

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Инженерно-строительный факультет
Кафедра технологии, организации и экономики строительства

К.В. Севостьянова

**Фундаменты на стальных трубчатых сваях в условиях
исторической застройки Санкт-Петербурга**

Санкт-Петербург
2007 г.

Содержание

Введение	4
1. Состояние вопроса в настоящее время, постановка задачи исследования,	7
1.1. Основные термины и определения	7
1.1.1. Определение фундамента.....	7
1.1.2. Ленточные фундаменты	9
1.1.3. Столбчатые фундаменты	9
1.1.4. Сплошные (плитные фундаменты)	9
1.1.5. Свайные фундаменты.....	9
1.2. Фундаменты, возводимые по щадящей технологии	9
1.2.1. Описание технологии устройства буронабивных свай	10
1.2.2. Буронабивные сваи без применения обсадных труб.....	10
1.2.3. Буронабивные сваи с применением обсадных труб	10
1.2.4. Буронабивные сваи, устраиваемые по технологии проходных шнеков 11	
1.2.5. Недостатки применения буронабивных фундаментов.....	11
1.3. Область применения стальных трубосвай	11
1.4. Преимущества и недостатки стальных трубосвай с открытым нижним концом по сравнению с железобетонными.	12
1.5. Существующая методика оценки несущей способности трубосвай.	12
1.6. Выводы по главе. Постановка задачи исследования.	13
2. Выявление физических закономерностей и разработка модели вдавливаемой сваи, адекватно описывающей процессы взаимодействия сваи и грунтового ядра	15
2.1. Выявление набора показателей, характеризующих объект исследования	15
2.2. Построение математической модели объекта исследования	15
2.2.1. Принятые допущения.....	15
2.2.2. Влияние формы наконечника на сопротивление трубосвай вдавливанию	15
2.2.3. Математическое описание модели стальной трубосвай	17
2.3. Исследование предложенной модели	20
2.3.1. Данные для расчета несущей способности стальной трубосвай	20
2.3.2. Геотехнический надзор при проведении работ в условиях исторической застройки	22
2.3.3. Расчет несущей способности стальных трубосвай для фундамента здания по Невскому проспекту	22
2.4. Выводы по главе	24
3. Особенности устройства стальных трубосвай в условиях исторической застройки г. Санкт-Петербурга	25
3.1. Достоинства, недостатки и область применения свай, погружаемых вдавливанием	25
3.1.1. Преимущества способа вдавливания свай по сравнению с ударным или вибрационным способом погружения.	25
3.1.2. Некоторые возникающие недостатки метода вдавливания	26
3.1.3. Рациональная область применения метода вдавливания.	26

3.2.	Защита от коррозии	27
3.3.	Выводы по главе.	28
4.	Технико-экономическое сопоставление вариантов железобетонных и стальных свай.....	29
4.1.	Технико-экономическое сопоставление	29
4.2.	Выводы по главе	31
5.	Заключение.....	32
	Список литературы	33

Введение

Дальнейшее социально-экономическое развитие страны предусматривает более эффективное использование капитальных вложений в области строительства, снижение материалоемкости, трудоемкости и стоимости благодаря улучшению планирования и организации строительного производства. Большое внимание уделяется повышению производительности труда, а также качеству и надежности возводимых объектов.

Основания и фундаменты являются важнейшими элементами зданий и сооружений. В общем объеме строительства устройство оснований и фундаментов имеет значительный удельный вес как по стоимости, так и по трудоемкости строительных работ. Стоимость фундаментов в среднем составляет 10-12 % от стоимости строительства, однако при сложных инженерно-геологических условиях она может быть существенно большей, достигая даже 30 % и более. Поэтому необходимо производить рациональное проектирование оснований и фундаментов с рассмотрением возможных вариантов и их последующим технико-экономическим сопоставлением. Следует принимать во внимание не только конструкцию фундаментов, но и технологию производства работ по их возведению.

Анализ статистических данных показывает, что 85% аварий зданий и сооружений в Петербурге, Москве и других городах России было вызвано разрушением оснований и фундаментов. Недостаточная изученность инженерно-геологических условий на строительной площадке, недоброкачественное устройство оснований и фундаментов часто вызывают их недопустимые деформации, которые могут быть причиной повреждения, а иногда и полного разрушения возведенных зданий. В то же время в некоторых случаях при строительстве для перестраховки устраивают фундаменты больших размеров, чем требуется по условиям эксплуатации основания. Это приводит к ненужным дополнительным работам на строительной площадке, недостаточному использованию несущей способности грунтов основания и перерасходу строительных материалов.

В последние годы повысилась инвестиционная привлекательность строительства в центральной, наиболее престижной на сегодняшний день, части города. Во всех крупных городах нашей страны уплотняется застройка, реконструируются, усиливаются и надстраиваются существующие здания, устраиваются подземные и заглубленные сооружения и т.д. Однако при проведении строительных работ в центре города необходимо обеспечить безопасную эксплуатацию исторических зданий на старых фундаментах за счет проведения работ щадящими методами.

Данная работа посвящена проблемам, связанным с расчетом несущей способности стальных трубчатых свай, уточнению влияния грунтового ядра на несущую способность стальной трубчатой сваи, рассмотрению возможности использования стальных свай-оболочек при возведении фундамента в условиях исторической застройки.

В работе рассмотрен вариант щадящей технологии возведения фундаментов на стальных трубчатых сваях, погружаемых вдавливанием с открытым нижним концом, как более экономичный с точки зрения материальных, трудовых и временных ресурсов.

Актуальность темы

Территория строительства в центральных районах Санкт-Петербурга в геологическом отношении представлена четвертичными отложениями на глубину 15-20 метров, состоящими из напластований песков пылеватых, суглинков и супесей текучих, водонасыщенных. Грунты отличаются повышенной чувствительностью к различным техногенным воздействиям, низкой прочностью и неустойчивостью.

Есть три города в мире – Мехико, Амстердам и Рига – с похожими условиями. Петр I был прав, говоря, что Амстердам – путеводная звезда в строительстве Петербурга. Недаром он уделял внимание строительным нормативам, изучая голландский опыт. В «Строительном уложении Петра Великого» его рукой записано: не экономь на фундаментах. «Фундамент плохой сделаешь – дом потеряешь» [26].

Современные технологии возведения фундаментов в условиях исторической застройки предлагают устройство буронабивных фундаментов. Однако подобный

способ в грунтовых условиях центральной части Санкт-Петербурга приводит к значительному увеличению сроков и стоимости строительства. Помимо этого, технология устройства буронабивных фундаментов в условиях исторической застройки может вызвать неравномерную осадку близлежащих зданий, что в свою очередь повлечет возникновение крена и приведет прилегающую часть здания в аварийное состояние.

Последние годы имели место случаи, когда при проведении работ нулевого цикла в условиях плотной городской застройки происходило нарушение фундаментов старых зданий. Например, на знаменитой яме у Московского вокзала пришлось разобрать памятники архитектуры – дома №26 и №30 по Литейному проспекту, после того как рядом с ними был выполнен ряд буросекущихся свай. Нет больше и исторического дома №8 по Мичуринской улице. Причина та же – пока делали стенку из буровых свай, дом получил трещину раскрытием 8 см. Один из недавних примеров – гостиница «Невский Палас». При устройстве фундаментов из буронабивных свай для здания №59 возникла угроза недопустимых осадок близлежащих исторических зданий. Потребовалось проведение дорогостоящего усиления фундаментов прилегающих зданий.

Актуальность работы связана с необходимостью разработки новой экономически выгодной конструкции фундамента для центральной части города, позволяющей вести работы в сложных грунтовых условиях с учетом примыкающих исторических зданий.

Наиболее существенные научные результаты, полученные лично автором

В рамках решаемой задачи построена модель фундамента с применением стальных трубосвай.

Разработанная теоретическая модель позволила впервые добиться качественной оптимизации существующей методики расчёта фундаментов со стальными трубосваями.

Установлена зависимость расчётной схемы от глубины погружения сваи и от других условий работы.

Сформулированы конкретные технические предложения, направленные на увеличение несущей способности свайных фундаментов.

Предложенный способ возведения фундамента отличается щадящим режимом нагружения свай, высокой надёжностью работы и может быть использован в условиях исторической застройки.

Оценка достоверности и обоснованности научных результатов и выводов

Теоретические и экспериментальные результаты получены с использованием проверенных и утвердившихся в практике исследования методов проектирования свайных фундаментов, а также с использованием действующих нормативных документов, регламентирующих порядок расчёта фундаментов.

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов подтверждается проведёнными теоретико-экспериментальными расчетами, выполненными с использованием проверенных и утвердившихся в практике исследования методов проектирования свайных фундаментов, а также с использованием действующих нормативных документов, регламентирующих порядок расчёта фундаментов.

Достоверность также подтверждена результатами сопоставления выполненных расчетов с проведёнными натурными исследованиями, а также практическим внедрением.

Научная новизна

Научная новизной отличается усовершенствованная методика расчета и проектирования свайных фундаментов и разработанная модель стальной трубосваи.

Значение полученных результатов для теории

Полученные результаты расширяют физическое представление о взаимодействии твёрдой поверхности сваи и деформируемой среды грунта, отличающегося работой внутри сваи. Это позволяет оптимизировать величину нагрузки при возведении свайных

фундаментов в условиях щадящего режима при обеспечении высокой экономической эффективности возведения фундамента.

Значение полученных результатов для практики

Результаты работы имеют большую практическую значимость для уточнения существующей методики расчёта с целью оптимизации возведения свайных фундаментов в особых условиях плотной городской застройки, а также возможного снижения стоимости строительства и сокращения сроков проведения работ нулевого цикла.

Рекомендации об использовании результатов работы

Результаты работы могут быть использованы при проектировании свайных фундаментов в условиях плотной застройки и сложных инженерно-геологических условиях, а также при возникновении аналогичной проблемы в (центральной части города) при нетрадиционных подходах.

Содержание работы

В работе выполнен анализ проблем проектирования свайных фундаментов вызванных отсутствием точной нормативной методики расчёта несущей способности данного типа фундамента. Особое внимание уделялось влиянию грунтового ядра на несущую способность стальных трубосвай и влияние формы наконечника на снижение энергозатрат при погружении свай.

Работа состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы. Общий объем работы: 70 страниц, в том числе 19 рисунков, 21 таблиц. Список литературы состоит из 31 наименования.

1. Состояние вопроса в настоящее время, постановка задачи исследования,

1.1. Основные термины и определения

1.1.1. Определение фундамента

Для решения поставленной задачи необходимо иметь представление о типах фундаментов, применяемых в современном промышленно-гражданском строительстве.

Фундаментом называется подземная часть здания или сооружения, воспринимающая все нагрузки, как постоянные, так и временные, возникающие в надземных частях, и передающая давление от этих нагрузок на основание (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Внешние воздействия на фундамент.

- 1 - нагрузка от вышележащих элементов здания;
- 2 - температура грунта;
- 3 - боковое давление грунта;
- 4 - грунтовая влага;
- 5 - агрессивные химические вещества;
- 6 - силы пучения грунта;
- 7 - вибрации;
- 8 и 9 - температура и влажность воздуха помещения подвала;
- 10 - упругий отпор грунта.

Верхняя плоскость фундамента, на которой располагаются надземные части здания или сооружения, называется поверхностью фундамента или обрезом, а нижняя его плоскость, непосредственно соприкасающаяся с основанием, - подшовой фундамента.

Глубина заложения фундаментов, или расстояние от планировочной отметки земли до подошвы фундамента, для зданий без подвала определяется в зависимости от назначения зданий и их конструктивных особенностей, наличия подземных коммуникаций, величины и характера нагрузок, глубины заложения фундаментов примыкающих зданий, геологических и гидрологических условий строительной площадки (виды грунтов, несущая способность и пучинистость, уровень грунтовых вод и возможные колебания его в период строительства и эксплуатации зданий и т.д.) с учетом климатических условий района.

В зависимости от типа конструкции проанализированы следующие фундаменты ленточные, столбчатые, сплошные (плитные) и свайные фундаменты (рис.1.2), в зависимости от технологии возведения - сборные и монолитные, мелкозаложенные (до 5 м от поверхности земли) и глубокого (более 5 м).

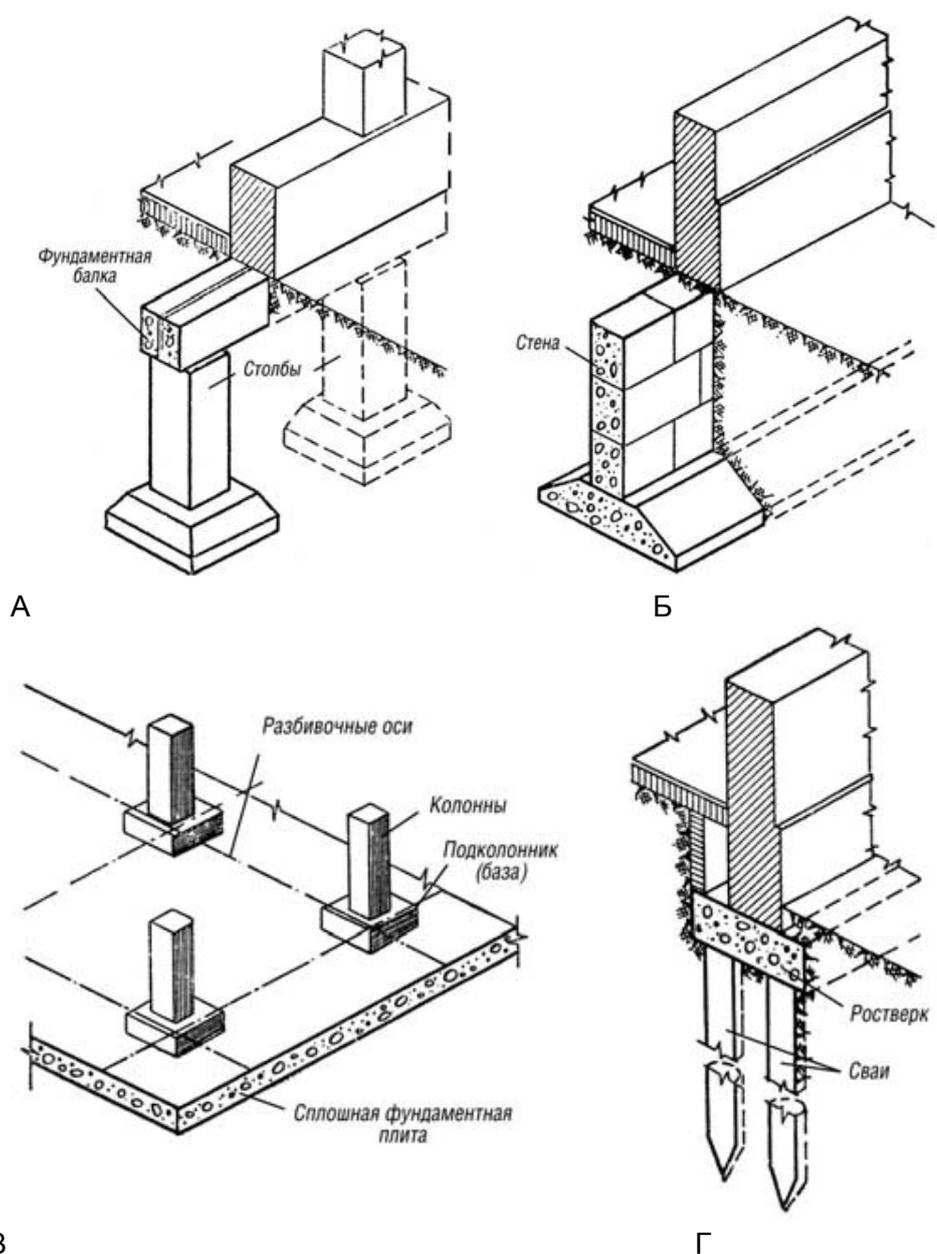


Рис. 1.2. Типы фундаментов.

А - столбчатый; Б - ленточный; В - сплошной; Г - свайный.

В зависимости от работы фундаментов под нагрузкой различают фундаменты жесткие и гибкие. Жесткие работают преимущественно на сжатие (например бетонные), гибкие - на растягивающие и скалывающие усилия (к ним относятся фундаменты с железобетонными подушками).

1.1.2. Ленточные фундаменты

Ленточные фундаменты представляют собой непрерывную стенку, равномерно загруженную вышележащими несущими или самонесущими стенами или же колоннами каркаса. Равномерная передача ленточными фундаментами нагрузки на основание очень важна, когда на строительной площадке имеются неоднородные по сжимаемости грунты, а также просадочные или слабые грунты с прослойками. Ленточные фундаменты бывают монолитными и сборными.

1.1.3. Столбчатые фундаменты

Столбчатые фундаменты устраивают в тех случаях, когда нагрузки на основание настолько малы, что давление на грунт от фундамента здания меньше нормативного давления на грунт (например, при малоэтажных зданиях) или когда слой грунта, служащий основанием, залегает на значительной глубине (3-5 м), и применение ленточных фундаментов экономически нецелесообразно.

1.1.4. Сплошные (плитные фундаменты)

Сплошные (плитные) фундаменты применяются в следующих случаях:

- при слабых грунтах на строительной площадке или при значительных нагрузках от здания;
- при разрушенных, размытых или насыпных грунтах основания;
- при неравномерной сжимаемости грунтов;
- при необходимости защиты от высокого уровня грунтовых вод.

Плитные фундаменты конструируют в виде плоских и ребристых плит или в виде перекрестных лент. Для зданий с большими нагрузками, а также в случае использования подземного пространства применяются коробчатые фундаменты.

1.1.5. Свайные фундаменты

Свайные фундаменты устраивают при строительстве зданий на слабых сильносжимаемых водонасыщенных грунтах, а также при передаче на основание больших нагрузок от колонн и стен многоэтажных зданий.

По способу передачи вертикальной нагрузки от здания или сооружения на грунт различают два вида свайных фундаментов: сваи-стойки, которые проходят через слабые грунты и опираются на толщу прочного грунта, и висячие сваи (или сваи трения), которые плотного грунта не достигают, удерживаются в слабом грунте за счет его уплотнения и передают нагрузку на грунт трением, возникающим между боковой поверхностью свай и грунтом (рис.1.3).

В зависимости от несущей способности и конструктивной схемы здания сваи размещают в один или несколько рядов или кустами. Сваи располагают обязательно подо всеми углами здания и в точках пересечения осей стен. Глубину забивки свай назначают, исходя из несущей способности сваи и грунта основания.

Для обеспечения равномерной передачи нагрузок от стен на сваи по верхним концам последних укладывают монолитные или сборные железобетонные ростверки, а на кусты свай - оголовки. При сборных ростверках оголовки устанавливают и на одиночные сваи. В зданиях без подвалов и технических подполий подошва ростверка должна находиться на 0,1-0,15 м ниже планировочных отметок поверхности земли у здания. При наличии подвала или технического подполья подо всем зданием отметки пола подвала совмещают с верхом ростверка под наружные и внутренние стены.

1.2. Фундаменты, возводимые по щадящей технологии

Вышеперчисленные конструкции фундаментов имеют большое практическое значение. Однако в условиях плотной застройки, особенно при наличии уникальных

исторических зданий в центре города, необходим особый подход к возведению фундаментов.

В настоящее время одним из основных методов, применяющихся при строительстве (реконструкции) зданий в условиях высокой плотности застройки, является использование технологии буронабивных свай. Использование этой технологии в каждом конкретном случае зависит от геологических условий, участков строительства, экономической целесообразности, возможностей оборудования и приемов, применяемых строительной фирмой.

Проанализируем существующие технологии устройства буронабивных свай.

1.2.1. Описание технологии устройства буронабивных свай

Данная технология известна давно, но ранее в строительстве жилья она не применялась. Изначально технология буронабивных свай использовалась только при проектировании сложных промышленных сооружений.

Сущность метода заключается в следующем: специальная буровая установка «высверливает» отверстие заданных размеров; в скважину опускается арматурный каркас и заливают ее бетоном; арматура сразу выпускается над поверхностью, чтобы обеспечить связку с последующими конструкциями.

В зависимости от грунта основания буронабивные сваи могут изготавливаться с применением извлекаемых инвентарных обсадных труб или без них. В маловлажных структурно устойчивых глинистых грунтах бурение скважин можно производить без устройства обсадных труб, т.к. вследствие структурной прочности грунта стенки скважины определенное время могут находиться в устойчивом состоянии (при этом технология позволяет погружаться на глубину до 50 метров). В водонасыщенных глинистых грунтах бурение скважин осуществляется под защитой глинистого раствора или с использованием обсадных труб.

1.2.2. Буронабивные сваи без применения обсадных труб

В грунте проходят скважину с использованием установки ударного или вращательного способов бурения. Грунт в забое скважины при ударном способе бурения разрушается ударами долота, присоединенного к бурильным трубам и канатам. Бурение вращательным способом выполняется специальной насадкой со сплошным или кольцевым забоем.

В процессе бурения применяется глинистый раствор, который оказывает гидростатическое давление на стенки скважины, предохраняя их тем самым от обвала. Кроме того, восходящим потоком глинистого раствора частицы разбуренного грунта выносятся на его поверхность.

После изготовления скважины в нее опускается арматурный каркас, который в зависимости от вида внешней нагрузки может устанавливаться по всей длине сваи, на части ее длины или только у верха для связи с ростверком.

Затем скважина бетонируется методом вертикально перемещающейся трубы. При подъеме бетонолитной трубы в процессе бетонирования нижний конец ее должен быть всегда заглублен в бетонную смесь не менее чем на 1 м. Поданная бетонная смесь уплотняется с помощью вибратора, закрепленного на бетонолитной трубе. Другой метод бетонирования использует миксер с бетононасосом: бетонирование осуществляется с помощью бетононасоса — на забой скважины опускается бетоновод. Бетононасос под давлением закачивает бетон в скважину, бетоновод все время остается в первоначальном положении и извлекается только после окончания бетонирования, что определяется полным вытеснением глинистого раствора из скважины и появлением чистого бетона на поверхности. Такая технология бетонирования решает сразу две проблемы — полностью исключается возможность «пережима» сваи грунтом, во-первых, и обеспечивает высокое качество бетона в свае (бетонная смесь укладывается при постоянном давлении), во-вторых.

1.2.3. Буронабивные сваи с применением обсадных труб

После бурения скважины в нее помещается обсадная труба, которая позволяет перекрывать горизонты плавунных грунтов; обеспечивает безопасность ведения

свайных работ; позволяет контролировать параметры буровой скважины; обеспечивает высокое качество заполнения скважины бетоном.

Данная технология позволяет изготавливать сваи с уширением до 1200 мм, что дает возможность использовать несущую способность опорной толщи грунтов основания и увеличивает эффективность применения свай.

1.2.4. Буронабивные сваи, устраиваемые по технологии проходных шнеков

Конструкции проходных шнеков оснащены породоразрушающим инструментом с тераемым башмаком. Технология постановки свай бурением с использованием проходных шнеков обеспечивает сооружение свай без ударов и вибраций, что особенно важно при изготовлении свай вблизи существующих зданий и сооружений. При погружении шнек уплотняет стенки скважины, а выход выбуренного грунта не превышает 30-40% от объема скважины. Сваи заполняются литым бетоном через трубу шнековой колонны при помощи бетононасоса. Армирование осуществляют как через трубу в шнековой колонне, так и погружением армокаркаса в бетон заполненной скважины с помощью вибратора. Глубина погружения каркаса задается проектом. С целью исключения возможной деформации фундаментов рядом стоящих зданий и сооружений, сваи устраивают «в разбежку» (не менее 8-10 метров друг от друга) с возвращением к прежнему месту работ (около существующих домов) через 2-3 суток.

1.2.5. Недостатки применения буронабивных фундаментов

Несмотря на большое количество достоинств по сравнению с забивными железобетонными сваями, буронабивные фундаменты имеют и ряд недостатков. К ним относятся высокая материалоемкость производства и, как следствие, большая продолжительность и высокая стоимость работ. Помимо этого, при возведении в условиях плотной исторической застройки не всегда представляется возможным обеспечить необходимый уровень безопасности для окружающих строений.

В результате проведенного обзора выявлена необходимость разработки новой экономически выгодной конструкции фундамента для центральной части города, позволяющей вести работы в сложных грунтовых условиях с учетом примыкающих исторических зданий. В качестве данной конструкции фундамента рассматриваются стальные сваи-оболочки с открытым нижним концом, погружаемые вдавливанием.

1.3. Область применения стальных трубосвай

Стальные сваи-оболочки используются при строительстве гидротехнических сооружений, в качестве опор мостов, преимущественно в сложных геологических условиях, когда непосредственное заглубление железобетонных свай невозможно. В портостроении применяются в основном стальные трубы диаметром до 2 м с постоянной или переменной по высоте толщиной стенок (чаще 10-14 мм). В мировой практике встречаются случаи использования стальных труб диаметром до 4 м.

Применение открытых снизу стальных трубчатых свай способствует сокращению объемов и сроков производства строительных работ, расходов рабочей силы и материала свай за счет более рациональной работы поперечного сечения свай под нагрузкой.

Стальные сваи лучше, чем железобетонные, воспринимают динамические нагрузки и большие по величине изгибающие моменты, в равной мере воспринимают как сжимающие, так и растягивающие напряжения.

Поскольку стальные сваи хорошо работают на динамические нагрузки, их широко применяют для устройства оснований причалов в сейсмических районах. Например, в Японии построена сейсмостойкая набережная, в которой в качестве свай использованы стальные трубы диаметром 700 мм с толщиной стенок 9 мм.

Иногда свайные металлические основания применяются с целью уменьшения сроков строительства сооружений. Так, во время Великой Отечественной Войны на Дальнем Востоке был возведен пирс на металлических сваях с металлическим верхним строением. Пирс был возведен в сжатые сроки при дефиците строительных материалов. Свайное основание выполнено из труб диаметром 200 мм, рельсов, шпунта.

Обследование пирса в 1960 г. показало, что свайное основание находится в удовлетворительном состоянии, в то время как железобетонные сквозные причалы в этом районе за тот же срок претерпели существенные разрушения в зоне переменного уровня воды [24].

Стальные сваи допустимы также для усиления фундаментов, поскольку значительно упрощается их наращивание по мере заглубления в грунт. В Нью-Йорке в связи с прокладкой 2-й (1912-1917 гг.) и 3-й (1927-1930 гг.) очередей метрополитена для усиления фундаментов использовались трубы диаметрами 350-400 мм с толщиной стенки 3,5-9,5 мм и длиной в грунте до 15 м. В том числе усиливались фундаменты зданий государственного казначейства Соединенных штатов Америки, Национального коммерческого банка, старого здания "Times" и др. В нашей стране впервые применил такие сваи в г. Москве в 1941 г. и в последствии использовал для аналогичных целей в других регионах страны Э.М. Гендель [23].

1.4. Преимущества и недостатки стальных трубосвай с открытым нижним концом по сравнению с железобетонными.

Практика показывает, что стальные сваи обладают рядом достоинств по сравнению с железобетонными, а именно:

- При равной несущей способности они легче железобетонных;
- С помощью сварки или болтовых соединений отдельных звеньев стальные сваи могут собираться любой длины непосредственно на месте строительства сооружения;
- Одинаково хорошо работают на растяжение и сжатие и не боятся ударов и сотрясений;
- Могут быть срезаны и наращены в процессе погружения, причем срезанная часть сваи всегда может быть употреблена в дело;

Применение стальных свай ограничивается следующими обстоятельствами:

- Значительная трудоемкость и материалоемкость устройства фундамента из стальных трубосвай, а, следовательно, высокая стоимость такого фундамента по сравнению с железобетонным.

Более высокая стоимость трубчатых стальных свай также представляется спорной. Основную стоимость и трудоемкость при устройстве фундамента из стальных трубосвай составляет необходимость заполнения внутритрубного пространства бетоном с армированием, что связано с предположением о том, что труба со временем полностью разрушится от коррозии. Из-за этого же предположения практически перестали использовать стальные трубосваи с открытым нижним концом, погружаемые без извлечения из них грунта.

Вопрос коррозионной стойкости стальных трубчатых свай, погружаемых с открытым нижним концом без извлечения грунта заслуживает отдельного внимания и также будет рассмотрен в данной работе.

1.5. Существующая методика оценки несущей способности трубосвай.

Под несущей способностью свай по грунту понимают предельную (разрушающую) нагрузку на сваю, при которой происходит её неограниченное проседание.

Теорию свай заложили такие классики, как Г. Крей, И.В. Яропольский, Р.М Нарбут, А.А Бартоломей.

Большой вклад в дальнейшее развитие методики расчёта свайных фундаментов внесли А.И. Прудентов, В.Ф. Разорёнов, А.А Долинский, А.В. Крамаренко, А.П. Рахаринуси, А.А. Луга, П.Л. Иванов и другие.

На практике несущая способность свай оценивается по методике расчета, приведенной в СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундаменты», СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов», ТСН 20-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге».

Методика заключается в том, что при расчете несущей способности сваи учитывается сопротивление по наружной боковой поверхности и сопротивление острия сваи по кольцевому сечению, но не учитывается влияние сопротивления грунтового ядра сваи в случае свай-оболочек.

В нормативных документах не обнаруживается конкретных рекомендаций для расчёта стальных трубосвай, погружаемых с открытым нижним концом. Только в п. 4.2 СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундаменты», посвященном расчёту несущей способности свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, отмечается, что “ A – площадь опирания на грунт сваи, m^2 , принимаемая ... по площади сваи – оболочки нетто” (рис. 1.3а). А в таблице 3 СНиП 2.02.03.-85 «Свайные фундаменты», содержащей коэффициенты условий работы при забивке свай с открытым нижним концом, коэффициенты даны только для “полых железобетонных свай” и только при диаметре до 0,8 м.

Возможно, отсутствие четких указаний в нормативной документации по расчету несущей способности стальных трубосвай, погружаемых с открытым нижним концом, связано с тем, что подобные сваи рассматривались как оболочки для заполнения армированным бетоном. Благодаря этому свая превращалась по существу в железобетонную набивную сваю в металлической рубашке. Вследствие чего расчет несущей способности такой сваи сводился к существующей методике.

Однако, если в расчетах стальной трубосваи, погружаемой с открытым нижним концом без выемки грунта принимать только ножевую (кольцевую - нетто) площадь A опирания стальной трубосваи, то несущая способность будет, вероятно, сильно занижаться. Не всегда правильно вести расчет стальной трубосваи и по схеме, изображенной на рис. 1.3б (закрытый нижний конец), при которой можно получить существенное завышение несущей способности сваи.

Таким образом, для расчета стальной сваи-оболочки, погружаемой с открытым нижним концом без выемки грунта, расчетная схема, приведенная на рис. 1.3в является наиболее верной.

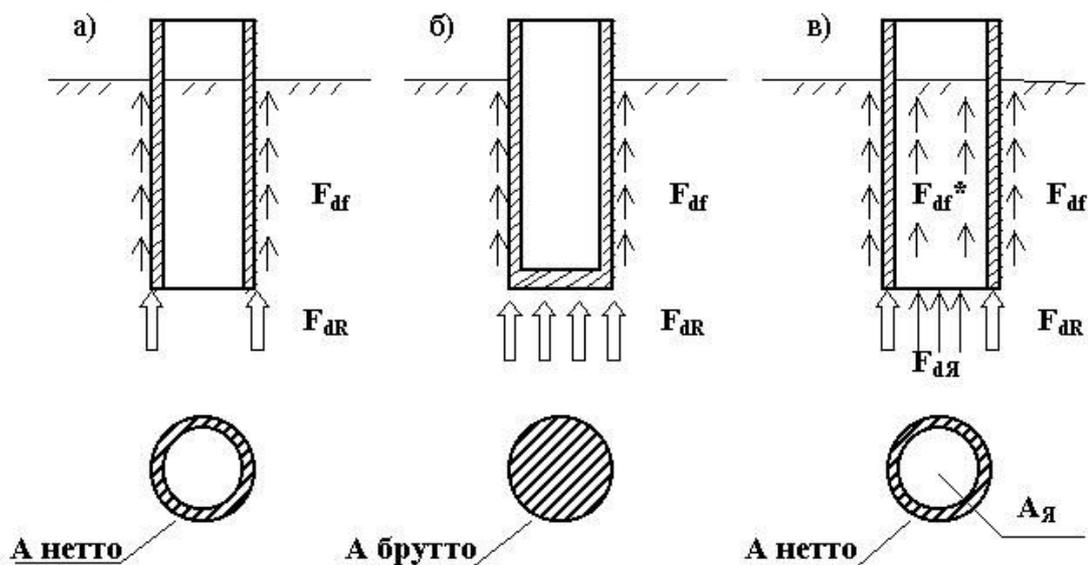


Рис. 1.3. Расчётные схемы для расчета несущей способности стальных трубосвай:
а – без учёта несущей способности грунтового ядра,
б – по схеме с закрытым нижним концом,
в – с учётом несущей способности ядра.

1.6. Выводы по главе. Постановка задачи исследования.

В результате проведенного анализа выявлено, что существующие методики расчета несущей способности применимо к стальным трубосваям (представляются) являются достаточно приближёнными.

Существующие нормативные документы не дают прямых рекомендаций по расчёту именно стальных трубосвай. Это вызвано тем, что ранее задача стальной трубосваи с открытым нижним концом без выемки грунта не ставилась, поскольку расчет несущей способности стальных трубосвай сводился к существующей методике. Подобный упрощённый подход ведет к значительному занижению несущей способности трубосвай

и неоправданному расходу материальных ресурсов. В связи с этим делается акцент на разработке и совершенствовании методики расчета несущей способности стальных трубосвай.

Таким образом, научная проблема заключается в отсутствии модели, адекватной рассматриваемым инженерно-экономическим задачам.

Из изложенного вытекают следующие задачи настоящей работы:

1. Совершенствование методики расчёта несущей способности трубосваи по грунту с учётом влияния грунтового ядра.
2. Разработка методики расчета несущей способности с учетом основных составляющих сопротивления грунта вдавливаю и установление аналитических зависимостей для математического описания сопротивления грунта вдавливаю.
3. Предложение способа и технологии вдавливания сваи с учетом влияния формы наконечника на сопротивление трубосваи вдавливаю.
4. Обоснование режима щадящей технологии погружения стальных трубосвай с открытым нижним концом без извлечения грунта.
5. Выполнение технико-экономического сравнения применения вариантов буронабивной сваи и стальных трубосвай различных диаметров и выбор наиболее экономически выгодного варианта для конкретных грунтовых условий.

2. Выявление физических закономерностей и разработка модели вдавливаемой сваи, адекватно описывающей процессы взаимодействия сваи и грунтового ядра

2.1. Выявление набора показателей, характеризующих объект исследования

Для корректного расчета несущей способности свайного фундамента на стальных трубосвайях необходимо создать адекватную математическую модель трубосваи, учитывающей взаимодействие сваи и грунтового ядра.

2.2. Построение математической модели объекта исследования

2.2.1. Принятые допущения

При разработке математической модели принималась высота грунтового ядра равной глубине погружения сваи.

Кроме того, учитывалось количество пересекаемых пластов грунта. При этом при расчете величины удельного сопротивления грунтового ядра для каждого последующего слоя учитывалась величина удельного сопротивления последнего слоя предыдущего пласта грунта.

Принято допущение, что после погружения сваи все геотехнические характеристики грунта по обе стороны от стенки стальной трубы будут практически одинаковы.

Также допускаем, что после погружения сваи с утолщением на острие и введения в нее дополнительную сваю грунтовое ядро работает как при погружении сваи без утолщения.

При разработке модели принимаем, что давления на стенки сваи с внутренней и внешней сторон существенно не отличаются, опасность разрыва стенок распором грунта отсутствует.

2.2.2. Влияние формы наконечника на сопротивление трубосваи вдавливанию

Практика применения свай показывает, что заметное влияние на её несущую способность оказывает форма острия сваи. При этом использование наконечников в трубосвае приводит к максимальному снижению энергоёмкости погружения трубосваи и расширению её функциональных возможностей.

В данной работе задача снижения энергоёмкости погружения сваи решена за счет того, что наконечник трубосваи дополнительно имеет утолщение с внутренней стороны, при этом поперечное сечение наконечника выполнено в виде криволинейного клина, в т.ч. со сторонами двойкой кривизны.

Кроме того, рассматривается вариант трубосваи с размещенными в полостях утолщений элементами накаливания и покрытием утолщений слоем антифрикционного материала.

Сущность использования наконечников поясняется чертежами: на рисунках 2.1-2.7 изображены варианты наконечника трубосвай в разрезе трубы по диаметральной плоскости (для упрощения показана в разрезе только правая часть наконечника).

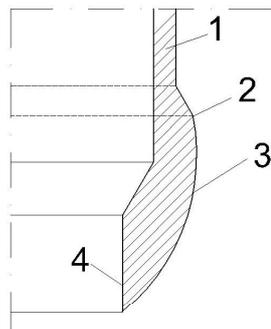


рис.2.1

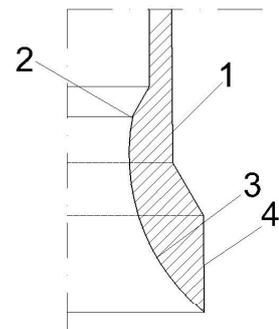


рис. 2.2

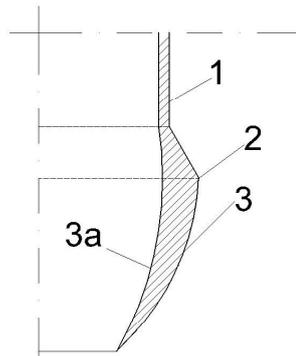


рис. 2.3

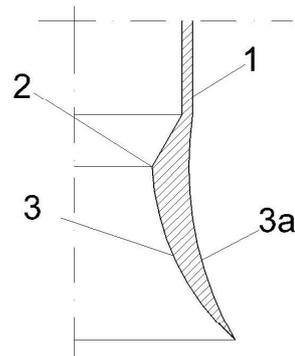


рис. 2.4

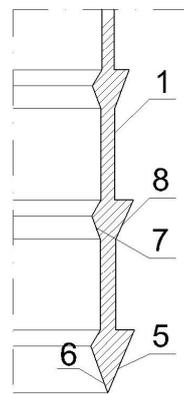


рис. 2.5

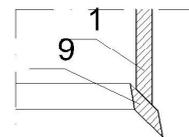


рис. 2.6

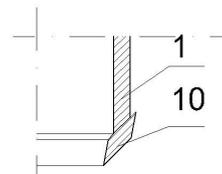


рис. 2.7

Рисунки 2.1-2.7. Варианты наконечника трубосвай.

На рисунке 2.1 с внешней стороны трубы 1 выполнено утолщение 2 с плавной параболической поверхностью 3, идущей от острия наконечника, а с внутренней стороны трубы 1 выполнено утолщение 4 с прямой поверхностью.

На рисунке 2.2 показан вариант наконечника с обратным расположением утолщений.

На рисунке 2.3, по сравнению с рисунком 1, уменьшение внутреннего диаметра наконечника также выполнено параболической поверхностью 3а.

На рисунке 2.4 показан вариант в форме зеркального отображения.

На рисунке 2.5 показан наконечник трубосваи в виде клина с гранями 5 и 6 и труб 1 с поясами утолщений 7 и 8 соответственно с внутренней и внешней ее сторон.

На рисунках 2.6 и 2.7 наконечники 9 и 10 выполнены в сечении в форме параллелограмма в прямом и зеркальном отображении.

Ниже рассмотрено устройство в статике.

Внешние утолщения, например, 2,4 (рисунки 2.1-2.4) и внешние грани других наконечников (рисунки 2.5-2.7) и поясов 7 (рисунок 2.5) создают зазор между трубой 1 и грунтовым массивом и тем самым снимают усилия трения между ними и соответственно снимают энергозатраты на погружение трубосваи.

Внутренние утолщения, например, 2,4 (рисунки 2.1-2.4) и внутренние грани других наконечников (рисунки 2.5-2.7) и поясов 7 (рисунок 2.5) создают зазор между трубой 1 и грунтовым ядром внутри ее и тем самым снимают силы трения по внутренней поверхности трубы 1.

Увеличение диаметра наконечника, создаваемое гранью 3а (рисунок 2.4), по сравнению с внешним диаметром трубы 1 и аналогичное уменьшение диаметра наконечника, создаваемое гранью 3а (рисунок 2.3), по сравнению с внутренним диаметром трубы 1 в нашем случае выполняют роль утолщений наконечника соответственно с внешней и внутренней сторон трубы 1, поскольку обеспечивают зазоры между поверхностью трубы 1 и грунтом.

Утолщения поясов 7 и 8 на трубе 1 (рисунок 2.5) также выполнены в форме клиньев, острые концы которых обращены в сторону наконечника. Эти утолщения могут иметь различные формы и полости. Пояса по окружности стенки трубы могут быть выполнены прерывистыми из отрезков проката, например, типа уголка.

Сущность применения наконечников связана с идеей снижения энергоемкости погружения при внедрении использования стальных трубосвай в условиях плотной застройки.

При погружении сваи с наконечником (рисунок 2.1) поверхность 3 внешнего утолщения 2 плавно отжимает набегающий грунт наружу от стенки трубы 1, образуя зазор и снимая тем самым силы трения грунтового массива по боковой поверхности трубосваи. Поток же грунта, пропускаемый внутрь трубосваи, проходит суженную цилиндрическую часть 4 наконечника и расслабляется за счет расширения полости трубы 1. При этом снижаются силы трения грунта ядра по внутренней поверхности трубы 1, что практически исключает возникновение эффекта «самозапираания» грунтового ядра в полости трубы при ее погружении. Соответственно существенно уменьшается и энергоемкость погружения.

Аналогично работают и наконечники других вариантов, отличие которых друг от друга заключается в большей или меньшей степени отжатия грунта от стенок трубы 1.

Наличие ряда поясов утолщений 7 и 8 по длине трубы 1 (рисунок 2.5) обеспечит дополнительное отжатие грунта от стенок трубы, повысит устойчивость и скорость погружения.

Восстановление несущей способности грунтового ядра трубосваи производят утолщением столба грунта ядра пригрузкой или погружением в него сваи любого рода и конфигурации.

Использование наконечников позволяет расширить область применения трубосвай на большие их диаметры, повышенные глубины погружения, труднопроходимые грунты и более полно использовать резервы трубосвай в части их несущей способности по грунту с одновременным снижением энергоемкости погружения и соответственно уменьшением динамического воздействия на окружающую среду.

Отмеченные признаки позволяют выявить новизну решений, по материалам которых готовится заявка на изобретение.

Пути дальнейшего совершенствования способа снижения энергозатрат на внедрение предполагается за счет выбора пенетратов, снижающих трение между стенкой трубы и грунта

2.2.3. Математическое описание модели стальной трубосваи

Расчётную схему для вычисления несущей способности стальной трубосваи отличается учетом взаимодействия сваи и грунтового ядра представлена в виде (рис. 2.8):

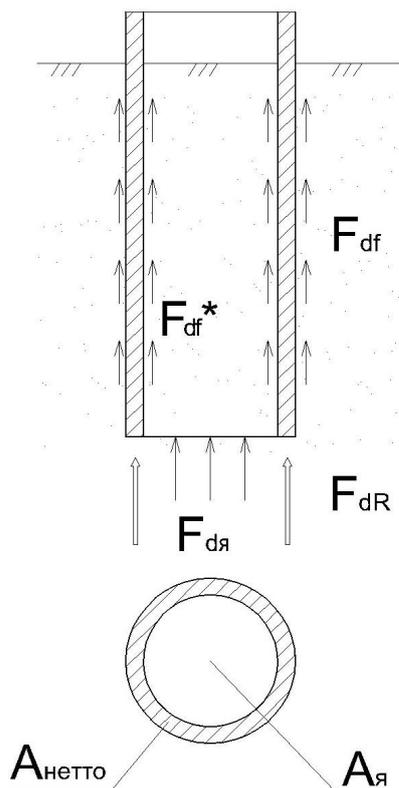


Рис. 2.8. Расчётная схема для расчёта несущей способности стальной трубосваи.

Несущая способность трубосваи определяется по формуле:

$$F_d = F_{dR} + F_{df} + F_{dя}, \quad (2.1)$$

где выделим следующие составляющие:

F_{df} - полное боковое сопротивление по наружной поверхности;

F_{dR} - полное лобовое сопротивление по сечению стальной трубосваи, т.е. ножевое (по площади нетто);

$F_{dя}$ - полное лобовое сопротивление грунтового ядра, заполняющего полость стальной трубосваи при её забивке.

Последнюю составляющую представим в виде:

$$F_{dя} = \gamma_c \cdot \gamma_{сЯ} \cdot R_я \cdot A_я, \quad (2.2)$$

где γ_c - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый $\gamma_c = 1$ (по [1]);

$\gamma_{сЯ}$ - коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи, учитывающий влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта и принимаемый по табл. 3 [1]. В данном случае $\gamma_{сЯ} = 1$,

$R_я$ - удельное лобовое сопротивление грунтового ядра,

$A_я$ - площадь сечения ядра.

Далее запишем:

$$R_я = \min \{ R_B; R_H \}, \quad (2.3)$$

где R_B – удельное сопротивление проталкиванию грунтового ядра внутрь полости,

R_H - удельное сопротивление на острие сваи по СНиП 2.02.03-85.

В свою очередь:

$$R_B = \max \{ q_я; R_B^* \} \quad (2.4)$$

$$\text{при } R_B^* = \frac{F_{df}^*}{A_{\sigma}} \quad (2.5)$$

Здесь $q_{я}$ - удельное сопротивление проталкиванию грунтового ядра с учётом эффекта его самозапирания, например по [5]

R_B^* - то же, за счет сил трения по внутренней поверхности сваи по [5],

F_{df}^* - полное сопротивление трению по внутренней поверхности трубосваи по таблице 2 [1].

Из работы [5] имеем:

$$q_{я} = \frac{B}{A} [\exp(h_{я} \cdot A) - 1] \quad (2.6)$$

$$\text{при } A = \frac{2 \cdot \xi \cdot \text{tg} \varphi_0}{r_{я}} \quad (2.7)$$

$$\text{и } \frac{B}{A} = \frac{2 \cdot c_0 + \gamma_{ГР} \cdot r_{я}}{2 \cdot \xi \cdot \text{tg} \varphi_0}, \quad (2.8)$$

где $h_{я}$ - высота грунтового ядра в полости сваи,

ξ - коэффициент бокового давления грунта ($\xi=0,7$ по [1]),

φ_0 и c_0 - угол трения и сцепление при сдвиге грунта по внутренней поверхности стальной трубосваи,

$\gamma_{ГР}$ - удельный вес грунта ядра,

$r_{я}$ - радиус поперечного сечения ядра.

Качественная картина изменения удельных лобовых сопротивлений по глубине погружения h стальные трубосваи представлена на рис.2.9.

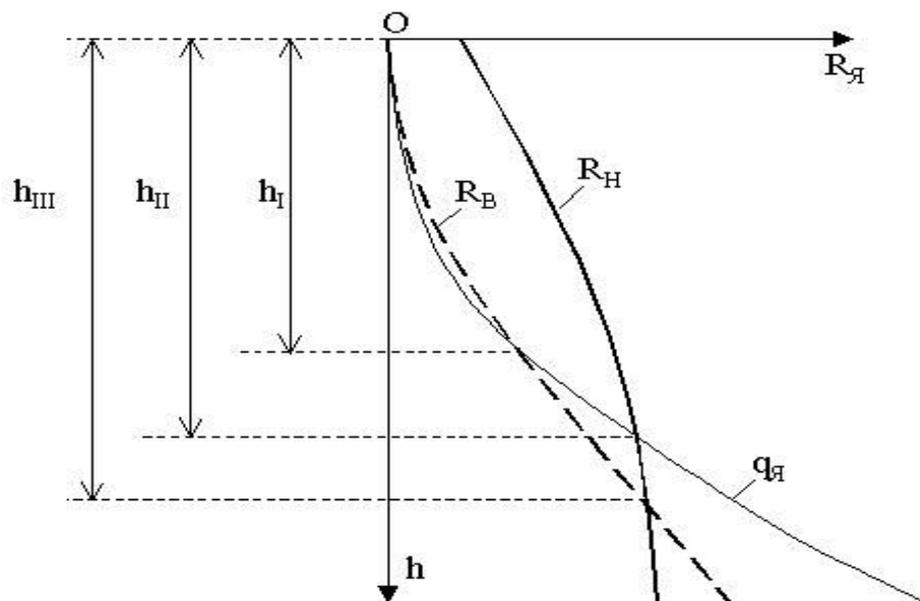


Рис. 2.9. Приближённые зависимости удельных лобовых сопротивлений грунтового ядра трубосваи от глубины её погружения h .

Из рис.2.9 видно, что при $h > h_{III}$ (по данным [1]) и при $h > h_{II}$ (по методике расчета [5]) стальная трубосвая может рассчитываться по схеме с закрытым нижним концом (при $R_{\text{я}} = R_{\text{н}}$), т.е. как квазимонолитная свая. При этом имеется в виду, что $h_{\text{я}} \leq h_{III}$.

При этом по замерам высоты ядра открывается дополнительная возможность судить о работе сваи в процессе ее погружения.

А при $h < h_1$ будет происходить проталкивание (продвижение) грунта внутрь полости стальной трубосваи и расчёт следует вести при $R_{\text{я}} = R_{\text{в}}$. При этом предполагается, что высота грунтового ядра $h_{\text{я}} = h$.

2.3. Исследование предложенной модели

2.3.1. Данные для расчета несущей способности стальной трубосваи

2.3.1.1. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия

В геоморфологическом отношении участок изысканий, расположенный в Санкт-Петербурге на Невском проспекте, приурочен озерно-морской террасе, примыкающей к Финскому заливу.

Рельеф площадки ровный, спланированный. Пространство между зданиями заасфальтировано. Абсолютные отметки поверхности составляют 5.10-5.40 м.

Мощность техногенных отложений (кирпичная кладка старых зданий, строительный мусор) на участке составляет 1.50-3.00 м.

Ближайший водоток река Фонтанка расположена в 400 м от участка изысканий. Уровень воды в р.Фонтанке гидравлически связан с уровнем воды в р.Неве, и, соответственно, в Финском заливе. Во время наводнений уровень воды в заливе не поднимался выше 2.2 м, поэтому вероятность наводнения на данной площадке ничтожно мала.

Сейсмическая активность района менее 6 баллов.

2.3.1.2. Инженерно-геологические условия.

В геологическом строении участка до глубины 40.00 м принимают участие современные техногенные (*t IV*) образования и озерно-морские (*Im IV*) отложения, верхнечетвертичные отложения озерно-ледникового (*Ig III*) и ледникового (*g III*) генезиса, среднечетвертичные отложения озерно-ледникового (*Ig II*) и ледникового (*g II*) генезиса, и верхнепротерозойские (*PR2*) отложения вендской системы котлинского горизонта (*Vkt*).

Простираение литологических слоев горизонтальное, с выдержанной мощностью.

В таблице 1 приведены основные параметры физико-механических свойств грунтов, служащих основанием фундаментов.

Таблица 1. НОРМАТИВНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

№ ИГЭ	Наименование грунтов	Геологический индекс	Плотность грунта, г/см ³			Коэффициент пористости e	Естественная влажность, W_e	Число пластичности I_p	Показатель текучести I_L	Прочностные характеристики						Модуль деформации, МПа кгс/с E	Коэффициент фильтрации, м/сут K_f
			ρ_n	ρ_l	ρ_{II}					Угол внутреннего трения, °			Сцепление, МПа кгс/см ²				
										φ_n	φ_l	φ_{II}	C_n	C_l	C_{II}		
1	Насыпные грунты	t IV	R0 = 0.1 МПа (1.0 кгс/см ²)														1
2	Пески пылеватые, плотные	Im IV	2.10	2.08	2.10	0.500	нас.вод	-		35	32	35	0.007 0.07	0.005 0.05	0.007 0.07	34 340	0.25*
3	Супеси заторфованные	Im IV	1.67	1.46	1.55	1.425	0.57	0.13	0.77	5	4	5	0.014 0.14	0.009 0.09	0.014 0.14	4 40	0.5
4	Суглинки текучие, с прослоями текучепластичных	Ig III	1.83	1.81	1.82	1.068	0.39	0.13	1.15	8	7	8	0.016 0.16	0.013 0.13	0.016 0.16	6 60	0.05
4a	Супеси пластичные	Ig III	2.07	2.05	2.07	0.579	0.21	0.07	0.43	25	22	25	0.014 0.14	0.009 0.09	0.014 0.14	10 100	0.5
5	Суглинки тугопластичные, с прослоями мягкопластичных	g III	2.10	2.09	2.10	0.543	0.20	0.08	0.38	22	20	22	0.022 0.22	0.019 0.19	0.022 0.22	13 130	0.1
5a	Супеси пластичные	g III	2.24	2.22	2.23	0.340	0.12	0.05	0.60	28	24	28	0.019 0.19	0.013 0.13	0.019 0.19	11 110	0.5
5в	Суглинки полутвердые, с прослоями твердых	g III	2.10	2.09	2.09	0.534	0.19	0.08	0.00	23	20	23	0.044 0.44	0.029 0.29	0.044 0.44	14 140	0.1
6	Суглинки текучепластичные	Ig II	1.96	1.94	1.96	0.732	0.25	0.09	0.89	15	14	15	0.017 0.17	0.015 0.15	0.017 0.17	9 90	0.1
6a	Супеси пластичные	Ig II	2.01	1.99	2.01	0.656	0.23	0.07	0.00	27	23	27	0.015 0.15	0.010 0.10	0.015 0.15	14 140	0.5
7	Суглинки тугопластичные	g III	2.11	2.10	2.10	0.531	0.19	0.09	0.33	23	21	23	0.029 0.29	0.026 0.26	0.029 0.29	14 140	0.1
8	Глины твердые	Vkt	2.14	2.12	2.13	0.519	0.18	0.14	-0.36	6	5	6	0.186 1.86	0.124 1.24	0.186 1.86	22 220	0.001

Примечание: 1) Доверительная вероятность принята равной при расчете ρ_l , φ_l , C_l - $\alpha=0.95$; ρ_{II} , φ_{II} , C_{II} - $\alpha=0.85$.

2) K_f приводится по «Справочному руководству гидрогеолога», т.1, 1979г.

2.3.2.Геотехнический надзор при проведении работ в условиях исторической застройки

При проведении строительных работ в условиях исторической застройки необходима организация геотехнического мониторинга за состоянием соседних зданий и возведенных конструкций.

Необходимо учитывать неблагоприятные техногенные факторы и процессы, при производстве строительных работ, такие как:

- снижение уровня грунтовых вод вызывает возникновение дополнительных осадок территории в зоне развития депрессионной воронки;
- снижение уровня грунтовых вод вызывает гниение деревянных конструкций;
- при отрывке котлована, в связи с откачками воды, возможно возникновение процесса механической суффозии – вынос пылеватых частиц из-под фундаментов рядом стоящих зданий;
- при отрывке котлована возможен переход песков, насыщенных водой в плавунное состояние – быстрое перемещение этих грунтов в образовавшееся пространство;

Все эти факторы могут вызвать дополнительную осадку существующих зданий, образование трещин в их конструкциях и привести их в аварийное состояние.

Также необходимо учитывать неблагоприятные природные факторы, осложняющие строительство на рассматриваемой площадке, такие как:

- неоднородность грунтов основания по составу и свойствам;
- наличие в разрезе заторфованных грунтов, которые являются слабыми и сильносжимаемыми грунтами;
- наличие в разрезе слабых тиксотропных грунтов, которые при динамических нагрузках переходят в текучее состояние, что приводит к снижению их прочности и несущей способности;
- близкое залегание грунтовых вод.

2.3.3.Расчет несущей способности стальных трубосвай для фундамента здания по Невскому проспекту

Для обеспечения щадящего способа устройства фундамента применяется метод вдавливания свай. Использование специального наконечника позволяет снизить трение грунта по боковой поверхности, благодаря чему представляется возможным подобрать сваевдавливающую машину необходимого усилия.

Для дальнейшего распора грунта и ввода в работу грунтового ядра внутрь трубосвай вводятся дополнительные объемы в виде железобетонной сваи необходимого сечения; назовем применяемую технологию «свая в трубе».

Расчетная схема для расчета несущей способности сваи со специальным наконечником приведена на рисунке 2.10.

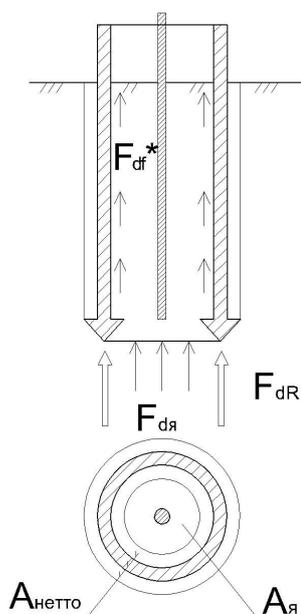


Рис. 2.10. Расчетная схема для расчета несущей способности сваи по технологии «свая в трубе»

Расчеты несущей способности по грунту, графики зависимости удельных сопротивлений грунтового ядра от глубины погружения трубосваи и графики зависимости несущей способности трубосваи от глубины погружения приведены в приложениях 1-5.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчета несущей способности стальных трубосвай по грунту

Диаметр / толщина стенки, мм	h_n , м	$F_{д стс}$, тс	N_m , тс	$F_{дм стс}$, тс
1020x8	29,7	488	404	532
1120x8	29,7	585	444	585
1220x9	29,7	688	543	716
1420x10	29,7	923	703	927
2520x12	25,72	1887	1505	1984

Где h_n – глубина погружения сваи, м;

$F_{д стс}$ – несущая способность трубосваи по грунту, тс

N_m – предел текучести по материалу, тс

$F_{дм стс}$ – предел прочности по материалу, тс.

Расчет несущей способности стальной трубосваи по материалу

В соответствии с таблицей 1 ГОСТ 10705-80 «Трубы стальные электросварные. Технические условия» принимаем марку стали СтЗПС со следующими характеристиками:

- Предел пластичности $\sigma_n=1600$ кгс/см²
- Предел текучести $\sigma_T=2300$ кгс/см²
- Временное сопротивление $\sigma_B=3800$ кгс/см²

В соответствии с таблицей 1, пункт 3 СНиП II-23-81* «Стальные конструкции» расчетное сопротивление стали принимаем:

- По пределу текучести $R_y=R_{yn}/\gamma_m$
- По временному сопротивлению $R_u=R_{un}/\gamma_m$,
где γ_m – коэффициент надежности по материалу в соответствии с пунктом 3.2 СНиП II-23-81* «Стальные конструкции», $\gamma_m=1,05$

Получаем:

$$R_y = 2300 / 1,05 = 2190,5 \text{ кгс/см}^2$$

$$R_u = 3800 / 1,05 = 3619,1 \text{ кгс/см}^2$$

Определяем несущую способность сваи по материалу:

$$F_{dm} = \gamma_c R_y \cdot A_{ст}$$

γ_c – коэффициент работы сваи в грунте, $\gamma_c = 1$ по [1].

Для дальнейшего распора грунта и ввода в работу грунтового ядра внутрь трубосваи вводятся дополнительные объемы в виде железобетонной сваи необходимого сечения (технология «свая в трубе»). Параметры железобетонных свай приведены в таблице 4.

Таблица 3. Характеристики дополнительных железобетонных свай.

Диаметр / толщина стенки стальной трубосваи, мм	Сторона ж/б сваи квадр. сечения, м	h_n , м	$F_{d \text{ ж/б}}$, тс	$F_{dm \text{ ж/б}}$, тс
1020x8	0,13	29,7	64	64
1120x8	0,14	29,7	68	68
1220x9	0,14	29,7	68	68
1420x10	0,15	29,7	73	73
2520x12	0,20	25,72	92	107

Таким образом, мы получили различные варианты фундамента «свая в трубе» с применением стальной и железобетонной свай, характеристики которых приведены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики стальной и железобетонной свай («свая в трубе»)

h_n , м	Диаметр / толщина стенки стальной трубосваи, мм	$F_{d \text{ ст.}}$, тс	Сторона ж/б сваи квадр. сечения, м	$F_{d \text{ ж/б}}$, тс
29,7	1020x8	488	0,13	64
29,7	1120x8	585	0,14	68
29,7	1220x9	688	0,14	68
29,7	1420x10	923	0,15	73
25,72	2520x12	1887	0,20	92

2.4. Выводы по главе

1. В результате изучения вопроса несущей способности стальной трубосваи разработана ее математическая модель, адекватно описывающая физическую сущность несущей способности трубосваи с учетом влияния грунтового ядра.

2. На основе разработанной модели предложены аналитические выражения для расчета сопротивления грунта вдавливанию с учетом трения по наружной и внутренней поверхностях стенки, сопротивления на лобовой поверхности сваи и на грунтовом ядре.

3. Рекомендован способ оптимизации параметров трубосвай с учетом материала сваи и наконечника, а также инженерно-геологических условий их внедрения.

4. Для дальнейшей корректировки методики необходимо проведение натурных испытаний.

3. Особенности устройства стальных трубосвай в условиях исторической застройки г. Санкт-Петербурга

3.1. Достоинства, недостатки и область применения свай, погружаемых вдавливанием

Обоснована необходимость использования стальных трубосвай в условиях исторической застройки методом вдавливания, позволяющего выполнить работы в непосредственной близости от зданий и сооружений, а также внутри них с высокой гарантией сохранности объектов.

3.1.1. Преимущества способа вдавливания свай по сравнению с ударным или вибрационным способом погружения.

3.1.1.1. Отсутствие динамических воздействий, передающихся в виде сейсмоударных волн, как на погружаемую сваю, так и на здания и сооружения.

Отсутствие динамических нагрузок особенно важно при производстве работ вблизи или внутри зданий, находящихся в аварийном или в неудовлетворительном техническом состоянии, любые дополнительные воздействия на которые могут привести к новым деформациям и обрушению строительных конструкций. При проведении работ в жилых массивах это позволяет избежать конфликтов с населением (этот фактор может быть определяющим при выборе технологии производства работ, перекрывая все соображения экономической эффективности) и выполнять усиления и пристройки без расселения людей. При реконструкции действующих предприятий это позволяет производить работы без остановки технологического процесса. Кроме того, отсутствие динамики исключает опасность повреждения водонесущих коммуникаций и кабельных сетей, заглубленных сооружений, высокочувствительного и прецизионного оборудования, срабатывания аварийных и охранных сигнализаций и т. д. (м.б. вибрация от применяемой техники)

3.1.1.2. Высокая точность погружения и непрерывный контроль за усилием вдавливания.

Предлагаемая технология позволяет обеспечить непрерывный контроль за сопротивлением погружения свай и, следовательно, за их несущей способностью исключает ошибки, связанные с недопогружением свай или повреждением их при нагрузках, обеспечивает несущую способность свай точно в соответствии с проектом, создает предпосылки для превращения данной технологии в безотходную (при наличии секций свай различной длины), сокращает затраты на дорогостоящие статические испытания свай.

Высокая точность погружения свай в плане и по высоте позволяет применять безростверковые решения фундаментов или со сборными ростверками, исключая процессы цементирования с использованием воды при их устройстве. Кроме того, устраивать фундаменты под стены и перегородки внутри уже отремонтированных помещений, избежать переноса сетей коммуникаций и т.д.

3.1.1.3. Низкая энергоемкость способа вдавливания.

Исследования, выполненные БашНИИСтроем (НИИПромСтроем) г. Уфа (Б.В. Гончаров, Ю.Д. Трояновский) и подтвержденные ВНИИГСом г. Санкт-Петербург (Е.М. Перлей, С.В. Гдалин и т.д.), показали следующие значения энергозатрат (Дж) при погружении свай сечением 35х35 см на глубину 12 м в глинистые грунты: вдавливанием – 190×10^5 , вибрационным (вибратор ВП-1) и ударным (с использованием дизель-молота С-1047 и механического молота массой 4 т) методами соответственно 670×10^5 и 606×10^5 .

Объясняется это тем, что при вдавливании работа главным образом затрачивается на погружение сваи и раздвижку грунта, а при других способах погружения большая часть работы идет на создание колебаний сваи, окружающего грунта, конструкций зданий и сооружений, на тепловые потери, на преодоление внутренних сил, возникающих в погружающих механизмах, многократное сжатие ствола сваи и т.д.

3.1.1.4. Экологическая чистота метода.

Отсутствие шума, загазованности (особенно при болтовых или штыревых узлах сопряжения секций свай), вибрации делает этот метод экологически чистым.

3.1.2. Некоторые возникающие недостатки метода вдавливания

3.1.2.1. Кажущаяся техническая простота метода

Кажущаяся простота технологии устройства свай вдавливания создает иллюзию возможности быстрого освоения данного метода с использованием серийно выпускаемых кранов, экскаваторов и других строительных машин, переоборудованных в кустарных условиях путем оснащения гидроцилиндрами и другими вдавливающими механизмами различного назначения. Однако для обеспечения стабильной работы метода необходимо произвести усовершенствование существующего оборудования и механизмов.

3.1.2.2. Возникновение реактивного усилия при вдавливании свай

Возникающее реактивное усилие, равное усилию погружения сваи, при новом строительстве традиционно компенсировалось весом самой базовой машины или дополнительных грузов, что увеличивало габариты и ограничивало маневренность установок и сдерживало применение метода при строительстве в стесненных условиях.

При усилении фундаментов это требовало проведение сложных работ по укреплению конструкций или созданию дополнительных мощных силовых элементов (плиты, балки и т.д.). В настоящее время этот недостаток устраняется технологическими мероприятиями по снижению усилия вдавливания (лидерные скважины, применение специальных наконечников и др.) и конструктивными решениями при разработке установок (анкера, вакуумные присоски и т.д.).

3.1.3. Рациональная область применения метода вдавливания.

Существенные достоинства и легко устранимые недостатки метода определяют широкую область его применения при усилении фундаментов в новом строительстве.

Необходимость применения вдавливаемых свай для устранения дефицита несущей способности грунтовых оснований фундаментов мелкого заложения или свайных фундаментов может быть обусловлена следующими факторами:

- реконструкцией, сопровождающейся ростом постоянных и временных нагрузок на фундамент за счет существенного изменения паспортной характеристики здания (этажности, типа перекрытия, балок, колонн и др.), изменением назначения помещений и увеличением длительных и кратковременных нагрузок;
- реконструкцией, связанной с освоением подземного пространства и с переоборудованием подземного хозяйства, нарушающей нормальную работу грунтового основания и угрожающей надежности существующего фундамента, а также реконструкцией непригодного фундамента;
- аварийными осадками и кренами, вызванными ошибками и упущениями на стадиях изысканий, проектирования и строительства, в результате которых грунты не обладают несущей способностью, достаточной для восприятия расчетных нагрузок;
- сверхнормативными осадками и кренами, возникающими в результате нарушений режима эксплуатации зданий и сооружений (проливы, утечки и иссушение грунтов горячими газами подземных негерметичных воздухопроводов);
- аварийными осадками и кренами, появляющимися в результате общего подтопления территории, нарушения поверхностного стока и режима грунтовых вод, а также в результате активизации антропогенного суффозионно-карстового процесса;
- осадками и кренами, появляющимися в результате воздействия особых нагрузок (резкие нарушения технологического процесса, взрывы, землетрясения, наводнения).
- застройка территории без учета возможного отрицательного воздействия на работу оснований и фундаментов эксплуатируемых зданий и сооружений;

3.2. Защита от коррозии

Известно, что лучшей долговременной гидроизоляцией фундамента является уплотненная перемятая глина. Экспериментальные исследования ведущих специалистов по сваям, погружаемым с полным вытеснением грунта в их объеме (А.А. Бартоломей, Б.В. Бахолдин, Б.И. Долматов, А.А. Григорян, В.И. Крутов, Ф.К. Лапшин и др.) показывают, что плотность грунта по боковой поверхности таких свай увеличивается на 10% и более, а под нижним концом – до 20%, соответственно снижается пористость, а коэффициент фильтрации в этом случае должен уменьшиться в десятки и сотни раз.

Уже в работе Е. Прентиса и Л. Уайта, опубликованной на русском языке в 1935 г. [23], отмечено, что металлическая оболочка сваи остается неповрежденной до тех пор, пока она соприкасается с грунтом. «Одним из возможных объяснений этого явления может служить то обстоятельство, что поверхность оболочки каждой такой сваи вследствие наличия в грунте кислорода несколько ржавеет, причем этот образующийся слой ржавчины благодаря соприкосновению с землей удерживается на месте, не позволяя обнажиться следующему слою, который мог бы оказаться подверженным коррозии. Иными словами, благодаря образованию некоторого налета ржавчины, труба оказывается защищенной этим слоем от дальнейшего ржавления». В качестве примера приведено повторное использование трубы \varnothing 750 мм, находившейся в земле 58 лет.

В той же работе [23] сказано, что в соответствии с нью-йоркскими строительными нормами на применение набивных свай в стальных оболочках под новое строительство внутреннюю арматуру применять не следует, а из эффективной площади сечения трубы при расчетах следует исключить наружное кольцо толщиной в 1,5 мм. Следовательно, подразумевается, что остальное сечение трубы коррозионному разрушению подвергаться не будет.

Тот же Э.М. Гендель [23] отмечает, что, по мнению некоторых специалистов, корродирует только внешний слой металла толщиной 3-4 мм, а образовавшаяся при этом пленка защищает металл от дальнейшего разрушения. Однако экспериментального подтверждения данного утверждения не приводится.

Даже начавшийся процесс коррозии сваи в грунте должен стать затухающим: связав весь свободный кислород, продукты коррозии, значительно увеличиваясь в объеме по сравнению с исходным металлом, дополнительно уплотняют окружающий массив грунта. Кроме того, исследования Г.Н. Жинкина и В.Ф. Калганова (1980 г.) показывают, что продукты электрохимической коррозии металлических электродов при взаимодействии с глинистыми грунтами определенного химического состава могут приводить к необратимому закреплению массива в зоне до нескольких диаметров электрода.

Все изложенное выше свидетельствует о том, что данный вопрос требует самого серьезного изучения. Вместе с тем, вопрос о коррозии металлических свай в грунте часто обходится молчанием ведущих специалистов. П.А. Коновалов в своей работе [23] отмечает, что сведения по этому вопросу весьма ограничены и противоречивы и приводит данные исследований японских ученых, на основе экспериментальных измерений показавших, что за 10 лет скорость коррозии металла составляла 0,01 мм в год и мало зависела от состава стали, грунтовых условий, наличия сварных швов и антикоррозионного защитного покрытия. В том же самом виде эта информация приводится и во всех более поздних работах других ученых, т.к. более новые результаты исследований, видимо, отсутствуют.

Выполненный обзор литературы показал, что серьезных исследований скорости коррозии металлических свай в уплотненных грунтах (погружаемых с полным или частичным вытеснением грунта в их объеме) практически не производилось. Результаты исследований коррозионного разрушения металлического шпунта (А.А. Луга, Э.Г. Годес, Р.М. Нарбут, И.А. Ганичев и др.), при погружении которого уплотнения грунтов практически не происходит, могут быть приняты в первом приближении только для поверхности металлических трубчатых свай, погружаемых в лидерные скважины, диаметр которых сопоставим с диаметром самой трубы.

Действительный срок службы металлических трубчатых свай в уплотненном грунтовом массиве в зависимости от условий эксплуатации может быть установлен

только экспериментальным путем. Однако заранее можно предположить, что ниже уровня грунтовых вод он будет составлять многие десятки лет. В зоне переменного уровня грунтовых вод вопрос долговечности таких свай может быть решен либо конструктивными (индивидуальные секции свай из оцинкованной или толстостенной трубы, бетонная рубашка на концевой металлической секции или железобетонная секция аналогичного сечения и т.д.), либо другими методами (окраска, обмазка, специальные противокоррозионные ленты, электрохимическое закрепление грунта солями железа и т.д.)

В Японии, например, запатентован и опробован следующий способ защиты стальных трубчатых свай [23].

Для защиты поврежденной коррозией головной части стальной трубчатой сваи на нее надевают кожух из листов полужесткого пластика. На внутренней стороне листа с определенным интервалом в окружном направлении выполнены продольные буртики, на которые надеты распорные элементы, образующие зазор между сваей и кожухом. Через этот зазор вдавливают кольцевой элемент, который отжимает уплотнительный элемент в направлении боковой поверхности сваи. Зазор между сваей и кожухом заполняется цементным раствором.

Для антикоррозийной защиты всей трубы могут применяться хорошо известные полимерные вяжущие, эпоксидные и полиуретановые смолы, а также металлические покрытия (гальванические, напыленные и т.д.). Эти антикоррозионные покрытия не только обладают высокой устойчивостью и адгезией с металлом, но и позволяют в ряде случаев снижать усилие погружения сваи в грунт.

3.3. Выводы по главе.

Таким образом, доказана возможность применения стальных трубосвай, погружаемых методом вдавливания в условиях исторической застройки и показаны основные их преимущества:

- Отсутствие динамических воздействий как на погружаемую сваю, так и на здания и сооружения.
- Высокая точность погружения и непрерывный контроль за усилием вдавливания.
- Низкая энергоемкость способа вдавливания.
- Экологическая чистота метода.

Для эффективного внедрения данного способа в производство необходимо обеспечить оптимальные режимы вдавливания и соответствующие нагрузки, основной акцент делать на использовании специальных наконечников, снижающих трение грунта по стенке.

Предложенный способ наиболее эффективен при устройстве свайных фундаментов в особых условиях по щадящей технологии.

Намечены пути дальнейшего совершенствования способа и технологии вдавливания

Вопрос защиты стальной трубосваи от коррозии может быть решен путем применения широко известных в настоящее время антикоррозийных покрытий.

4. Технико-экономическое сопоставление вариантов железобетонных и стальных свай.

4.1. Технико-экономическое сопоставление

Экономические требования, выдвигаемые к конкретному типу фундамента, сводятся к минимальной стоимости конструкций, устройства оснований, а также последующих ремонтных работ и к сокращению сроков строительства.

В данном случае для принятия обоснованного решения о целесообразности применения того или иного варианта фундамента необходимо провести технико-экономическое сравнение.

Для технико-экономического сравнения составлены сметные расчет на устройство каждой из рассматриваемых свай в грунтовых условиях центра г. Санкт-Петербург (Невский пр.). В оригинальном проекте строительства применены буронабивные сваи диаметром 900 мм, длиной 39 м. В качестве альтернативных вариантов рассмотрены стальные трубосваи, погружаемые с открытым нижним концом без выемки грунта.

Для сравнения стоимости вариантов введем понятие $N_{зам}$ – число свай варианта i , замещаемых одной сваей других вариантов по несущей способности грунта. После приведения всех рассматриваемых свай к одинаковой несущей способности по грунту через коэффициент $N_{зам}$ определим приведенную стоимость свай как отношение стоимости сваи по сметному расчету к коэффициенту $N_{зам}$.

Результат сметного расчета стоимости устройства свай и сравнение вариантов приведен в таблице 5.

Таблица 5. Технико-экономическое сравнение вариантов буронабивной сваи и стальных трубосвай свай с использованием железобетонной сваи для распора грунта

Диаметр / толщина стенки, мм	Длина, м	Несущая способность, тс	Стоимость одной сваи, тыс. руб.	$N_{зам}$	Приведенная стоимость сваи, тыс. руб.
Буронабивная Ø900 мм	39	643	778,62	1,000	778,62
1020x8	30,2	488	411,78	0,855	481,41
1120x8	30,2	585	421,76	1,016	415,30
1220x9	30,2	688	428,45	1,176	364,41
1420x10	30,2	923	636,97	1,549	411,22
2520x12	25,72	1887	1548,27	2,628	589,08

Проведенное сравнение стоимости различных вариантов свай показал экономическую выгоду применений стальных трубосвай в конкретных инженерно-геологических условиях.

На рисунке 4.1 приведен график зависимости стоимости стальной трубосваи от диаметра сваи и толщины стенки.

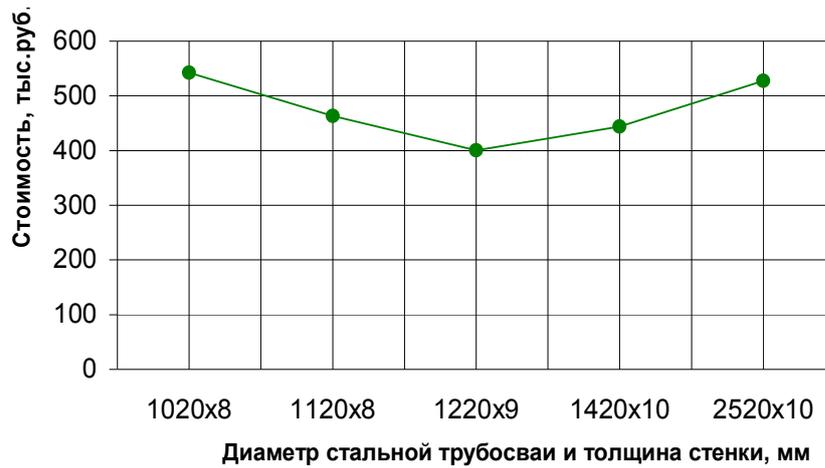


Рис. 4.1. График зависимости стоимости стальной трубосваи от диаметра сваи и толщины стенки.

Таким образом, для заданных грунтовых условий наиболее оптимальным с точки зрения стоимости будет вариант стальной трубосваи 1220x9 мм.

Также по результатам сметных расчетов можно произвести сопоставление трудоемкости рассматриваемых вариантов. Результаты данного сопоставления приведены в таблице 6.

Таблица 6. Сопоставление нормативной трудоемкости

Диаметр / толщина стенки, мм	Нормативная трудоемкость, тыс. чел. час
Буронабивная Ø900 мм	0,79
1020x8	0,13
1120x8	0,11
1220x9	0,12
1420x10	0,17
2520x12	0,23

На рисунке 4.2 приведена гистограмма зависимости трудоемкости от диаметра сваи. Гистограмма наглядно показывает значительное сокращение трудоемкости при использовании варианта стальных трубосвай вместо буронабивных в данных условиях.

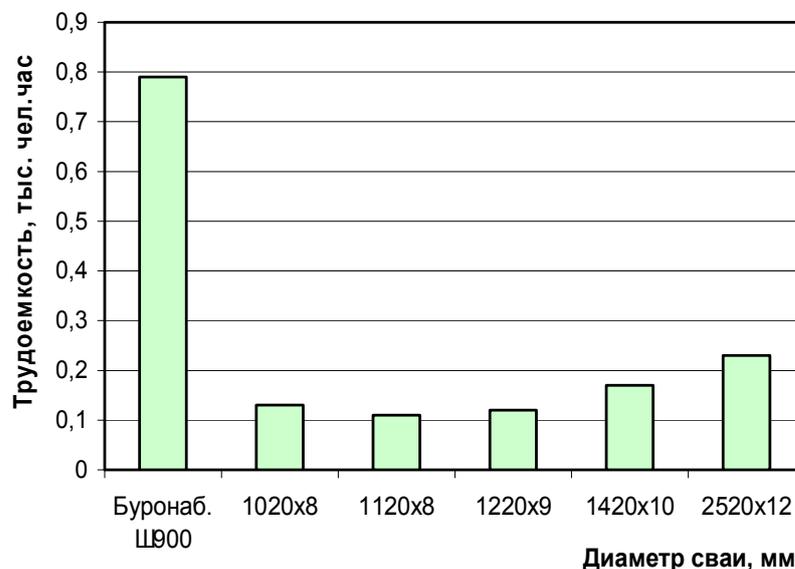


Рис. 4.2. Гистограмма зависимости трудоемкости от диаметра сваи.

4.2. Выводы по главе

В результате проведенного технико-экономического сравнения вариантов свай (буронабивной и вариантов стальных трубосвай) можно сделать следующие выводы:

1. Применение стальных трубосвай в условиях исторической застройки на примере Санкт-Петербурга является более экономически выгодным по сравнению с широко используемой технологией буронабивных свай.

2. Для конкретных грунтовых условий выбран оптимальный с точки зрения стоимости вариант стальной трубосваи 1220x9 мм.

3. Показано, что при сопоставлении нормативной трудоемкости тех же вариантов свай имеется возможность значительного сокращения трудоемкости при использовании стальных трубосвай.

4. Показано, что применение стальных трубосвай приводит к упрощению технологии устройства фундамента, также минимизирует количество используемых механизмов и материалов.

5. Заключение

Показано, что выбором оптимального вида свай можно улучшить эффективность производства строительных работ по возведению свайного фундамента, повысить его несущую способность, уменьшить стоимость, а также снизить вредное воздействие на близлежащие сооружения и окружающую среду. В данной работе в качестве оптимального вида свай выбраны стальные трубосваи. Необходимость внедрения фундаментов на стальных трубосваях вызвана возрастающим объемом работ в стесненных условиях в исторической застройке.

В результате работы уточнена несущая способность стальных трубосвай и усовершенствованы методы их расчёта и проектирования в составе свайных фундаментов с учетом щадящих методов производства работ.

Предложены аналитические выражения для определения несущей способности стальной трубосваи. Сопоставление расчетов с результатами экспериментальных лабораторных и натурных испытаний других авторов дало удовлетворительное совпадение результатов.

Предложенные теоретические модели позволили впервые добиться качественного обобщения существующих методик расчёта фундаментов с железобетонными трубосваями и их распространения на стальные трубосваи.

Основные научные и практические результаты, полученные в работе, заключаются в следующем:

1. Разработана математическая модель стальной трубосваи, адекватно описывающая физическую сущность несущей способности трубосваи с учетом влияния грунтового ядра.
2. Получено аналитическое решение для основных составляющих сопротивления грунта вдавливанию трубосваи (на боковой и лобовой поверхностях сваи и на грунтовом ядре).
3. Доказана возможность применения стальных трубосвай, погружаемых методом вдавливания в условиях исторической застройки и показаны основные их преимущества.
4. Предложено использование специальных наконечников, снижающих трение грунта по стенке.
5. Намечены пути дальнейшего совершенствования способа и технологии вдавливания.
6. Установлена высокая технико-экономическая эффективность при переходе на рассматриваемый способ возведения фундамента в особых условиях.
7. Результаты работы внедрены в ООО «Высотник» для проектирования свайного фундамента под дымовую трубу высотой 200 м.

Список литературы

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты.
2. СП 50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов.
3. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.
4. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений.
5. СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты.
6. Булатов Г.Я., Словцов Д.И. К теории трубосвай // Технология, строительство и эксплуатация инженерных систем. Материал межвузовской научной конференции – СПб.: Изд-во СПбОДЗПП. С.34-35.
7. Разорёнов В.Ф. Механические свойства грунтов и несущая способность свай.- Воронеж, 1987.
8. Флорин В.А. Основы механики грунтов, том II.- М.- Л.: Стройиздат, 1961,-543 с.
9. Крей Г. Теория давления земли и сопротивления грунтов нагрузке (пер. с немецкого).- М.-Л.: Гос. Научно-техническое изд-во строительной индустрии и судостроения, 1932, 294 с.
10. Яропольский И.В. Основания и фундаменты.- Л.: Водтрансиздат, 1954, 456 с.
11. Нарбут Р.М. Работа свай в глинистых грунтах.- Л.: Стройиздат, 1972.
12. Прудентов А.И. Несущая способность железобетонных трубчатых свай с грунтовым ядром.- М.: Стройиздат, 1966.
13. Булатов Г.Я., Вегера А.Г., Бабурин Д.Е. Аналитические представления несущей способности свай //формирование технической политики инновационных наукоемких технологий. Материалы науч. - практ. конф. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003 с. 18-26.
14. Прудентов А.И. Железобетонные сваи с грунтовым ядром.- Л.: Стройиздат, 1971, 161с.
15. Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. // Под редакцией Бартоломея А.А. – М.: 2000. 306 с.
16. Крамаренко А.В. Особенности работы свай кольцевого сечения в процессе их осевого статического нагружения. //Науч. Труды Ленморниипроекта. Юбилейный сб. (115 лет). СПб., 2000. с. 114-122.
17. Рахаринуси А.П. Определение осадки стальных трубчатых свай с открытым нижним концом. //Науч. Труды Ленморниипроекта. Юбилейный сб. (115 лет). СПб., 2000. с. 114-122.
18. Булатов Г.Я. Введение в общую теорию технологий (на примере строительства). – СПбГПУ, 2003.
19. Смородинов М.И. Свайные работы. Справочник строителя. – М.: Стройиздат, 1988, 223 с.
20. Машины для свайных работ./Под ред. С.П. Епифанова и др. – М.: СИ, 1982.- 150 с. (Справочное пособие).
21. Ефимов С.Г. Технология и организация строительства водных путей и портов. – М.: ВШ, 1974.
22. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1977. 376 с.
23. Савинов А.В. Применение свай, погружаемых вдавливанием. Учебное пособие. – Саратов: СГТУ, 2000.
24. Кульмач П.П., Трутаев А.Н., Хаперский В.В. Морские гидротехнические сооружения, часть II. – ЛВВИСКУ, 1975. 478 с.
25. Рахаринуси А.П. Применение стальных трубчатых свай с открытым нижним концом в портовых гидротехнических сооружениях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. С-Пб, 1999.
26. Строительство и городское хозяйство. Апрель 2007, №92. «Устоят ли «дома на песке»?», с.61.

27. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент.
28. ГОСТ 10705—80*. Трубы стальные электросварные прямошовные. Технические условия.
29. ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
30. СНиП 3.04.03-85. Защита строительных конструкций от коррозии.
31. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции.