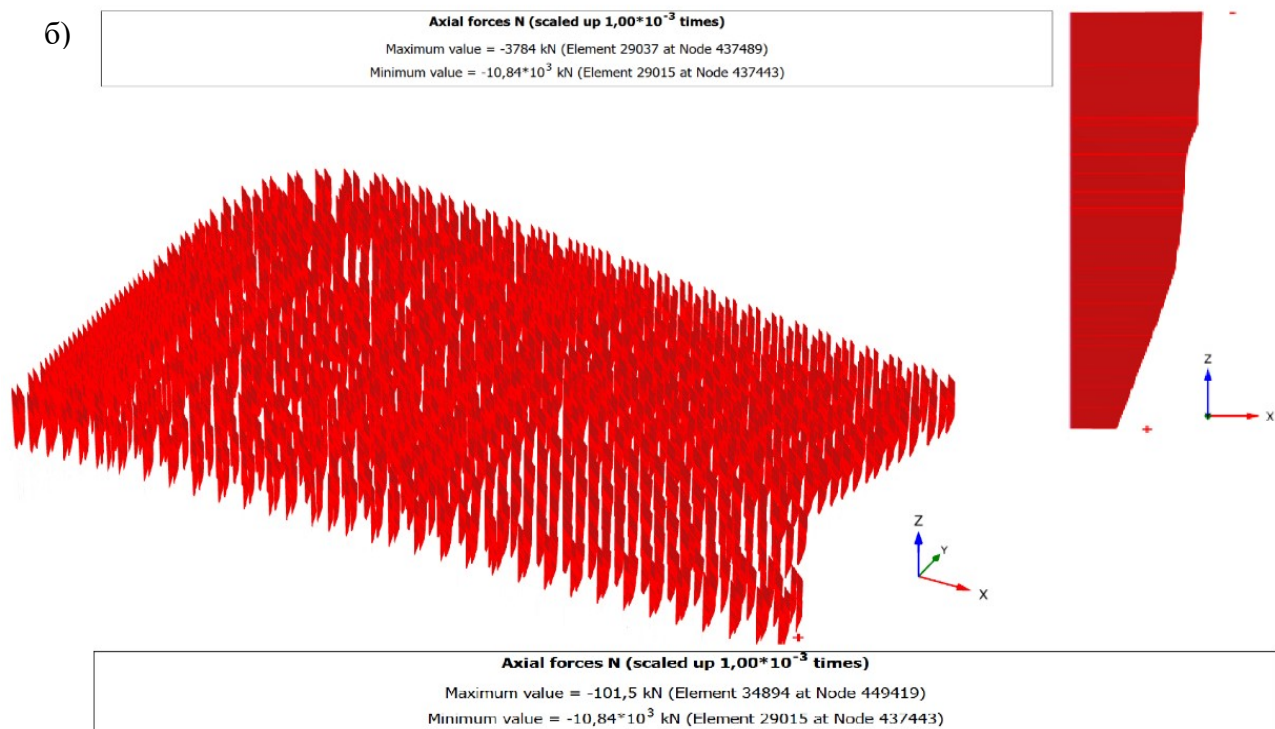


Рисунок 4.4.2. Результаты моделирования свайного поля

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

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 сокращает 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 «Лакта 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. Рощин, 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 буроинъекционных 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»

Директор

Во Ван Винь

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 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. 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 сопротивлений 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_b , 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. Домостроительная, д4	16,30	0,35	ЛБУ-50	385	1931	578	750	1,30
151	4987	ул. Домостроительная, д4	16,30	0,35	ЛБУ-50	385	1931	578	750	1,30
152	3467	ул. Профессора 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 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
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_u , 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 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
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 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 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, Ленинградский 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. Ленинградская область	10,80	0,35	ЛБУ-50	199	640	307	425	1,38
452	7420 А	г. Кировск. 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, 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 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
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	Красногвардеский	22,80	0,35	ЛБУ-50	471	2710	752	1050	1,40
497	5246	Красногвардеский	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 $\sum F$, 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, 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 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
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