

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Приоритетный национальный проект «Образование»
Национальный исследовательский университет**

***Н. И. ВАТИН А. Н. БАДАНИН Г. Я. БУЛАТОВ
Н. Б. КОЛОСОВА***

УСТРОЙСТВО СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2012

УДК 624.154
ББК 38.654.1

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
Петербургского государственного университета путей сообщения
Доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургского государственного политехнического
университета *Н. В. Арефьев*

Ватин Н.И., Баданин А.Н., Булатов Г.Я., Колосова Н.Б. **Устройство свайных фундаментов: учеб. пособие.** – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 227 с.

Излагаются основные положения проектирования и технологии устройства свайных фундаментов при строительстве промышленных и гражданских зданий и сооружений, рассматриваемые в учебной дисциплине «Устройство свайных фундаментов». Представлены различные технологические приёмы и схемы устройства свайных фундаментов, описаны основные строительные машины и оборудование, используемые при таких работах, а также методика их выбора и оценка производительности. Особое внимание уделено вопросам проектирования свайных фундаментов в различных грунтовых условиях.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по магистерской программе «Строительство особо опасных, технически сложных и уникальных зданий и сооружений» направления подготовки магистров «Строительство», а также слушателям курсов профессиональной переподготовки и повышения квалификации.

Работа выполнена в рамках реализации программы развития Санкт-Петербургского национального исследовательского университета «Модернизация и развитие политехнического университета как университета нового типа, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования и надотраслевые технологии мирового уровня с целью повышения конкурентоспособности национальной экономики»

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Ватин Н.И., Баданин А.Н., Булатов Г.Я.,
Колосова Н.Б., 2013

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2013

ISBN 978-5-7422-3871-3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Общие положения	7
1.1. Виды свайных фундаментов	7
1.2. Классификация свай	14
1.3. Способы погружения и изготовления свай	24
2. Проектирование свайного фундамента	28
2.1. Основные указания по расчету свайного фундамента ...	28
2.2. Требования к конструированию свайных фундаментов	34
2.3. Расчет несущей способности забивной сваи	38
2.4. Указания по расчету свайного фундамента из винтовых свай	45
3. Погружение готовых свай	55
3.1. Технология забивки свай. Машины и оборудование	55
3.2. Технология вибропогружения свай. Машины и оборудование	73
3.3. Технология задавливания свай. Машины и оборудование	84
3.4. Технология завинчивания свай. Машины и оборудование	89
4. Изготовление свай в проектном положении	93
4.1. Технология обустройства буронабивных свай. Машины и оборудование	93
4.2. Технология обустройства буроналивных свай. Машины и оборудование	102
5. Особенности устройства фундаментов в вечномёрзлых грунтах	109
5.1. Характеристика вечномёрзлых грунтов как оснований фундаментов	109
5.2. Сооружение свайных и столбчатых фундаментов в вечномёрзлых грунтах	115
6. Устройство шпунтового ограждения	124
6.1. Деревянное шпунтовое ограждение	124
6.2. Металлическое шпунтовое ограждение	128
6.3. Проектирование шпунтового ограждения	133
7. Выбор и расчет производительности оборудования для погружения забивных свай.....	143

7.1. Критерии выбора. Общие положения	143
7.2. Основы расчета числа машин	147
7.3. Основные критерии выбора молота и копра	150
7.4. Расчет технической и эксплуатационной производительности копра	162
8. Выбор и расчет производительности строительных машин для вибропогружения свай	170
8.1. Общие положения и классификация	171
8.1. Критерии выбора копра при вибропогружении свай ...	180
8.1. Определение основных параметров при вибропогружении свай	183
9. Выбор и расчет производительности строительных машин для завинчивания свай	184
9.1. Выбор свайного кабестана	184
9.1. Выбор копровой (крановой) установки	185
9.2. Расчет чистого времени погружения свай	187
Библиографический список	189
Приложения	191
Приложение 1. Номенклатура железобетонных свай	192
Приложение 2. Расчетные сопротивления грунтов	194
Приложение 3. Формы исполнительной документации	196
Приложение 4. Технические характеристики сваебойного оборудования	201
Приложение 5. Технические характеристики инвентарных металлических понтонов	205
Приложение 6. Технические характеристики вибропогружателей	206
Приложение 7. Технические характеристики бурового оборудования	208
Приложение 8. Характеристики стальных шпунтовых свай	211
Приложение 9. Графики для расчета шпунтовых стенок ограждения котлованов	212
Приложение 10. Формулы для определения площадей, моментов сопротивления, моментов инерции и статических мо- ментов сечения	224

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие является изданием, в котором изложены основные положения проектирования и технологии устройства свайных фундаментов. Фундаменты свайной конструкции находят широкое применение в современном строительстве гражданского, промышленного и сельскохозяйственного назначения.

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по магистерской программе «Строительство особо опасных, технически сложных и уникальных зданий и сооружений» направления подготовки магистров «Строительство», а также слушателям курсов профессиональной переподготовки и повышения квалификации по дисциплине «Устройство свайных фундаментов».

Пособие составлено в соответствии с государственным образовательным стандартом третьего поколения. Оно предназначено при изучении дисциплины «Устройство оснований и фундаментов» в каждом учебном семестре «9» магистратуры. В свою очередь, курс по устройству оснований и фундаментов является дисциплиной по выбору вариативной части дисциплин профессионального цикла (М2.В.ОД.4).

В основу учебного пособия положены значительные части курсов лекций и практических занятий по устройству свайных фундаментов, читаемые студентам и специалистам-слушателям при повышении квалификации на кафедрах «Технология, организация и экономика строительства» и «Подземные сооружения, основания и фундаменты» инженерно-строительного института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

В пособии рассмотрены ключевые вопросы проектирования свайных фундаментов и технологические способы их устройства, а также представлены основные положения нормативных, в том числе новых, технических документов в области строительства таких фун-

даментов. Однако следует учесть, что новые нормативные документы типа СП (Свод правил) не отменяют существующие СНиПы и другие строительные нормативные документы.

Авторы ставили своей целью предоставить студентам любой формы обучения необходимый материал для выполнения соответствующих разделов при курсовом и дипломном проектировании, а также развить у студента способности самостоятельно принимать решения по оптимизации технологических схем устройства свайных фундаментов, в том числе, находящихся в особых климатических и грунтовых условиях.

На основе материала, представленного в данном учебном пособии, студенты самостоятельно смогут закрепить полученные на аудиторных занятиях знания по использованию строительной техники и технологии. Самостоятельная работа с пособием, и тот широкий круг вопросов, отраженных в нём, позволит студентам значительно расширить свой кругозор в области свайного фундаментостроения, развить навыки работы с нормативными документами, использовать инновационные подходы при определении необходимого вида строительной техники и технологии.

Авторы с благодарностью отнесутся к любым замечаниям и отзывам по пособию, которые просят присылать по адресу 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, кафедра «Технология, организация и экономика строительства».

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Виды свайных фундаментов

При невозможности устройства фундамента мелкого заложения в случае недостаточной несущей способности верхних слоев грунта применяют свайные фундаменты - комплекс свай, объединенных в единую конструкцию, передающую нагрузку на основание. Конструктивно свайный фундамент состоит из свай различной конструкции и ростверка [9]. *Свая* - это полностью или частично погруженный в грунт стержень, служащий для передачи давления от сооружения на нижележащие слои грунта.

Ростверк – распределительная балка или плита, объединяющая головы свай и перераспределяющие на них нагрузку от вышерасположенных конструкций. Различают высокий ростверк, если его подошва располагается выше поверхности грунта, и низкий ростверк, если его подошва опирается на грунт или заглубляется в нем. Возможно возведение *комбинированного свайно-плитного фундамента* - фундамент, состоящий из железобетонной плиты (свайного ростверка) и свай, совместно передающих нагрузку на основание.

Сваи являются основным конструктивным элементом свайного фундамента. Именно они позволяют передать давление от сооружения на глубоко расположенные плотные слои грунта. Помимо этого сваи уплотняют окружающий их грунт и тем самым улучшают его механические характеристики.

Свайные фундаменты в зависимости от размещения свай в плане бывают следующих видов [20]:

- а) фундамент на одиночных сваях - под отдельно стоящие опоры;
- б) фундамент в виде свайных лент - под стены зданий и сооружений при передаче на фундамент распределенных по длине нагрузок с рас-

положением свай в один, два ряда и более;

в) фундамент на свайных кустах - под колонны с расположением свай в плане на участке квадратной, прямоугольной, трапецеидальной и другой формы;

г) фундамент в виде сплошного свайного поля - под тяжелые сооружения со сваями, равномерно расположенными под всем сооружением и объединенными сплошным ростверком, подошва которого опирается на грунт.

Ростверк (от немецкого «решетчатая конструкция») объединяет головы свай для их совместной работы под нагрузкой. В настоящее время решетчатые ростверки применяются в фундаментах на деревянных и металлических сваях, что встречается довольно редко. Для железобетонных свай ростверк выполняется в виде сплошной железобетонной плиты или ленты. По его расположению относительно поверхности грунта различают два вида свайного фундамента: с низким и высоким ростверком [1].

Фундамент с низким свайным ростверком (рис. 1.1) полностью заглублен в грунт. В таком фундаменте сваи работают в основном на восприятие вертикальной нагрузки, а горизонтальные передаются на грунт боковой поверхностью плиты ростверка.

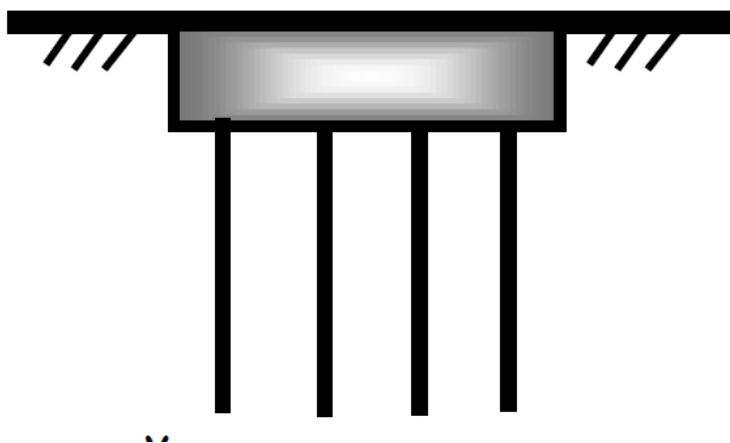


Рис. 1.1. Схема фундамента с низким свайным ростверком

Сооружение такого фундамента требует разработки котлована. Но так как в промышленном и гражданском строительстве все равно требуется производить земляные работы по устройству подвалов,

подведению подземных коммуникаций и т.д., этот вид фундаментов получил широкое распространение. Кроме того, сплошная плита ростверка может служить полом подвальных помещений здания. Следует отметить, что полностью заглубленный фундамент иногда устраивают и по архитектурно-эстетическим соображениям.

В фундаментах с высоким свайным ростверком плита располагается выше поверхности грунта (рис. 1.2). В таком случае сваи работают не только на вертикальные нагрузки, но и на горизонтальные, что вызывает в них изгибающий момент. Ростверк же служит только для размещения надфундаментной части сооружения и объединения голов свай для их совместной работы.

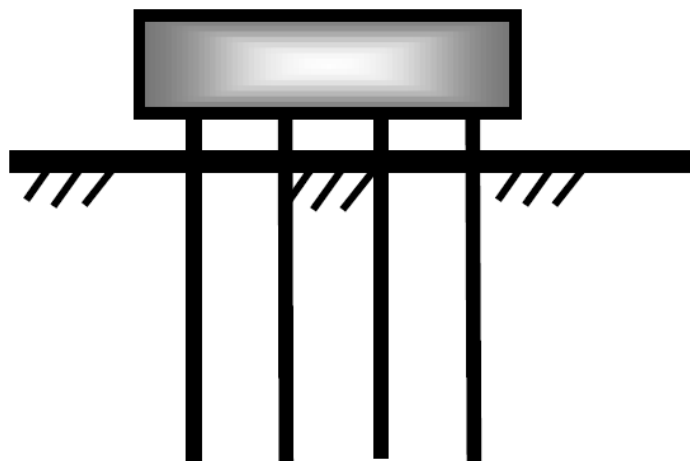


Рис. 1.2. Схема фундамента с высоким свайным ростверком

При сооружении такого фундамента не требуется разработка котлована, что упрощает производство работ. Фундаменты этого вида нашли широкое применение в транспортном строительстве при возведении искусственных сооружений. Кроме того, в целях сохранения верхнего слоя вечномерзлых грунтов такие фундаменты применяются при промышленном и гражданском строительстве в северной климатической зоне.

Плита низкого и высокого ростверков выполняется, как правило, без уступов. В низком ростверке в основном применяют вертикальные сваи. В высоком ростверке возможно применение как вертикальных, так и наклонных свай.

Расстояние между осями забивных висячих свай без уширений в

плоскости их нижних концов должно быть не менее $3d$ (где d - или диаметр круглого, или сторона квадратного, или большая сторона прямоугольного поперечного сечения ствола сваи), в уровне подошвы плиты - не менее $1,5d_{св}$. Для свай-стоек - не менее $1,5d$ (рис. 1.3) [17].

Расстояние в свету между стволами буровых, набивных свай и свай-оболочек, а также скважинами свай-столбов должно быть не менее 1,0 м; расстояние в свету между уширениями при устройстве их в твердых и полутвердых пылевато-глинистых грунтах - 0,5 м, в других нескальных грунтах - 1,0 м.

Расстояние между наклонными или между наклонными и вертикальными сваями в уровне подошвы ростверка принимают исходя из конструктивных особенностей фундаментов и обеспечения их надежности заглубления в грунт, армирования и бетонирования ростверка.

Расстояние в свету между сваями и вертикальной гранью плиты ростверка:

- не менее 25 см;
- при сваях-оболочках диаметром свыше 2 м - не менее 10 см.

Заделка голов свай в ростверк (рисунок 1.3):

- деревянные сваи - не менее $2d_{св}$;
- ж.б. сваи при $d < 0,6$ м - $> 2d_{св}$;
- ж.б. сваи при $d > 0,6$ м - $> 1,2$ м.

Допускается заделка свай в ростверк с помощью выпусков стержней продольной арматуры длиной, определяемой расчетом, но не менее 30 диаметров стержней при арматуре периодического профиля и 40 диаметров стержней при гладкой арматуре. При этом сваи заводятся в ростверк не менее чем на 10 см.

Железобетонный ростверк армируют по расчету, бетонный ростверк армируют конструктивно в его нижней части (в промежутках между сваями) [19].

Глубину заложения подошвы свайного ростверка назначают в зависимости от конструктивных решений подземной части здания или сооружения (наличия подвала, технического подполья) и проекта планировки территории (срезкой или подсыпкой), а также высоты ро-

стверка, определяемой расчетом (но не менее 50 см выше заделки сваи в ростверк). При необходимости забивки сваи ниже стоянки копра применяют подбабок. Подбабок устанавливают на сваю при необходимости забивки ее ниже уровня, обеспечиваемого стрелами копра (рис. 1.5).

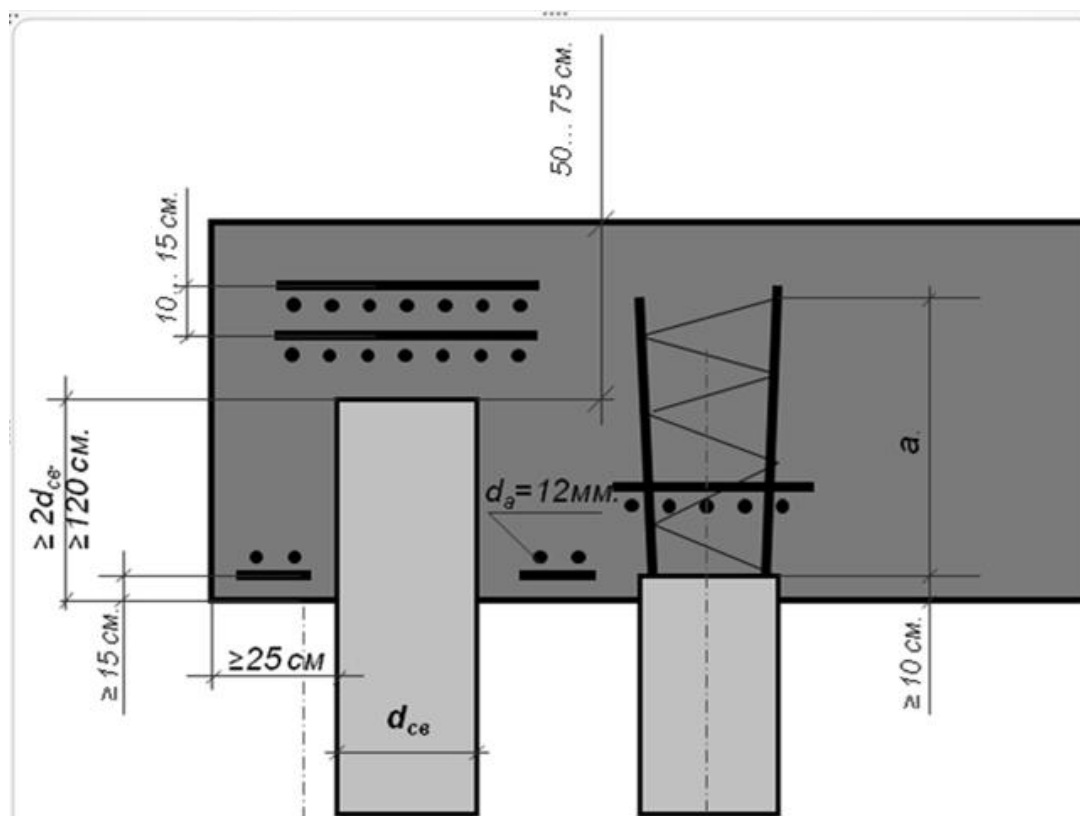


Рис. 1.3. Схемы заделки свай в ростверк

Для обеспечения проектного положения сваи в процессе погружения применяют направляющий каркас или кондуктор – конструкции для обеспечения проектного положения свай в процессе их погружения. Пространственный каркас состоит из нескольких деревянных или металлических горизонтальных рам с ячейками для установки сваи. Рамы размещены в разных уровнях и соединены стойками и диагональными связями. В качестве кондукторов используются железобетонные элементы ростверка или металлические рамы с гнездами для погружаемых свай. Каркас, собранный из инвентарных металлических конструкций, может быть использован в качестве внутреннего распорного крепления котлована и основы подмостей (рис. 1.5).

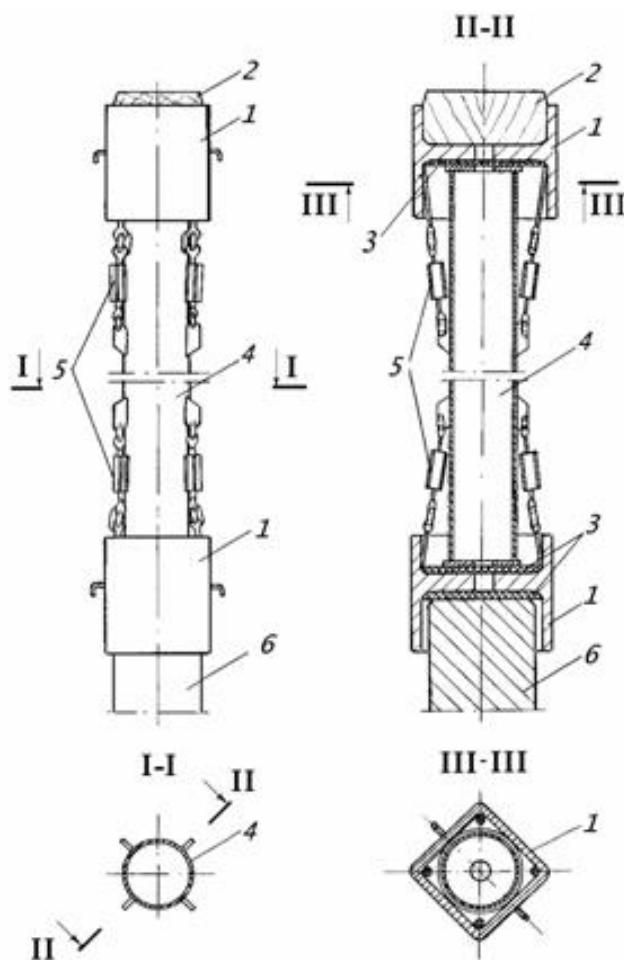


Рис. 1.4. Подбабок:

1 - наголовник; 2 - деревянный вкладыш; 3 - амортизирующая прокладка; 4 - стальная труба; 5 – натяжное устройство; 6 - железобетонная свая

Для предотвращения разрушения сваи при забивке на ее голову надевают наголовник - конструкцию для защиты головы сваи от разрушения при ударе молота, а также для центрирования молота на свае. Для защиты деревянной сваи от размочаливания достаточно на ее голову одеть бугель (рис. 1.6, б), выполненный в виде кольца из полосовой стали. Для забивки пакетной сваи бугель делают в виде прямоугольной рамки. При забивке железобетонной сваи, обладающей большой жесткостью необходимо смягчение удара, для этого применяется более сложные конструкции наголовника (рис. 1.6, а), выполненного в виде стакана с двумя полостями, в которых размещены амортизирующая прокладка 3 и деревянная пробка 1. Наружные крючки служат для подъема наголовника. Надетый на сваю наголовник центрируется и закрепляется на ней деревянными клиньями.

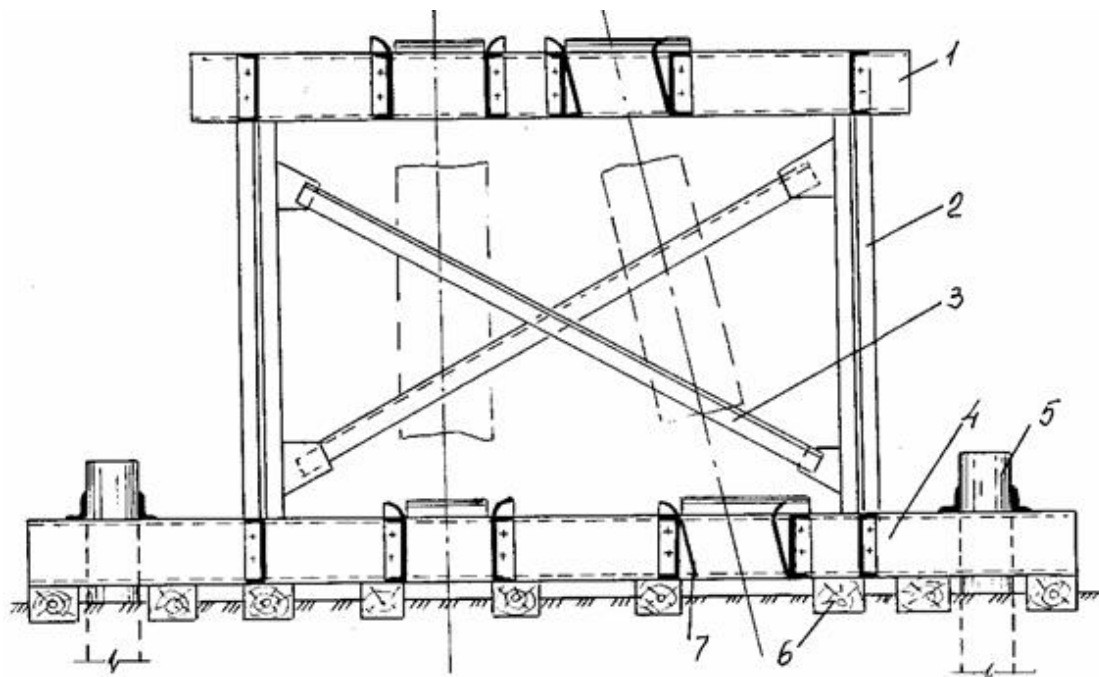


Рис. 1.5. Инвентарный направляющий каркас:

1 - верхний ярус балок; 2 - стойки; 3 - диагональные связи; 4 - нижний ярус балок; 5 - маячная свая; 6 - лежень; 7 - фиксатор

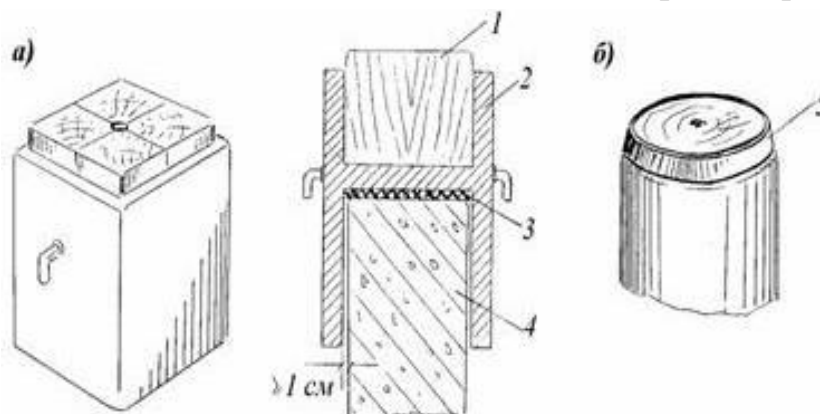


Рис. 1.6. Наголовники свай:

а - для железобетонной сваи; б - для круглой деревянной сваи;
1 - вкладыш из прочной древесины; 2 - стальной корпус; 3 - амортизирующая прокладка; 4 - железобетонная свая; 5 - стальной бугель

При строительстве на пучинистых грунтах необходимо предусматривать меры, предотвращающие или уменьшающие влияние сил морозного пучения грунта на свайный ростверк.

1.2. Классификация свай

Сваи в фундаментах начали применяться в глубокой древности. Первоначально сваи применялись для уплотнения грунтов с целью повышения несущей способности оснований, затем - в качестве несущих элементов, передающих нагрузку от плиты фундаментов на грунт. Сваи изготавливали из лесоматериалов и забивали в грунт ручными молотами. Головы свай срезали ниже уровня воды, защищая их от соприкосновения с воздухом.

В настоящее время в фундаментостроении применяется более 100 типов свай, которые можно классифицировать по трем наиболее существенным признакам [9, 11]:

- по особенностям передачи нагрузки на грунт (сваи-стойки, висячие, уплотнения, трения);
- по способу заглубления или устройства свай в грунте (изготавливаемые заранее и погружаемые в готовом виде; изготавливаемые в проектом положении; комбинированные);
- по материалу: деревянные, бетонные, ж.б., стальные, комбинированные.

Классификация свай по не основным признакам:

1. по форме поперечного сечения:

- круглые;
- квадратные;
- прямоугольные;
- треугольные;
- многогранные;
- трубчатые;
- крестовые;
- и т.д.

2. по форме продольного сечения:

- цилиндрические (призматические);
- конические;
- пирамидальные;
- с рифленой поверхностью.

3. по характеру действующего усилия:

- сжатые;
- растянутые;
- изгибаемые.

4. по расположению в фундаменте:

- вертикальные;
- наклонные.

По особенностям передачи нагрузки на грунт наиболее распространены сваи-стойки и висячие сваи. Сваи-стойки передают нагрузку на грунт в основном нижним концом на малосжимаемые грунты (скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, твердые глины). Висячие сваи передают нагрузку на любые грунты нижним концом и за счет сил трения по боковой поверхности.

Деревянные сваи в капитальных конструкциях применяются очень редко, так как им присущи ряд недостатков [7]:

- ограниченная длина;
- трудности погружения в плотные грунты;
- способность к загниванию;
- возможность повреждения насекомыми.

Хорошо сохраняются сваи, длительное время постоянно находящиеся под водой. Для этого уровень срезки деревянных свай должен быть на 0,5 м ниже УГВ или УМВ. Также оправдано применение деревянных свай при устройстве временных и краткосрочных сооружений со сроком службы до 10 лет.

Деревянные одиночные сваи изготавливают из бревен с диаметром ствола 22 - 28 (30) см с сохранением их конусности. Влажность лесоматериала свай не ограничивается.

Одиночные сваи, как и любые другие, включают следующие конструктивные элементы:

- голову – верхний конец сваи, оборудуется металлическим бугелем из полосовой стали (рис. 1.7, а);
- острие – нижний конец сваи (рис. 1.7, б). На острие набивается башмак из полосовой стали (рис. 1.7, в);
- тело – часть сваи между головой и острием.

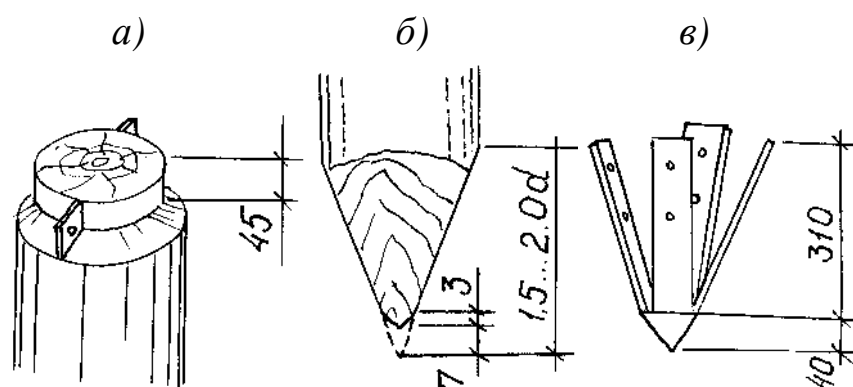


Рис. 1.7. Голова, острие и башмак одиночной деревянной сваи

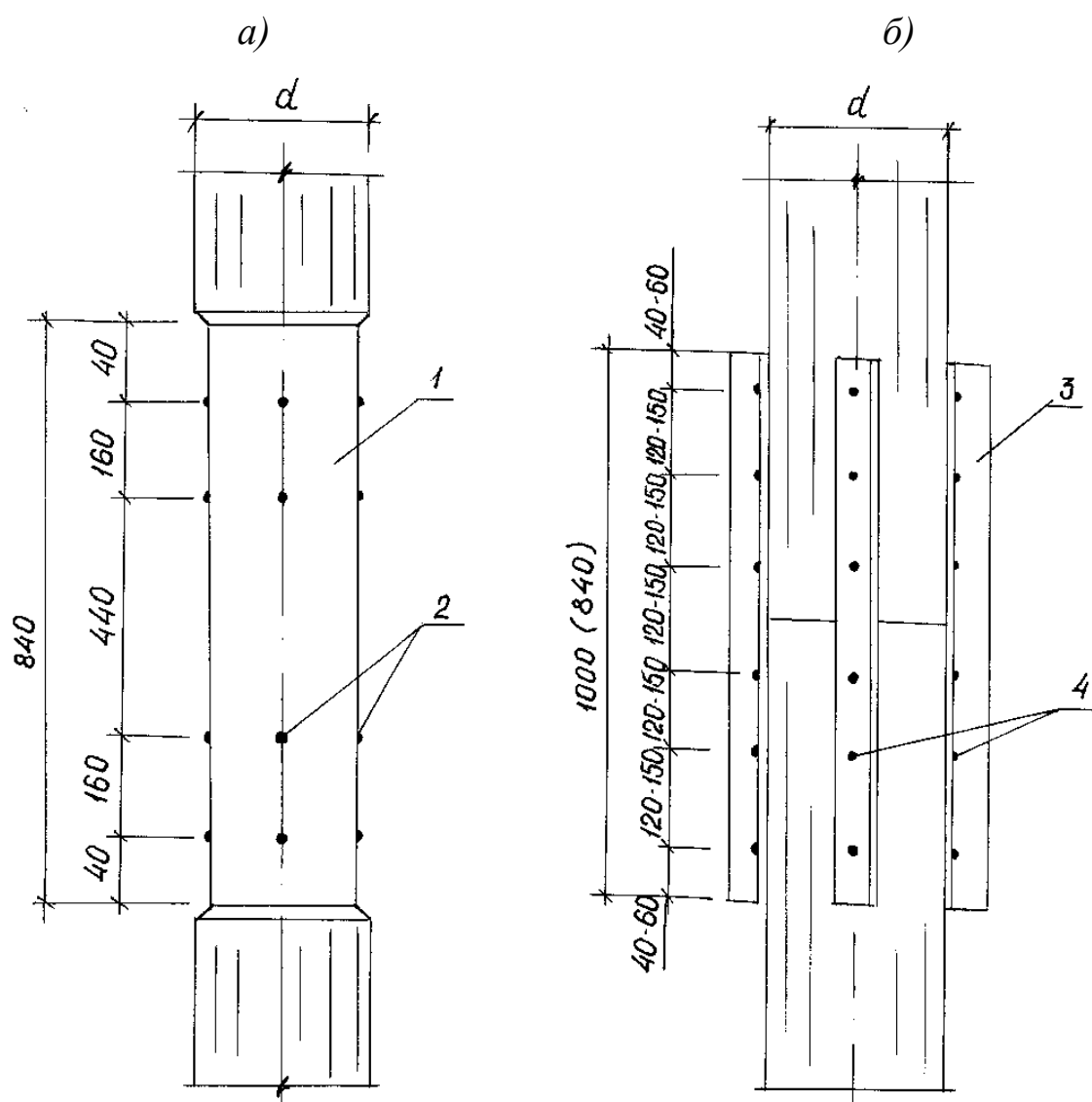


Рис. 1.8. Стык в обойме из трубы (а) и на накладках (б):
1 – обойма; 2 – ерши (шурупы); 3 – накладки из уголка; 4 – болты

Одиночная свая обычно имеет длину 6,5 - 8,0 м. При недостаточной длине бревен сваи наращивают до необходимой длины забла-

говременно (в процессе изготовления) или в ходе забивки. Стыкование бревен осуществляется с помощью отрезка трубы (в обойме) или при помощи накладок из уголкового стального проката (рис. 1.8).

Кустовые сваи получают путем объединения двух бревен одинакового диаметра с притеской их по длине. Бревна стягиваются болтами, устанавливаемыми через 1,5 - 2,0 м или скобами, устанавливаемыми не реже чем через 0,8 м. Диаметр бревен принимается таким же, как и для одиночных свай (рис. 1.9). Нижний конец сваи заостряется и на него одевается металлический башмак, независимо от вида грунта, в который свая погружается (рис. 1.10, б).

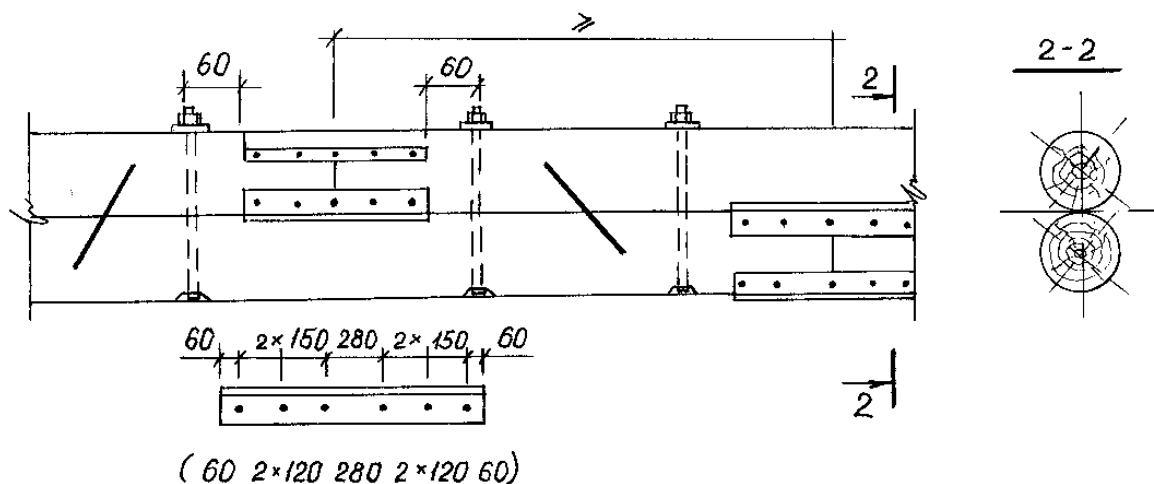


Рис. 1.9. Кустовая свая

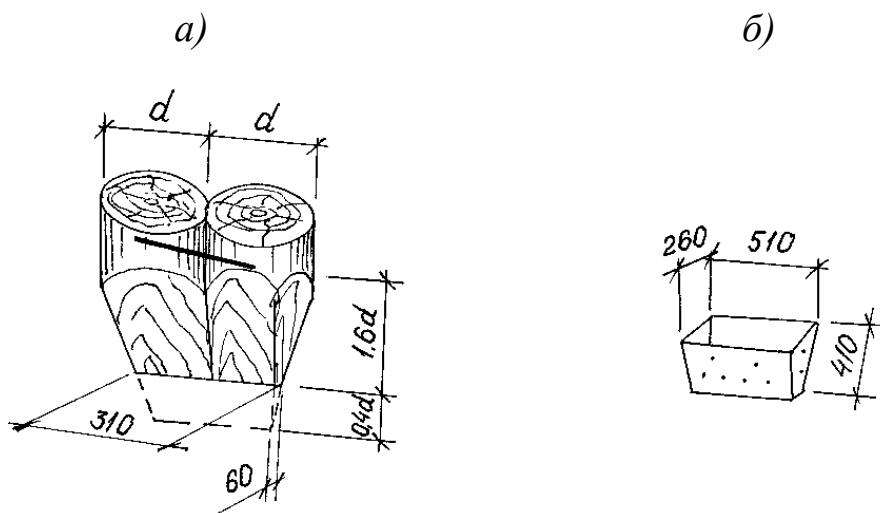


Рис. 1.10. Острие кустовой сваи и башмак

Свай-плотки образуются сплачивание 3-4 бревен или 4-х брусьев (чаще брусьев). Ввиду значительной длины свай бревна (или

брусью) приходится сращивать по длине. Могут применяться брусья с обзолом:

- 4 (18x18) см $\ell = 9,6 - 11,2 - 12,8$ м;
- 4 (20x20) см $\ell = 12,8 - 14,4$ м;
- 4 (22x22) см $\ell = 14,4 - 16,0$ м;
- 4 (25x25) см $\ell = 17,6 - 19,2$ м.

Стыки располагаются вразбежку. Расстояние между стыками принимается не менее 1,5 м с постановкой болтов не менее 4 штук на 1 пог. м сваи, считая по одной стороне. На одной из сторон сваи - сплотки ставят накладку из стальной полосы впотай, головки болтов по этой стороне располагают также впотай. На трех других сторонах не полоса (900x90x8), а уголок (800-900 мм $\angle 90 \times 9$). Каждый уголок крепится четырьмя болтами. Болты перед забивкой сваи подтягивают. Металлический башмак (рис. 1.11) делают из стальной полосы 120x6, гвозди крепят башмак к острию сваи ($d = 6$ мм, $\ell = 200$). На 1 стык идет 36 - 60 кг металла.

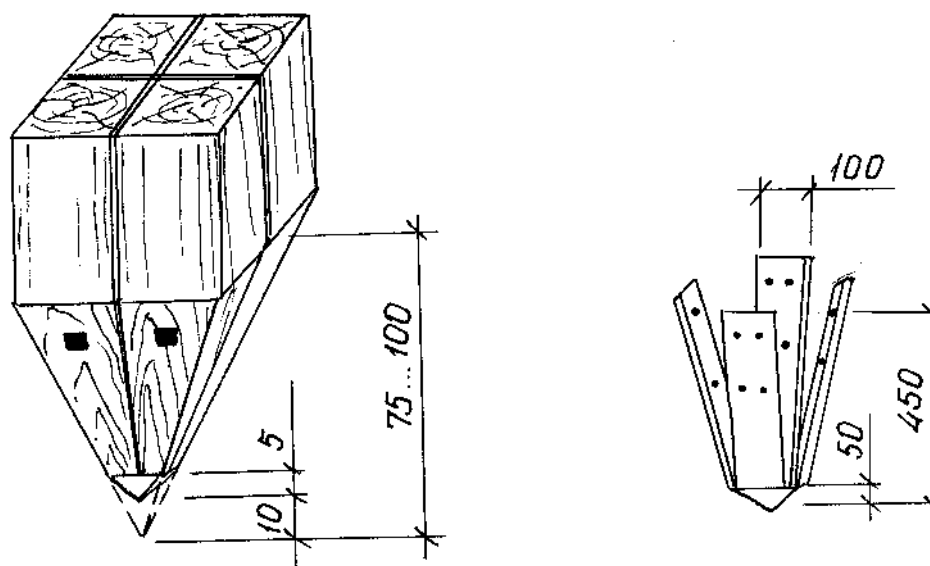


Рис. 1.11. Заострение сваи сплотки и башмак

Стальные сваи в настоящее время при капитальном строительстве в основном не применяются. Могут использоваться при временном и краткосрочном строительстве, особенно при плотных и выветрелых скальных грунтах [8].

Стальные сваи изготавливаются различного сечения (рис. 1.12) из следующих материалов:

1. труб \varnothing 325, 426, 630 мм и даже оболочки \varnothing 1020...1422 мм;
2. стального проката различного профиля;
3. пакетов из рельсов.

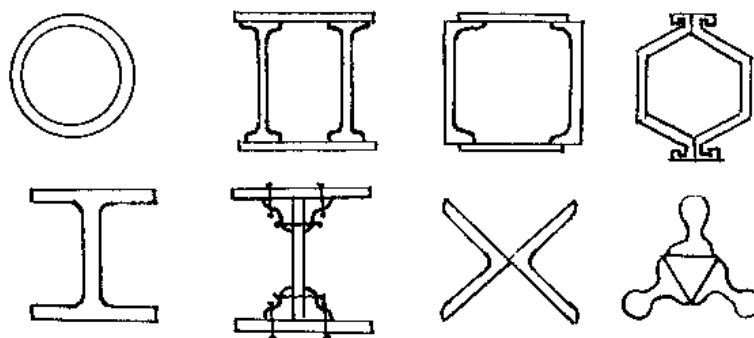


Рис. 1.12. Виды сечений металлических свай

К достоинствам стальных свай следует отнести сравнительно небольшую массу, высокую прочность, простоту изготовления, транспортабельность и возможность их забивки в прочных грунтах. Кроме того стальные сваи легко стыкуются по длине обыкновенной электросваркой с применением накладок из стального проката.

К недостаткам следует отнести повышенную коррозию материала, особенно в зоне переменной влажности. К тому же применение таких свай экономически не выгодно.

Стальные сваи в нижнем конце имеют приваренный стальной остроконечный башмак или при значительном диаметре (1020 - 1422 мм) могут быть с открытым нижним концом с удалением грунта из них в процессе погружения.

Для защиты стальных свай от коррозии применяются различные покрытия из красок, смол, битума и пр., но необходимо учитывать, что при погружении стальных свай в твердые глинистые и несвязные плотные грунты покрытия могут быть повреждены.

Сталежелезобетонные сваи – применяются значительно чаще и представляют стальную оболочку с бетонным заполнением. Эффективны при опирании на прочные грунты. Диаметры оболочек 426 -

1422 мм, толщина стенок 8-16 мм, монтажные звенья длиной 6-10 м. Соединение – сваркой.

Стальные винтовые сваи (рис. 1.13) состоят из ствола; винтовой лопасти, длиной не менее полного витка и диаметром не более 4,5 диаметра ствола; наконечника и оголовка [10].

Погружаются стальные винтовые сваи путем завинчивания при помощи кабестана. При диаметре лопасти 3 м несущая способность сваи при глубине погружения 50 м достигает 1500 тс. Могут применяться в широком диапазоне грунтов.

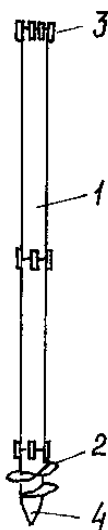


Рис. 1.13. Конструкция винтовой сваи

1 – ствол; 2 – винтовая лопасть; 3 – оголовок; 4 – наконечник.

Железобетонные сваи заводского изготовления наиболее широко применяются в фундаментах. Изготавливаются из обычного и преднапряженного железобетона, применяются в обычных и суровых климатических условиях (до минус 40⁰С). Разница – в исполнении защитного слоя и материалах – бетоне, арматуре.

Сваи могут быть нетрещиностойкие, трещиностойкие и выносивостойкие.

Арматурные каркасы свай могут быть сварные и вязаные. Схема армирования свай приведена на рис. 1.14.

Железобетонные сваи могут быть различного поперечного сечения, примеры сечений свай приведены на рис. 1.15 [1].

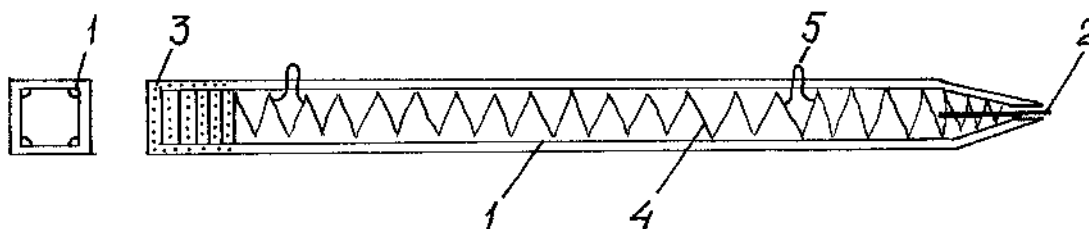


Рис. 1.14. Схема армирования

1 – продольная рабочая арматура; 2 – стержень острия сваи; 3 – сварные сетки; 4 – хомуты в виде непрерывной спирали с различным шагом; 5 – строповочные петли.

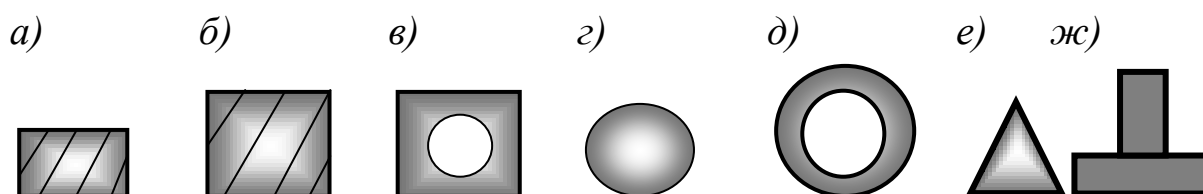


Рис. 1.15. Варианты форм поперечного сечения железобетонных свай:

а – прямоугольная призматическая; б – призматическая квадратная сплошного сечения; в – призматическая квадратная полая; г – круглая сплошного сечения; д – круглая полая; е – треугольная; ж – сложного сечения

Призматические железобетонные сваи изготавливаются в широком ассортименте для различных видов строительства. В маркировке свай указывается ее основные характеристики. Например: ССМ14-35Т1 - С – северного исполнения; СМ – свая мостовая; 14 – длина в м; 35 – сторона поперечного сечения, см; Т – трещиностойкая свая, раскрытие поперечных трещин δ не более 0,1 мм; 1 – обозначение соответствующего количества и диаметра рабочей арматуры по соответствующему типовому проекту. Призматические сваи могут быть как с острием, так и без.

При необходимости призматические сваи удлиняют. Способы стыкования свай следующие: с устройством сварного стыка (рис. 1.16, а) и устройство стаканного стыка (рис. 1.16, б).

Полые круглые сваи подразделяют на:

- собственно полые круглые сваи диаметром 0,4; 0,6 и 0,8 м. Длина секций свай 4-12 м с градацией через 2 м, толщина стенки 8 - 10 см;
- сваи – оболочки диаметром 1,2; 1,6 и 3,0 м с толщиной стенки 12 см.

Армирование полых свай показано на рис. 1.17.

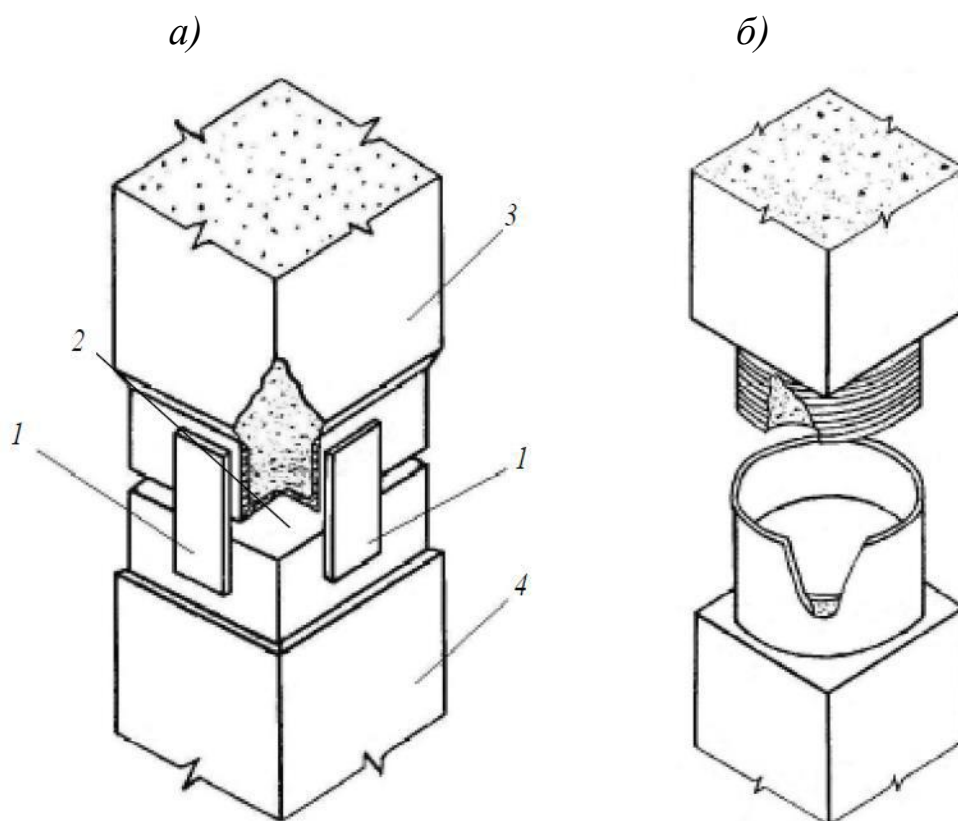


Рис. 1.16. Способы стыкования призматических свай
а – сварной стык; *б* – стаканый стык; *1* – накладки размерами от $10 \times 160 \times 200$ до $10 \times 220 \times 250$ мм; *2* – центральная прокладка $150 \times 150 \times 4$ мм; *3, 4* – верхняя и нижняя секции свай соответственно

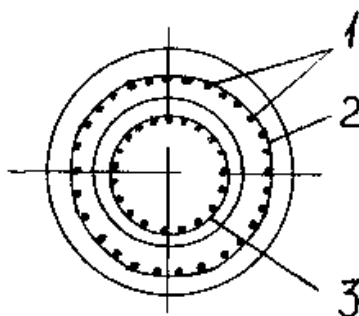


Рис. 1.17. Армирование полых свай:
1 – продольная рабочая арматура; *2* – спиральная арматура; *3* – дополнительная арматура в виде каркаса

Полые круглые сваи изготавливают с заостренным нижним концом, оболочки - с открытым нижним концом. Для погружения в оболочках, как правило, применяют наконечник открытой конструкции в виде ножа 4-х вариантов в зависимости от грунтовых условий. Ножи

крепятся сваркой к продольной арматуре или болтами к стыковым закладным частям звена.

Для соединения секций применяют фланцево-болтовой стык (рис. 1.18, *а*) и сварной стык (рис. 1.18, *б*). Фланцево-болтовой стык удобен для погружения оболочек при их наращивании. После затяжки болтов шов между фланцами заваривают. Сварной стык – предпочтителен при укрупнительной сборке. Стык после сварки в обоих случаях омоноличивается. Сваи в зоне переменного увлажнения и высыхания, замораживания и оттаивания заполняются бетоном, чтобы исключить разрушающее действие воды.

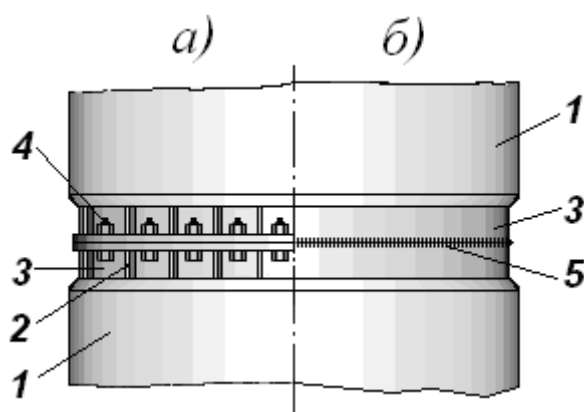


Рис. 1.18. Стыки секций оболочек

а - болтовой; *б* - сварной; 1 - звено оболочки; 2 - ребро жесткости; 3 - обечайка; 4- болт; 5 - сварной шов

Маркировка полых круглых свай различается в зависимости от типа фундамента. Например, СКМ4.40.1-б: с – свая; к – круглая; м – мостовая; 4 – длина (м); 40 – диаметр (см); 1 – тип армирования; б – болтовой стык.

Маркировка свай свай-оболочек: СОМН4 120: со – свая-оболочка; м – мостовая; н – предварительно напряженный железобетон; 4 – длина (м); 120 – диаметр (см). Номенклатура железобетонных свай приведена в приложении 1, таблице П 1.1.

Сваи, изготавливаемые в проектном положении в настоящее время применяются при строительстве фундаментов для широкого спектра сооружений в различных грунтовых условиях; в слабых грун-

тах для повышения несущей способности могут изготавливаться с уширенной пятой.

Обычно для таких свай в грунте предварительно устраивается полость методами разбуривания или вытрамбовывания. Скважины разбуривают насухо или подводным способом, применяя меры против обрушения грунтов:

- а) заполнение скважин водой или глинистым раствором;
- б) применения обсадных труб (могут погружаться с закрытым нижним концом и с открытым; при закрытом нижнем конце наконечник трубы остается в грунте).

Бетонируемые в скважинах сваи армируют каркасами из продольных периодического профиля стержней диаметром 20-38 мм, объединенных спиралью из проволоки 8-10 мм. Защитный слой бетона принимают не менее 10 см.

Возможна установка в пробуренную и заполняемую бетоном скважину сердечника из элемента заводского изготовления (комбинированные сваи). Такое решение обычно применяется при залегании несущего пласта на глубине ≥ 20 м.

Одна из разновидностей свай, изготавливаемых в проектом положении – инъекционные сваи. При их устройстве пробуривают относительно узкую скважину (шпур), вставляют иньектор и под давлением закачивается специальный расширяющийся при схватывании раствор. Такой способ часто применяется для усиления существующих фундаментов.

Номенклатура буронабивных свай приведена в приложении 1, таблице П 1.2.

1.3. Способы погружения и изготовления свай

В соответствии с требованиями *СП 50-102–2003* «Проектирование и устройство свайных фундаментов» [20] сваи заводского изготовления по технологии погружения подразделяются на следующие виды:

а) погружаемые в грунт без его выемки или в лидерные скважины с помощью молотов, вибропогружателей, вибровдавливающих, виброударных и вдавливающих устройств, а также железобетонные сваи-оболочки диаметром до 0,8 м, заглубляемые вибропогружателями без выемки или с частичной выемкой грунта и не заполняемые бетонной смесью;

б) сваи-оболочки железобетонные, заглубляемые вибропогружателями с выемкой грунта и заполняемые частично или полностью бетонной смесью.

Ударный способ погружения свай применяется для погружения свай в нескальные грунты, в качестве основных рабочих органов используют свайные молоты. Независимо от конструктивного вида, чтобы придать свае поступательное движение в грунте, в молоте используется энергия падающей ударной части. Для этого ее предварительно поднимают на некоторую высоту. Поэтому все свайные молоты работают циклично: подъем (холостой ход) - падение, т.е. ускоренное движение ударной части вниз, удар по свае (рабочий ход) и т.д.

По роду привода молоты разделяются на механические, паровоздушные, дизельные и гидромолоты. В состав установки кроме молота входит поддерживающий его механизм - копер (копровое оборудование) с направляющими для движения молота и сваи [5].

По характеру работы различают молоты простого (одиночного) и двойного действия. В молотах простого действия рабочий ход (удар по голове сваи) происходит за счет кинетической энергии, набранной ударной частью в процессе падения. Для каждого подъема ударной части на определенную высоту используют определенный источник энергии. У молотов двойного действия его используют не только для подъема ударной части, но и для усиления рабочего хода, т.е. падения. Основными параметрами свайных молотов являются: энергия удара, частота ударов, масса ударной части, мощность и полный вес молота.

Преимущества ударного способа - контроль качества материала ствола сваи возможен до погружения; нет дополнительного сезонного удорожания работ при устройстве свай; высокая технологичность и простота способа.

Основной недостаток способа - динамическое и шумовое воздействие в процессе забивки, что ограничивает его применение в условиях городской застройки (особенно в исторической части города). Также номенклатура выпускаемых свай ограничивает их размеры и соответственно проектные нагрузки.

Способ **вибропогружения** применяют для заглубления свай в нескальные грунты на глубину 20 - 70 м преимущественно железобетонных, металлических или комбинированных свай-оболочек диаметром до 3,0 м.

Различают низкочастотные (с циклической частотой колебания (о менее 10 Гц) и высокочастотные (с частотой свыше 16,6 Гц) вибропогружатели.

Преимущества способа – намного меньшее динамическое и шумовое воздействие, что позволяет применять вибропогружение в городских условиях; возможность погружать сваи большого диаметра на значительную глубину. Следует также отметить меньшую вероятность разрушения материала сваи при погружении.

К недостаткам можно отнести большую затратность способа по сравнению с забивным, т.к. он требует устройства дополнительных конструкций и приспособлений для погружения сваи в проектном положении.

Для заглубления свай в нескальные грунты применяют **вдавливание** свай, в основном в городских условиях.

Достоинства способа - погружение свай с минимальными энергозатратами; нет шумового воздействия; высокая точность погружения; возможность определения несущей способности сваи на основании анализа усилия вдавливания. Кроме того, способ применяется для усиления существующих фундаментов зданий и сооружений, когда

необходимо вдавливать малоразмерные составные сваи в стесненных условиях (например, из подвалов зданий).

Недостатки способа – возможность вдавливания сравнительно небольших по сечению свай на незначительную глубину.

В некоторых случаях возможно комбинированное применение выше перечисленных способов для погружения свай заводского изготовления.

Способы изготовления свай в проектном положении делятся на следующие два вида:

1. Буровые сваи с извлечением грунта:

- устройство сваи вращательным бурением с промывкой и удержанием ствола скважины глинистым раствором;
- проходной шнек – скважина устраивается с помощью непрерывного проходного (полого) шнека;
- устройство свай под защитой обсадных труб с извлечением грунта шнеками или специальным буровым инструментом, закрепленным на конце телескопической штанги;
- технология двойного вращения. Скважина бурится под защитой вращающейся обсадной трубы, внутри которой в другую сторону вращается полый шнек.

2. Набивные технологии устройства свай без извлечения грунта:

- с ввинчиванием полый обсадной трубы с теряемым башмаком. По мере извлечения трубы образуемая полость в грунте заполняется бетоном;
- с вибрационным погружением обсадной трубы с теряемым башмаком;
- с забивкой полый обсадной трубы с теряемым наконечником и извлечением ее вибратором;
- с ввинчиванием полый буровой трубы, оснащенной эллипсоидным шнеком. При извлечении в полость трубы под давлением подается бетонная смесь, вытесняющая грунт из скважины (технология также называют «сваи вытеснения»).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

2.1. Основные указания по расчёту свайного фундамента

Расчёт свайных фундаментов и их оснований должен быть выполнен в соответствии с ГОСТ 27751 [6] по предельным состояниям двух групп.

Первая группа:

- а) по прочности материала свай и свайных ростверков;
- б) по несущей способности (предельному сопротивлению) грунта основания свай;
- в) по потере общей устойчивости оснований свайных фундаментов, если на них передаются значительные горизонтальные нагрузки (подпорные стены, фундаменты распорных конструкций и др.), в том числе сейсмические, если сооружение расположено на откосе или вблизи него или если основание сложено крутопадающими слоями грунта.

Такие расчёты следует производить с учётом конструктивных мероприятий, предусмотренных для предотвращения смещения проектируемого фундамента.

Вторая группа:

- а) по осадкам оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок;
- б) по перемещениям свай совместно с грунтом оснований от действия горизонтальных нагрузок и моментов;
- в) по образованию или чрезмерному раскрытию трещин в элементах железобетонных конструкций свайных фундаментов.

В расчётах оснований свайных фундаментов следует учитывать совместное действие силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды (например, влияние подземных вод и их режима на физико-механические свойства грунтов и др.).

Сооружение и его основание должны рассматриваться совместно, т.е. должно учитываться взаимодействие сооружения со сжимаемым основанием. Расчётная схема системы «сооружение — основание» или «фундамент — основание» должна выбираться с учётом наиболее существенных факторов, определяющих напряжённое состояние и деформации основания и конструкций сооружения (статической схемы сооружения, особенностей его возведения, характера грунтовых напластований, свойств грунтов основания, возможности их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения и т.д.). Рекомендуется учитывать пространственную работу конструкций, геометрическую и физическую нелинейность, анизотропность, пластические и реологические свойства материалов и грунтов, развитие областей пластических деформаций под фундаментом [14].

Расчёт свайных фундаментов должен проводиться с построением математических моделей, описывающих механическое поведение свайных фундаментов для первого или второго предельного состояния. Расчётная модель может представляться в аналитическом или численном виде. При проведении расчётов несущей способности и осадок одиночных свай предпочтение следует отдавать табулированным или аналитическим решениям, приведённым в настоящем пособии.

При проектировании свайных фундаментов следует учитывать жёсткость конструкций, объединяющих головы свай, что должно отражаться в расчётной модели. При этом при составлении расчётной модели должны также учитываться: грунтовые условия площадки строительства; гидрогеологический режим; особенности устройства свай; наличие шлама под нижним концом свай.

При проведении численных расчётов расчётная схема системы «ростверк — сваи — грунтовое основание» должна выбираться с учётом наиболее существенных факторов, в конечном счёте определяющих сопротивление указанной системы. Необходимо учитывать продолжительность и возможное изменение во времени нагружения свай и свайных фундаментов.

Расчётная модель свайных фундаментов должна строиться таким образом, чтобы содержать погрешность только в сторону запаса надёжности проектируемых надземных конструкций. Если заранее такая погрешность не может быть определена, необходимо проведение вариантных расчётов и определение наиболее неблагоприятных воздействий для надземных конструкций. При проведении компьютерных расчётов свайных фундаментов следует учитывать возможные неопределённости, связанные с назначением расчётной модели и выбором деформационных и прочностных показателей грунтов основания. Для этого при проведении численных расчётов, определяющих возможное сопротивление одиночных свай, групп свай и свайно-плитных фундаментов, рекомендуется проводить сопоставление результатов расчёта отдельных элементов расчётной схемы с аналитическими решениями, а также выполнять сопоставление альтернативных результатов расчёта по различным геотехническим программам.

Нагрузки и воздействия, учитываемые в расчётах свайных фундаментов, коэффициенты надёжности по нагрузке, а также возможные сочетания нагрузок следует принимать в соответствии с требованиями СП 20.13330, СП 22.13330.

Расчёт свай, свайных фундаментов и их оснований по несущей способности необходимо выполнять на основные и особые сочетания нагрузок, по деформациям — на основные сочетания.

Нагрузки, воздействия, их сочетания и коэффициенты надёжности по нагрузке при расчёте свайных фундаментов мостов и гидротехнических сооружений следует принимать согласно требованиям СП 35.13330; СП 40.13330; СП 38.13330 и СП 58.13330.

Все расчёты свай, свайных фундаментов и их оснований следует выполнять с использованием расчётных значений характеристик материалов и грунтов.

Расчётные значения характеристик материалов свай и свайных ростверков следует принимать в соответствии с требованиями СП 63.13330, СП 16.13330, СП 64.13330, СП 35.13330 и СП 40.13330.

Расчётные значения характеристик грунтов следует определять в соответствии с ГОСТ 20522. Расчётные сопротивления грунта под нижним концом сваи R и на боковой поверхности сваи f_i следует определять по указаниям [15] (приложение 2, таблицы П2.1 и П2.2).

При проведении расчётов допускается применение компьютерных программ, описывающих механическое взаимодействие балок и упругого основания (балка на упругом основании).

Расчёт свай и свайных ростверков по прочности материала должен производиться в соответствии с требованиями действующих правил по расчёту бетонных, железобетонных, стальных и деревянных конструкций. Расчёт элементов железобетонных конструкций свайных фундаментов по образованию и раскрытию трещин следует производить в соответствии с требованиями СП 63.13330, для мостов и гидротехнических сооружений — также с учётом требований СП 35.13330 и СП 40.13330 соответственно.

При расчёте свай всех видов по прочности материала сваю допускается рассматривать как стержень, жёстко защемлённый в грунте, и рассчитывать по методике, описанной в [15].

Расчёты конструкций свай всех видов следует производить на воздействие нагрузок, передаваемых на них от сооружения, а предварительно изготовленных (забивных) свай, кроме того, на усилия, возникающие в них от собственного веса при изготовлении, складировании, транспортировании свай, а также при подъёме их на копёр за одну точку, удалённую от головы свай на $0,3l$ (где l — длина сваи).

При этом усилие в свае от воздействия собственного веса следует определять с учётом коэффициента динамичности, равного:

1,5 — при расчёте по прочности;

1,25 — при расчёте по образованию и раскрытию трещин [15].

В этих случаях коэффициент надёжности по нагрузке к собственному весу сваи принимают равным единице.

Расчётную нагрузку на сваю N , кН, следует определять, рассматривая фундамент как группу свай, объединённую жёстким рост-

верком, воспринимающим вертикальные и горизонтальные нагрузки и изгибающие моменты [17].

$$N = \frac{\gamma_0 F_d}{k_n}, \quad (2.1)$$

где F_d - несущая способность свай,

γ_0 - коэффициент условий работы, учитывающий повышение однородности грунтовых условий при применении свайных фундаментов, принимаемый равным $\gamma_0 = 1$ при односвайном фундаменте и $\gamma_0 = 1,15$ при кустовом расположении свай;

k_n - совокупный коэффициент надёжности свай, определяемый по пункту 7.1.11 СП 24.13330.

Горизонтальную нагрузку, действующую на фундамент с жёстким ростверком с вертикальными сваями одинакового поперечного сечения, допускается принимать равномерно распределённой между всеми сваями.

Проверка устойчивости свайного фундамента и его основания должна производиться в соответствии с требованиями СП 22.13330 с учётом действия дополнительных горизонтальных реакций от свай, приложенных к сдвигаемой части грунта.

Сваи и свайные фундаменты следует рассчитывать по прочности материала и производить проверку устойчивости фундаментов при действии сил морозного пучения, если основание сложено пучинистыми грунтами [15].

Расчёт свай и свайных фундаментов по деформациям следует производить исходя из условия:

$$S \leq S_u, \quad (2.2)$$

где S — совместная деформация свай, свайного фундамента и сооружения (осадка, перемещение, относительная разность осадок свай, свайных фундаментов и т.п.), определяемая расчётом с учетом рекомендаций [15];

S_u — предельное значение совместной деформации основания сваи, свайного фундамента и сооружения, устанавливаемое в соответствии со СП 22.13330, а для мостов — СП 35.13330.

Определение значений коэффициента постели грунта. Расчётные значения коэффициентов постели грунта C_z , окружающего сваю, следует принимать в соответствии с рекомендациями [15].

При этом грунт, окружающий сваю, допустимо рассматривать как упругую линейно-деформируемую среду, характеризующую коэффициентом постели C_z , кН/м³ (тс/м³), возрастающим с глубиной.

Расчётные значения коэффициента постели C_z грунта на боковой поверхности сваи допускается определять по формуле

$$C_z = \frac{K_z}{\gamma_c}, \quad (2.3)$$

где K — коэффициент пропорциональности, кН/м⁴ (тс/м⁴), принимаемый в зависимости от вида грунта, окружающего сваю, по таблице 2.1;

Таблица 2.1

Грунты, окружающие сваи и их характеристики	Коэффициент пропорциональности K , кН/м ⁴ (тс/м ⁴)
Пески крупные ($0,55 \leq e \leq 0,7$); глины и суглинки твёрдые ($I_L < 0$)	18 000 – 30 000 (1800 -3000)
Пески мелкие ($0,6 \leq e \leq 0,75$); пески средней крупности ($0,55 \leq e \leq 0,7$); супеси твёрдые ($I_L < 0$); глины и суглинки тугопластичные и полутвёрдые ($0 \leq I_L < 0,75$)	12 000 – 18 000 (1200 – 1800)
Пески пылеватые ($0,6 \leq e \leq 0,8$); супеси пластичные ($0 \leq I_L \leq 0,75$); глины и суглинки мягкопластичные ($0,5 \leq I_L \leq 0,75$)	7 000 – 12 000 (700 – 1200)
Глины и суглинки текучепластичные ($0,75 \leq I_L \leq 1$)	4 000 – 7 000 (400 – 700)
Пески гравелистые ($0,55 \leq e \leq 0,7$); крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем	50 000 – 100 000 (5000 – 10 000)

z — глубина расположения сечения сваи в грунте, м, для которой определяется коэффициент постели, по отношению к поверхности грунта при высоком ростверке или к подошве ростверка при низком ростверке;

γ_c — коэффициент условий работы (для отдельно стоящей сваи $\gamma_c = 3$).

2.2. Требования к конструированию свайных фундаментов

Свайные фундаменты в зависимости от действующих нагрузок следует проектировать в виде:

а) одиночных свай — под отдельно стоящие опоры;

б) свайных лент (рядов) — под стены зданий и сооружений при передаче на фундамент распределённых по длине нагрузок с расположением свай в один, два и более рядов;

в) свайных кустов — под колонны с расположением свай в плане на участке квадратной, прямоугольной, трапециoidalной и других форм;

г) сплошного свайного поля — под тяжёлые сооружения со сваями, расположенными под всем сооружением и объединёнными сплошным ростверком, подошва которого размещена на грунте (бетонной подготовке);

д) свайно-плитного фундамента.

В зависимости от конструкции здания применяют ленточные ростверки, ростверки стаканного типа и плитные ростверки.

Ленточные ростверки применяют, как правило, для зданий с несущими стенами. Ростверки стаканного типа, состоящие из плитной части и подколонника — стаканной части, применяют в зданиях со сборным железобетонным каркасом. Для тяжёлых зданий и сооружений применяют, как правило, большеразмерные плитные ростверки.

При разработке проекта свайных фундаментов необходимо учитывать следующие данные: конструктивную схему проектируемого здания или сооружения; размеры несущих конструкций и материал,

из которого они проектируются; наличие и габариты рядом расположенных заглублённых помещений здания или сооружения и их фундаментов; нагрузки на фундамент от строительных конструкций; размещение технологического оборудования и нагрузки, передаваемые от него на строительные конструкции и полы, а также требования к предельным осадкам и кренам строительных конструкций и фундаментов под оборудование.

Число свай в фундаменте и их размеры следует назначать из условия максимального использования прочности материала свай и грунтов основания при расчётной нагрузке, допускаемой на сваю, с учётом допустимых перегрузок крайних свай в фундаменте в соответствии с требованиями СП 24.13330.2011.

Выбор конструкции и размеров свай должен осуществляться с учётом значений и направления действия нагрузок на фундаменты, а также технологии строительства здания и сооружения.

Сопряжение свайного ростверка со сваями допускается предусматривать как свободно опирающимся, так и жёстким. Свободное опирание ростверка на сваи должно учитываться в расчётах условно как шарнирное сопряжение и при монолитных ростверках должно выполняться путём заделки головы сваи в ростверк на глубину 5 - 10 см. Жёсткое сопряжение свайного ростверка со сваями следует предусматривать в случае, когда: а) стволы свай располагаются в слабых грунтах (рыхлых песках, глинистых грунтах текучей консистенции, илах, торфах и т.п.); б) в месте сопряжения сжимающая нагрузка, передаваемая на сваю, приложена к ней с эксцентриситетом, выходящим за пределы ее ядра сечения; в) на сваю действуют горизонтальные нагрузки, значения перемещений от которых при свободном опирании оказываются более предельных для проектируемого здания или сооружения; г) в фундаменте имеются наклонные или вертикальные составные сваи; д) сваи работают на выдёргивающие нагрузки.

Жёсткое сопряжение железобетонных свай с монолитным железобетонным ростверком следует предусматривать с заделкой головы сваи в ростверк на глубину, соответствующую длине анкеровки арма-

туры, или с заделкой в ростверк выпусков арматуры на длину их анкеровки в соответствии с требованиями СП 63.13330. Для жёсткой заделки в голове предварительно напряжённых свай должен быть предусмотрен ненапрягаемый арматурный каркас, используемый в дальнейшем в качестве анкерной арматуры. Допускается также жёсткое сопряжение с помощью сварки закладных стальных элементов при условии обеспечения требуемой прочности.

При размещении свай в плане необходимо стремиться к минимальному числу их в свайных кустах или к максимально возможному шагу свай в лентах, добиваясь наибольшего использования принятой в проекте несущей способности свай.

Жёсткое соединение свай со сборным ростверком должно обеспечиваться с применением колоколообразных оголовков. При сборном ростверке допускается также замоноличивание свай в специально предусмотренные в ростверке отверстия.

Сваи в кусте внецентренно нагруженного фундамента следует размещать таким образом, чтобы равнодействующая постоянных нагрузок, действующих на фундамент, проходила возможно ближе к центру тяжести плана свай.

Для восприятия вертикальных нагрузок и моментов, а также горизонтальных нагрузок (в зависимости от их значения и направления) допускается предусматривать сочетание вертикальных, наклонных и козловых свай.

Расстояние между осями висячих забивных и вдавливаемых свай должно быть не менее $3d$ (где d — диаметр круглого или сторона квадратного, или большая сторона прямоугольного поперечного сечения ствола сваи), а свай-стоек — не менее $1,5d$.

Выбор длины свай должен производиться в зависимости от грунтовых условий строительной площадки, уровня расположения подошвы ростверка с учётом возможностей имеющегося оборудования для устройства свайных фундаментов [17].

Нижний конец свай, как правило, следует заглублять в прочные грунты, прорезая более слабые напластования грунтов, при этом за-

глубление забивных свай в грунты, принятые за основание, должно быть: в крупнообломочные, гравелистые, крупные песчаные и глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,1$ — не менее 0,5 м, а в другие дисперсные грунты — не менее 1,0 м.

Опираение нижних концов свай на рыхлые пески и глинистые грунты текучей консистенции не допускается.

Учитывая законы диалектики и постулат, что каждому действию есть противодействие, при разработке проекта свайных фундаментов необходимо учитывать обратную реакцию грунта, а именно, подъём (выпор) поверхности грунта при забивке свай.

Задача проектировщика определить величину такого подъёма грунта для дальнейшего учёта полученного значения в необходимых расчётах.

Возможность подъёма (выпора) поверхности грунта при забивке свай происходит, как правило, в случаях, когда:

а) площадка строительства сложена пылевато-глинистыми грунтами мягкопластичной и текучепластичной консистенций или водонасыщенными пылеватыми и мелкими песками;

б) погружение свай производится со дна котлована;

в) конструкция свайного фундамента принята в виде свайного поля или свайных кустов при расстоянии между их крайними сваями менее 9м.

Среднее значение величины подъёма поверхности грунта h_{gp} , м, следует определять по формуле

$$h_{gp} = k \frac{V_c}{A_c}, \quad (2.4)$$

где k - коэффициент развития выпора, принимаемый равным 0,5 - 0,7 в зависимости от степени влажности (водонасыщенности) грунта, соответственно равной 0,9 - 1,0;

V_c - объём всех свай, погружаемых в грунт, м³;

A_c - площадь дна котлована или поверхности, образующей свайное поле.

При определении коэффициента развития выпора грунта, по нашему мнению, следует ориентироваться на соответствие величины оптимальной влажности реальной влажности имеющегося грунта.

В том случае, если значение реальной влажности грунта меньше значения оптимальной влажности для данного грунта, коэффициент развития выпора следует принимать равным 0,5; при значении реальной влажности грунта превышающей значение оптимальной влажности – 0,7; при равенстве значений – 0,6.

2.3. Расчёт несущей способности забивной сваи

Расчёт несущей способности висячей забивной, либо вдавливаемой сваи и сваи-оболочки, погружаемой без выемки грунта, работающих на сжимающую нагрузку следует определять как сумму расчётных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на её боковой поверхности согласно методике СП 24.13330.2011 по формуле

$$F_d = F_{df} + F_{dR}, \quad (2.5)$$

при

$$F_{df} = \gamma_c \cdot u \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i \quad (2.6)$$

и

$$F_{dR} = \gamma_c \cdot \gamma_{cR} \cdot R \cdot A, \quad (2.7)$$

где F_{df} - несущая способность на боковой поверхности сваи;

F_{dR} - несущая способность под концом сваи;

γ_c - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1,0;

γ_{cR} - коэффициент условий работы грунта на острие сваи;

γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи;

u – наружный периметр поперечного сечения сваи;

i – номер расчётного слоя;

f_i – расчётное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, принимаемое по таблице П 2.2 приложения 2 [15];

h_i – мощность i -го слоя грунта основания, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи;

R_i – расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое по таблице П 2.1 приложения 2 [15];

A – площадь опирания сваи на грунт, принимается по площади поперечного сечения брутто или по наибольшему диаметру.

Указанные коэффициенты учитывают влияние способа погружения свай на расчётные сопротивления грунта; определяют по таблице [15] и принимают независимо друг от друга.

Все расчёты выполняются в табличной форме (таблица 2.2).

Таблица 2.2

Определение несущей способности сваи на различных глубинах

№ слоя	h_i	Отметка подошвы слоя	h_p	h_{cp}	Характеристика грунта	I_L	f_i	$f_i * h_i$	$\sum f_i * h_i$	R	F_{df}	F_{dR}	F_d
1													
2													
i -ый													

Примечание: h_p – глубина погружения сваи до подошвы слоя, м;

h_{cp} – глубина расположения середины расчётного слоя, м;

I_L – показатель текучести грунта.

Для примера расчётная схема к определению несущей способности представлена на рис. 2.1.

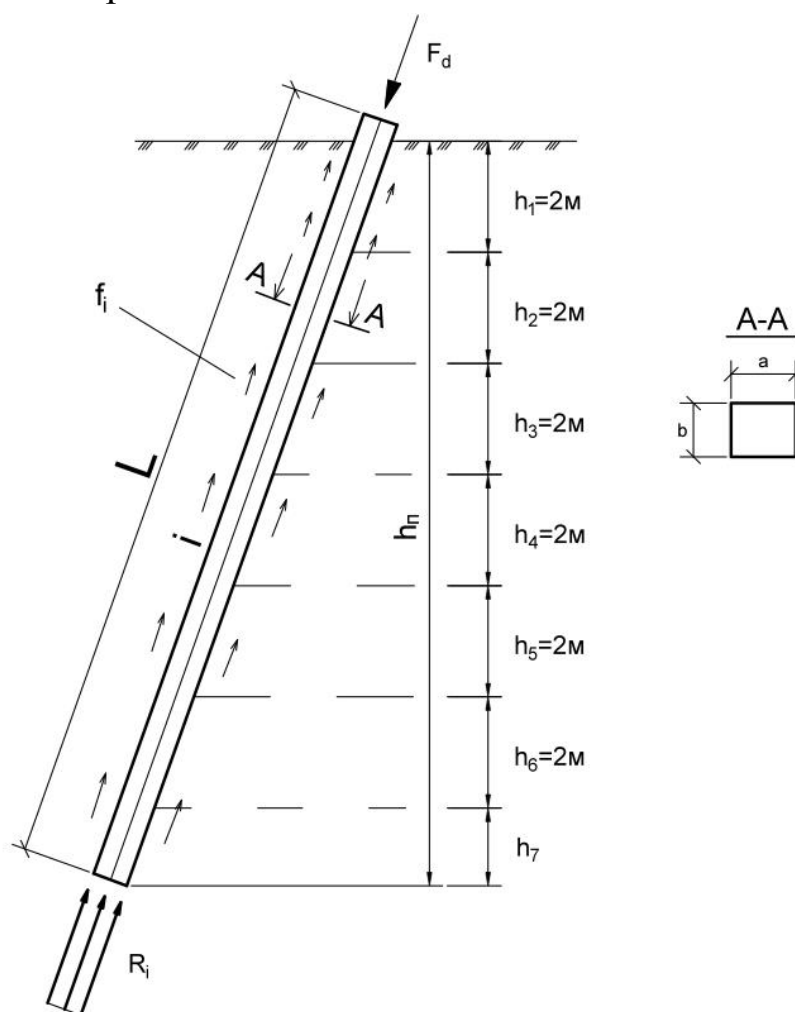


Рис. 2.1. Схема к расчёту несущей способности сваи

На рис. 2.2 представлены зависимости расчётных сопротивлений сваи от глубины погружения.

Пример результатов расчёта показан на рис.2.3. Здесь же определим величину погружения h_0 под действием её собственного веса P_c .

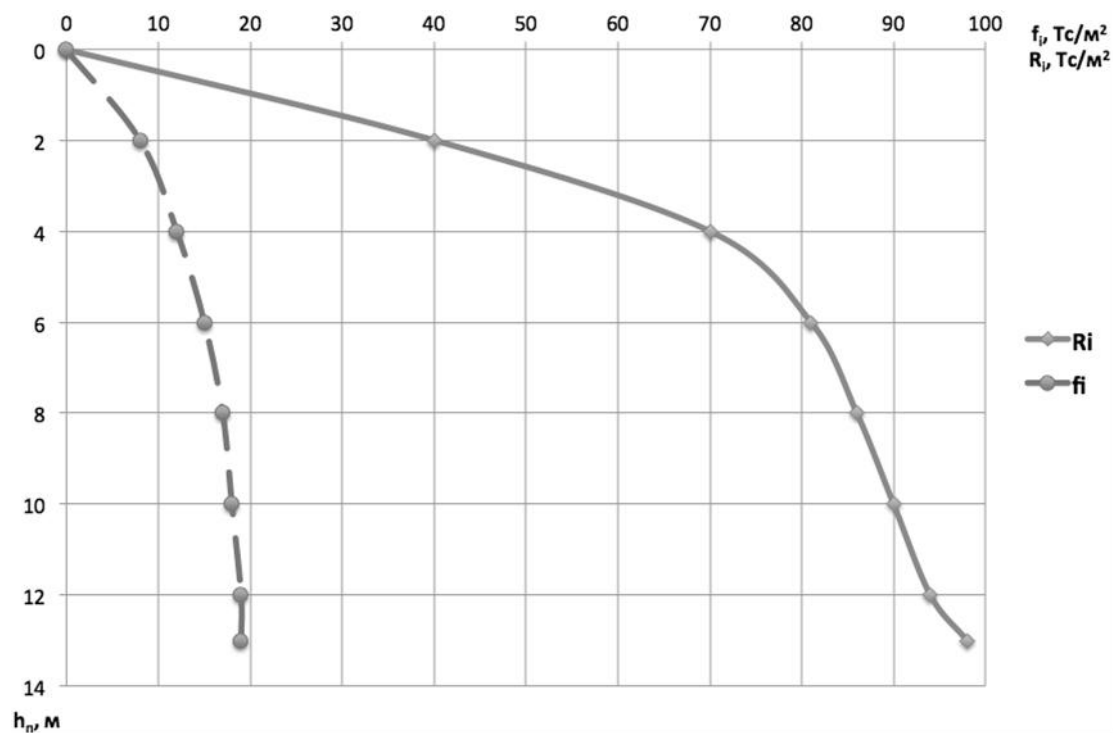


Рис. 2.2. Зависимость расчётного сопротивления сваи от глубины погружения

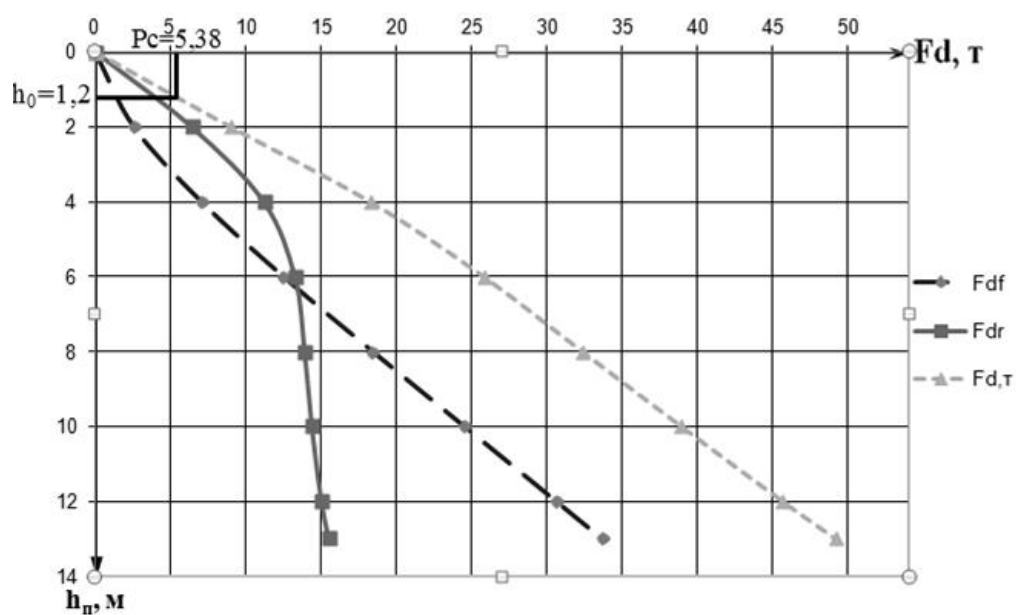


Рис. 2.3. Зависимость несущей способности на острие сваи, несущей способности на боковой поверхности, несущей способности сваи от глубины погружения

Несущую способность забивной сваи - стойки, сваи-оболочки, набивной и буровой сваи, опирающейся на скальный грунт, а также

забивной сваи, опирающейся на малосжимаемый грунт, следует определять по формуле

$$F_d = \gamma_c RA, \quad (2.8)$$

где γ_c - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1,0;

R — расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, кПа;

A — площадь опирания на грунт сваи, м^2 , принимаемая для свай сплошного сечения и полых свай с закрытым нижним концом равной площади поперечного сечения брутто; для свай полых круглого сечения с открытым нижним концом и свай-оболочек — равной площади поперечного сечения нетто при отсутствии заполнения их полости бетоном и равной площади поперечного сечения брутто при заполнении этой полости бетоном на высоту не менее трёх её диаметров.

Расчётное сопротивление скального грунта R для всех видов забивных свай, опирающихся на скальные и малосжимаемые грунты, следует принимать $R = 20000$ кПа.

Оценка влияния «отдыха» на несущую способность сваи. Издавна инженеры наблюдали явление так называемого «засасывания» сваи, погруженной в глинистый грунт.

Этот процесс заключается в нарастании несущей способности сваи (НСС) с увеличением её возраста («отдыха»), считая от начала погружения в грунт до окончания стандартного (нормативного) испытания её несущей способности.

Эту зависимость представим в виде кривой рис.2.4.

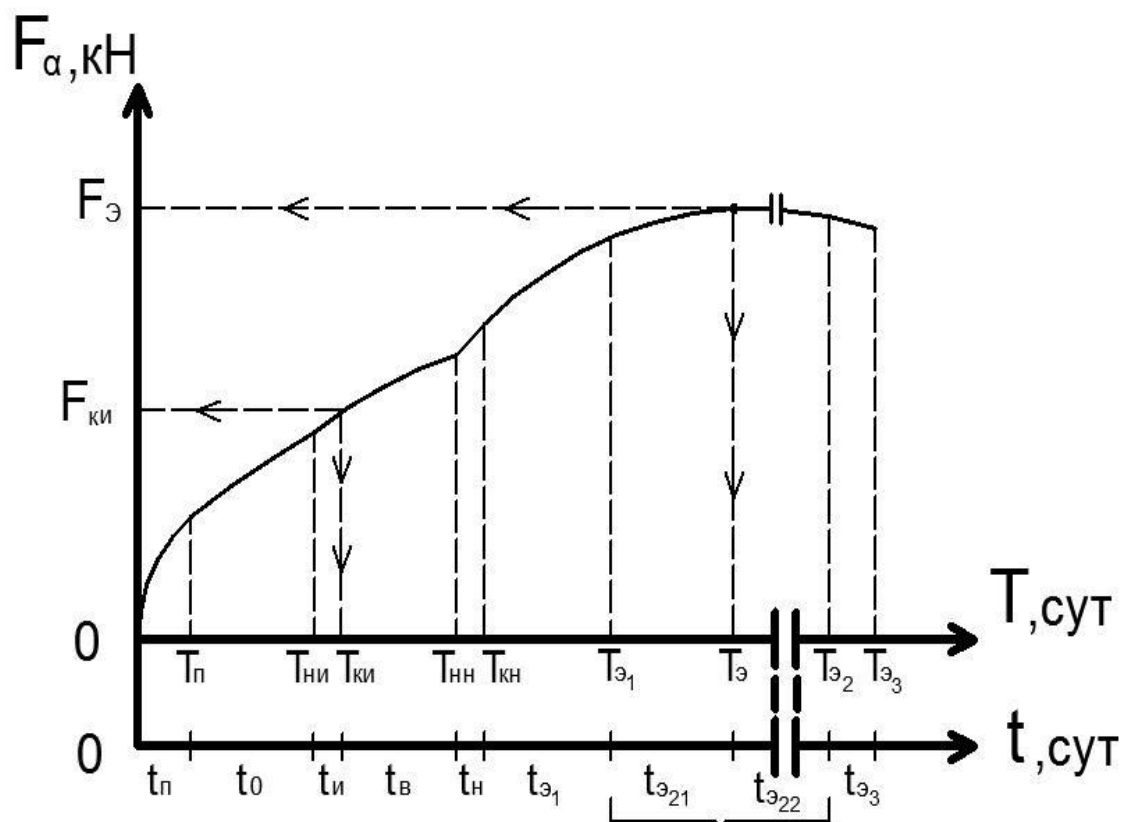


Рис. .4. Зависимость несущей способности F_d сваи (НСС) в глинистом грунте от её возраста T и его составляющих периодов t .

Введём обозначения возрастов сваи от момента начала её погружения:

$T_п$ – конец погружения;

$T_{ни}$ и $T_{ки}$ – начало и конец нормативного испытания;

$T_{нн}$ и $T_{кн}$ – начало и конец эксплуатационного нагружения (ввод в эксплуатацию) ;

$T_{э1}$, $T_{э2}$ и $T_{э3}$ - окончания начального, основного и заключительного периодов эксплуатации;

$T_э$ – возраст максимума НСС.

При этом составляющие возраст периоды времени будут:

$t_п$ – погружение;

t_0 и $t_и$ – ожидание испытания (т.н. «отдых» сваи) и испытание;

$t_в$ и $t_н$ – взросление и нагружение;

$t_{э1}$, $t_{э2}$ и $t_{э3}$ – начальный, основной и заключительный периоды эксплуатации;

t_{321} и t_{322} – составляющие основного периода, предположительно разделяемого возрастом T_3 .

В обобщённом виде можем записать

$$T_i = \sum t_j, \quad (2.9)$$

или

$$T_{i+1} - T_i = t_j \quad (2.10)$$

Итак, каждому возрасту T_i соответствует НСС F_{di} с соответствующим нижними индексами.

Например, по современным представлениям

$$F_{d \max} = F_{\varnothing} \quad (2.11)$$

и

$$F_d = F_{\kappa u} \quad (2.12)$$

На настоящее время известны следующие объяснения явления «засасывания» свай:

1) возникновение давления воды в порах грунта в процессе погружения, которое рассасывается с течением времени отдыха свай и тем самым повышает её несущую способность.

2) восстанавливаются силы различной природы и сцепления (связи) частиц грунта, разрушенные в процессе погружения свай.

Рекомендуемый возраст испытаний («отдых») свай $T_{ни}$ принимается по нормативным документам.

Следует отметить, что для песчаного грунта кривая зависимости будет несколько иной, а именно в конце забивки несущая способность будет максимальной, а затем она будет плавно и медленно понижаться. Этот характер изменения будет определяться явлением рассеивания напряжений сжатия в песчаном грунте с течением времени.

Оценка эффективности выбранных свай. Одним из существенных показателей работы забивной свай является оценка эффек-

тивности её работы. Для такой оценки введём понятие **коэффициента эффективности работы свай**.

Под коэффициентом эффективности работы свай $K_{эфф}$ будем понимать отношение несущей способности свай к её собственному весу.

Таким образом, мы определим, какую нагрузку способна нести одна единица веса материала свай.

Примем

$$K_{эфф} = \frac{F_d}{P_{св}}, \quad (2.13)$$

где F_d - несущая способность свай;

$P_{св}$ - собственный вес свай.

Помимо забивки для погружения готовых свай используют **вибропогружение**. Расчёт несущей способности свай при вибропогружении проводится по методике определения несущей способности висячей забивной свай в соответствии с СП 24.13330.2011. При этом все значения необходимых коэффициентов принимаются в соответствии с особенностями применяемой технологии вибропогружения.

2.4. Указания по расчёту свайного фундамента из винтовых свай.

Все необходимые расчёты винтовых свай и фундамента из них следует выполнять в соответствии с основными положениями расчёта свайного фундамента, описанного в разделе 2.1.

В настоящее время существует несколько методик расчёта несущей способности винтовой свай **по грунту**.

А). Методика расчёта на основе СП 24.13330.2011 Свайные фундамента (СНиП 2.02.03.-82).

Несущую способность F_d , кН, винтовой свай диаметром лопасти $d \leq 1,2$ м и длиной $l \leq 10$ м, работающей на сжимающую или выдергивающую нагрузку, следует определять по формуле (2.14), а при диа-

метре лопасти $d > 1,2$ м и длине сваи $l > 10$ — только по данным испытаний винтовой сваи статической нагрузкой

$$F_d = \gamma_c [F_{do} + F_{df}], \quad (2.14)$$

где γ_c — коэффициент условий работы сваи, зависящий от вида нагрузки, действующей на сваю, и грунтовых условий и определяемый по таблице 2.3;

F_{do} — несущая способность лопасти, кН;

F_{df} — несущая способность ствола, кН.

Несущая способность лопасти винтовой сваи определяется по формуле

$$F_{do} = (a_1 c_1 + a_2 \gamma_1 h_1) A, \quad (2.15)$$

где a_1, a_2 — безразмерные коэффициенты, принимаемые по таблице 2.4 в зависимости от расчётного значения угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне φ_1 (под рабочей зоной понимается прилегающий к лопасти слой грунта толщиной, равной d);

c_1 — расчётное значение удельного сцепления грунта в рабочей зоне, кПа;

γ_1 — осреднённое расчётное значение удельного веса грунтов, залегающих выше лопасти сваи (при водонасыщенных грунтах с учётом взвешивающего действия воды), кН/м³;

h_1 — глубина залегания лопасти сваи от природного рельефа, а при планировке территории срезкой от уровня планировки, м;

A — проекция площади лопасти, м², считая по наружному диаметру, при работе винтовой сваи на сжимающую нагрузку, и проекция рабочей площади лопасти, т.е. за вычетом площади сечения ствола, при работе винтовой сваи на выдёргивающую нагрузку.

Несущая способность ствола винтовой сваи определяется по формуле

$$F_{df} = u f_i (h - d), \quad (2.16)$$

где u — периметр поперечного сечения ствола сваи, м;

f_i — расчётное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола винтовой сваи, кПа, принимаемое по таблице из [15] (осреднённое значение для всех слоёв в пределах глубины погружения сваи);

h — длина ствола сваи, погруженной в грунт, м;

d — диаметр лопасти сваи, м.

Таблица 2.3

Грунты	Коэффициент условий работы винтовых свай при нагрузках		
	сжимающих	выдергивающих	знакопеременных
1. Глины и суглинки:			
а) твёрдые, полутвёрдые и тугопластичные	0,8	0,7	0,7
б) мягкопластичные	0,8	0,7	0,6
в) текучепластичные	0,7	0,6	0,4
2. Пески и супеси:			
а) пески маловлажные и супеси твердые	0,8	0,7	0,2
б) пески влажные и супеси пластичные	0,7	0,6	0,4
в) пески водонасыщенные и супеси текучие	0,6	0,2	0,3

Примечания: 1. При определении несущей способности винтовых свай при действии вдавливающих нагрузок характеристики грунтов в табл. 2.4 относятся к грунтам, залегающим под лопастью, а при работе на выдёргивающие нагрузки — над лопастью сваи;

2. Глубина заложения лопасти от уровня планировки должна быть не менее $2d$ при пылевато-глинистых грунтах и не менее $6d$ — при песчаных грунтах (где d — диаметр лопасти).

Таблица 2.4

Расчётное значение угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне φ_I , град.	Коэффициенты		Расчётное значение угла внутреннего трения грунта в рабочей зоне φ_I , град.	Коэффициенты	
	α_1 ,	α_2		α_1 ,	α_2
13	7,8	2,8	24	18,0	9,2
12	8,4	3,3	26	23,1	12,3
16	9,4	3,8	28	29,2	16,2
18	10,1	4,2	30	38,0	22,2
20	12,1	2,2	32	48,4	31,0
22	12,0	7,0	34	64,9	44,4

Б). Методика расчёта несущей способности свай, предложенная в 2004 году Железковым В.Н.

Согласно данной методике [10] расчёт несущей способности свай по грунту определяется следующей формулой

$$F_d = [1,2(\alpha_1 c_1 + \alpha_2 \gamma_1 h_1) A \eta + u f_i (h - d)], \quad (2.17)$$

где η - безразмерный коэффициент, зависящий от угла сдвига φ .

Остальные символы имеют аналогичную расшифровку, соответствующую формулам (2.14) – (2.16).

В). Методика расчёта несущей способности свай, предложенная компанией СТК “Северо-Запад.”

По этой методике несущую способность предлагается определять по следующей формуле

$$F_d = R A_{\text{л}}, \quad (2.18)$$

при

$$A_{\text{л}} = 0,785 D_{\text{л}}^2, \quad (2.19)$$

где $D_{\text{л}}$ - внешний диаметр винтовой лопасти;

R - удельное сопротивление грунта вдавливаю лопастн.

Накопленнй опыт испытаний винтовых свай свидетельствует о том, что несущая способность свай, рассчитанная по формулам и таблицам СП 24.13330.2011, оказывается значительно ниже фактической несущей способности, определённой в результате статических испытаний [10].

Формула, учитывающая условие $R_i = R$, даёт результаты отличающиеся от результатов испытаний.

В связи с этим, по нашему мнению, более точное определение несущей способности винтовой сваи по грунту будет осуществляться при использовании методики, предложенной В.Н. Железковым.

По мнению авторов, помимо расчёта несущей способности винтовых свай *по грунту* необходимо провести расчёт несущей способности винтовой сваи *по материалу*.

Предлагаем следующую методику определения данной величины.

А). Проверка прочности ствола на сжатие

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma], \quad (2.20)$$

где σ_{\max} - максимальное напряжение в материале, МПа;

$[\sigma]$ - допустимое напряжение на сжатие, МПа;

A - площадь поперечного сечения ствола сваи, м²;

N - расчётная нагрузка на сваю, тс.

Б). Проверка прочности ствола сваи на кручение

$$\tau_{\max} = \frac{|M_{kr}|_{\max}}{W_p} \leq [\tau], \quad (2.21)$$

при

$$W_p = \pi R_H^3 (1 - \alpha^4) \quad (2.22)$$

и

$$\alpha = \frac{R_B}{R_H}, \quad (2.23)$$

где τ_{\max} - наибольшее касательное напряжение, Мпа;

W_p - момент сопротивления, м³;

$|M_{кр}|_{\max}$ - максимальный крутящий момент в поперечном сечении;

$[\tau]$ - допустимое касательное напряжение, Мпа;

R_B - внутренний радиус ствола сваи, м;

R_H - наружный радиус ствола сваи, м.

С другой стороны касательные напряжения, возникающие в свае можно определить по другой формуле

$$\tau_{\max} = \frac{2M_{кр}}{d_{cp} A_{cm}} \quad (2.24)$$

при

$$A_{cm} = \pi d_{cp} \delta, \quad (2.25)$$

где d_{cp} - средний диаметр кольцевого сечения трубчатого ствола сваи, м;

δ - толщина стенки трубы, м;

A_{cm} - площадь сечения ствола сваи (нетто), м².

При завинчивании сваи возникает сопротивление грунта в виде сопротивления трению по боковой поверхности сваи и сопротивления грунта по винтовой лопасти и острию сваи.

Возникающие сопротивления зависят как от свойств и состояния проходных грунтов, так и от размера лопасти и ствола сваи. Для преодоления таких сопротивлений при завинчивании сваи необходимо иметь достаточный **крутящий момент**.

Величина необходимого крутящего момента, способного преодолеть сопротивления грунта может быть определена с помощью расчёта и инструментальным (практическим) способом в процессе погружения.

Для определения крутящего момента ранее применялась упрощённая формула:

$$M_{кр} = 1,6d^2lt_{TP} + kDa \quad (2.26)$$

Однако результаты, определённые по этой формуле дают завышенные значения [10]. Целесообразно определять значение крутящего момента по формуле, уточнённой В.Н.Железковым

$$M_{кр} = 1,6d^2lt_{TP} + mkDa, \quad (2.27)$$

где: d - диаметр ствола винтовой сваи, м;

l – глубина завинчивания сваи, м;

t_{TP} - величина бокового трения грунта (т/м²);

k – коэффициент сопротивления (т/м);

D – диаметр винтовой лопасти, м;

a - шаг витков лопасти, м;

m – поправочный коэффициент.

Крутящий момент, вращающий сваю, должен преодолеть сопротивление трения по боковой поверхности сваи и любое сопротивление грунта по винтовой лопасти и острию сваи.

Величина сопротивления трения по боковой поверхности в общем случае равна

$$T = S t_{TP} \cos \alpha, \quad (2.28)$$

где S – боковая поверхность сваи;

t_{TP} - удельное трение грунта при завинчивании;

α - угол наклона винтовой линии.

Угол наклона α определяется из отношения шага винтовой линии к периметру ствола сваи.

Любое сопротивление грунта, возникающее непосредственно у острия сваи и по плоскости режущего ребра лопасти, определяется выражением

$$T_1 = k \omega, \quad (2.29)$$

где k – эмпирический коэффициент, зависящий от плотности грунта;

ω – величина, зависящая от размеров лопасти и шага винта.

Значение величины бокового трения t_{TP} следует принимать по таблице 2.5.

Таблица 2.5

Величина бокового трения t_{TP}

Вид грунта	t_{TP} кг/см ²
Крупный песок с гравием, очень плотный	0,2-0,7
Песок средней крупности и средней плотности	0,3
Мелкий песок и супесь, насыщенные водой	0,22
Пылеватый песок средней плотности	0,12-0,20
Очень плотные глины в твердом состоянии	0,42-0,2
Пластичные суглинки и глины	0,22
Глины и суглинки в текучем состоянии	0,02-0,06

Коэффициент сопротивления k в формуле (2.29) следует принимать по таблице 2.6.

Таблица 2.6

Значения коэффициента сопротивления k , тс/м.

Для глинистых грунтов	13-16
Для песчаных грунтов	24-28
Для галечных грунтов	26-30

Большие значения коэффициентов сопротивления следует принимать при глубине завинчивания свай более 2,2 м.

Поправочный коэффициент m следует принимать по таблице 2.7.

Таблица 2.7

Значения поправочного коэффициента m .

Для глинистых грунтов	0,6
Для песчаных грунтов	0,42
Для галечных грунтов	0,32

Учитывая, что величина крутящего момента весьма влиятельна на несущую способность винтовой сваи, представляется возможным использовать её значение в качестве возможного показателя несущей способности винтовой сваи.

По мере заглубления сваи величина крутящего момента увеличивается, при этом несущая способность винтовой сваи также увеличивается как на сжимающую, так и на выдергивающую нагрузку. Эту зависимость предлагается записать следующим образом

$$F_d = k_i M_{кр} , \quad (2.30)$$

где: F_d - предельная несущая способность винтовой сваи по грунту на сжимающую или выдергивающую нагрузки, тс;

$M_{кр}$ - крутящий момент, требуемый для завинчивания сваи на определенную глубину, тсм ;

k_i - коэффициент сопротивления сваи при её завинчивании.

В зависимости от грунта принимается равным:

- а) $k_c = (13 \dots 30)1/\text{м}$ - в случае работы сваи на сжатие;

б) $k_g = (5 \dots 11)1/\text{м}$ - в случае работы сваи на выдергивание.

В результате экспериментального исследования были определены коэффициенты сопротивления k_c и k_g в различных водонасыщенных грунтах.

В таблице 2.8 приводятся значения этих коэффициентов для свай, завинченных на глубину от 1,5 до 3,5 м при работе их на сжатие и выдергивание в различных грунтах.

Меньшие значения коэффициентов сопротивления (k_c и k_g) следует принимать при глубине погружения свай на 2,0-2,5м, большие – при глубине погружения свай более 5м. При глубине погружения от 2,5 до 5 м значения этих коэффициентов определяются интерполяцией.

Таблица 2.8

Коэффициенты сопротивления свай впи завинчивании

Вид грунта	Коэффициенты сопротивления свай при завинчивании	
	k_c	k_g
Глинистый	13 - 16	7,5 – 11
Песчаный	24 - 28	4,5 – 10
Гравелистый	26 - 30	5 - 8

Измерение величины крутящего момента можно осуществить с помощью простого динамометра, а в случае применения гидромеханизмов - по показаниям манометра.

После определения величины крутящего момента необходимо провести проверку прочности ствола сваи на кручение.

ПОГРУЖЕНИЕ ГОТОВЫХ СВАЙ

3.1. Технология забивки свай. Машины и оборудование

Забивка свай осуществляется в строгом соответствии с ППР.

Основным работам по забивке свай должны предшествовать подготовительные работы включающие [8, 20]:

- восстановление осей фундамента, границ строительной площадки, закрепление осей рядов свай на обноске;
- разработку котлована для плиты ростверка, планировку стройплощадки, организацию электроосвещения и энергоснабжения, устройство водоотвода, путей подвоза, площадок складирования конструкций и материалов;
- подвоз и складирование свай, проверку паспортов и их соответствия маркировке и проекту. В паспорте должен быть указан завод изготовитель, дата изготовления, номер ГОСТа. На сваях краской наносится марка, дата изготовления. Сваи должны быть осмотрены на предмет отсутствия недопустимых повреждений.

На строительной площадке сваи укладывают в штабели высотой не более 4-х рядов с установкой их на прокладки расположенные у строповочных петель. Толщина прокладок должна быть на 2-3 см больше высоты петель. При неправильном расположении прокладок (рис. 3.1, а) в железобетонных сваях возникают трещины, и они могут быть выведены из строя. Подъем сваи при погрузочно-разгрузочных работах производят за монтажные петли (рис. 3.1, б). Если петли расположены от концов на удалении 0,21 длины сваи, то в ней возникает наименьший изгибающий момент от собственного веса. Сваи длиной более 10 м рекомендуется поднимать с помощью траверсы (рис. 3.1, в). Во время подъема и перемещения сваю удерживают от раскачивания двумя растяжками.

Перемещение железобетонных свай волоком не рекомендуется, поскольку неизбежен будет ее излом от собственного веса на неровностях местности.

К основным работам по забивке свай относятся: разбивка свайного поля, сборка и установка копровой конструкции, подготовка и подача свай под молот, погружение свай, перемещение копра на новое место, контроль качества работ и ведение исполнительной документации (приложение 3).

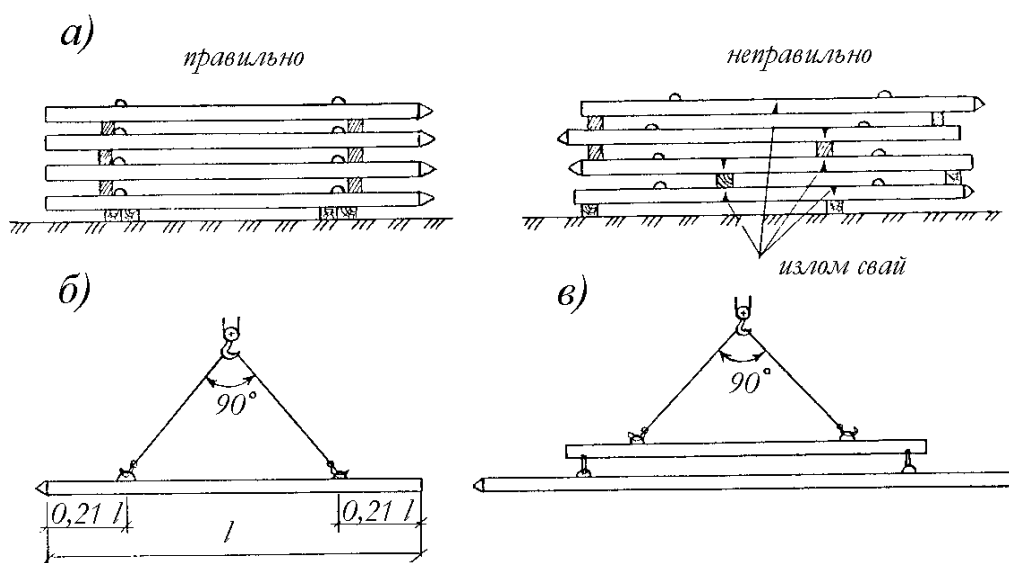


Рис. 3.1. Складирование и строповка железобетонных свай
а - штабель свай; б - строповка короткой сваи двухветвевым стропом; в - строповка сваи с помощью траверсы

Забиваемые сваи устанавливают точно в проектное положение. Место установки сваи на суше определяют отвесом, опущенным из точки пересечения проволочных чалок, закрепленных на обноске. При отсутствии обноски место установки сваи определяют непосредственным промером от осей фундамента.

Для работы на суше применяются следующие схемы установки сваебойных средств (рис. 3.2):

- а) На выровненном дне котлована, если уровень грунтовых вод ниже дна, а размеры котлована в плане обеспечивают свободное перемещение копра (рис. 3.2, а);
- б) На подвижной платформе, перемещающейся вдоль котлована по уложенному на верхней обвязке ограждения котлована накаточному

пути или за ее пределами. Поперечное перемещение копра производится на собственных роликах или катках (рис. 3.2, б);

в) На подмостях в котловане, в которых для забивки свай предусмотрены отверстия (рис. 3.2, в);

г) У края котлована при небольшой его ширине или в случае применения навесного оборудования, обеспечивающего подачу любой сваи на место забивки стрелой (рис. 3.2, г).

Для работы на воде копры или краны с навесным сваебойным оборудованием устанавливаются на плашкоуты из инвентарных понтонов или местных плавучих средств.

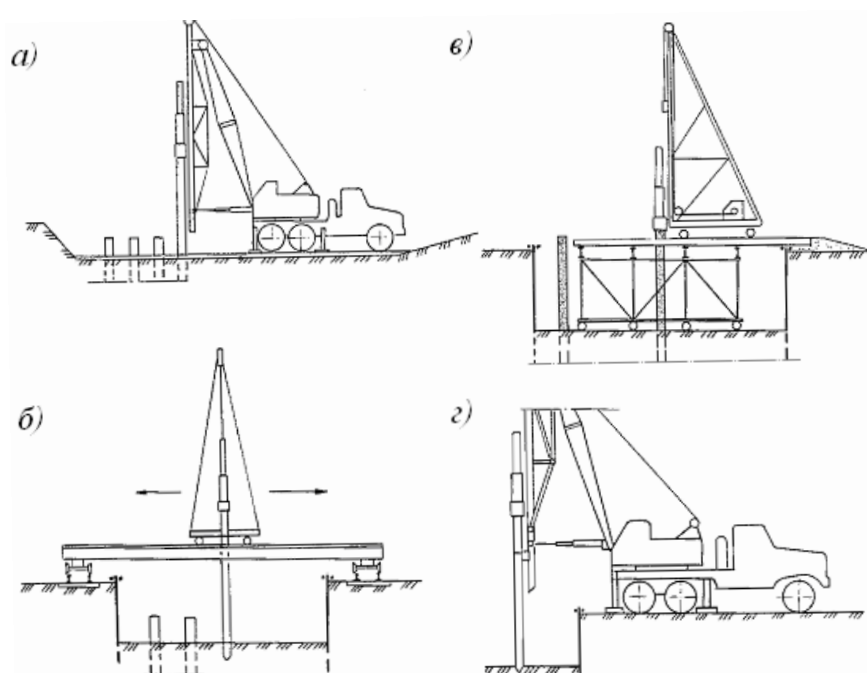


Рис. 3.2. Схемы размещения копровых установок

а - на дне котлована; б - на подвижной платформе; в - на подмостях;

г - у края котлована

Непосредственная подготовка деревянной сваи к забивке включает разметку, установку строповочного и направляющего хомутов. Разметку сваи производят краской на длине третьей части от острия через метр, а на остальной части через 10 или 5 см.

Подготовка железобетонной сваи заключается в установке наголовника и хомутов, разметке краской по длине от острия к голове для определения глубины погружения ее в грунт. Сваю для подачи под молот стропуют на удалении $1/3$ ее длины от головы. В этом месте

обычно устанавливают при изготовлении сваи закладной штырь, препятствующий скольжению стропа (рис. 3.3, а). Для защиты бетона от повреждения тросом под строп укладывают деревянные прокладки. При трех монтажных петлях строповка для установки сваи под молот может производиться стропом и роликом (рис. 3.3, в). В проекте производства работ или технологической карте указывают способ работ, обеспечивающий устойчивость копра и безопасность людей на всех этапах работы.

Свая под молот может подаваться грузоподъемным средством сваебойного агрегата или вторым установочным краном. После установки копра на место забивки сваи молот поднимают в верхнее положение и опирают на предохранительный штырь. Сваю подают под молот, крепят хомутами к направляющей стреле и опускают острием на грунт. Молот снимают со штыря и опускают на сваю так, чтобы центрирующий штырь шабота вошел в отверстие на голове сваи или наголовника.

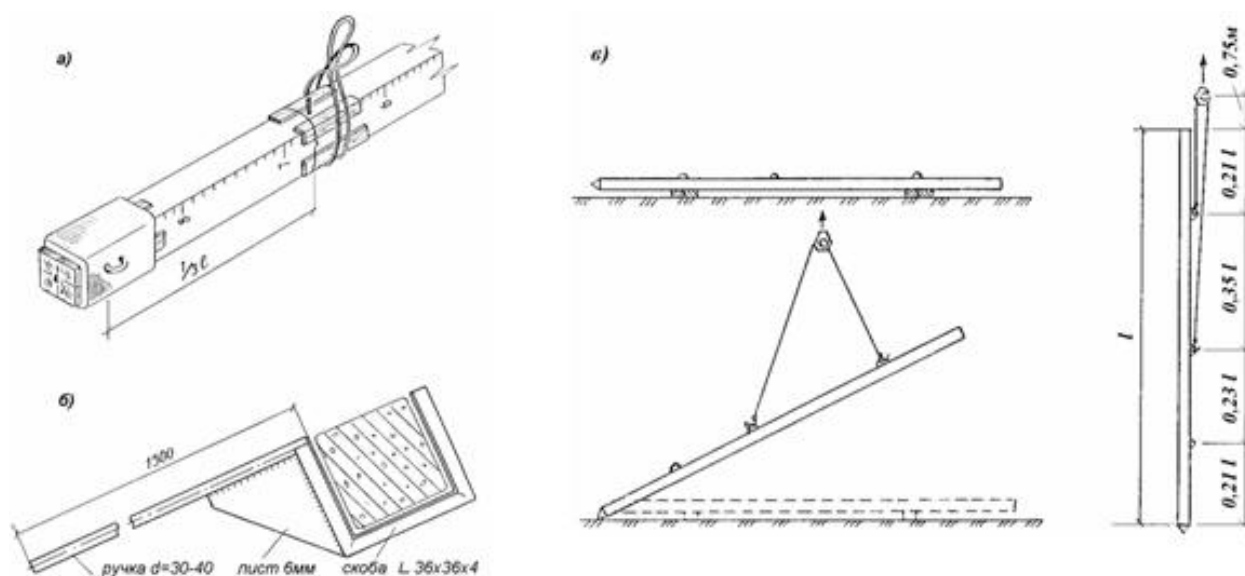


Рис. 3.3 Строповка железобетонной сваи

а - строповка сваи для подачи под молот; б - ключ для разворота сваи; в - перевод сваи из горизонтального положения в вертикальное; l - длина сваи

Установка сваи собственной лебедкой копрового агрегата возможна, если суммарная масса сваи, молота и навесного оборудования не превышает грузоподъемности крана на данном вылете стрелы.

При подъеме сваю удерживают от раскачивания двумя расчалками, а разворачивают специальным ключом (рис. 3.3, б).

Для забивки наклонной сваи ее закрепляют на стреле копра двумя хомутами, приподнимают свайным тросом, наклоняют направляющую сваебойного агрегата и устанавливают сваю над ее проектной осью. После этого опускают сваю на грунт и устанавливают на нее молот.

Свая при установке должна быть точно центрирована по осям молота и стрелы копра и зафиксирована в этом положении наголовником. В процессе забивки надо постоянно следить за положением стрелы и сваи, а также за состоянием головы сваи и наголовника.

Забивку сваи на первых 1.5 - 2 м производят легкими ударами молота, а затем после проверки и исправления ее положения, погружают ударами нормальной силы. Во время забивки постоянно контролируют направление и исправность сваи, наголовника, положение сваебойной установки, режим погружения. Результаты забивки фиксируются в журнале.

При подходе острия сваи к проектной отметке отказ уменьшается. Поскольку отказ от одного удара определить затруднительно, его измеряют за серию ударов (залог).

Сваи погружаются на проектную глубину заделки до получения расчетного отказа, но не менее 0,2 см.

Журнал забивки свай ведется в ходе работ и представляется в составе отчетной документации при приемке сооружения в целом. К нему прилагается сводная ведомость с планом расположения забитых свай, имевших место отклонений и исправлений, а также других особенностей выполненных свайных работ. Записи в журнале делают простым карандашом или шариковой ручкой. В примечаниях описывают характер погружения сваи на последнем залоге, имевшее место наращивание сваи, отклонение ее оси от проектного положения, повреждения головы сваи, ложный отказ, засасывание, перерывы в забивке и другие особенности выполненных работ. При приемке готового фундамента составляется акт на скрытые работы и к нему прилага-

гаются журнал забивки свай и сводная ведомость (приложение 3, формы П 3.1, П 3.2 и П 3.3).

В процессе забивки свай могут возникать всякого рода отклонения, которые подлежат немедленному исправлению.

Свая при забивке может отклоняться от проектного положения из-за неправильной установки стрелы копра и, как следствие, удара молота не по центру сваи, кривизны самой сваи, попадания острия на валун или топляк. Молот необходимо в этом случае остановить и принять меры к выправлению сваи или замене ее.

При забивке свай в сухих песчаных грунтах с гравелистыми прослойками (особенно если забивка сопровождалась подмывом), бывают случаи получения преждевременного "ложного отказа" из-за образования под острием сваи плотной гравийно-песчаной подушки давление и трение грунта о сваю повышаются. Для продолжения работ свае нужен "отдых" в течение нескольких суток (2-3), после чего ее добивают до проектной отметки. Остановка сваи может быть и при встрече с топляком или каменными включениями в грунте, в этом случае потребуется перепроектирование фундамента.

Обратное ложному отказу явление может иметь место в глинистых грунтах. Оно состоит в отделении связанной с глинистыми частицами воды, разжижении грунта и создании своего рода смазки на поверхности забиваемой сваи (явление тиксотропии). Проектный отказ не наступает даже при погружении сваи до проектной отметки. В этих случаях также требуется перерыв в забивке свай, который может достигать до 15 -30 суток. После добивки отказ уменьшается, как правило, в несколько раз. Это явление называют засасыванием сваи. Если расчетный отказ не наступает и после "отдыха", то требуется решение проектной организации на проведение испытаний погруженных свай или изменение конструкции фундамента. Такие же меры принимают, если сваи погружаются менее чем на 85 % проектной глубины даже при получении расчетного отказа.

Разрушение головы сваи при забивке может произойти от несоосности ее с молотом или неправильного заполнения наголовника

прокладочным материалом. При невозможности дальнейшего погружения сваю с разрушенной головной частью извлекают или срезают и забивают дополнительные сваи рядом. Резкий подскок ударной части молота или остановка сваи обычно вызваны препятствием под острием, чем может быть обусловлен и излом сваи. Об изломе сваи свидетельствует резкое увеличение осадки или отклонение сваи от проектного ее положения. Такая свая извлекается или срезается.

В зимнее время при сезонном промерзании грунта на глубину более 0,4 м под сваи бурят лидерные скважины.

Поскольку на перемещения копра затрачивается значительная часть рабочего времени, очередность забивки свай указывают в проекте. Забивка может производиться с перестановками копра вдоль ряда свай или по спирали от центра свайного поля к периферии. Недопустимо забивать сваи от краев фундамента к центру, поскольку в этом случае уплотнение грунта уже забитыми сваями затрудняет забивку в средней части свайного поля и фактически приводит к ложному отказу даже в глинистых грунтах, который не исчезает после продолжительного "отдыха".

Поэтому последовательность забивки должна быть такой, чтобы затраты времени на перемещение копра, подъем и установку сваи были минимальными, а также обеспечивалось равномерное уплотнение грунта основания фундамента (рис. 3.4) [1].

Для забивки свай применяются молоты различного принципа действия [5].

Механический молот состоит из стальной литой ударной части (бабы), подвешенной на канате, который перекинут через блок в верхней части копра. Другой конец каната при подъеме ударной части наматывается на барабан фрикционной лебедки. По достижении заданной высоты подъема тормоз лебедки отпускают, ударная часть падает под действием силы тяжести и наносит удар по голове сваи.



Рис. 3.4. Схемы перемещения копра при погружении свай

Механические молоты представляют собой самые древние и примитивные орудия труда. В то же время они достаточно легки в изготовлении и применении. Но из-за малой мощности, производительности и к.п.д. сейчас их используют в основном как подручное средство для погружения небольших деревянных свай и т.п.

Паровоздушные молоты приводятся в действие энергией или сжатым до 0,5-0,7 МПа воздухом. Паровоздушный молот простого действия представляет собой чугунный корпус, одновременно являющийся паровым цилиндром и ударной частью. Внутри цилиндра находится поршень со штоком. При впуске пара или сжатого воздуха в подпоршневое пространство цилиндр поднимается. Переключением крана пар или воздух выпускается в атмосферу, и цилиндр падает, нанося удар по голове сваи (рис. 3.5).

Управление работой паровоздушных молотов простого действия полуавтоматическое. Высоту подъема цилиндра можно регулировать, переводя рычаг газораспределения в необходимое положение. В молотах простого действия около 70% массы составляет ударная часть, что является единственным их достоинством. Существенные недостатки - малая производительность и зависимость от внешнего источника энергии (потребность в котельном или компрессорном оборудовании). Паровоздушные молоты одиночного действия традиционно применяли для забивки свай массой до 12-15 т в нескальные грунты любой плотности (приложение 4, таблица П 4.1) [5].

В отличие от молота одиночного действия, паровоздушный молот двойного действия состоит из цилиндра, поршня и соединенного с ним штоком бойка (рис. 3.6, приложение 4, таблица П 4.2) [5]. В мо-

лотах двойного действия сжатый газ или пар подается попеременно в пространство над и под поршнем с помощью автоматически переключающегося золотника.

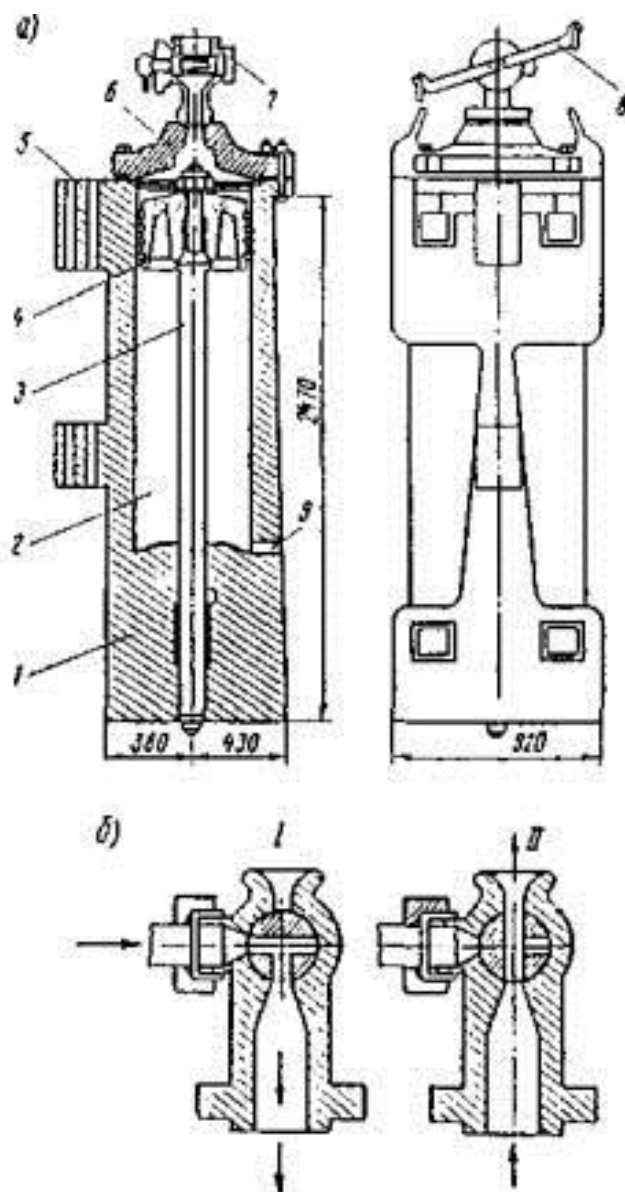


Рис. 3.5. Паровоздушный молот одиночного действия:

а - конструкция молота; б - схема переключения (подачи) пара (воздуха); 1 - корпус; 2 - цилиндр; 3 - шток; 4 - поршень; 5 - фиксаторы молота на копровой стреле; 6 - крышка цилиндра; 7 - трехходовой кран; 8 - рычаг пробки крана; 9 - отверстие для сообщения полости цилиндра с атмосферой (I - в цилиндр молота; II - из цилиндра в атмосферу)

Молоты двойного действия используют для забивки свай и шпунта массой до 6 - 7 т в нескальные грунты любой плотности. Ча-

стота ударов молота имеет большое значение. Если они быстро следуют один за другим, изменения в сопротивлении грунта погружению не успевают закончиться между двумя последовательными ударами. Окружающий сваю грунт будет постоянно разрыхленным, и, следовательно, его сопротивление погружению свай будет пониженным.

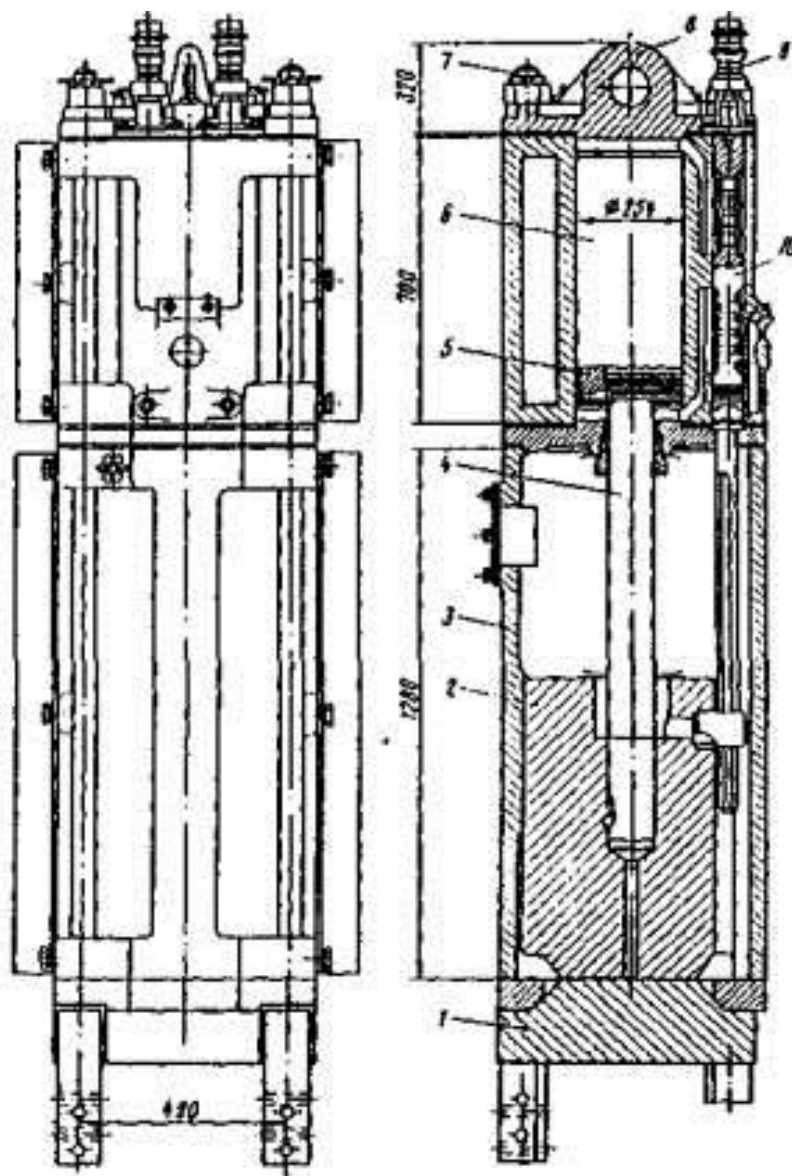


Рис. 3.6. Паровоздушный молот двойного действия

1 - шабот; 2 - боек; 3 - корпус; 4 - шток; 5 - поршень; 6 - цилиндр; 7 - соединительный болт; 8 - крышка цилиндра; 9 - штуцер для подвода пара (воздуха); 10 - золотник

Благодаря автоматическому парораспределению, частота ударов молотов двойного действия достигает до 130-140 в минуту, что делает

их существенно более эффективными и производительными. Кроме того, у молотов двойного действия удобно регулировать силу удара. Молоты имеют закрытый корпус, что обеспечивает возможность их использования для забивки свай, в том числе наклонных, под водой на глубине до 20 м.

Паровоздушные молоты широко использовались в отечественной практике в 30-е-50-е годы XX в., но в дальнейшем они уступили первенство дизель-молотам, которые работают автономно, имея более высокие частоту ударов и к.п.д. Но за рубежом паровоздушные молоты продолжают использовать. Там считаются эффективными молоты одиночного действия с массой ударной части до 27 т и энергией удара до 249 кДж, а также молоты двойного действия с соответствующими значениями параметров 18 т и 157 кДж. Их применяют для подводной забивки свай.

Эти представления находятся в русле тенденции к возрождению паровых машин. По расчетам специалистов, коэффициент полезного действия паровоза можно поднять до 15%. При этих условиях затраты на эксплуатацию паровых машин станут существенно ниже затрат на двигатели внутреннего сгорания. Современная паровая машина экономична из-за использования микропроцессорных систем автоматического управления, а исключение выбросов в атмосферу и замкнутый цикл придают ей высокую экологичность.

Дизель-молот представляет собой прямодействующий двигатель внутреннего сгорания, работающий по принципу двухтактного дизеля. Ударная часть молота при совершении рабочего хода сжимает заключенный в цилиндре воздух, значительно повышая его температуру. Подаваемая в это время в цилиндр горючая смесь (дизельное топливо) взрывается и отбрасывает ударную часть вверх, совершая холостой ход. При падении ударной части рабочий цикл повторяется и т.д. По типу направляющих для ударной части дизель-молоты делятся на штанговые и трубчатые (рис. 3.7).

В штанговых молотах ударной частью является цилиндр, перемещающийся по двум направляющим штангам (рис. 3.7, а). Молоты

такого типа имеют небольшие габариты и массу ударной части 600-2500 кг, а также низкий к.п.д. и энергию удара до 20 кДж. Поэтому их в основном используют для забивки (может быть, бескопровой) легких деревянных свай.

В трубчатых молотах одиночного действия ударная часть представляет собой поршень, который перемещается внутри цилиндра и направляющей трубы и создает давление (компрессию) в цилиндре (рис. 3.7, б). Молот подвешивают на направляющей стреле копра. Его запуск производится специальным механизмом - «кошкой», которая входит в зацепление с кольцевой выточкой поршня. «Кошка», перемещаемая лебедкой вверх по направляющей копра, поднимает ударную часть и автоматически сбрасывает ее на заданной высоте. Падающий поршень надавливает на рычаг топливного (плунжерного) насоса, который впрыскивает топливо в камеру сгорания. В камере под действием удара поршня о шабот горючая смесь разбрызгивается и воспламеняется. От давления образовавшихся газов поршень подбрасывается вверх, а выхлоп выходит в атмосферу через отверстия в цилиндре.

Отечественной промышленностью выпускается параметрический ряд дизель-молотов с воздушным и водяным охлаждением (приложение 4, таблица П 4.3) [5]. Зарубежные фирмы Dellmag, Menck (Германия), Ge ra Hummers (Голландия), Mitsubishi, Kobe Steel (Япония) и др. также широко выпускают трубчатые дизель-молоты с близкими нашим значениями параметров. При этом масса ударной части отдельных образцов в средних условиях может достигать до 10-15 т, а энергия удара - до 400 кДж. Используются (например, фирмой Link Belt) и трубчатые дизель-молоты двойного действия (по принципу, аналогичному паровоздушным молотам), имеющие в 1,5-2 раза большую частоту ударов.

Основными достоинствами дизель-молотов являются: независимость от внешних источников энергии, быстрота подготовки к работе, невысокая стоимость изготовления, простота и удобство экс-

плуатации в условиях любых температур, высокая производительность.

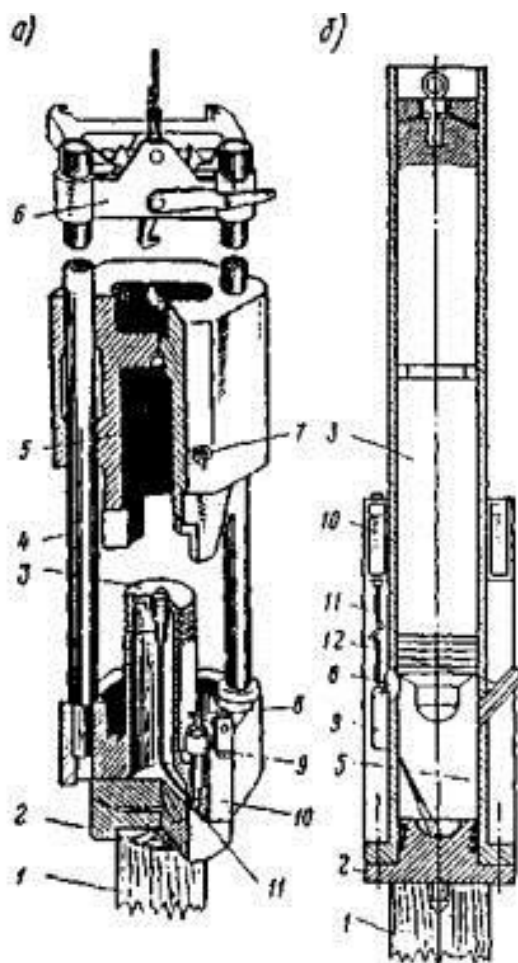


Рис. 3.7. Дизельные молоты:

а - штанговый; б - трубчатый; 1 - свая; 2 - шабот; 3 - поршень; 4 - направляющие штанги; 5 - цилиндр; 6 - устройство для подъема цилиндра; 7 - штырь; 8 - рычаг подачи топлива; 9 - топливный насос; 10 - топливный бак; 11 - трубка для подачи топлива; 12 - выхлопное отверстие

Однако применение дизель-молотов в зарубежных странах неуклонно сокращается. Предпочтение отдается гидромолотам. Немалую роль в этом играют экологические соображения. Тенденцию к созданию молотов повышенной мощности с регулируемой силой удара можно проследить на примере работ голландской фирмы HBG, которая с 1964 года работает над созданием молотов с гидравлическим приводом. С 1969 года она начала серийный выпуск гидромолотов, которые быстро завоевали популярность во всем мире.

В гидромолотах подъем ударной части производится регулируемым давлением жидкости. Она подается гидронасосом в пространство под поршнем основного гидроцилиндра, соединенного штоком с ударной частью (рис. 3.8 и 3.9). При рабочем ходе ударной части жидкость перетекает через перепускной клапан из полости гидроцилиндра под поршнем в полость над ним, сообщая работе машины эффект двойного действия. Гидравлическая жидкость (минеральное масло или вода) подается гидронасосом производительностью до 400 - 700 л/мин под давлением до 300 - 400 атм.

Характерными особенностями гидромолотов являются: возможность регулирования силы и частоты ударов; более длительное действие ударного импульса; возможность синхронной работы нескольких молотов; возможность использования молотов для забивки свай в воде; экологичность. Наряду с этим отметим, что гидромолоты обладают меньшей энергией удара в сравнении с дизель-молотами той же массы (приложение 4, таблица П 4.4) [5].

В настоящее время в России кроме установок финской фирмы Junttan имеются сваебойные агрегаты фирмы Liebherr (Германия) с гидромолотами фирмы Menck, гидромолоты ИНС (Голландия). BSP (Великобритания) и др. Молоты МНР фирмы Menck при массе ударной части 4-20 т имеют потенциальную энергию удара соответственно от 35 (45 с усилением) до 200 (225) кДж при полной массе молота от 6,7 до 28 т и частоте ударов от 40 - 50 до 60 - 85 в минуту.

Для погружения свай больших размеров за рубежом используют групповые гидромолоты, суммарная масса ударной части достигает до 40 т, а энергия удара - до 500 кДж при массе группы до 60 т.

Фирмой РОПАТ созданы отечественные гидромолоты МГ5, МГ6, МГ7 и др. Молот МГ5 имеет массу ударной части 5,2 т, максимальную энергию удара 50 кДж, число ударов в минуту - 50 - 60 и предназначен для погружения железобетонных свай массой до 5 т. Молот МГП100 (молот гидравлический подводный) с массой ударной части 6 т, максимальной энергией удара 100 кДж и частотой ударов в минуту - 42, предназначен для забивки стальных трубчатых свай под

водой. Налаживается производство более тяжелых молотов типа МГ с массой ударной части 10-20 т.

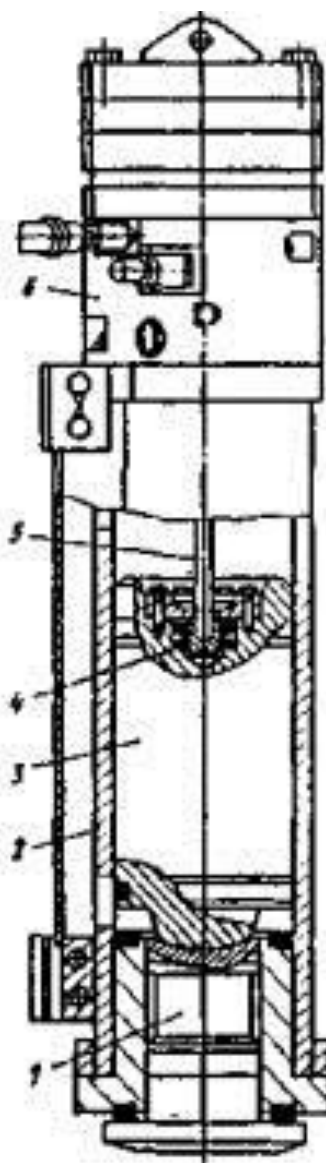


Рис. 3.8. Гидромолот двойного действия:

1 - шабот; 2 - направляющая труба; 3 - ударная часть; 4 - упругий шарнир (тарельчатые пружины); 5 - шток гидроцилиндра; 6 - рабочий (главный) цилиндр

Процесс погружения свай включает в себя подъем и установку свай в направляющие, подъем, установку на сваю и запуск молота, обеспечение совместного поступательного движения сваи и молота. Все эти функции выполняются сваебойными агрегатами - копрами.

В качестве копров могут использоваться специально созданные для этого самоходные машины или установки в виде навесного ко-

прового оборудования на базовые машины - тракторы, экскаваторы, подъемные краны. Для перемещения копров по свайному полю при возведении речных опор устраивают подкопровые мосты, эстакады, подмости. Копры устанавливают и на плавучие средства (рис. 3.10 и 3.11, приложение П 5) [5, 8].

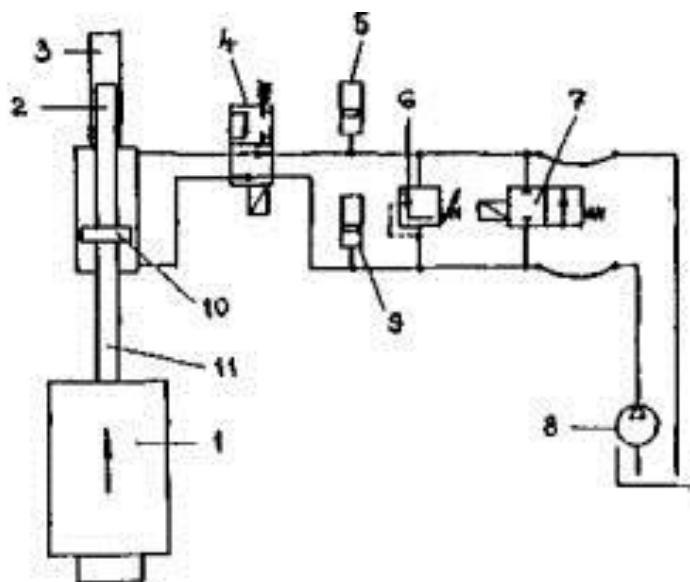


Рис. 3.9. Принципиальная схема управления гидромолотом:

1 - ударная часть; 2, 3 - направляющие; 4 - главный клапан; 5 - гидроаккумулятор низкого давления; 6 - клапан избыточного давления; 7 - перепускной клапан; 8 - гидронасос; 9 - гидроаккумулятор высокого давления; 10 - главный цилиндр; 11 - шток гидроцилиндра

Самоходный копер состоит из ходовой части, на которой установлена поворотная или неповоротная рама с размещенными на ней механизмами подъема молота, «кошки» и сваи, а также копровой стрелы (мачты), у которой есть механизмы изменения вылета и наклона (рис. 3.12 и 3.13).

При подборе копровой установки (приложения 4, таблицы П 4.5 и П 4.6) проверяют ее применимость по длине, массе и наклону сваи, типу и массе молота, по условиям обслуживания копром свайного поля [5].

Самоходные рельсовые копры - традиционные средства забивки сваи. Однако у них большой вес, высокая трудоемкость сборки-разборки, малая маневренность, и они требуют устройства рельсовых путей.

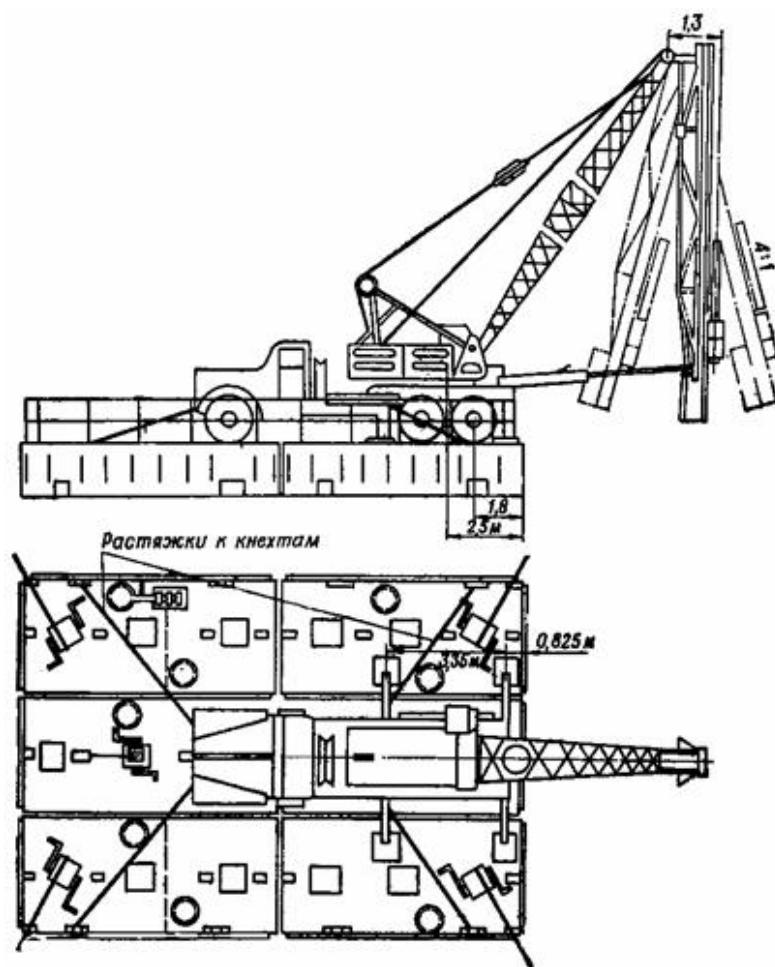


Рис. 3.10. Копровая установка УСА на плашкоуте из понтонов ПМ-70

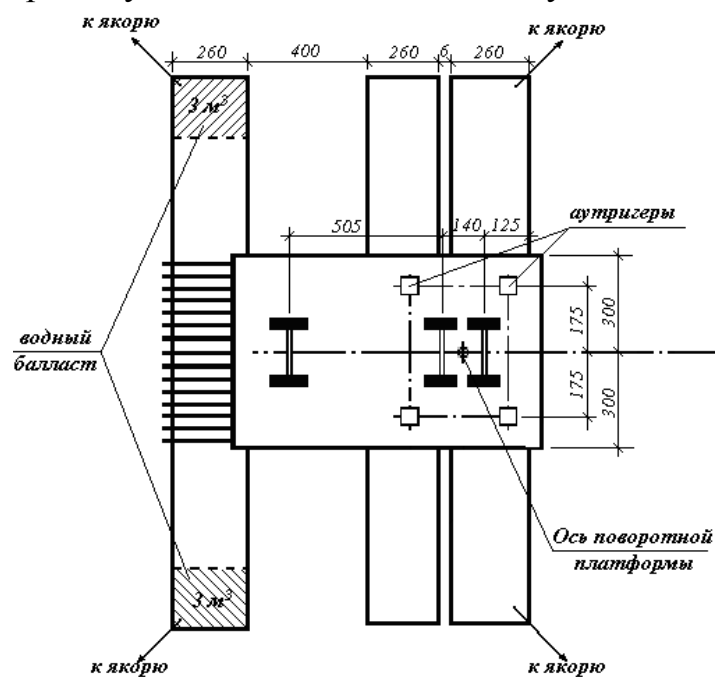


Рис. 3.11. Плашкоут из понтонов НЖМ-56 для установки сваебойного агрегата

Все шире входят в практику также бескопровые сваебойные установки. Когда ими пользуются, сваю надо предварительно надежно зафиксировать в направляющих или лидерной скважине. Установка закрепляется на голове сваи при помощи крана, а затем запускается и работает автономно.

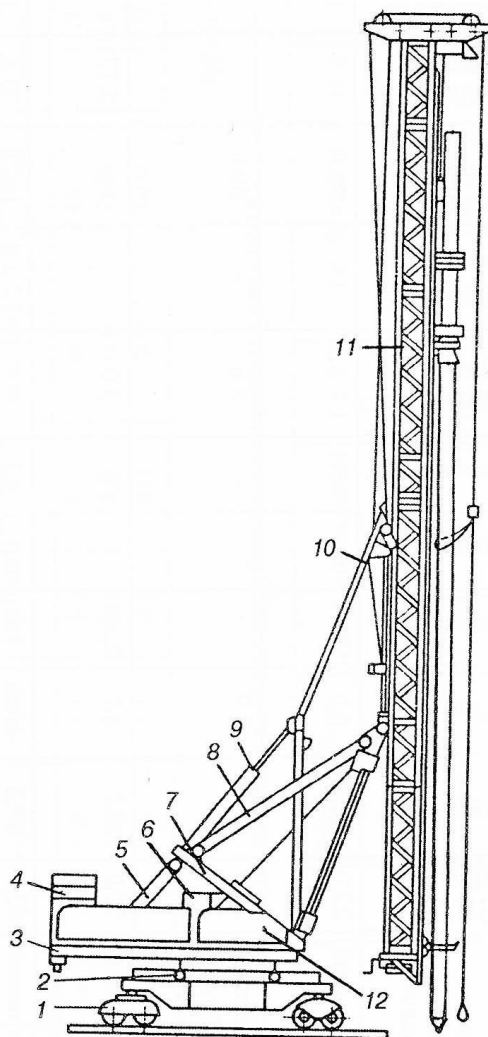


Рис. 3.12. Рельсовый копер СП-69:

1 - ходовая часть; 2 - опорно-поворотный круг; 3 - поворотная платформа; 4 - противовес; 5 - задняя стойка; 6 - кабина машиниста; 7 - передняя стойка; 8, 9 - гидроцилиндры; 10 - параллелограмм; 11 - мачта; 12 - лебедки

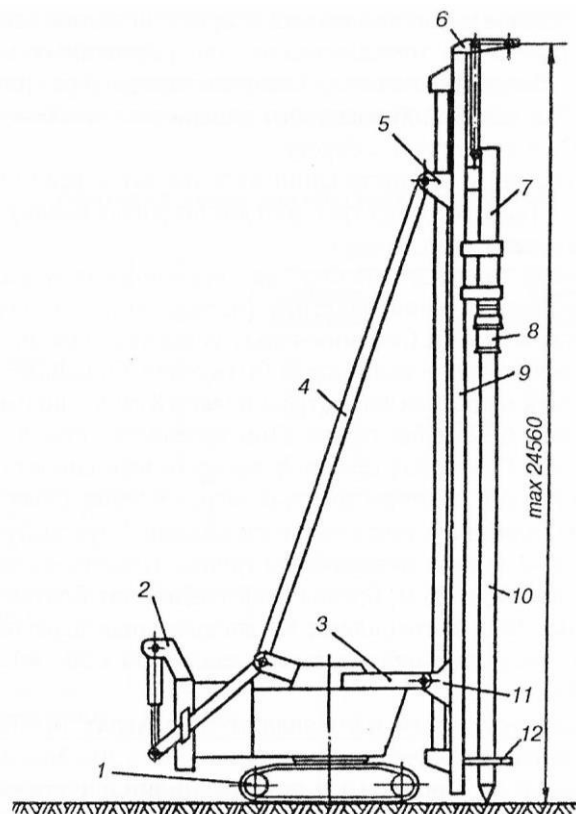


Рис. 3.13. Копер КН-1-16:

1 - базовая машина - экскаватор ЭО-5122А; 2 - кронштейн поворотный; 3 - механизм наведения; 4 - раскосы; 5 - верхняя каретка; 6 - оголовок; 7 - дизель-молот (гидромолот); 8 - наголовник; 9 - мачта телескопическая; 10 - свая; 11 - нижняя каретка; 12 - сваерез

3.2. Технология вибропогружения свай. Машины и оборудование

Широкое распространение фундаментов из сборных железобетонных оболочек получило в середине 1950-х годов, когда была освоена технология изготовления оболочек большого диаметра (до 3 м) и были созданы мощные вибропогружатели [3, 8].

Характерной особенностью вибропогружения является возможность заглубления оболочек, масса которых в 5 - 10 раз больше массы вибропогружателей, тогда как при забивке молот должен иметь массу ударной части не менее половины массы свай.

Оборудование для погружения свай-оболочек включает: вибропогружатель, наголовник для его жесткого крепления к свае-

оболочке, направляющий каркас и технические средства извлечения грунта из полости погружаемой оболочки.

Действие вибропогружателя состоит в создании направленных продольных усилий (рис. 3.14, *а*) синхронным и противоположно направленным вращением дебалансов. Вибрация ствола сваи-оболочки снижает трение ее по грунту и обеспечивает быстрое погружение в несвязные грунты.

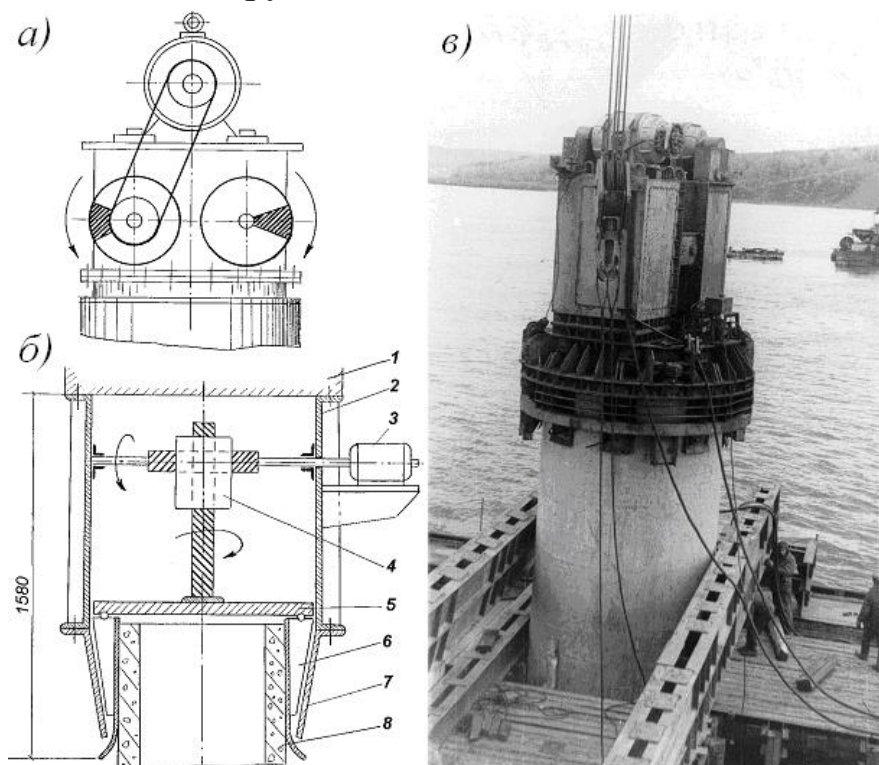


Рис. 3.14. Вибропогружатель:

а - принципиальная схема; *б* - самозаклинивающийся наголовник для крепления вибропогружателя на свае; *в* – общий вид вибропогружателя, установленного на оболочке; 1 - вибропогружатель; 2 - корпус наголовника; 3 - электродвигатель; 4 - редуктор; 5 - траверса; 6 – зажимные клинья; 7 - коническая часть корпуса; 8 - свая-оболочка

Технические характеристики вибропогружателей приведены в таблице 3.1, а рекомендации по их выбору в зависимости от сечения сваи-оболочки и вида грунтов даны в таблице 3.2.

Вибропогружатель устанавливается на голову сваи и жестко крепится к ее наголовнику. Болтовые соединения малонадежны ввиду возможного отвинчивания гаек при вибрации оболочки, требуют значительных затрат труда и времени на подтягивание гаек, а также на

снятие и установку вибропогружателя. Поэтому были разработаны безболтовые наголовники, значительно сокращающие время закрепления вибропогружателя на оболочке. Автоматический наголовник НГ-1,6 имеет цанговый захват в виде восьми фартуков, прижимаемых к оболочке снаружи гидравлическими домкратами (рис. 3.14, б).

Таблица 3.1

Технические характеристики вибропогружателей

А. Высокочастотных								
Показатели	Ед. изм.	Значения параметров вибропогружателей						
		ВПП-1	ВПП-2Д	ВПП-4	ВПМ-1	ВПМ-2	БТ-5	ВП-50
Возмущающая сила	кН	245	245	137,2	14,7	68,6	196	490
Частота ударов в минуту	мин	1500	1500	1500	1500	1500	2500	2380
Мощность эл.двигателя	кВт	30	40	28	3,7	7	30	2×44
Общая масса	кг	2100	2200	1200	150	330	1350	5750
Б. Низкочастотных								
Показатели	Ед. изм.	Значения параметров вибропогружателей						
		ВП-1	ВП-3	ВП-80	ВП-1 170	ВРП-15/60	ВРП-30/120	ВРП-70/200
Возмущающая сила	кН	181,3	433,2	500...892	1000	348	889	1996
Частота ударов в минуту	мин	420	408	408...545	404...505	50...460	0...520	0...510
Мощность электродвигателя	кВт	60	100	100	170	56	132	200
Общая масса	кг	4240	8000	8900...9180	13300	5080	7200	12000

Направляющие устройства для погружения оболочек особенно необходимы в начале погружения, когда защемление в грунте недо-

статочно для обеспечения устойчивого движения оболочки с вибропогружателем. При небольшой массе вибропогружателя и малом диаметре свай-оболочки в качестве направляющего устройства могут использоваться копры (рис. 3.15, а). Для погружения оболочек большого диаметра необходимы специальные направляющие каркасы или кондукторы.

Таблица 3.2

Рекомендации по выбору вибропогружателя

Диаметр оболочек, м	Мягкопластичные глины и суглинки, рыхлые пески		Тугопластичные глины и суглинки, пески средней плотности		Полутвердые глины и суглинки, плотные пески	
	Марка вибропогружателя при глубине погружения, м					
	до 15	до 25	до 15	до 25	до 25	
1.0...1.2	ВП-30, ВП-3	ВП-30	ВП-30	ВП-80	ВП-80	
1.2...1.6	ВП-30	ВП-80 ВУ-1.6	ВП-80 ВУ-1.6	ВУ-1.6	ВУ-1.6	
1.6...2.0	ВП-80 ВУ-1.6	ВУ-1.6 ВП-160	ВУ-1.6 ВП-160	ВП-1.6 ВП-170	ВП-1.6 ВП-170	
2.0...3.0	ВП-160	ВП-170	ВП-170	ВУ-3 2ВП-170 ВП-250	ВУ-3 2ВП-170 ВП-250	

Для погружения оболочек на глубокой воде применяют инвентарные каркасы, собираемые на берегу и доставляемые на место погружения свай-оболочек на пароме, которые раскрепляются на месте работ якорями. После геодезической проверки точности установки каркаса он закрепляется вертикальными маячными сваями или установленными в ячейки каркаса оболочками, после чего плавучая система может быть убрана, если она не используется в качестве подмостей (рис. 3.15, б).

Разработка несвязных и малосвязных грунтов в полости оболочки чаще всего производится эрлифтами и гидроэлеваторами. При разработке связных грунтов целесообразно применять грейферы различных конструкций, производительностью от 2 до 4 м³/ч. С одной сто-

янки крана выемка грунта грейфером может осуществляться из нескольких оболочек, в том числе и погруженных на разную глубину, чем существенно увеличивается производительность агрегата.

Грунты с включением валунов, скальные грунты и плотные глины разбуривают станками ударно-канатного и вращательного действия, снабженных долотом, фрезой или шарошками.

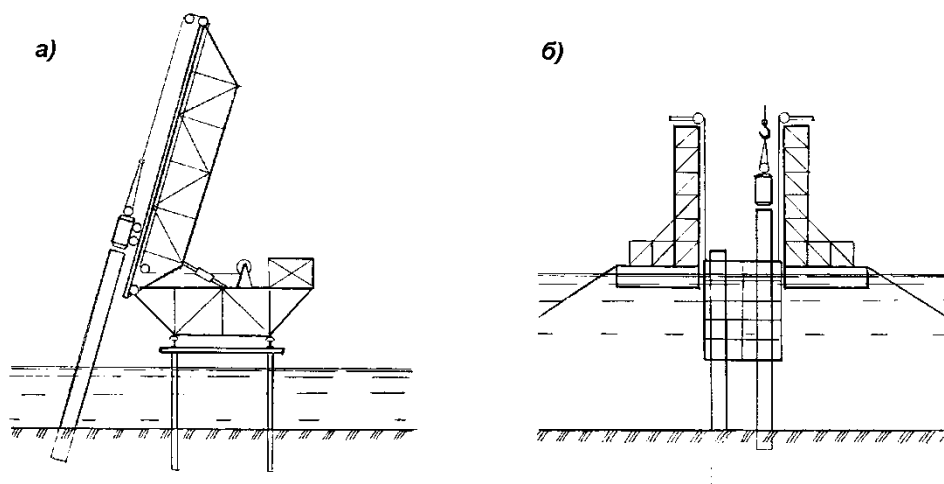


Рис. 3.15. Направляющие устройства:

а - копровое направляющее устройство; *б* - направляющий каркас

Вибропогружение свай-оболочки выполняется в следующем порядке:

- планировка грунта, разбивка осей фундамента и оболочек с составлением акта геодезической разбивки;
- крановая сборка каркаса из элементов инвентарных конструкций и закрепление его маячными сваями, сооружение подмостей по верху каркаса и лестниц, оформление записей в журнале работ и акта приемки установленного каркаса;
- обследование подвезенных свай-оболочек;
- сборка ножевой секции оболочки и разметка оболочки по длине. Длину укрупненной секции принимают максимальной по грузоподъемности крана;
- установка краном ножевой секции в каркас, установка круговой площадки и лестниц для монтажа вибропогружателя;
- установка на секцию вибропогружателя с наголовником и его крепление;

- погружение оболочки залогом по 3 - 10 минут с проверкой крепления наголовника и состояния оболочки.

По достижении верхом секции уровня на 1 - 1,5 м выше настила вибропогружатель останавливают и снимают, ставят очередную секцию оболочки и соединяют ее с опускаемой фланцевым стыком или с помощью обечайки. Стык для водонепроницаемости обваривают по периметру и бетонируют. Все непокрытые бетоном поверхности защищают от коррозии несколькими слоями битумной мастики или мастикой на эпоксидной основе. И дальше цикл повторяется.

Погружение оболочки ведут, чередуя опускание оболочки с выемкой грунта из ее полости. В несвязных грунтах разработку практикуют до уровня ножа или на 1 - 2 м ниже его. Плотные связные грунты могут разрабатываться с образованием "лидерной скважины" на глубину до 2 - 3 м ниже ножа оболочки.

О встрече с препятствием судят по резкому уменьшению скорости погружения оболочки или по появлению значительных горизонтальных колебаний верха оболочки. Погружение оболочки считается законченным при достижении проектной отметки.

Бетонирование оболочки включает: очистку и промывку внутренней полости, установку в нее арматурного каркаса (если предусмотрен проектом), сооружение подмостей и монтаж оборудования для бетонирования, организацию непрерывной подачи бетона и бетонирование полости, приемку выполненных работ, оформление документации.

Для обеспечения сцепления укладываемого бетона с оболочкой ее полость очищают от грунтового загрязнения и поверхностной цементной пленки специальной щеткой (рис. 3.16, а), состоящей из двух дисков с зажатыми между ними отрезками троса диаметром до 20 мм и длиной до 30 см. Для увеличения веса пространство внутри обечайки заполняют бетоном.

Армирование полости оболочки выполняют заблаговременно заготовленными стальными каркасами (рис. 3.16, б). Нарращивание каркаса по мере его опускания в оболочку производят стыкованием про-

дольных стержней внахлестку. Кроме спирального армирования для повышения жесткости каркаса предусматривают установку через 2 - 3 м колец из стержней того же диаметра, что и продольная арматура. Необходимая толщина защитного слоя обеспечивается приваркой фиксаторов.

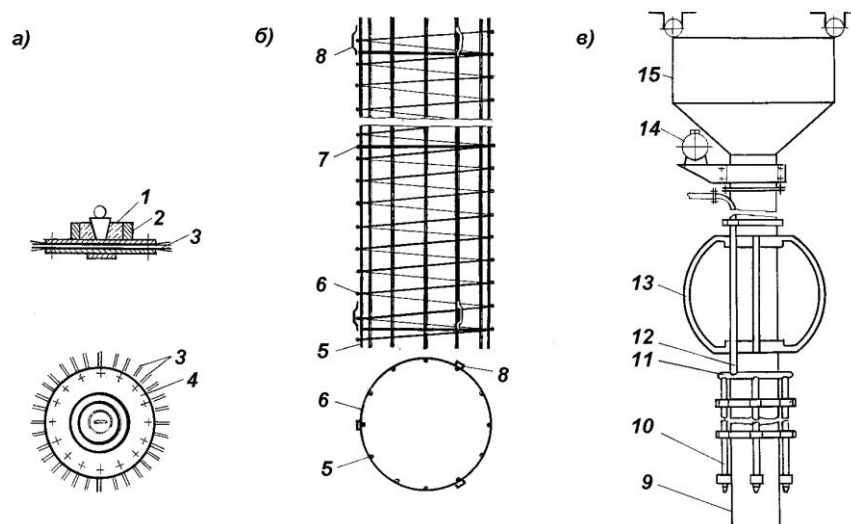


Рис. 3.16. Оборудование для бетонирования оболочки:

а - щетка для очистки полости оболочки; *б* - арматурный каркас;
в - бетонолитная труба; 1 - бетонный пригруз; 2 - обечайка; 3 - стальная щетка; 4 – зажимной лист; 5 - продольная арматура; 6 - спиральная арматура; 7 - кольца жесткости; 8 - стержни-фиксаторы; 9 - бетонолитная труба; 10 - подмывная трубка; 11 - водоразводящее кольцо; 12 - водопроводная труба; 13 - направляющий фонарь; 14 - вибратор; 15 - приемный бункер

Бетонирование оболочки насухо производят с соблюдением технических условий и отработанных приемов выполнения данного вида работ. Бетонную смесь в полость оболочки подают бадьями-желонками, разгружаемыми в толще ранее уложенного не схватившегося бетона.

Подводное бетонирование выполняют способом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ). Перед укладкой бетонной смеси забой, и полость оболочки промывают напорной водой. Для этого бетонолитную трубу снабжают подмывными трубками (рисунок 3.16, *в*), по которым под давлением до 10 атмосфер подают воду. Подаваемая под напором вода взмучивает находящийся в забое шлам, и образующаяся пульпа переливается через верх оболочки. Более крупные ча-

стицы оседают на дно или во взвешенном состоянии остаются вблизи забоя. В момент окончания промывки (прекращения подачи воды) в бетонолитную трубу подают бетонную смесь. Бетонная смесь ложится на промытый забой, постепенно заполняя полость оболочки. В ходе бетонирования контролируют: качество бетонной смеси, интенсивность кладки бетона, величину заглубления бетонолитной трубы в ранее уложенный бетон, уровень бетонной смеси в трубе. В случае необходимости для контроля качества бетона из него выбирают керны.

Механический вибропогружатель включает в себя: собственно вибратор, состоящий из нескольких грузовых валов с насаженными на них тяжелыми эксцентриками; приводной электродвигатель с редуктором для передачи крутящего момента валам; наголовник для жесткого прикрепления вибратора к свае (рис. 3.17).

В процессе вращения в разные стороны грузовых валов, соединенных синхронизирующими шестернями, возникает направленная вдоль вертикальной оси вибратора знакопеременная вынуждающая сила, которая изменяется по гармоническому закону.

Под действием вибратора, жестко соединенного со свайей, в нелинейной динамической системе вибратор-свая-грунт возникают продольно направленные колебания с амплитудой A . Если амплитуда достигает критического значения, при котором происходит преодоление сил трения по боковой поверхности, свая, проскальзывая в грунте, периодически надавливает нижним концом на него, преодолевая его сопротивление и в этой зоне. Амплитуда колебаний вибросистемы после срыва сил трения в основном зависит от величины грузового момента и массы вибросистемы.

В последние десятилетия больше других использовался для погружения железобетонных свай-оболочек диаметром 1,6 м и 3,0 м длиной до 60-70 м отечественный вибропогружатель ВП-160 (ВП-170, ВПМ-170). Характерной его особенностью является использование двухскоростной схемы вращения грузовых валов, из которых полови-

на вращается с удвоенной скоростью. Поэтому вынуждающая сила, направленная вниз, превышает силу, направленную вверх.

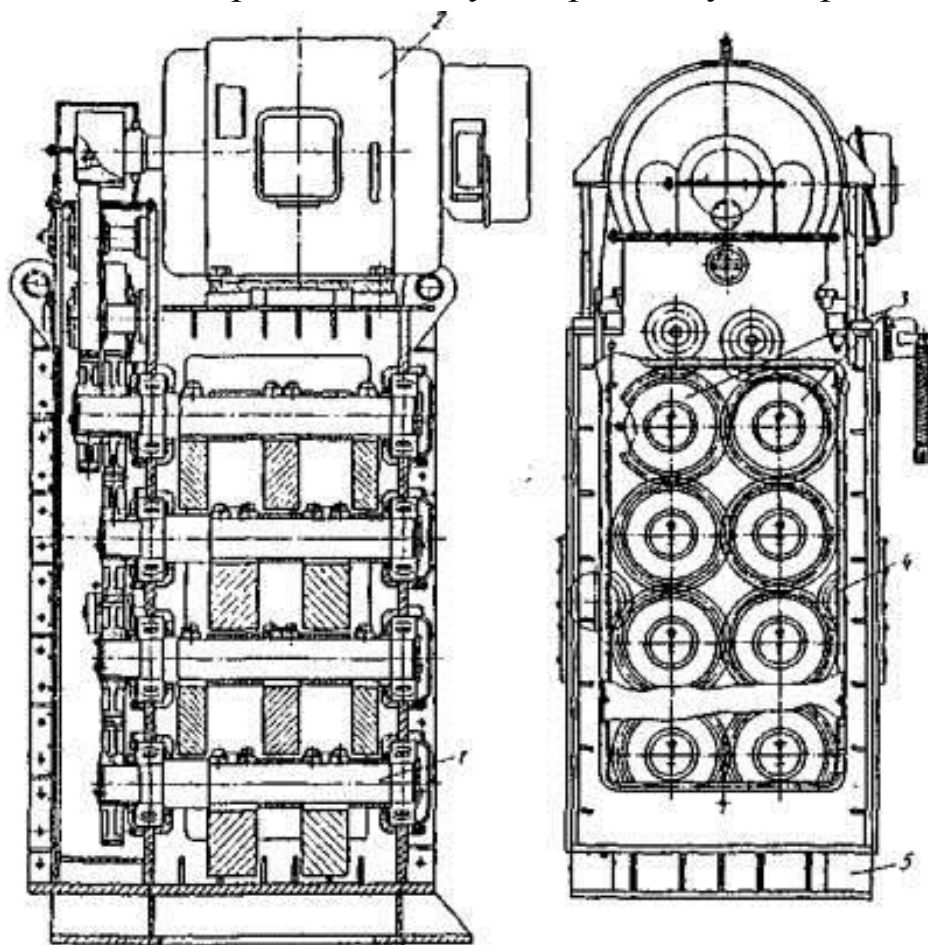


Рис. 3.17. Низкочастотный вибропогружатель ВПМ-170:

1 - эксцентриковые валы; 2 - электродвигатель; 3 - блок шестерен; 4 - синхронизирующие шестерни; 5 - фланец

Обычно вибропогружатель закрепляют на свае болтами посредством наголовника (рис. 3.18). При погружении свай-оболочек диаметром 3,0 м применяют спаренный вибропогружатель из двух вибропогружателей ВПМ-170, установленных на едином наголовнике. Совместность колебаний вибропогружателей обеспечивается соединением их синхронизирующими шестернями.

Другой конструкцией вибропогружателя является модель с проходным отверстием в центральной части, что позволяет извлекать грунт грейфером из полости оболочки, не снимая вибропогружателя. Однако такие конструкции плохо зарекомендовали себя в эксплуатации.

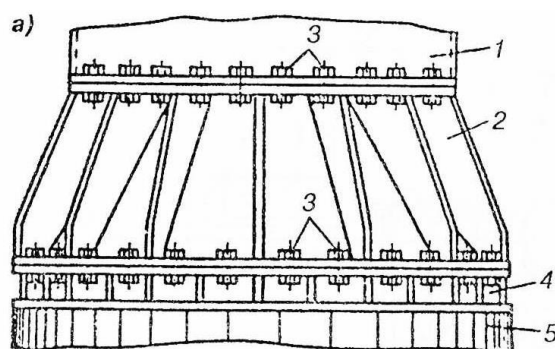


Рис. 3.18. Крепление вибропогружателя к оболочке:

1 - вибропогружатель; 2 - переходной патрубок; 3 - болты крепления; 4 - фланец оболочки; 5 - оболочка

Значительное влияние на производительность погружения свай-оболочек оказывает конструкция узла крепления к ним вибропогружателя, который должен быть жестким. Но болтовые соединения, кроме периодической подтяжки гаек (из-за их отвинчивания под действием вибрации), требуют значительных затрат труда и времени на установку и снятие вибропогружателя. Безболтовые зажимные наголовники (например, гидравлические) позволяют сократить затраты труда в 8-10 раз.

В процессе погружения в грунт свай-оболочки при постоянных параметрах вибратора скорость погружения, амплитуда колебаний, сила тока и потребляемая двигателем мощность постепенно снижаются. С целью оптимизации режимов погружения в 1969 г. были созданы вибропогружатели с автоматически изменяемыми параметрами. В них максимально возможная скорость погружения при минимальных затратах мощности обеспечивается путем регулирования частоты колебаний и грузового момента эксцентриков на разных стадиях погружения оболочки. Вибропогружатели типа ВРП (приложение 6, таблица П 6.1) некоторыми специалистами признаются наиболее совершенными.

Успешный опыт создания и применения в нашей стране вибропогружателей способствовал развитию свайной вибротехники за рубежом. Так, японской фирмой Kensetsu Kikai Tesa создан параметрический ряд низкочастотных вибропогружателей с вынуждающей силой 370 - 2140 кН.

Однако, недостатками вибропогружателей с электромеханическим приводом являются высокая потребляемая мощность и частый выход из строя электродвигателей из-за воздействия вибрации и сгорания обмоток, особенно в период интенсивного разгона вибросистемы.

В последние годы за рубежом наблюдается интенсивный процесс создания свайных вибропогружателей нового поколения, оснащенных гидромоторами с автономным приводом. В гидромоторе вращательное движение вала происходит под давлением рабочей жидкости (минерального масла либо воды), которая подается от насосной станции с дизельным двигателем. Но, в отличие от вибропогружателя с электромеханическим приводом, вращательное движение эксцентриковых валов совершается с меньшими амплитудами и с большей частотой. Гидровибропогружатель оснащается гидравлическими захватами для свай различного типа. При погружении оболочек большого диаметра можно использовать спаренные погружатели (рис. 3.19). В настоящее время гидровибропогружатели выпускаются многими фирмами (приложение 6, таблица П 6.2) [5].

В комплект вибропогружателя входит гидростанция. Например, для питания вибропогружателя JV100 применяется гидростанция JP30 с параметрами: мощность дизеля - 650 кВт (870 л.с.), максимальное давление масла в гидросистеме - 350 атм., производительность насосов - 1100 л/мин.

У гидравлических вибропогружателей основные параметры регулируются в соответствии с тем, какое сопротивление погружению испытывает свая. Максимальная частота колебаний у машин этого типа в 3-8 раз больше, чем у низкочастотных механических вибраторов, но амплитуда колебаний меньше, что несколько снижает погружающую способность.

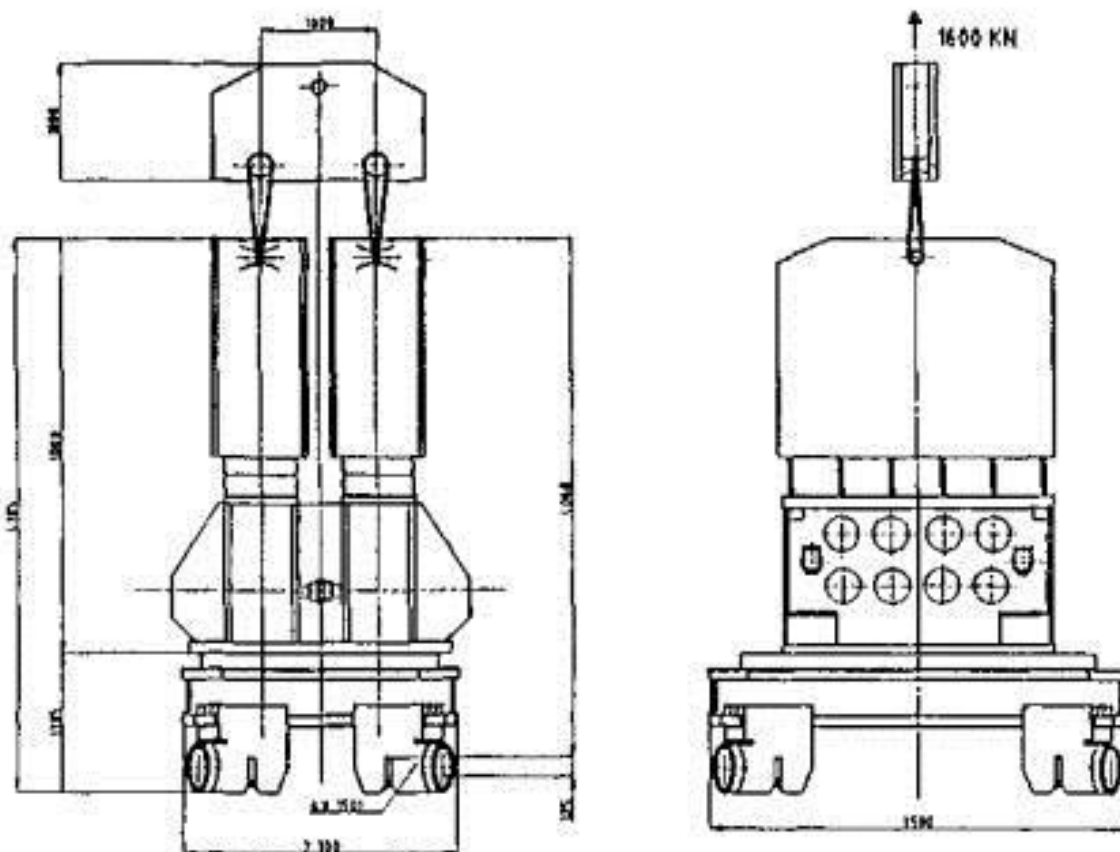


Рис. 3.19. Тандем из двух гидровибропогружателей 100 HD фирмы РТС, применяемый для погружения оболочек диаметром 1,3-3,0 м (вынуждающая сила - 6000 кН; масса вибромашины - 45,4 т)

3.3. Технология вдавливания свай. Машины и оборудование

Опыт эксплуатации установок вдавливания заводских свай (УВС) показал их эффективность при работе на расстояниях до 1,2 м от конструкций существующих зданий и сооружений (при условии погружения свай в предварительно разрыхленный грунт); вблизи коммуникаций; в слабых грунтах, как альтернатива буронабивным технологиям, при рисках развития недопустимых деформаций грунтов [1, 11, 23, 24].

К достоинствам технологии вдавливания свай относятся:

а) гарантированное заводское качество сваи в грунте (чего нет при устройстве буронабивных свай, когда бетон укладывается в грунте);

- б) по конечному усилию вдавливания можно прогнозировать несущую способность свай по грунту без дополнительных испытаний;
- в) по сравнению с буронабивными технологиями нет зимнего удорожания и технологических перерывов на прогрев бетона;
- г) при работе с уровня дневной поверхности есть возможность добавления свай на 5–6 м до уровня проектной отметки без откопки котлована (для буронабивных технологий сваи удлиняют).

К недостаткам технологии вдавливания относится следующее:

- а) при вдавливании свай в примыкании к существующим конструкциям часть свай не может быть погружена;
- б) наличие плотных грунтов может препятствовать погружению свай до несущего слоя;
- в) по сравнению с буронабивными сваями у типовых заводских свай имеются ограничения по длине и расчетной нагрузке.

По способу передачи усилия вдавливания установки вдавливания свай (УВС) делятся (рис. 3.20) на циклического и непрерывного действия.

Для УВС непрерывного действия с передачей вдавливающего усилия на верхний торец сваи технологическая последовательность вдавливания аналогична забивному способу: подтаскивание и подъем сваи на мачту УВС, вдавливание сваи до проектной отметки и перемещение установки на следующую точку погружения.

Последовательность циклического вдавливания свай включает подъем и заводку сваи краном в зажимное устройство; фиксацию сваи гидравлическим цилиндром зажимного устройства; вертикальное перемещение вниз зажимного узла со свай с помощью двух цилиндров. При достижении крайнего нижнего положения цилиндр зажимного устройства разжимается, высвобождая сваю, и вдавливающий узел поднимается в исходное верхнее положение, и далее цикл повторяется.

Установки циклического действия развивают большие вдавливающие усилия, а непрерывного действия – более маневренны при работе в стесненных условиях.

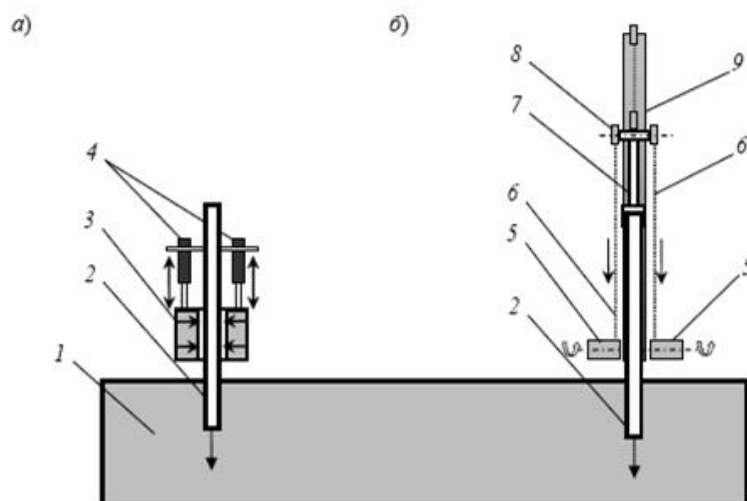


Рис. 3.20. Способы передачи вдавливающего усилия на сваю:

а – циклический процесс вдавливания сваи; *б* – непрерывное вдавливание; 1 – грунт; 2 – свая; 3 – зажимное устройство; 4 – гидроцилиндры перемещения зажимного устройства; 5 – тяговая лебедка; 6 – тяговый трос; 7 – погружатель (дополнительно может оснащаться вибрационным погружателем или гидравлическим молотом); 8 – блок; 9 – мачта (стойка) УВС

По способу перемещения по свайному полю различают следующие виды УВС: самоходные на базе экскаваторов и кранов (рис. 3.21); несамоходные перемонтируемые на каждую сваю краном и ограниченно мобильные на специальных модульных устройствах. УВС типа СО 450 и УВТ 200 выполнены на основе базового модуля (рис. 3.22, 3.23), который можно устанавливать на различных ходовых устройствах: гусеничном и рельсовом ходу, перекрестных балках. Рельсовый ход имеет длину до 6 м и переставляется краном, перемещение УВС по рельсам осуществляется с помощью гидроцилиндров. Передвижение вдавливающей установки по системе перекрестных балок обеспечивает перемещение машины в рабочей зоне свайного поля. Каждый модуль представляет собой рамную конструкцию, устанавливаемую на свайном поле.

Балочные модули могут соединяться между собой в продольном либо поперечном направлении, образуя непрерывную координационную сетку, повторяющую конфигурацию свайного поля.

Технологическая последовательность работы модульной сваевдавливающей системы следующая:

- а) модуль устанавливается краном по осям свайного ряда;
- б) на модуль монтируют УВС;
- в) гидроцилиндрами УВС наводят на точку вдавливания сваи;
- г) осуществляется подача сваи краном в зажимное устройство УВС;
- д) выполняется вдавливание сваи на проектную отметку;
- е) перемещение УВС по каретке поперечно оси модуля на следующую точку вдавливания осуществляется при помощи двух дополнительных гидроцилиндров.



Рис. 3.21. Установка вдавливания свай UCS 160 на гусеничной тележке экскаватора ЭО - 6122

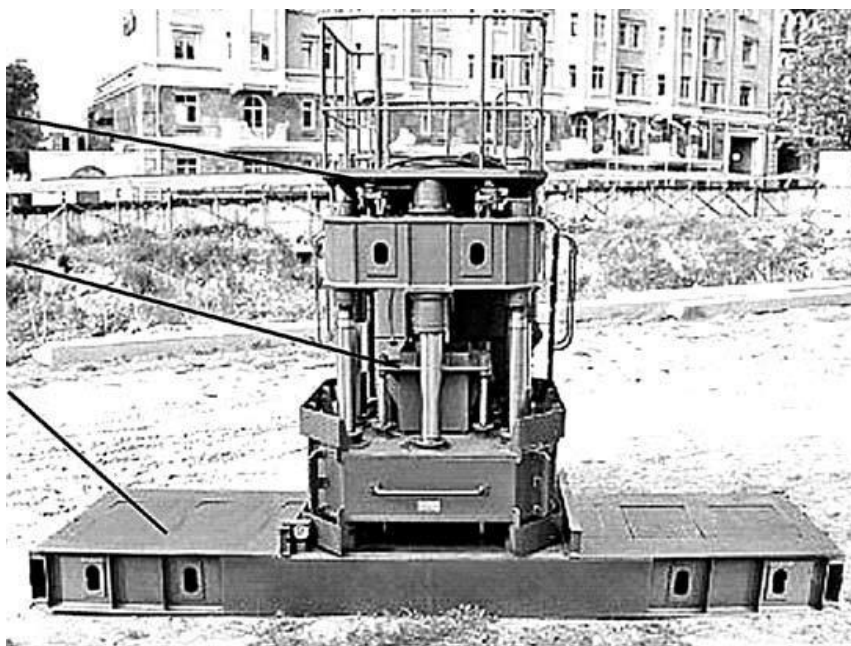


Рисунок 3.22. Установка вдавливания свай СО 450

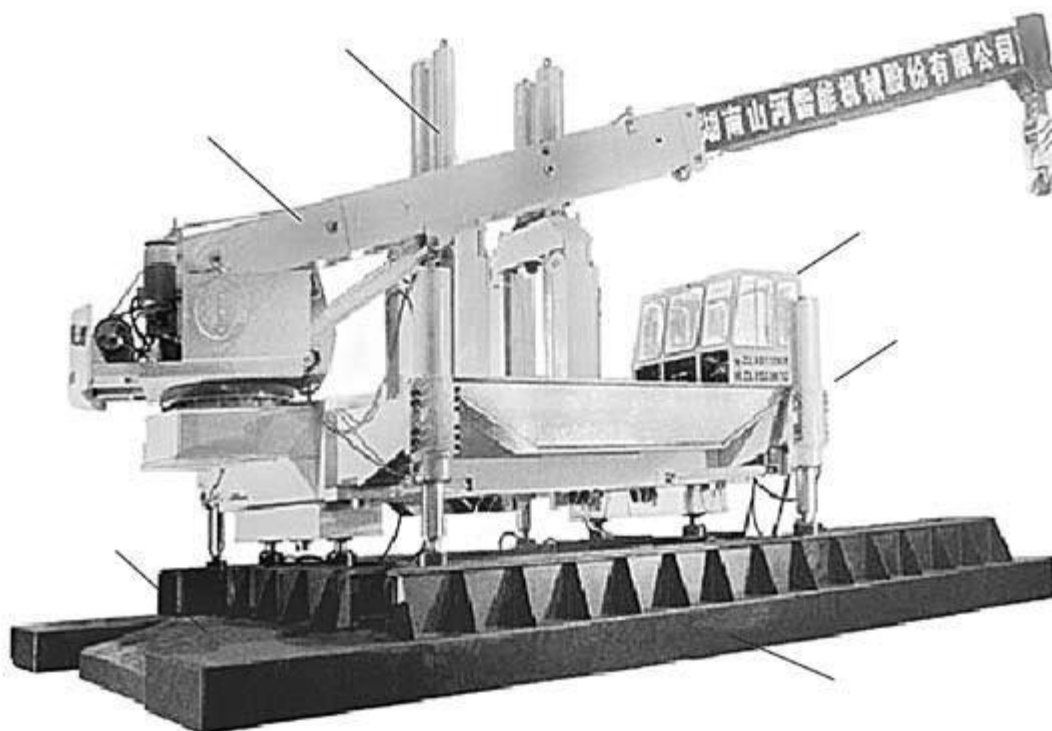


Рисунок 3.23. Установка вдавливания *Starke 240 (320)*

При вдавливании свай в плотные грунты или в примыкании к существующим зданиям для снижения усилия вдавливания и исключения выпора грунта с деформациями конструкций зданий вдавливание выполняется в лидерные скважины. В этом случае применяется буровая установка.

При вдавливании свай в примыкании к существующим зданиям работы, как правило, производят с поверхности земли без отрывки котлована. Площадка, с которой будут погружаться сваи, должна быть горизонтально спланированной и усилена песком и щебнем для обеспечения маневра установки. Производительность погружения крайних свай у стен здания – не более 3–4 свай в день. Для предотвращения неравномерных осадок конструкций примыкающего здания сваи погружаются с наибольшим удалением друг от друга.

При расположении свайного поля кустами порядок погружения свай распределяется аналогично, т. е. сначала погружается одна свая из первого куста, затем свая из последнего, и в третью очередь – из среднего. В следующую смену таким же образом.

3.4. Технология завинчивание свай. Машины и оборудование

Фундаменты на винтовых сваях и анкерные закрепления обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с традиционными свайными технологиями. Наиболее важными из них являются малая материалоемкость и трудоемкость, отсутствие земляных работ; сохранение грунтов оснований в естественном состоянии; безударное погружение, высокая точность установки в плане и по высоте. Особенно целесообразно их применение в обводненных грунтах [3, 10].

Винтовые сваи и анкеры находят широкое применение при строительстве нефте- и газопроводов на заболоченных, просадочных и пучинистых грунтах; на лесосплавах – для крепления лесонаправляющих и лесозадерживающих сооружений; при строительстве разборных, временных мостов и причалов, возведении фундаментов малоэтажных зданий и сооружений, а также при устройстве фундаментов ЛЭП, опор контактной сети железных дорог и башен линий сотовой связи в талых и вечномёрзлых грунтах.

Опыт применения фундаментов на винтовых сваях и анкерных закреплениях показал их эксплуатационную надежность и высокую экологическую эффективность, возможность круглогодичного ведения строительно-монтажных работ.

Анализ экспериментальных работ в нашей стране и за рубежом позволил определить оптимальные параметры винтовых наконечников: шаг винтовой лопасти (200–250 мм), диаметр ствола (ступицы) (168, 219–278 и 325 мм), диаметры лопасти (500, 700, 850 и 1000 мм).

В настоящее время отработана технология изготовления винтовых сварных и литых наконечников из углеродистых сталей ВСт3СП5 и 092СП и низколегированных – 10ХСНД, 10Г2СХ.

Винтовые сваи малых диаметров привлекательны для возведения фундаментов в малоэтажном (дачном и коттеджном) строительстве. Их преимущество в сравнении с другими видами фундаментов не только в сокращении сроков работ (до нескольких дней), но и конкурентоспособной цене. Фундамент на винтовых сваях малого диа-

метра обходится заказчику в 1,5–2 раза дешевле, чем ленточный, не говоря уже о монолитной плите. Оптимальным вариантом для фундаментов бревенчатых, панельных и каркасных домов являются сваи малого диаметра с лопастью 300 мм и стволом 108 мм. Они не требуют применения строительной техники, их вполне по силам завинтить вручную четверем рабочим.

Эффективным является применение винтовых свай при возведении мостов. При существующих технологиях и имеющихся средствах механизации в дорожных и железнодорожных войсках, строительство опор мостов занимает до 70 % времени от общего срока возведения мостового перехода. Одним из направлений резкого сокращения сроков восстановления (нового строительства) мостов может быть использование винтовых свай в инвентарных фундаментах в виде свайно-винтовых и рамно-винтовых опор, при наличии соответствующих средств механизации и разработке передовых технологий скоростного восстановления и строительства [8].

Завинчивание свай (анкеров) рекомендуется осуществлять на глубину не менее 4,0 м по соображениям надежности. В зависимости от глубины завинчивания и диаметра лопасти введены понятия – сваи (анкеры) мелкого и глубокого заложения. При $\lambda < 6$ для песков и $\lambda < (3-4)$ – для глинистых грунтов ($\lambda = h/D$, где h – глубина заложения лопасти, D – ее диаметр) сваи (анкеры) отнесены к категории мелкого заложения; при $\lambda > 6$ и соответственно $\lambda \geq (3-4)$ – к категории глубокого заложения.

Для уточнения типа, качества, свойств и глубины промерзания грунта осуществляется пробное завинчивание винтовой сваи, позволяющее избежать ошибок при возведении фундамента. На основании полученных результатов и расчетов подбираются параметры и количество применяемых конструктивных элементов. Также определяется оптимальный для данных условий тип ввинчивания (ручной или автоматический).

Основной технологический этап — монтаж в грунт (до глубины промерзания, равной в РФ приблизительно полутора метрам) в соот-

ветствии с составленным планом фундамента. Чаще для этого используется спецтехника. Установленные винтовые сваи подрезают на уровне около 0,5 м над поверхностью. Если структура грунта под объектом меняется, ввинчивание производится на разную глубину.

Заключительный этап — бетонирование свай до уровня подрезки. Устанавливается оголовок, и на нем крепится обвязка, в качестве которой может выступать металлический швеллер, брус, железобетонная плита или решетка. Для предотвращения коррозии сварные швы покрываются эпоксидным составом или сверхпрочной эмалью. Бетонирование не используется при возведении временных сооружений.

Для завинчивания винтовых свай применяют специальные устройства – кабестаны (рис. 3.24)



Рис. 3.24. Установка для завинчивания свай УЗС-10

При небольшом объеме работ погружение винтовых свай может осуществляться тросовыми кабестанами с использованием лебедок трелевочных тракторов, автомобильных кранов и тягачей.

Но наилучшим способом зарекомендовали себя гидрокабестаны, способные развить крутящий момент более 100 кНм (10 тсм) и навешиваемые как сменное оборудование на экскаваторы (например, Е-14 (Е-18) с емкостью ковша 0,5 м³) или иную строительную технику.

Как альтернатива гидрокабестану разработано одно из наиболее перспективных на сегодня устройств для погружения винтовых свай – механизм завинчивания МВ-85, представляющий собой редуктор с большим передаточным отношением и приводом от гидромотора и устанавливаемый в качестве навесного оборудования на краны, экскаваторы и краны-манипуляторы. На входном вале механизма установлен «патрон» для фиксации винтовой сваи и обеспечения ее свободного перемещения в процессе погружения. Управление механизмом вращения МВ-85 осуществляется с рабочего места оператора. Для перемещения механизма вращения МВ-85 и сваи на точку погружения и отслеживания вертикального перемещения «патрона» применяется кран манипулятор с грузовым моментом 300 кН, установленный на шасси автомобиля Урал-4320. Имеется возможность установки МВ-85 и на другие виды кранов, экскаваторов и манипуляторов. Для случаев, когда необходимо бурение лидерных скважин под винтовые сваи или выполнение других видов буровых работ, конструкторской службой завода «Стройдормаш» предложено комплексное решение – универсальная бурильная машина УБМ-85, которая может выполнять шнековое бурение и завинчивание свай.

Техническая характеристика МВ-85:

- максимальный момент при завинчивании свай - 85 кНм;
- количество оборотов при завинчивании свай - 10 об./мин;
- максимальный момент при бурении лидирующей скважины - 15 кН/м;
- количество оборотов при бурении лидирующей скважины - 60 об./мин;
- максимальная глубина погружения свай - 5-5,5 м;
- высота навесного оборудования - 2000 мм;
- масса навесного оборудования - 1500 кг.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАЙ В ПРОЕКТНОМ ПОЛОЖЕНИИ

4.1. Технология устройства буронабивных свай. Машины и оборудование

Процесс устройства фундаментов на буровых сваях и столбах включает: подготовку строительной площадки для производства работ; бурение скважин в грунте; установку в скважину арматурного каркаса и заполнение бетонной смесью; устройство фундаментной плиты (рис. 4.1). Армированные и заполненные бетоном скважины диаметром 1 м и больше называют буровыми столбами, диаметром до 1 м - буровыми сваями [8].

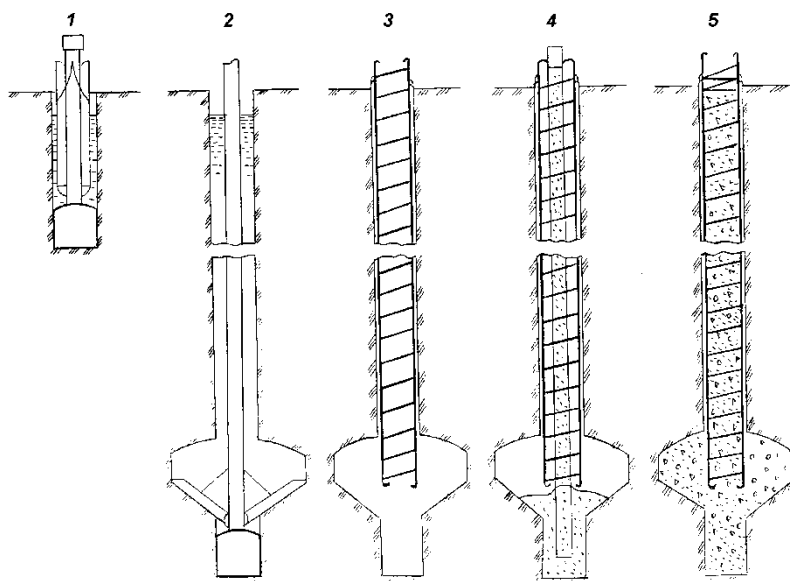


Рис. 4.1. Последовательность сооружения бурового столба

1 - бурение ствола; 2 - устройство уширения; 3 - установка арматурного каркаса; 4 - подводное бетонирование; 5 - формирование головы столба

В фундаментах сооружений наибольшее применение находят буровые столбы диаметром от 1,0 до 1,7 м. Для увеличения несущей способности в слабых и средней плотности грунтах столбы делают с уширением до 2,5 - 3,5 м, при наличии скальных пород скважину забуривают в скалу.

Для бурения скважин используют станки ударно-канатного типа (УКС) и станки с рабочими органами вращательного бурения. Ударно-канатными станками можно бурить только вертикальные скважины диаметром 0,8 - 2,7 м, глубиной до 100 м. Их применяют для бурения скважин в скальных и полускальных грунтах, а также в плотных валунно-галечниковых и твердых глинистых грунтах. Породу разрушают ударом падающего долота. После каждого удара долото поворачивается на небольшой угол за счет упругого раскручивания троса при его натяжении весом долота.

Высоту подъема долота над забоем принимают для пород прочностью до 20 МПа (200 кгс/см^2) – 0,5 - 0,6 м, для более прочных пород – 0,6 - 1,0 м.

Ударно-канатное бурение не требует больших затрат и сложного оборудования, хорошо освоено. Существенным недостатком является низкий темп проходки скважины. Производительность станка УКС-30 при бурении скважины в скале крепости 200 - 400 кгс/см^2 составляет 0,1 - 0,15 м/ч.

Более производительными являются станки вращательного бурения. В фундаментостроении для устройства скважин в скальных породах применяют станки реактивно-турбинного бурения (РТБ). Агрегат РТБ-1260 обеспечивает бурение скважин диаметром 1,2 м, РТБ-2600 - 2,6 м (рис. 4.2).

Рабочими органами являются турбобуры, снабженные шарошечными долотами. Для увеличения давления шарошек на породу турбобуры пригружаются дополнительными грузами. Вращение долота обеспечивается струей воды, поступающей в турбобуры под давлением. Скорость вращения вала турбобура составляет 500 - 800 об/мин. Выходящая из турбобуров вода вращает весь агрегат со скоростью 10 - 40 об/мин. В результате такого двойного вращения шарошки равномерно разрушают породу по всей площади забоя.

Для работы турбобуров требуется подача воды: для РТБ-1260 – 50 - 55 л/с, для РТБ-2600 – 70 - 90 л/с под давлением 100 - 110 кгс/см^2 .

Средняя производительность агрегата РТБ-1260 составляет 0,7 - 0,8 м скважины в час в грунтах V категории, агрегата РТБ-2600 - 0,6 м³/ч.

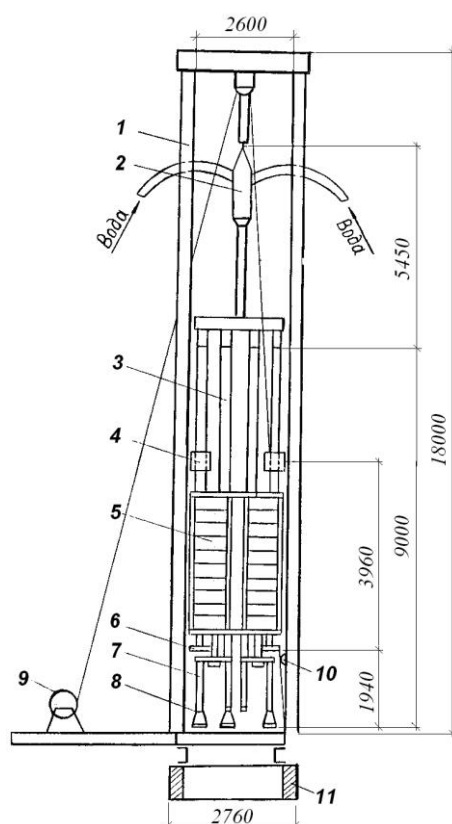


Рис. 4.2. Схема бурового станка РТБ-2600:

1 - вышка; 2 - вертлюг; 3 - турбобуры; 4 – верхние центраторы; 5 - пригруз; 6 - нижние центраторы; 7 - долото диаметром 750 мм; 8 - долото диаметром 490 мм; 9 - лебедка; 10 - динамометр; 11 – обсадная труба

Широкое применение для устройства скважин находят роторные бурильные установки, смонтированные на базе полноповоротного копра, гусеничного крана, экскаватора или автомобиля. К числу таких агрегатов относится буровая машина МБС-1,7 (рис. 4.3), предназначенная для разработки скважин в песчаных и глинистых грунтах, а также в грунтах с крупными включениями и скальными прослойками, глубиной до 28 м, диаметром 1,2 - 1,7 м без уширения. Навесное оборудование смонтировано на базе крана-экскаватора, со стороны основной стрелы установлено оборудование для вращательного бурения, имеющего в качестве рабочего органа ковшовой бур. Ковшовой бур, представляет собой цилиндрическую емкость объемом 1,5 м³ с

установленными в днище фрезами. Он закреплен на буровой штанге квадратного сечения, которая вращается ротором. С другой стороны поворотной платформы смонтирована дополнительная стрела, на которую подвешивают грейфер или долото. При устройстве скважины нескальные грунты разрабатывают ковшовым буром, а валуны и скальные прослойки разрыхляют ударом долота или грейфера.

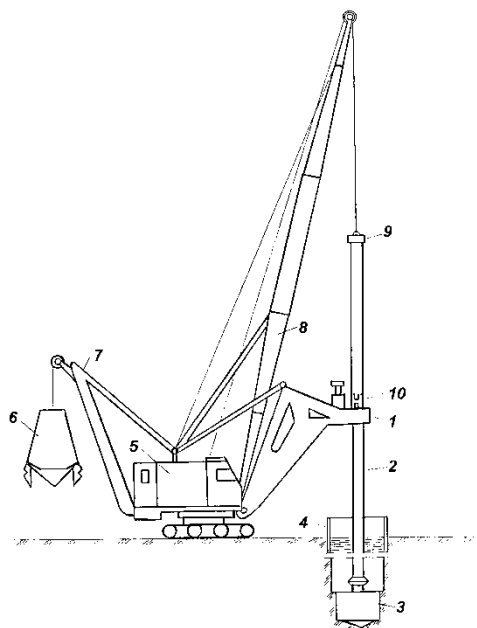


Рис. 4.3. Буровая машина МБС-1.7:

1 - консольная площадка с ротором; 2 - телескопическая буровая штанга; 3 - ковшовый бур; 4 - обсадной патрубок; 5 - кран-экскаватор; 6 - грейфер или долото; 7 - дополнительная стрела; 8 - основная стрела; 9 - вертлюг; 10 - механизм принудительной подачи

Производительность буровой машины МБС-1.7 в нескальных грунтах составляет 10 - 15 м в смену. На строительстве путепровода в Новгороде этой машиной бурили скважины диаметром 1,7 м глубиной до 26 м. Скорость бурения достигала 3,7 метра в час.

Облегченной модификацией бурового агрегата МБС-1,7 является машина МБУ-1,2, которая применяется для устройства скважин диаметром до 1,2 м.

В настоящее время парк роторных буровых машин пополняется агрегатами, обладающими более высокими показателями, не уступающими мировым стандартам. В 1995 году институтом Гипротранс-мост и КБ АО "Экско" разработана и изготовлена буровая машина

БМ-2501. Бурильное оборудование смонтировано на базе гусеничного экскаватора ЭО-5119. Машина снабжена винтовым и ковшевым бурами, в комплект агрегата входят обсадные трубы. Машина обеспечивает глубину бурения скважины до 24 м, диаметрами 0,64; 0,77 и 0,9 м.

Прошла все виды испытания и ожидает промышленного производства буровая машина МБНА-1М (рис. 4.4). Установка оборудована винтовым и ковшовым буром и уширителем, предназначена для устройства скважин глубиной до 30 м, диаметром 1,0 м с уширением до 2,5 м.



Рис. 4.4. Буровая установка МБНА-1 на базе автомобильного крана КС 4561

Выполнены предпроектные проработки на создание буровой машины БМ-4003 на гусеничной базе, предназначенной для бурения скважин диаметром 1,2 и 1,5 м глубиной до 40 м с диаметром уширения 2,5 и 3,5 м.

При строительстве фундаментов на буровых столбах хорошие возможности показало навесное оборудование (рис. 4.5), разработанное ЦНИИС. Оно представляет собой телескопическую буровую штангу, размещенную внутри трубы. На штанге закреплены ковшовый бур и ножи для устройства уширения. Роторный механизм устанавливается на обсадной трубе. Вращающий момент, создаваемый ротором, передается на буровую трубу и через радиальные связи внутри

трубы на буровую штангу. Навесное оборудование ЦНИИС позволяет разрабатывать вертикальные скважины глубиной до 50 м диаметром ствола 1,7 м и уширения до 3,5 м. Применение навесного оборудования эффективно совместно с буровой машиной "Като" модели 30THD-YS. Она, так же как и оборудование ЦНИИС обеспечивает бурение диаметром 1,7 м, но глубиной только до 30 м. Обсадные трубы комплекта "Като" используют в этом случае в качестве базы для установки роторного столика и ротора из комплекта навесного оборудования ЦНИИС, с помощью которого глубину скважины доводят до 50 м.

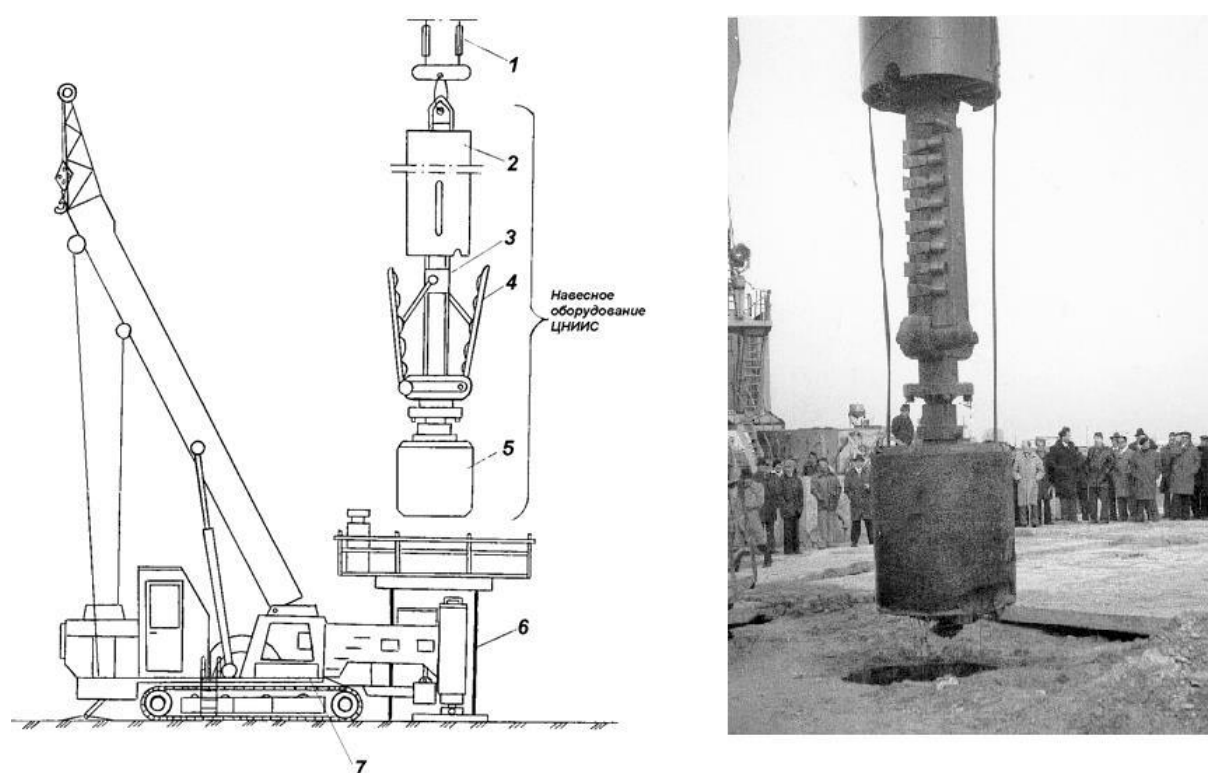


Рис. 4.5. Комплект машин для бурения скважин глубиной до 50 м:

- а* – общий вид установки; *б* – навесное оборудование ЦНИИС;
 1 - полиспасты крана; 2 - буровая труба; 3 – буровая штанга; 4 - ножи уширителя; 5 - буровой ковш; 6 - обсадная труба; 7 - буровой агрегат "Като" 30THD-YS

В фундаментостроении находит также применение буровая машина модели PF-1200-YS фирмы "Като". Она обеспечивает бурение скважин диаметром 0,6 - 1,0 м глубиной до 15 м в грунтах любой крепости. В комплект бурового инструмента входят ковшовый бур, грейфер, шарошечное долото, обсадные трубы. Средняя производи-

тельность составляет: в грунтах III категории - 6 м скважины в час, в грунтах V категории - 1,0 м/ч.

Наряду со станками "Като" имеет распространение в отечественной практике и другая зарубежная буровая техника, в частности, оборудование немецкой фирмы "Бауэр", французской фирмы "Беното". В состав оборудования с установкой "Беното" входят буровой станок, бур-грейфер и инвентарные обсадные трубы внутренним диаметром 0,6 - 1,0 м. С помощью бура-грейфера можно разрабатывать грунт внутри обсадной трубы и делать скважину за ее пределами. Для этой цели внутри корпуса грейфера помещен механизм открывания и закрывания его лопастей.

Технические характеристики отечественного и зарубежного оборудования приведены в приложении 7 [5].

Технологический процесс по сооружению скважин включает операции по разрушению грунта, удалению его из скважин и крепление стен скважины от обрушения.

Бурение начинают с укрепления устья скважины патрубком, предохраняющим верхние слои грунта от обрушения. При бурении на суше или с островка патрубок заглубляют в грунт на 1 - 3 м, при бурении в русле реки с подмостей или плавучих средств - не менее 3 м ниже дна реки с учетом его размыва.

Рыхление грунта, как правило, осуществляют сплошным забоем. При этом несвязные и слабосвязные грунты целесообразно разрабатывать грейфером, те же грунты, но расположенные на большой глубине рекомендуется разрушать вращающимся двухперым долотом с удалением разбуренного грунта средствами гидромеханизации. Сухие связные грунты хорошо поддаются разработке винтовым буром, а связные пластичные грунты ниже уровня воды - ковшовым буром. Скальные прослойки разрабатывают ударным долотом, а монолитные породы - вращающимися шарошками. Связные грунты целесообразно удалять циклично по мере заполнения рабочего органа срезанным грунтом.

Уширенную часть скважины разбуривают раскрывающимися ножами в процессе их вращения. Срезанный грунт осыпается в емкость, закрепленную ниже уширителя. После наполнения емкости ножи закрывают и уширитель извлекают для разгрузки грунта. Уширение разбуривается несколькими приемами.

Несвязные грунты можно непрерывно удалять средствами гидромеханизации - эрлифтом, гидроэлеватором или всасывающей насосной установкой.

Защита стенок скважин от возможного обрушения грунта обеспечивают созданием избыточного давления воды в скважине, применением глинистого раствора или с помощью инвентарных металлических труб. В плотных и средней плотности сухих или влажных связных грунтах скважины можно бурить без крепления.

Бурение скважин под защитой глинистого раствора целесообразно на суше, в пойме реки при высоком уровне грунтовых вод и в русле реки при сравнительно небольшой глубине воды и опирании свай на несвязные и слабосвязные грунты, в которых необходимо делать уширение.

Глинистый раствор, имея удельный вес больше единицы, создает избыточное давление в скважине. Кроме того, проникая в грунт, частицы глины закрепляют (глинизируют) поверхность скважины, создавая устойчивую корку толщиной 2 - 3 см. Глинистый раствор должен иметь плотность 1,05 - 1,35 г/см³, вязкость 17 - 18 с, стабильность не более 0,05 м/см³, суточный отстой не более 8 %, содержание песка - 8 - 10 %, осаждение песка не более 5 %.

Для приготовления раствора желательно иметь бентонитовые глины. Раствор приготавливают в глиномешалках. Отработанный раствор откачивают насосом в приемник для отстоя и повторного использования.

Преимущества крепления стен скважин глинистым раствором - его универсальность и надежность. Недостатки - наличие операций по приготовлению и транспортированию раствора, а также дополнительных мероприятий по его обогреву в зимних условиях.

Крепление стен скважин избыточным давлением воды заключается в поддержании постоянного уровня воды в разбуриваемой скважине на 4 - 5 м выше уровня грунтовых вод или воды в реке. К преимуществам этого способа относятся его простота и малозатратность. При этом обеспечивается хорошее качество работ в широком диапазоне грунтовых условий при бурении скважин любой глубины.

Крепление скважин инвентарными обсадными трубами рационально при работе на воде, проходке значительных пластов гравийно-галечниковых отложений, набухающих глин, скальных прослоек с карстовыми пустотами и при работах вблизи существующих сооружений. В фундаментостроении применяют два типа обсадных труб - собираемые из отдельных секций и стыкуемые между собой специальными болтами по мере погружения в грунт и цельносварные трубы, изготавливаемые из прокатного листового металла на всю длину. Обсадные трубы первого типа входят в комплекты современных отечественных и зарубежных буровых установок. Второй тип является, как правило, принадлежностью станков ударно-канатного бурения. К достоинствам крепления скважины обсадными трубами относятся его надежность и простота, а к недостатку – применение дефицитных труб.

В пробуренные скважины опускают арматурный каркас и заполняют монолитным бетоном или же в скважины опускают сборные железобетонные оболочки, заполняемые бетоном на всю высоту столба или только его нижней части, а остальную часть внутренней полости заполняют песком.

Бетонную смесь укладывают методом ВПТ. Для этого над устьем скважины устраивают металлический каркас, на котором укрепляют приемный бункер с бетонолитной трубой. Для укладки бетонной смеси используют буровой агрегат или стреловой кран небольшой грузоподъемности. Если бурение ведут под защитой глинистого раствора, то вытесняемый бетонной смесью раствор собирается в резервные емкости для последующего использования. В среднем укладка бетонной смеси в буровую скважину глубиной до 35 м с уширени-

ем, включая установку арматурного каркаса, занимает 1 - 1,5 смены. Общая трудоемкость изготовления бурового столба диаметром 1,7 м с уширением 3,5 м и глубиной 30 - 40 м составляет 362 - 500 чел.-часов, а время изготовления – 45 - 80 часов.

4.2. Технология устройства буроинъекционных свай.

Машины и оборудование

При значительном увеличении нагрузок на старый фундамент, при ремонте и реконструкции зданий возникает необходимость в создании дополнительного фундамента в виде буроинъекционных свай диаметром 100 - 300 мм и более. Длина таких свай до 20 м. Скважины бурятся через старый фундамент или рядом с ним, армируются и заполняются мелкозернистой бетонной смесью, обладающей, за счет введения комплексной добавки, высокой пластичностью и водоудерживающей способностью (рис. 4.6) [1, 9].

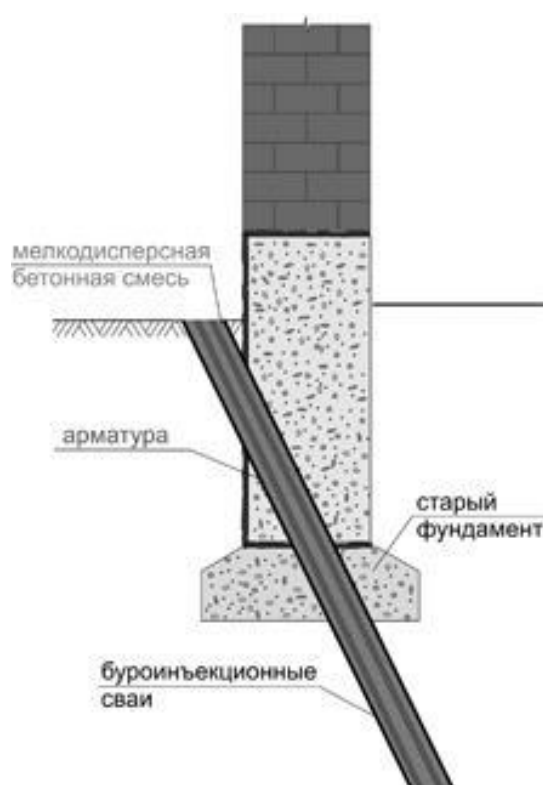


Рис. 4.6. Устройство буроинъекционной сваи сквозь старый фундамент

Буроинъекционные сваи применяются при строительстве новых сооружений рядом с существующими, а также для усиления зданий,

находящихся в аварийном состоянии. В этих случаях другие виды свай из-за вибрации, ударов и громоздкости оборудования оказываются неприемлемыми. Устройство буроинъекционных свай может выполняться передвижными установками (рис. 4.7) или, если работы выполняются в стесненных условиях, малогабаритными станками внутри помещения либо в его подвальной части непосредственно через стены и фундаменты усиливаемых зданий.



Рис. 4.7. Передвижная установка на гусеничном ходу для устройства буроинъекционных свай «ATLAS»

Усиления оснований и фундаментов буроинъекционными сваями включает разработку следующих вариантов передачи нагрузок от сооружения на вновь устраиваемый фундамент: безростверковый, ростверковый, подведение нового фундамента под усиливаемый и комбинированный (рис. 4.8).

В нормативных документах различают следующие виды буроинъекционных свай[15]:

- буроинъекционные диаметром 0,15—0,35 м, устраиваемые в пробуренных скважинах путем нагнетания (инъекции) в них мелкозернистой бетонной смеси, а также устраиваемые полым шнеком;
- буроинъекционные диаметром 0,15—0,35 м, выполняемые с уплотнением окружающего грунта путем обработки скважины по разрядно-

импульсной технологии (серией разрядов импульсов тока высокого напряжения — РИТ).

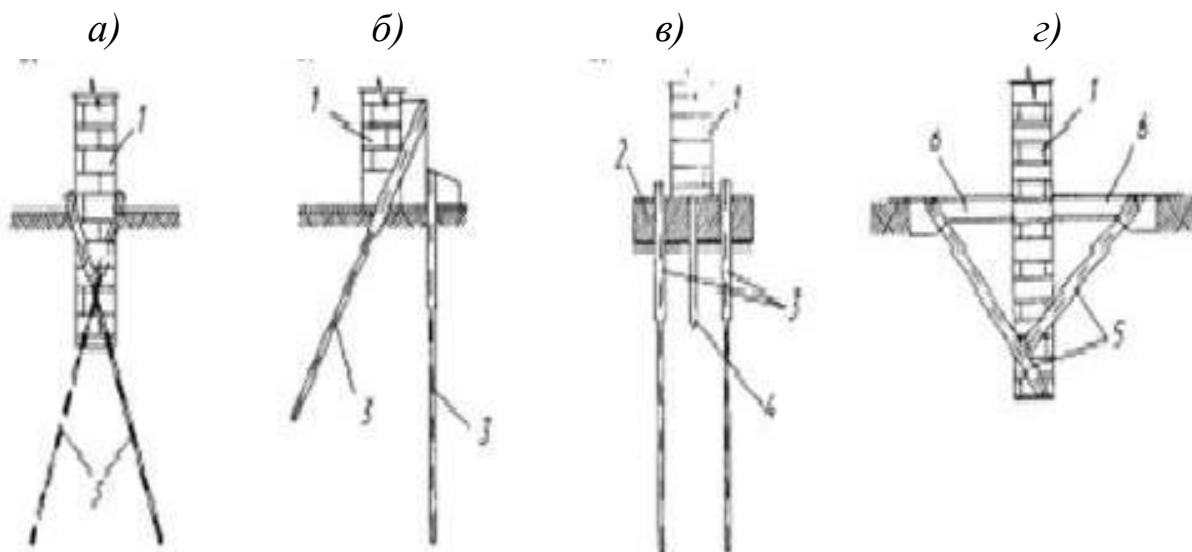


Рис. 4.8. Усиление существующих фундаментов буроналивными сваями:

а) - безростверковый, б) - ростверковый, в) - подведение нового фундамента под усиливаемый г) - комбинированный

Также в нормативных документах определены основные требования к устройству буроналивных свай[15].

Проходку скважин для буроналивных свай выполняют вращательным бурением шнековым буром или шарошечными долотами. При проходке неустойчивых обводненных грунтов бурение скважин ведется под защитой глинистого (бentonитового) раствора или под защитой обсадных труб.

По окончании шарошечного бурения производят промывку скважины от шлама через буровой став свежим глинистым раствором в течение 3-5 мин.

Рекомендуемая плотность глинистого (бentonитового) раствора - $1,05-1,15 \text{ г/см}^3$, уточняя ее для конкретных грунтовых условий в лаборатории.

Отклонение от заданного угла бурения не должно превышать $\pm 2^\circ$. Отклонения по длине свай не должны превышать ± 30 см проектных длин.

Установка арматурного каркаса, как правило, должна предшествовать инъекционным работам, но при соответствующем обосновании арматурный каркас разрешается устанавливать в скважину, уже заполненную инъекционным раствором (рис. 4.9). В последнем случае время сборки и монтажа арматурного каркаса должно обеспечивать его установку в проектное положение до начала схватывания инъекционного раствора и составлять не более 1 ч.

Установку арматурного каркаса буроинъекционной сваи в скважину допускается производить отдельными секциями. Стыковка арматурных стержней секций осуществляется ручной дуговой сваркой.

Арматурный каркас должен иметь фиксирующие элементы для центрирования его в скважине и обеспечения требуемой толщины защитного слоя. Секции каркаса перед установкой очищают от случайно налипшего на него грунта.

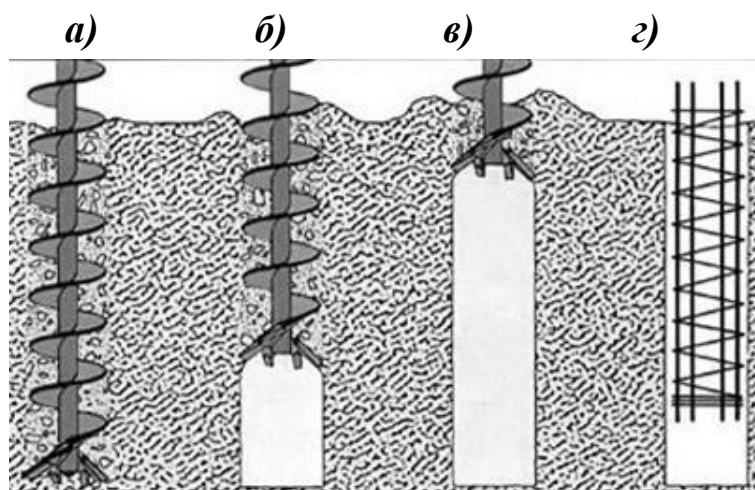


Рис. 4.9. Стадии формирования сваи:

а-бурение; б- заполнение бетоном и подъем шнека; в- завершение бетонирования; г – армирование сваи

Скважины буроинъекционных свай заполняются инъекционным раствором - мелкозернистой бетонной смесью (цементно-песчаным раствором). Инъекционный раствор должен быть однородным и не расслаиваться при инъекции, марка раствора по удобоукладываемости, определяемая по ГОСТ 7473, должна быть П4 (18-20 см по стандартному конусу). При нормальных условиях созревания прочность

при испытании кубиков со стороной 7 см должна быть не менее 15 МПа в 7-дневном возрасте и 30 МПа - в 28-дневном.

Приготовливают инъекционный раствор непосредственно на строительной площадке перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления раствора используют скоростные смесители с частотой вращения не менее 200 об/мин. Продолжительность перемешивания составляющих раствора должна быть не менее 60 с.

Использовать приготовленный инъекционный раствор необходимо в течении двух часов после его изготовления. Один раз в сутки отбираются образцы инъекционного раствора для контроля его прочности после 28-дневного твердения в условиях, аналогичных условиям изготовления буроинъекционных свай.

Заполнение скважины инъекционным раствором производят либо непосредственно через буровой став, либо через трубу-инъектор. В любом случае заполнение производится от забоя скважины снизу вверх до полного вытеснения бурового раствора и появления в устье скважины чистого инъекционного раствора.

Весь процесс инъектирования раствора до полного заполнения скважины осуществляется при расположении нижнего конца инъекционной трубы на расстоянии не более 0,5 м от забоя скважины (в начальный момент инъектирования нижний конец инъекционной трубы располагается непосредственно на забое скважины). Диаметр инъекционных труб должен быть не менее 40 мм.

При устройстве буроинъекционных свай (кроме буроинъекционных свай РИТ) после заполнения скважины твердеющим раствором и установки арматурного каркаса в проектное положение производят опрессовку свай. Для опрессовки в верхней части трубы-кондуктора устанавливают тампон (обтюратор) с манометром и через инъектор производят нагнетание раствора под давлением 0,2-0,3 МПа в течение 1-3 мин.

Устройство буроинъекционных свай РИТ по разрядно-импульсной технологии производят не менее чем 5-7 электрическими разрядами с шагом соответственно 200-300 мм по ее длине и не менее

чем 15 разрядами в забое скважины при энергии каждого разряда 30-40 кДж.

Для этого в скважину после заполнения ее мелкозернистой бетонной смесью опускают специальный разрядник. В процессе погружения разрядника на его электроды периодически подают высокое напряжение, обеспечивающее возникновение электрического разряда требуемой мощности, что вызывает уплотнение грунта в стенках скважины и в ее забое.

Расход инъекционного раствора на одну опрессованную буроинъекционную сваю должен быть не менее 1,25 и не более 2,5 объема скважины. При утечках инъекционного раствора из скважины буроинъекционной сваи (не позволяющих поднять давление опрессовки до проектного значения) следует прекратить его инъекцию при подаче раствора в объеме, равном 2,5 объема скважины, а затем выполнить повторную опрессовку через (12 ± 1) ч.

Расход инъекционного раствора при устройстве свай РИТ должен соответствовать установленному в проекте.

Усиление оснований и фундаментов буроинъекционными сваями включает два этапа: укрепительная цементация кладки существующих фундаментов и контакта фундамент - грунт; устройство собственно буроинъекционных свай.

Проходку скважин для буроинъекционных свай выполняют вращательным бурением в теле фундамента трехшарошечными долотами, а в грунтах - шнековым буром или шарошечными долотами. Пример комбинированного долота с инъектором приведен на рис. 4.10.

Для укрепления устья скважины буроинъекционной сваи в кладке усиливаемых фундаментов устанавливают трубу-кондуктор, выступающую над забоем скважины не менее чем на 300 мм. Установку трубы-кондуктора с внутренним диаметром, равным диаметру сваи или большим, производят в заранее пробуренную и заполненную цементным раствором скважину. Разбуривание цементного камня в трубе-кондукторе начинают не ранее чем после двухсуточной вы-

стойки трубы-кондуктора в скважине с фиксацией этого факта в журнале работ.

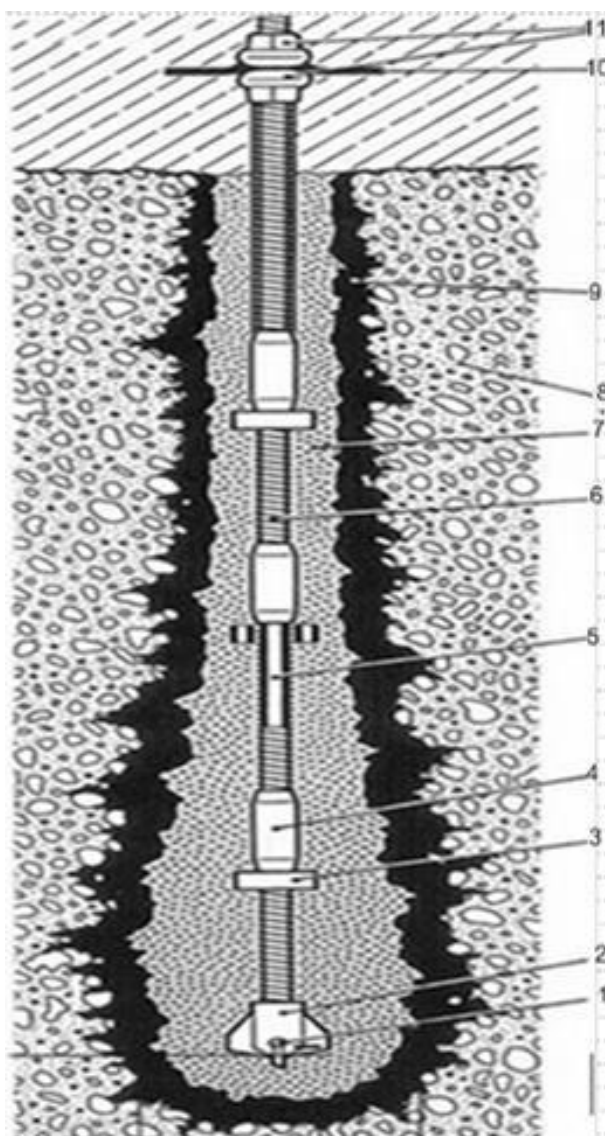


Рис. 4.10 Долото с иньектором:

1 – сопло; 2 – буровое долото; 3 – центратор; 4 – муфта; 5 – центральный канал; 6 – труба с резьбовой поверхностью; 7 – вторичное нагнетание цементного раствора; 8 – несвязный грунт; 9 – первичная инъекция при бурении скважины с применением цементного раствора; 10 – пластина; 11 – шаровая гайка

Бурение в трубе-кондукторе ведут с продувкой сжатым воздухом. По окончании разбуривания цементного камня в трубе-кондукторе последующее бурение скважин в песчаных и других неустойчивых грунтах ведут до проектной отметки под защитой бентонитового раствора или полым шнеком без выемки грунта.

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Вечномерзлые грунты залегают в определенных районах территории России, как правило, эта территория принадлежит к Северной строительно-климатической зоне (ССКЗ). Но вместе с тем вечномерзлые грунты встречаются и в других местах, например, в высокогорных районах на юге территории страны. Строительство в этих районах, как правило, не ведется ввиду отсутствия там дорог, промышленных предприятий и капитальных жилых зданий. «Хозяевами» этих мест являются не строители, а спортсмены-альпинисты и в некоторых местах – пастухи высокогорных пастбищ.

В то же время Северная строительно-климатическая зона в последние годы стала активно осваиваться, сооружают большое количество транспортных и промышленных зданий и сооружений, жилых построек.

Районы, относящиеся к ССКЗ, характеризуются не только наличием вечномерзлых грунтов, но и другими особенностями, которые, наряду с вечной мерзлотой, влияют на выбор конструкций сооружений, технологию и организацию их постройки.

5.1. Характеристика вечномерзлых грунтов как оснований фундаментов

Вечномерзлые грунты в большинстве своем залегают в северной строительно-климатической зоне. В соответствии с действующими нормативными документами, к северной строительно-климатической зоне относятся районы с расчетной минимальной температурой воздуха ниже минус 40 °С. Расчетной температурой считается средняя температура наиболее холодных суток из восьми зим за 50 лет [16].

Северная строительно-климатическая зона (ССКЗ) делится по температуре воздуха на две зоны:

- зона А - с расчетной температурой ниже минус 40 °С до минус 50 °С включительно;
- зона Б - с расчетной температурой ниже минус 50 °С.

Районы с расчетной температурой ниже минус 30 °С до минус 40 °С включительно относятся к суровым климатическим районам, но не относятся к ССКЗ.

Северную строительно-климатическую зону характеризует залегание вечномерзлых грунтов на большей части территории, низкие температуры воздуха, бездорожье и малонаселенность, отдаленность от центральных наиболее развитых в экономическом отношении районов. Эти факторы в значительной мере влияют на выбор конструкции сооружения, технологии и организации работ. На выбор способов сооружения фундаментов больше всего влияет наличие и характеристика вечномерзлых грунтов.

Грунты, имеющие отрицательную температуру и содержащие в своем составе лед, относятся к мерзлым. Грунты, остающиеся в мерзлом состоянии три года и более, относятся к вечномерзлым грунтам.

Вечномерзлые грунты на территории России распространены на площади 10,5 млн. км². Верхняя граница их находится на глубине от 0,5 до 4,5 м. Мощность слоя вечной мерзлоты изменяется от нескольких метров до 1,5 км (долина р. Виллюй).

Поверхностный слой, оттаивающий летом и замерзающий зимой, называют деятельным слоем. Различают деятельный сезоннооттаивающий и сезоннопромерзающий слой (рис. 5.1). Сезоннооттаивающий верхний слой зимой промерзает и соединяется с вечномерзлым грунтом. Сезоннопромерзающий слой зимой промерзает, не соединяясь с вечной мерзлотой. Между ними остается слой грунта с положительной температурой - талик.

Вечномерзлые грунты имеют отрицательную температуру, меняющуюся во времени на глубину до 10 - 15 м. На большей глубине температура остается в течение года постоянной. Но эта температура на различной глубине не одинакова и повышается с увеличением глубины. Нижняя граница вечномерзлых грунтов находится на отметке

нулевых температур. Мощность слоя вечной мерзлоты зависит от температуры на глубине 10 - 15 м (рис. 5.2). Температура минус 1 °С соответствует мощности слоя 40 - 50 м. Наиболее низкая температура отмечена на севере Таймырского полуострова - 15 °С.



Рис. 5.1. Поверхностные слои вечной мерзлоты



Рис. 5.2. Температурный режим вечномёрзлых грунтов

Вечномерзлые грунты могут иметь сплошное, прерывистое или островное распространение. Среди вечномерзлых грунтов встречаются включения талых грунтов - таликов. О наличии и характере распространения вечной мерзлоты можно судить по среднегодовой температуре воздуха. При среднегодовой температуре воздуха до минус 1,7 °С вечномерзлые грунты отсутствуют, при температуре от минус

1,7 °С до минус 3 °С имеет место островная мерзлота, при среднегодовой температуре ниже - 3 °С залегает сплошная вечная мерзлота.

Наличие и расположение льда в мерзлом грунте определяет его криогенную текстуру (рис. 5.3). Различают три вида текстуры: массивную, с равномерным распределением ледяных кристаллов, образовавшихся за счет порового льда; слоистую с ледяными включениями в виде линз и прослоек, ориентированных в одном направлении; сетчатую, имеющую ледяные включения различной ориентации, образующих сеть или решетку. Грунты массивной текстуры при оттаивании сжимаются незначительно, значительную осадку при оттаивании делают грунты сетчатой и слоистой текстуры.

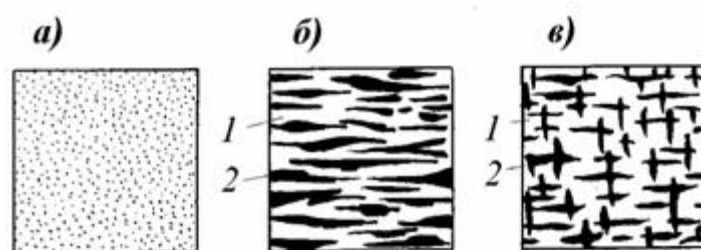


Рис. 5.3. Криогенная текстура вечномёрзлых грунтов:

а - массивная; б - слоистая; в - сетчатая;

1 - минеральная часть грунта; 2 - лед

В зависимости от температуры, вида грунта, количества и расположения льда различают твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые грунты. К твердомерзлым относятся песчаные и глинистые грунты, прочно сцементированные льдом, имеющие небольшой коэффициент сжимаемости (менее 0,001 см/кгс). Твердомерзлое состояние наступает при отрицательных температурах: для пылеватых песков ниже минус 0,3 °С; для супесей минус 0,6 °С; для суглинков минус 1 °С, для глин ниже минус 1,5 °С.

К пластичномерзлым относятся песчаные и глинистые грунты, температуры которых находятся в пределах от 0 °С до значений твердомерзлых грунтов. Грунты имеют до 50 % незамерзающей воды, значительно сжимаются от воздействия внешних нагрузок.

К сыпучемерзлым относятся песчаные и крупнообломочные грунты, имеющие отрицательную температуру, но вследствие малой влажности не сцементированным льдом.

Состояние вечномерзлых грунтов после возведения сооружения изменяется с изменением теплового режима. Как правило, при этом наблюдается деградация вечной мерзлоты, под фундаментом образуется чаша протаивания. Деградация мерзлоты происходит из-за нарушения растительного покрова, образования участков накопления воды, большая по сравнению с грунтом теплопроводность фундамента.

Большое влияние на геотермальный режим вечномерзлых грунтов оказывают поверхностные и грунтовые воды.

Реки ССКЗ в основной своей массе текут с юга на север, переносят большое количество тепла, влияющего на температуру грунтов подстилающих русло и часть поймы реки. Поэтому под большими и средними реками, не промерзающими до дна, вечная мерзлота оттаивает на значительную глубину или вовсе отсутствует. Малые реки промерзают до дна, в низовья рек вода не поступает.

Озера в районах залегания вечномерзлых грунтов, как правило, неглубокие, зимой промерзающие до дна. Для них характерен дрейф по направлению господствующего ветра. Перемещение со скоростью 7 - 10 м в год происходит за счет оттаивания и просадки грунтов подветренного берега и подъема силами пучения противоположного берега.

Грунтовые воды различают надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Промерзающие реки, подмерзлотные грунтовые воды, а также родники, питающиеся межмерзлотными и подмерзлотными водами, образуют наледи. С грунтовыми водами связано также явление морозного пучения. Замерзшая в грунте влага увеличивает свой объем на 9 %, одновременно продолжается поступление влаги с ниже расположенного незамерзшего слоя. За счет этого объем замерзшего грунта увеличивается более чем на 9 % объема содержащейся в нем влаги. Появляются бугры пучения.

При смерзании грунта с боковой поверхностью фундамента увеличение объема грунта ведет к поднятию фундамента. Если же пучение возникает под подошвой фундамента, то конструкция неизбежно будет приведена в состояние, непригодное для эксплуатации. Пучению подвержены грунты с мелкими порами, в которых удерживается свободная вода - глинистые грунты, пылеватые и мелкие пески. Крупнообломочные грунты с заполнением пустот этими грунтами также подвергаются пучению.

Методы возведения фундаментов опор в ССКЗ назначают в соответствии с мерзлотно-грунтовыми и климатическими условиями района. В зависимости от особенностей и возможного изменения физико-механических свойств вечномерзлых грунтов в процессе строительства и эксплуатации сооружения принимают один из следующих принципов использования грунтов [16]:

- принцип I - грунты используются в мерзлом состоянии в течение всего периода строительства и всей эксплуатации сооружения;
- принцип II - грунты основания используются в оттаявшем или оттаивающем состоянии.

Принцип I применяется, как правило, при строительстве на твердомерзлых грунтах. Принцип II использования грунтов целесообразен при неглубоком залегании скальных грунтов или при наличии грунтов, дающих при оттаивании осадку, не превышающую допускаемую.

При использовании вечномерзлых грунтов по принципу I обычно возникает необходимость выполнения мероприятий по сохранению вечной мерзлоты или даже понижения температуры вечномерзлых грунтов. Основным типом фундаментов в этом случае являются свайные и столбчатые фундаменты. Они наименее подвержены деформации от пучения грунтов, поскольку имеют небольшую площадь смерзания с грунтами слоя сезонного промерзания, меньше нарушают температурный режим грунтов и достаточно быстро восстанавливается мерзлое состояние грунтов основания вокруг них.

5.2. Сооружение свайных и столбчатых фундаментов в вечномерзлых грунтах

Бурение скважин производят, как правило, сухими способами, поскольку вода или глинистый раствор ведут к размораживанию окружающих грунтов и обмерзанию скважин в ходе бурения.

В зависимости от мерзлотно-грунтовых условий применяют следующие способы погружения свай и столбов в вечномерзлые грунты [16].

Буроопускной - предусматривает установку свай или столбов в скважины большего диаметра, с последующим заполнением зазоров грунтовым раствором или сухой цементно-песчаной смесью.

Бурозабивный способ состоит в погружении сваи в предварительно пробуренные лидерные скважины диаметром на 1-2 см меньше наибольшего поперечного размера сваи, обычно прямоугольного сечения.

Забивной - сваи в вечномерзлый (пластично мерзлый или сыпучемерзлый) грунт забивают без предварительной его подготовки.

Опускной - погружение сваи производят в предварительно оттаянный грунт применением паро- или электрооттаивания.

Первый способ погружения столбов (свай) наиболее эффективен при наличии твердомерзлых грунтов (рис. 5.4, а).

Бурозабивной способ наиболее приемлем для погружения свай в пластично-мерзлые грунты (рис. 5.4, б). Окружающий грунт практически не оттаивает, сваи быстро вмерзают и могут быть нагружены вскоре после забивки.

Забивной способ погружения свай без лидерной скважины применим в пластично мерзлых и сыпучемерзлых грунтах, не содержащих крупных включений. Забивку осуществляют молотами, поскольку вибропогружение в большей степени оттаивает окружающий сваю грунт и вмерзание её задерживается.

Работы по строительству фундаментов на столбах или сваях включают: бурение скважин в мерзлых или скальных грунтах; установку в скважины и заделку омоноличивающим раствором столбов

(свай); устройство ростверка. В фундаментах с заглубленной плитой добавляются разработка котлована и засыпка грунтом пазух.

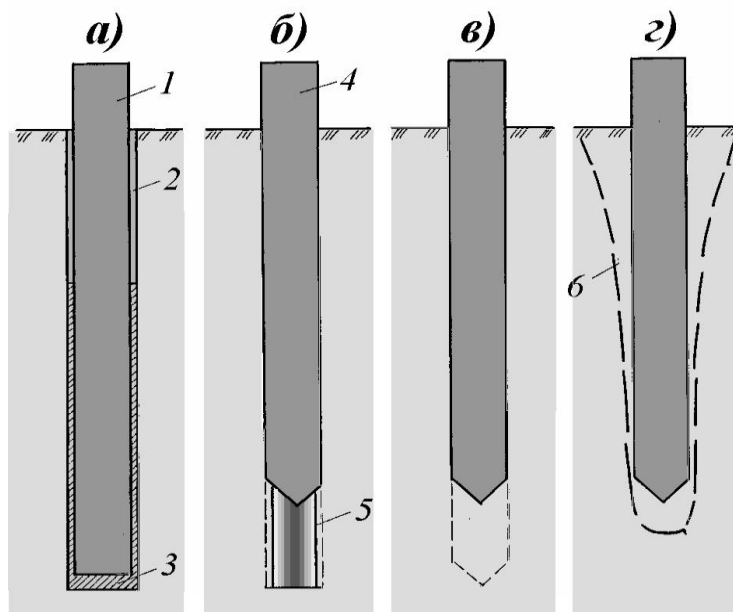


Рис. 5.4. Способы погружения свай в вечномёрзлые грунты:

а - буроопускной; б - бурозабивной; в - забивной; г - опускной; 1 - столб (свая); 2 - засыпка из местного грунта; 3 - цементно-песчаный раствор; 4 - свая; 5 - лидерная скважина; 6 - оттаянный грунт

Для проходки вертикальных скважин в скальных и вечномёрзлых грунтах рекомендуются станки ударно-канатного бурения БС-2, БС-1М и др. (рис. 5.5) и вращательного действия (РТБ-1200, Санва, Като PF-1200 и др.).

Станками ударно-канатного бурения можно бурить скважины в любых грунтах, для этого необходимо иметь: буровой снаряд массой до 3 т, направляющую бурового снаряда (рис. 5.6), оборудование для удаления шлама (желонку и шламоприемник), обсадные трубы и наголовник, ёмкость с нагревателем воды. Обсадные трубы применяют при бурении скважин в неустойчивых водоносных грунтах.

Крепление скважин в верхней части обсадными трубами на глубину 2-3 м необходимо также для придания ей вертикального направления и предохранения грунта от обрушения [8].

Величину заглубления низа обсадной трубы принимают:

- в мерзлых грунтах, кроме крупнообломочных и при отсутствии межмерзлотных вод - на 3 м ниже поверхности грунта;

- при наличии межмерзлотных вод и в талых грунтах – до проектной отметки столбов фундамента;
- при заделке столбов в скальные грунты и наличии выше крупнообломочных, сыпучемерзлых или любых талых грунтов – до кровли скальных грунтов.

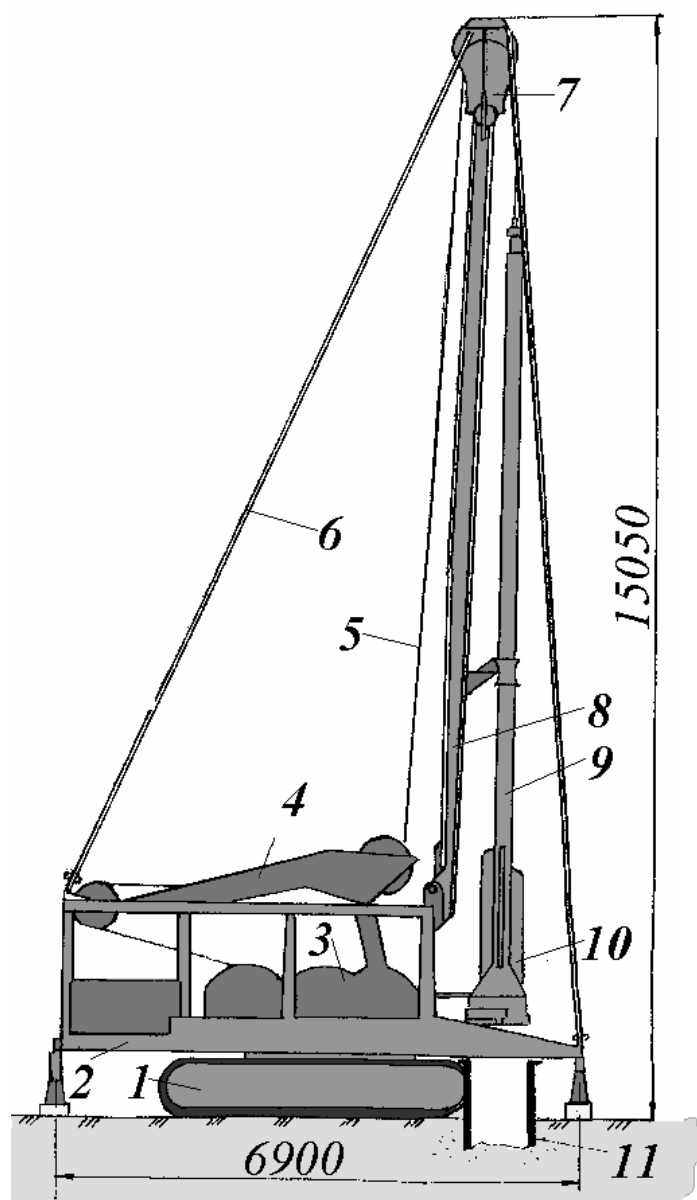


Рис. 5.5. Буровой станок БС-1М:

- 1 - гусеничное шасси; 2 - несущая рама; 3 – приводной механизм; 4 - баланси́р; 5 - канат; 6 - тросовая оттяжка; 7 - амортизатор; 8 - мачта; 9 - буровая штанга; 10 - долото; 11 - обсадная труба

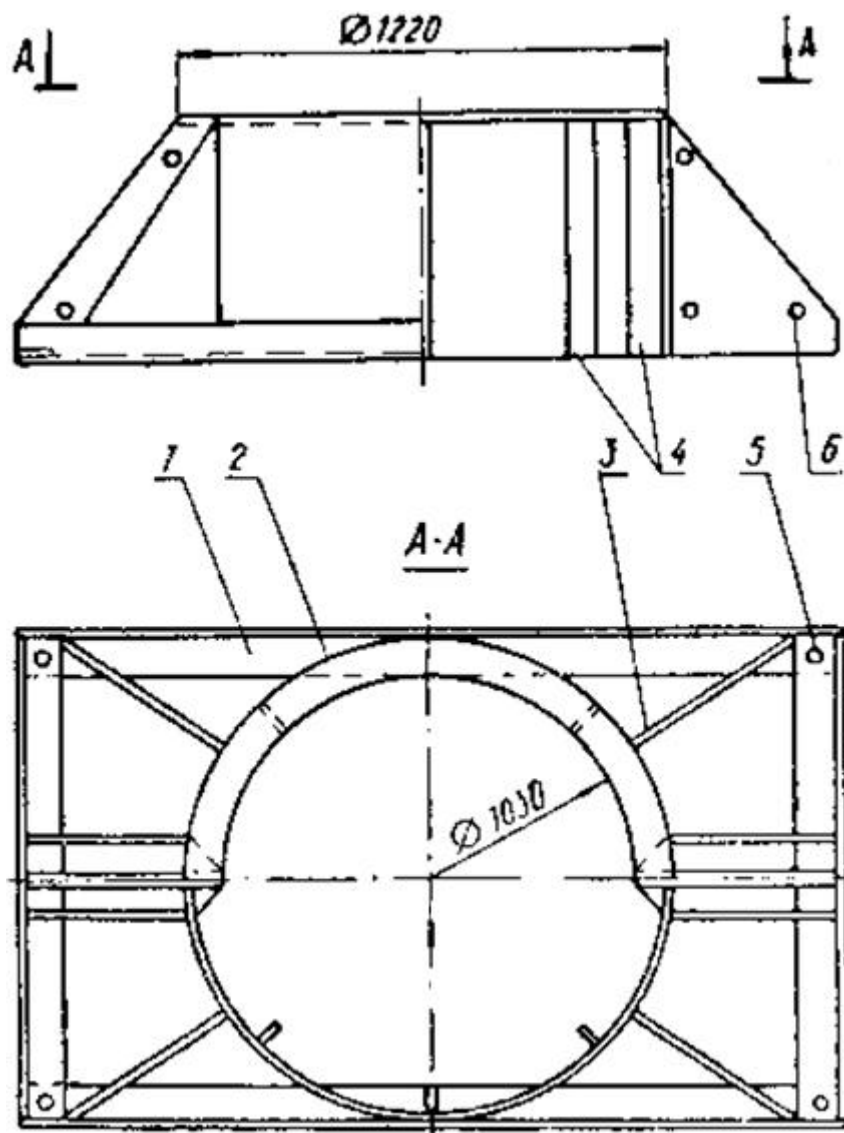


Рис. 5.6. Схема кондуктора:

1 - опорная рама; 2 - обечайка; 3 - ребро жесткости; 4 - направляющие; 5 - отверстия для фиксирующих стержней; 6 - отверстия для крепления между собой створок кондуктора

Трубы осаживают ударами долота по специальному наголовнику, причем погружение от одного удара должно быть не менее 1 см, что обеспечивается подъёмом долота на нужную высоту. Осаживание производят так, чтобы обсадная труба не успевала примерзнуть к поверхности окружающего грунта. Оборачиваемость стальной обсадной трубы, погружаемой на 4 м и более, при толщине стенки до 10 мм принимают трехкратной, а при большей толщине - пятикратной.

Процесс бурения состоит из циклов рыхления грунта, очистки скважины от шлама (желонирования), стыковки и погружения обсад-

ных труб. Перед началом бурения долото опускают в обсадную трубу и доливают воду для возможности образования шлама. Объем доливаемой воды назначают с учетом поддержания в скважине столба шлама высотой 1-2 м над забоем при поднятом снаряде.

Чтобы предотвратить повторное дробление долотом частиц скальных или мерзлых грунтов в забое скважины, в него периодически забрасывают глину, а при бурении скальных, в том числе крупнообломочных грунтов - цемент с доливанием воды для образования шлама, который удаляют из скважины желонкой. При встрече в скважине валуна, вызывающего перекося долота, в скважину забрасывают камень нетвердых пород для центрирования ударов долота.

Количество расходуемой глины или цемента определяется по результатам бурения первых скважин. Количество цемента не должно превышать 50 кг на 1 м скважины диаметром 1 м. Воду, нужную для образования шлама и повышения производительности бурения, рекомендуется подогревать до 70 °С.

Для предотвращения выливания из желонки шлама или выпадения частиц разбуренного грунта плотность шлама должна быть от 1.4 до 1.6 г/см³, а для грунтов без гравелистых или крупнообломочных включений достаточна плотность шлама в пределах от 1.2 до 1.4 г/см³. Плотность определяется взвешиванием шлама в тарированном по объёму сосуде.

Скважины очищаются от шлама в устойчивых и полускальных породах через каждые 1.5 - 2 м проходки, в скальных грунтах средней прочности - через 0.6 - 1 м, а в очень крепких - через 0.4 - 0.6 м. В обрушающихся грунтах и при наличии твердых включений очистка производится через 0.5 м бурения. Шлам собирается в шламоприемники и отводится в низовую сторону моста за пределы стройплощадки.

В процессе бурения контролируют состояние бурового станка и инструмента, диаметр долота, кроме того, инструментально проверяют: высоту шлама на забое скважины, её глубину, форму и вертикальность, величину перебура, положение низа и верха обсадной тру-

бы. Расширение скважин более 20 см по сравнению с проектным размером не рекомендуется, а уменьшение более 5 см ширины - не допускается. Отклонение оси не должно быть более 10 см. Недобур запрещается, а перебур в крупнообломочных грунтах допускается до 0.2 м, а в остальных может достигать 0.5 м.

Диаметр скважины должен быть на 15...20 см больше диаметра устанавливаемого в него столба. До его установки готовая скважина закрывается щитом.

В пробуренные скважины устанавливают сваи (столбы). Перед установкой поверхность скважины очищают от намерзшего шлама и льда электронагревателем или горячим воздухом, подаваемым по шлангу от калорифера. Применение для этого горячей воды не допускается. Устанавливаемые сваи (столбы) очищают ото льда, грязи и масляных пятен.

Столбы в скважины рекомендуется устанавливать с применением инвентарного обустройства, обеспечивающего возможность закрепления их в проектном положении. В случае отсутствия такого обустройства проектное положение столба в плане обеспечивают деревянными клиньями, устанавливаемыми в зазор между столбами и обсадной трубой.

Сваи (столбы) опускают в скважины, заполненные цементно-песчаным раствором состава 1:1. Количество раствора определяют расчетом сваи на выпучивание. Высота столба раствора, заполняющего зазор между поверхностями сваи и скважины должна быть достаточной для образования необходимых сил смерзания. По остальной высоте зазор заполняют более слабым раствором состава 1:2 - 1:5 или даже песчаным грунтом до уровня деятельного слоя, в пределах деятельного слоя зазор заполняют местным грунтом (рис. 5.7).

Для контроля смерзания сваи (столба) с грунтом одновременно с установкой последней сваи в опоре в зазор между скважиной и свайей устанавливают стальную термометрическую трубу. Нижний конец трубы делают глухим, верхний закрывают крышкой. В трубу периодически опускают термометр и замеряют температуру раствора.

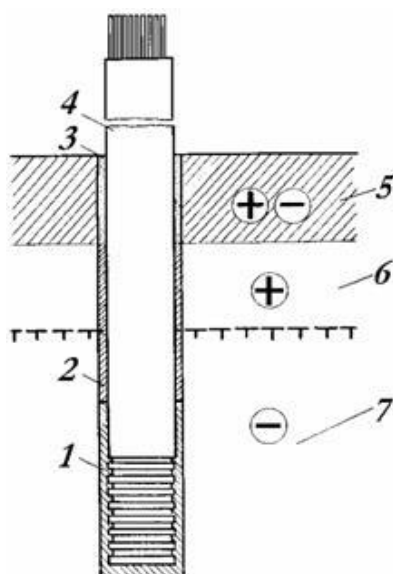


Рис. 5.7. Схема установки столба в скважине:

1 - цементно-песчаный раствор состава 1:1; 2 - то же, состава 1:5-1:12; 3 - местный грунт; 4 - столб; 5 - деятельный слой; 6 - талик; 7 - вечномёрзлый грунт

Для ускорения процесса вмораживания свай (столбов) и сохранения твердомерзлого состояния грунтов, используемых в качестве основания по принципу I, применяют глубинные охлаждающие устройства. Положительно зарекомендовали себя керосиновые охлаждающие устройства - термосваи, разработанные Г.С. Гапеевым (рис. 5.8).

Для увеличения скорости охлаждения грунтов теплообменник изготавливают большего диаметра, чем сама труба охлаждающей установки, и дополнительно приваривают ребра.

В холодный период года термосваи работают в "активном" режиме, обеспечивая перенос тепла от грунта к воздуху за счет конвекции керосина, с использованием сил гравитации. При этом керосин, находящийся в надземной части термосваи, охлаждается, плотность его повышается и он перемещается вниз, вытесняя оттуда более теплый керосин. Поступая вниз, керосин охлаждает грунт и, нагреваясь, вытесняется порциями более холодного верхнего керосина.

В теплое время года передача тепла от воздуха к грунту осуществляется за счет молекулярной теплопроводности керосина, корпуса термосваи и грунта (кондуктивный теплоперенос). Поскольку

кондуктивный теплоперенос менее конвективного, то в "активный" период из окружающего грунта выносится значительно больше тепла, чем поступает в грунт при "пассивном" режиме. Холодопроизводительность одной термосваи составляет более 1 млн. ккал за одну зиму. Для обеспечения мерзлого круглогодичного состояния грунта термосваи достаточно размещать через 6-8 м друг от друга.

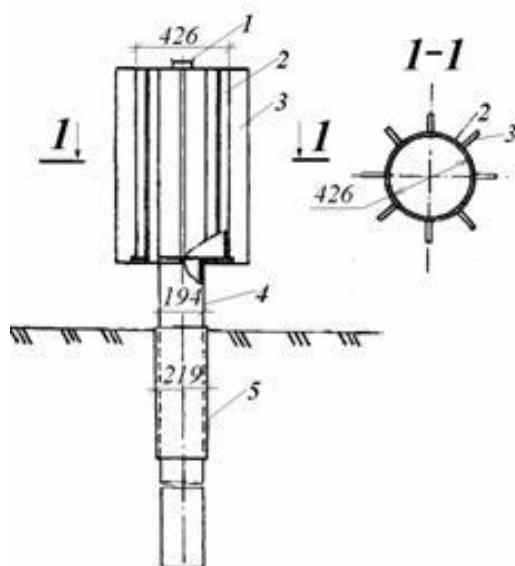


Рис. 5.8. Охлаждающая установка:

1 - завинчивающаяся пробка; 2 - труба охлаждающей установки диаметром 426 мм; 3 -ребра; 4 - труба охлаждающей установки диаметром 194 мм; 5- труба патрубка

Столбы и сваи рекомендуется устанавливать сразу по окончании бурения скважины, с перерывом не более одних суток для свай и трех суток для столбов. После извлечения обсадной трубы оставшийся зазор заполняется местным грунтом с трамбованием. Работы по устройству монолитной или сборной плиты ростверка (насадки) выполняют с учетом температуры воздуха. Омоноличивание сборных бетонных конструкций фундаментов допускается при температуре блоков и воздуха не ниже минус 15 °С с применением противоморозных добавок вводимых в цементно-песчаный раствор. Последующее укрытие или прогрев в этом случае не требуется.

При более низких температурах монтируемые блоки подогреваются так, чтобы набор прочности раствором до 5 МПа обеспечивался при его температуре не ниже минус 15 °С. Режим и сроки вы-

держивания раствора или бетона устанавливаются ППР. Не допускается замораживание раствора (бетона) омоноличивания до достижения им проектной прочности и раствора в швах - до прочности 5 МПа. Применение тепляков допускается, как исключение, с технико-экономическим обоснованием. Конструкции тепляков и способы обогрева даются в ППР.

УСТРОЙСТВО ШПУНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ

6.1. Деревянное шпунтовое ограждение

При разработке котлована в грунтах, насыщенных водой, необходимо не только укрепить его стены, но и защитить от затопления водой. Для этого применяют ограждения из шпунтовых свай [8].

Ограждение из деревянного шпунта устраивают при глубине его погружения до 6 м в грунт не имеющего включений в виде камней; крупного гравия; затопленных деревьев, различных засыпанных конструкций и т.п., а также при глубине воды до 3-х м.

Деревянный шпунт изготавливают из досок или брусьев леса хвойных пород не ниже 2-го сорта. При длине шпунта не более 3-х м допускается применение шпунта из лиственных пород - березы, осины. По условиям устойчивости при забивке гибкость шпунтины не должна превышать 150, примерно такую гибкость имеет шпунт, толщина которого d в см равна удвоенной его длине l в м.

Рекомендуемое соотношение размеров частей поперечного сечения различных типов деревянного шпунта приведены на рис. 6.1.

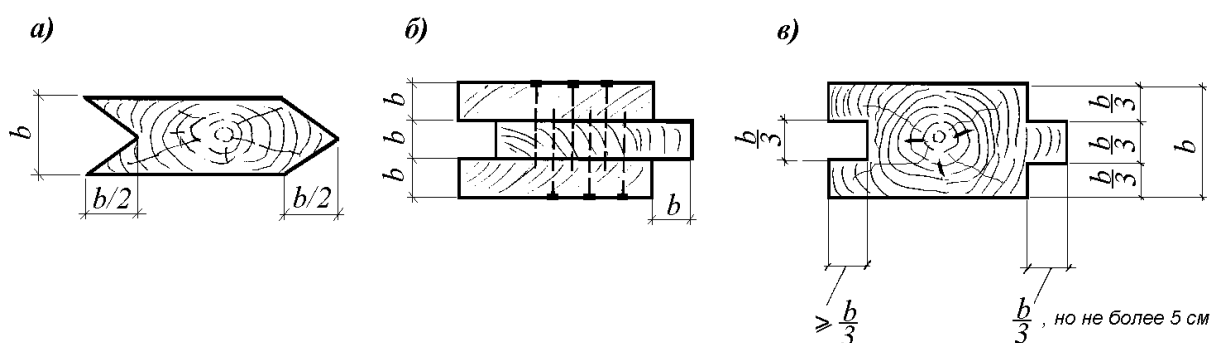


Рис. 6.1. Поперечные сечения деревянного шпунта:
 а - досчатого; б - составного из досок; в – брусчатого

Для обеспечения водонепроницаемости ограждения шпунтины должны стыковаться друг с другом гребнем и пазом. Наилучшая форма гребня и паза - прямоугольная. Шпунтины из отдельных досок

толщиной от 4 до 8 см делают с треугольной формой гребня и паза (рис. 6.1, а). При отсутствии необходимого размера досок шпунтину составляют из трех досок толщиной не менее 2,5 см каждая, сплавляемых по длине гвоздями и болтами (рис. 6.1, б). Составные шпунтины имеют прямоугольный гребень и паз, получаемые смещением средней доски относительно крайних.

Брусчатые шпунтовые сваи толщиной от 10 до 24 см делают с прямоугольным гребнем и пазом (рис. 6.1, в) шириной равной $1/3$ толщины бруса, и высотой не более 5 см.

Для ускорения набора шпунтовых стенок и их забивки применяют пакетные шпунтовые сваи (рис. 6.2), состоящие из двух-трех брусчатых шпунтин, соединенных скобами. Скобы ставят в противоположных направлениях под углом 45° к оси сваи через 100 - 150 см, по концам пакета две, три скобы ставят через 50 см. Скобы втапливают в древесину заподлицо с поверхностью, чтобы не сбить их при погружении шпунта. Заострение пакетных шпунтовых свай делают общим на весь пакет.

Головы шпунтин срезают перпендикулярно их продольной оси и объединяют бугелем прямоугольной формы, а концы заостряют на правильный клин длиной от одной (для тяжелых грунтов) до трех (для легких грунтов) толщин шпунта. Грань клина со стороны гребня скашивают для обеспечения плотного прижатия забиваемого шпунта к ранее погруженному в грунт, забивку шпунта всегда ведут гребнем вперед.

Конструкция деревянного шпунтового ограждения приведена на рис. 6.3.

Удержание шпунтин в проектном положении при погружении их в грунт обеспечивается внешними и внутренними направляющими схватками, прикрепленными болтами к маячным сваям диаметром 18 - 26 см. Маячные сваи забивают через 2 - 3 м с наружной стороны ограждения и на 1 - 2 м ниже глубины погружения шпунта. В качестве направляющих схваток используют пластины диаметром не менее 22 см или брусья сечением не менее 14X14 см. Расстояние между

направляющими, равное толщине шпунтин, выдерживают прокладками, закрепленными болтами.

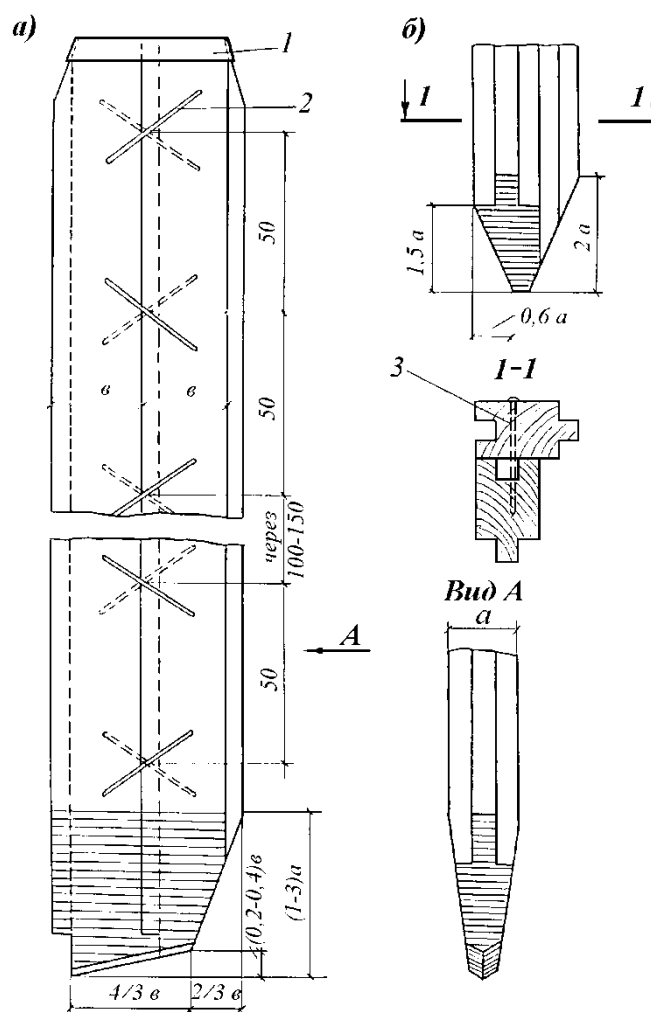


Рис. 6.2. Конструкция пакетных деревянных шпунтовых свай:
а - плоская; б - угловая; 1 - бугель; 2 - скоба; 3 - нагель. Размеры в сантиметрах

Погружение шпунта в сооружении следует, как правило, выполнять захватками, на которых предварительно полностью выставляют шпунт. Различают угловые, рядовые, клиновидные и замыкающие деревянные шпунтовые сваи. Угловая в поперечном сечении имеет два гребня, рядовая и клиновидная - гребень и паз, а замыкающая - два паза. Вначале устанавливают и частично забивают угловую шпунтовую сваю. От нее в обе стороны можно выставлять рядовые шпунтины. Плотность набранного участка шпунтовой стенки достигается с помощью клина изготовленного из обрезка шпунтовой сваи длиной

1,5 - 2,0 м, и установленного между шпунтинами и строительной скобой забитой в направляющие схватки. Клин в ходе погружения шпунта постоянно добивают.

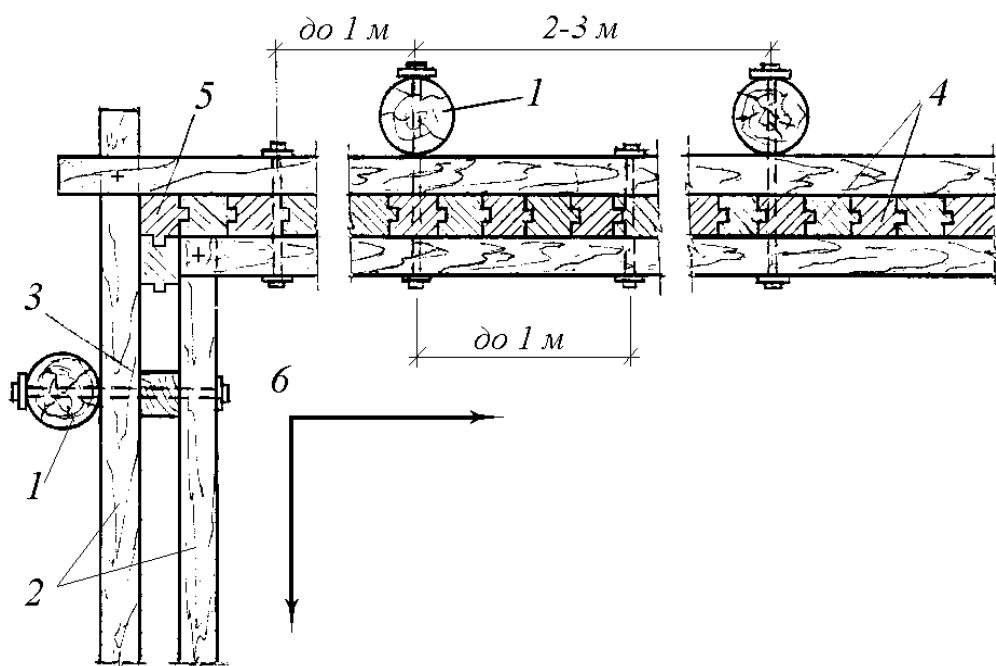


Рис. 6.3. Конструкция деревянного шпунтового ограждения

1 - маячные сваи; 2 - направляющие схватки; 3 - временные прокладки; 4 - рядовые шпунтины; 5 – угловая шпунтина; 6 - направление забивки шпунтовой стенки

Таким образом, каждая шпунтина при погружении прижимается к ранее забитой понижу благодаря конструкции острия, а в уровне направляющих схваток клином. Установленные шпунтины на каждой захватке погружают периодическими последовательными поступательно-возвратными проходками от конца захватки к ее середине и обратно до проектной глубины. При забивке шпунта постоянно контролируют его положение. Если шпунтины начинают отклоняться от вертикали в плоскости стенки, забивку прекращают и выправляют их положение с помощью лебедок или талей. В случае, если образовавшуюся веерность шпунтового ряда устранить не удастся, устанавливают и погружают клиновидные шпунтины. По мере набора и погружения шпунта поочередно снимают прокладки вместе с болтами крепления. Перед снятием прокладки направляющие брусья прикрепляют к ближайшей забитой шпунтовой свае, а после забивки очеред-

ной шпунтины снятые болты крепления ставят на место. Замыкающую шпунтовую сваю изготавливают по месту и погружают в последнюю очередь. Встречные шпунтовые стенки должны быть в одной плоскости, а их боковые грани - вертикальными.

Деревянные шпунтины до забивки рекомендуется вымачивать в воде в течение 10 - 15 сут, в противном случае при набухании древесины шпунтовая стенка может деформироваться.

Основное достоинство деревянных шпунтовых ограждений - простота изготовления. К недостаткам в первую очередь нужно отнести невозможность забивки шпунтин в плотные грунты, ограниченную длину шпунтин (6 - 8 м) и относительно малую прочность.

6.2. Металлическое шпунтовое ограждение

Ограждение из металлического шпунта устраивают при глубине погружения в грунт более 6 м, а также при меньших глубинах в плотных глинистых и гравелистых грунтах или при глубине воды в реке более 3 м. Стальной шпунт - инвентарное имущество, после устройства фундамента его извлекают для повторного использования [8].

Отечественные заводы прокатывают стальной шпунт длиной от 8 до 22 м. При необходимости шпунтины можно наращивать, перекрывая стыки накладками длиной не менее 600 мм со сварными или болтовыми соединениями, и доводить их длину до 35 - 40 м. Совпадение и прямолинейность замков наращиваемых шпунтин обеспечивают установкой на время устройства стыка отрезков шпунта длиной по 2 - 3 м, которые заводят в оба замка соединяемых шпунтин.

Для ограждения котлованов (рис. 6.4) используется главным образом шпунт корытного профиля (ШК-I, ШК-2). При больших нагрузках целесообразно использовать шпунт типа Ларсен IV и V. Шпунт плоского профиля (ШП-1 и ШП-2) следует применять преимущественно для образования цилиндрических стенок ограждения искусственных островков. Геометрические характеристики прокатных шпунтовых профилей применяемых в мостостроении приведены в приложении 8 [8].

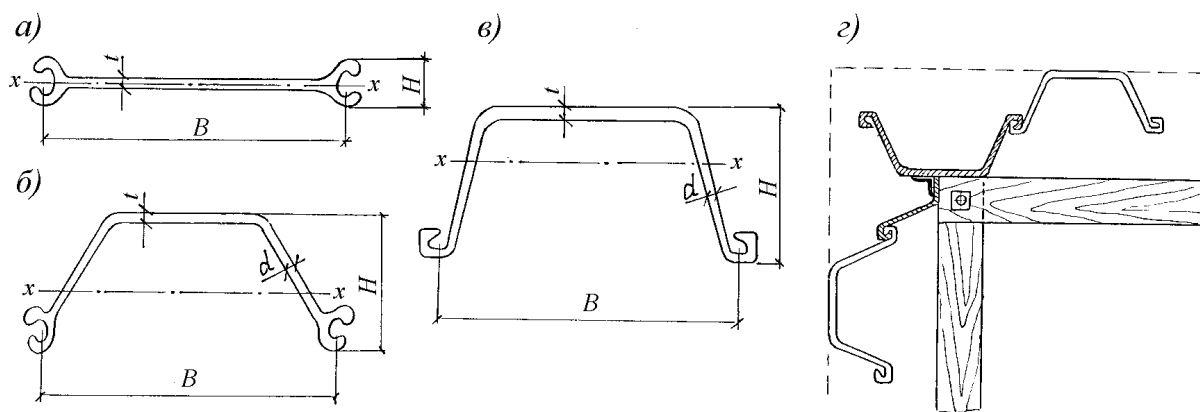


Рис. 6.4. Профили стальных прокатных шпунтов:

а - плоский; б - корытный; в - типа "Ларсен"; г - угловая шпунтина

Замки, которыми шпунтины соединяются между собой, обеспечивают работу шпунтовой стенки на растяжение и делают возможным применение стального шпунта в самых разнообразных условиях.

На суше, а также при небольшой глубине воды в русле реки стальной шпунт погружают в направляющих схватках, закрепленных на маячных сваях (рис. 6.5).

В отличие от конструкции деревянного шпунтового ограждения маячные сваи забивают не только с наружной, но и с внутренней стороны ограждения. Для обеспечения вертикального и устойчивого положения набранной шпунтовой стенки, схватки располагают по высоте в два яруса. Зазор между схватками обеспечивается временными деревянными прокладками.

Конструкция ограждения без креплений в виде свободно стоящих стенок целесообразна только для неглубоких котлованов.

В ограждениях с внутренними распорными креплениями количество ярусов креплений назначают по условиям прочности шпунта и его устойчивости. При размещении ярусов необходимо исходить из условий наилучшего использования материала шпунта. Элементы креплений должны быть удобны для их монтажа.

По внутреннему контуру ограждения прямоугольного очертания устанавливают горизонтальные пояса (обвязку) которую раскрепляют системой поперечных распорок и угловых подкосов. Расстояние между распорками креплений назначают с учетом принятого метода разработки грунта и вида применяемых механизмов. Установку крепе-

ний необходимо производить по мере углубления котлована (в процессе водоотлива и разработки грунта).

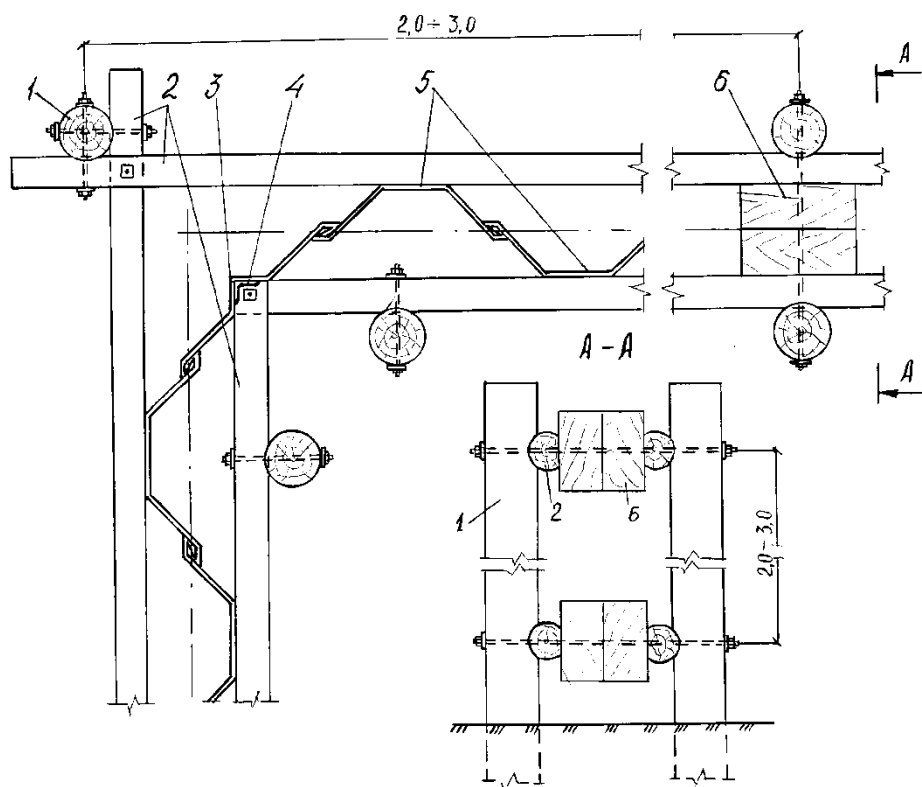


Рис. 6.5. Конструкция стального шпунтового ограждения:

- 1 - маячные сваи; 2 - направляющие схватки; 3 - угловая шпунтина;
4 - уголовая накладка; 5 – стальной шпунт; 6 – прокладка

Для упрощения и значительного облегчения распорных креплений, взамен прямоугольных в плане ограждений целесообразно применять цилиндрические с устройством кольцевых поясов-обвязок без поперечных распорок.

При устройстве замкнутых в плане ограждений погружение шпунта следует производить, как правило, после предварительной его сборки и полного замыкания.

До начала погружения стального шпунта проверяют правильность и прямолинейность его замков, протаскивая по ним шаблон из обрезка шпунта длиной 2 м. Концы шпунтин обрезают строго перпендикулярно к их продольной оси. Замки смазывают солидолом. Смазка улучшает погружение и извлечения шпунта, а также повышает водонепроницаемость замков. В практике для этой цели часто при-

меняют смазку из отработанного машинного масла с загустителем из сухого глинистого порошка.

Для удобства работ по набору шпунтовых стенок и их погружению, шпунтины предварительно объединяют в пакеты.

Количество шпунтин в пакете назначают в зависимости от типа шпунта, мощности грузоподъемного и погружающего оборудования, грунтовых условий. При вибропогружении пакет обычно составляют из 2 - 11 шпунтин, а при забивке от 2 до 4-х. Пакеты из отдельных шпунтин набирают в горизонтальном положении на стенде с помощью лебедок. Шпунтины в пакете объединяют прерывистым сварным швом. В пакете вырезают отверстия для строповки и крепления наголовника. В качестве одного из мероприятий по устранению веерных отклонений стального шпунта в плоскости шпунтовой стенки, обусловленных разными сопротивлениями погружаемых шпунтин, низ переднего по ходу погружения замка шпунтины (пакета) закрывают стальной пробкой (заглушкой), что при погружении предохраняет его от заполнения грунтом и одновременно создает восстанавливающий момент шпунтине.

Угловые шпунтовые сваи составляют из двух целых шпунтин или одной разрезанной вдоль и соединенной уголковыми накладками шпунтины. Резку шпунтины во избежание ее коробления выполняют отдельными участками длиной по 0,8 - 1 м, оставляя между ними свободные пространства такой же длины, на которых делают рез во вторую очередь.

Порядок погружения стального шпунта должен обеспечивать замыкание всех шпунтин по всему периметру ограждения. Для этого его погружают захватками, на которых предварительно полностью выставляют шпунт. Захватка может включать стенку между маячными сваями, по всей длине стороны или по всему периметру прямоугольного ограждения. Набор стенки начинают с установки и частичного погружения угловой шпунтовой сваи, после чего устанавливают рядовые шпунтины или пакеты. На каждой захватке шпунт погружают последовательными периодическими поступательно-возвратными

проходками от конца захватки к ее середине и обратно таким образом, чтобы разница в отметках низа соседних шпунтин (в том числе и на границах с соседними захватками) в зависимости от степени трудности погружения (тяжелой, средней и легкой) соответственно не превышала следующих значений: для плоского шпунта - 0,5; 1,0 и 2,0 м; для других профилей - 1,5; 3,0 и 5,0 м.

При погружении первых шпунтин (пакетов) необходимо обеспечить строгую вертикальность их положения. Проверку производят в двух плоскостях по отвесу. В процессе дальнейшего погружения проверку проводят не реже чем через 5 шпунтин. Для предотвращения веерности молот или вибропогружатель рекомендуется устанавливать со сдвижкой от центра тяжести погружаемой шпунтины (пакета) в сторону противоположную отклонению на 10 - 20 % ее ширины. При небольших отклонениях веерность можно устранить оттяжкой шпунтин в процессе погружения. Если веерность невозможно выправить погружают изготовленные на месте клиновидные шпунтовые сваи. В случае наклона шпунтовой стенки (ухода из створа) его устраняют в процессе погружения последующих шпунтин посредством отклонения в противоположную сторону несущего троса крана поддерживающего вибропогружатель или направляющую молота, или усилием оттяжек.

Для уменьшения риска повреждения шпунта и его замков забивку молотами одиночного действия следует прекращать при отказах менее: для плоского шпунта - 1,5 см; для других видов шпунта - 1,0 см.

Верх шпунтового ограждения должен быть на 0,2 - 0,4 м выше максимально возможного уровня грунтовых вод (в случае устройства комбинированного котлована - до уровня грунтовых вод котлован с откосами, а ниже с креплением боковых стенок) и не менее чем на 0,7 м выше принятого рабочего уровня воды в реке. За рабочий уровень воды принимают возможный уровень повторяемости один раз в десять лет, определяемый по гидрогеологическим данным за период производства работ в котловане.

Глубину погружения шпунта в грунт определяют из условий устойчивости шпунтовой стенки против ее опрокидывания и устойчивости грунта против выпирания в котлован при водоотливе. Во всех случаях величина погружения шпунта ниже дна котлована должна быть не менее 1 м в связных, крупнопесчаных и гравелистых грунтах. В мелкопесчаных и плывунных грунтах эту величину принимают не менее 2 м - исходя из условия предотвращения возможности выноса (наплыва) грунта в котлован при откачивании из него воды.

Водонепроницаемость стального шпунта обеспечивается заиливанием замков, а также конопаткой их по мере удаления грунта и воды из котлована. Конопатку выполняют паклей пропитанной маслом или битумным лаком. Чтобы ускорить заиливание не законопаченных замков во время откачки воды из котлована, снаружи ограждения засыпают формовочную землю; смеси опилок и песка; опилок, шлака и глинистого порошка и пр.

6.3. Проектирование шпунтового ограждения

Расчет шпунтового ограждения котлована производят на устойчивость положения (определяют глубину заделки шпунта) и прочность по материалу его элементов. Независимо от результатов расчета глубину забивки шпунта следует принимать в случаях текучих, текучепластичных глин, суглинков, супесей, пылеватых и мелких песков не менее 2 м, а в остальных случаях не менее 1 м [21].

При проектировании шпунтового ограждения расчетом определяют: глубину забивки шпунта, толщину шпунтовой стенки, сечение распорок, обвязки и их размещение по ярусам, сечение подкосов, анкерные устройства.

При расчетах шпунтовой стенки на прочность, значение расчетных сопротивлений шпунта и креплений должно делиться на коэффициент надежности γ_n , принимаемый равным:

- $\gamma_n=1,1$ - для шпунтовых ограждений на местности, покрытой водой;
- $\gamma_n=1,0$ - во всех остальных случаях.

Момент сопротивления поперечного сечения одного метра стенки W_{nt} (приложение 8 [8]) из шпунта типа ШК или Ларсен следует

принимать с коэффициентами, учитывающими возможность относительных смещений шпунтин в замках:

- 0,7 - в слабых грунтах и отсутствии крепления обвязки к шпунту;
- 0,8 – в тех же грунтах и при креплении обвязки к шпунту;
- 1,0 - во всех остальных случаях.

При расчете прочности шпунтовых стенок (но не креплений) должен вводиться коэффициент условий работы m , равный 1,10.

Элементы креплений должны рассчитываться на совместное действие горизонтальной нагрузки, передаваемой шпунтовыми стенками, и вертикальной нагрузки от собственного веса, веса обустройств и конструкций, предусматриваемых проектом. Интенсивность этой вертикальной нагрузки на рассчитываемый элемент определяется по формуле:

$$q = q_1 \frac{A}{l}, \quad (6.1)$$

где q_1 - нагрузка, принимаемая равной 0,5 кН/м² (50 кгс/м²) для верхнего яруса креплений и 0,25 кН/м² (25 кгс/м²) для остальных ярусов;

A - площадь котлована, приходящаяся на рассчитываемый элемент крепления, м²;

l - длина элемента, м.

Для расчетов элементов шпунтового ограждения определяют следующие расчетные величины от постоянной и временной нагрузки:

- необходимая глубина забивки шпунта ниже дна котлована, м;
- расчетный изгибающий момент в шпунте, кНм (тсм) на 1 метр шпунтовой стенки;
- расчетное давление на обвязку шпунтовой стенки, кН (тс) на 1 метр ее длины;
- расчетное усилие в распорке крепления, передающееся от давления на обвязку, кН (тс).

С целью упрощения расчетов указанные расчетные величины допускается определять по графикам, приведенным в приложении 9 [8].

Графики дают значения h_n, M_n, R_n (от постоянной нагрузки) и $\Delta h, \Delta M, \Delta R$ (от временной нагрузки интенсивностью 34 кН/м^2 ($3,4 \text{ т/м}^2$)).

Для каждого из пяти типов крепления шпунтовой стенки расчетные величины даны в функции от глубины котлована H в м, угла внутреннего трения φ° , гидрогеологических условий, принятых исходя из шести характерных случаев напластования грунтов.

При сниженной против расчетной ($3,4 \text{ кН/м}^2$) временной нагрузке, при промежуточном положении уровня воды или другом изменении условий следует, пользуясь графиками, применять интерполирование. Так, например, при устройстве котлована на местности, покрытой водой с глубиной воды, меньшей, чем глубина котлована, интерполирование производится между 3 и 4 или 5 и 6 случаями условий сооружения котлована.

Сечение шпунтовой стенки ограждения принимают в зависимости от величины требуемого момента сопротивления определяемому по величине изгибающего момента в сечении шпунтовой стенки M и расчетному сопротивлению R_n материала, принятого в расчете шпунта:

$$W = \frac{M}{R_n m} \quad (6.2)$$

По графикам приложения 8 для расчетного случая напластования грунтов, прорезаемых шпунтом, наличия временной нагрузки и в зависимости от принятого типа крепления (I-V) и глубины котлована определяют величину изгибающего момента в стенке на 1 метр ее длины:

$$M = M_n + \Delta M, \quad (6.3)$$

где M_n и ΔM - изгибающие моменты в сечении 1 метр длины стенки соответственно от постоянной и временной нагрузок.

Расчетные сопротивления принимают по таблицам 6.1 и 6.2, коэффициенты m и γ_n - по таблице 6.3. По найденному моменту сопротивления W подбирают сечение шпунтовой стенки расчетом или по таблицам.

Таблица 6.1

Расчётные сопротивления R_y прокатной стали в МПа (кгс/см²)

Напряженное состояние	Обозначение	Расчетные сопротивления марок стали при толщине полки проката в мм						
		ВСтЗсп (М16С)		09Г2С		10Г2С1		15ХСНД
		4-20	21-40	10-20	21-32	10-20	21-32	10-32
Растяжение, сжатие и изгиб	R_y	235 (2400)	215 (2200)	310 (3150)	290 (2950)	320 (3250)	310 (3150)	310 (3150)

Характеристика стальных шпунтовых свай приведена в приложении 8, формулы для определения геометрических характеристик сечений – в приложении 10 [8].

Сечение обвязки, распорок и подкосов крепления шпунтовых стенок определяют исходя из их расчетной схемы и усилий от равномерно распределенных и сосредоточенных нагрузок на шпунтовую стенку и конструкции крепления (рис. 6.6).

Обвязку рассчитывают как сжато-изогнутую балку (рис. 6.6). Изгибающий момент M в балке определяют, рассматривая обвязку как неразрезную балку на жестких опорах-распорках и поперечных стенках.

Расчетная нагрузка на обвязку состоит из:

- горизонтального давления, передаваемого на нее от шпунтовой стенки, примыкающей к обвязке:

$$p = p_i + \Delta p_i \quad (6.4)$$

- вертикального давления q от веса обустройств и оборудования, размещаемых на элементах крепления, кН/м (тс/м);
- сжимающего осевого усилия $N_{об}$, кН (тс).

Таблица 6.2

Расчетные сопротивления R древесины сосны и ели в МПа (кгс/см²)

№№ пп	Вид напряженного состояния и характеристика элементов	Обозначения	Расчетные сопротивления МПа (кгс/см ²) для древесины второго сорта
1	Изгиб, сжатие и смятие вдоль волокон: а) бревна б) брусья в) доски	$R_{и}, R_{с}, R_{см}$	16 (160) 15 (150) 13 (130)
2	Растяжение вдоль, волокон	$R_{р}$	7 (70)
3	Сжатие и смятие по всей поверхности поперек волокон (в клиньях, клетках и т.п.)	$R_{см90}$	1,8 (18)
4	Смятие местное поперек волокон: а) в опорных частях конструкции в лобовых врубках и шпонках; б) в насадках, лежнях, под сваями, стойками и подкосами; в) под шайбами при $\alpha=90,^{\circ}60$.	$R_{см90}$	3 (30) 3 (30) 4 (40)
5	Скалывание вдоль волокон (наибольшее) при изгибе	$R_{ск}$	1,6(16)

Усилие $N_{об}$ определяется как опорная реакция от давления обвязки шпунтовой стенки, перпендикулярной рассчитываемой (рис. 6.6). Напряжение в сечении наиболее нагруженного элемента обвязки проверяют по формуле:

$$\sigma = \frac{N_{об}}{A_n} + \frac{M_y}{W_{xn}} + \frac{M_x}{W_{yn}} \leq R_c \frac{m}{\gamma_n}, \quad (6.5)$$

где $N_{об}$ - наибольшее усилие в элементе обвязки, кН (тс);

M_y - момент в обвязке от действия вертикальной нагрузки q кНм (тсм);

M_x - момент в обвязке от горизонтальной нагрузки p ;

A_n - площадь сечения обвязки, нетто, см²;

W_{xn}, W_{yn} - моменты сопротивления сечения элементов обвязки относительно осей x и y ;

m, γ_n - коэффициенты по таблице 6.3:

R_c - расчетное сопротивление сжатию.

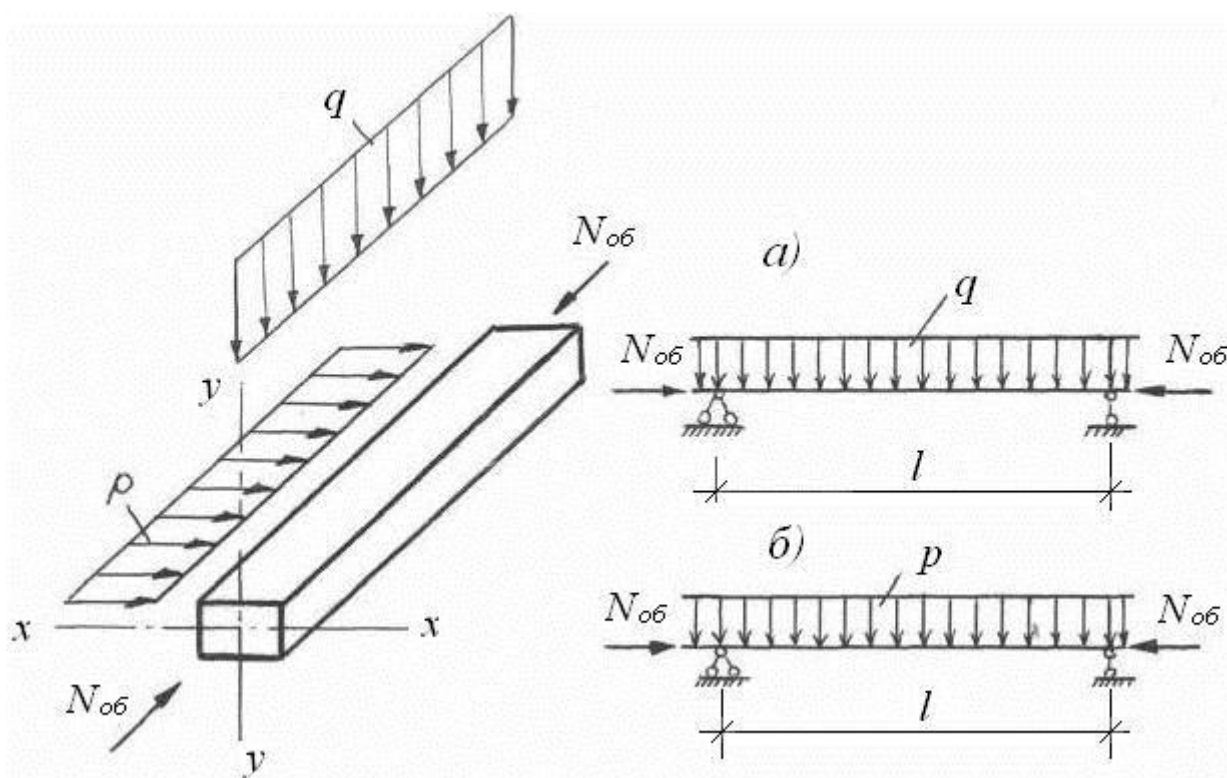


Рис. 6.6. Схемы приложения нагрузок к элементу обвязки

а - в вертикальной плоскости; *б* - в горизонтальной плоскости

Распорки рассчитывают как сжато-изогнутые стержни. Изгиб возникает от собственного веса распорок и от действия поперечной вертикальной нагрузки q (веса настилов, людей, оборудования). Вы-

численные нормативные нагрузки принимаются с коэффициентами надежности по нагрузке γ_f , приведенными в таблице 6.4.

Таблица 6.3

Коэффициенты условий работы m и надежности по назначению γ_n

Наименование конструкции (конструктивных элементов) вспомогательных сооружений	Коэффициенты	
	γ_n	m
Канаты подвесных подмостей и люлек	5,0	—
Прочие несущие элементы подвесных подмостей и люлек	1,3	—
Удерживающие силы конструкций, закрепляемые силами трения (кроме конструкций подмостей для людей)	2,0	—
Шпунтовые ограждения на местности, покрытой водой	1,1	—
Пролетные строения подкрановых эстакад, элементы опор и прогонов пирсов (кроме фундаментов)	1,05	—
Закладные анкерные крепления в бетоне: - анкера, пролетных строений и приемных консолей, - соединения стоек опор с ростверками	2,0	—
	1,5	—
Металлоконструкции анкеров, удерживающих от опрокидывания пролетное строение	2,0	—
Плавучие опоры из понтонов и барж, балластируемых с помощью насосов	1,2	—
Плашкоуты для копров и стреловых кранов	2,0	—
Плашкоуты для перевозки строительных конструкций и материалов	1,25	—
Деревянные элементы опалубки и тепляков, подвергающихся воздействию пара	—	0,80
Доски закладного крепления котлованов	—	1,10
Элементы опалубки монолитных конструкций	—	1,15
Деревянные конструкции, расположенные под водой	—	0,90
Шпунтовые стенки длиной менее 5 м с промежуточными ярусами распорных креплений	—	1,10
Сплошные балки при расчете на общую устойчивость	—	0,95
Сжатые элементы стержневых конструкций при расчете на устойчивость	—	0,90

При определении изгибающего момента распорку рассматривают как балку с пролетом, равным расстоянию между шпунтовыми стенками (рис. 6.7, в).

Таблица 6.4

Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f

Нормативные нагрузки и воздействия	Коэффициент надежности по нагрузке γ_f
Собственный вес вспомогательных устройств	1,1 и 0,9
Вертикальное давление от веса грунта	1,2 и 0,9
Горизонтальное давление грунта	1,2 и 0,8
Гидростатическое давление воды	1,0
Гидродинамическое давление воды	1,2 и 0,75
Усилия трения при перемещении грузов:	
на салазках, полимерных устройствах	1,3 и 1,0
на катках	1,1 и 1,0
на тележках	1,2 и 1,0
Воздействие лебедок при подъеме и передвижке грузов	1,3 и 1,0
Воздействие домкратов	1,3
Вес возводимых (надвигаемых) конструкций	1,1 и 0,9
Вес строительных материалов и утеплений	1,3 и 0,8
Вес копров, монтажного (грузоподъемного) оборудования и транспортных средств	1,1 и 0,9
Вес людей и мелкого оборудования	1,3 и 0,7
Нагрузки от укладки и вибрирования бетонной смеси	1,3 и 1,0
Инерционные нагрузки от кранов, копров, автомобилей	1,1 и 1,0
Нагрузки ледовая, ветровая, от навала судов	1,0

Осевое усилие в распорке допускается принимать по формуле:

$$N_p = 1,1R \frac{l_n + l_{np}}{2}, \quad (6.6)$$

где R - горизонтальное давление на обвязку от шпунтовой
стенки $R = R_n + \Delta R$, кН/м (тс/м);

l_n , l_{np} - пролеты обвязки слева и справа от рассчитываемой рас-
порки.

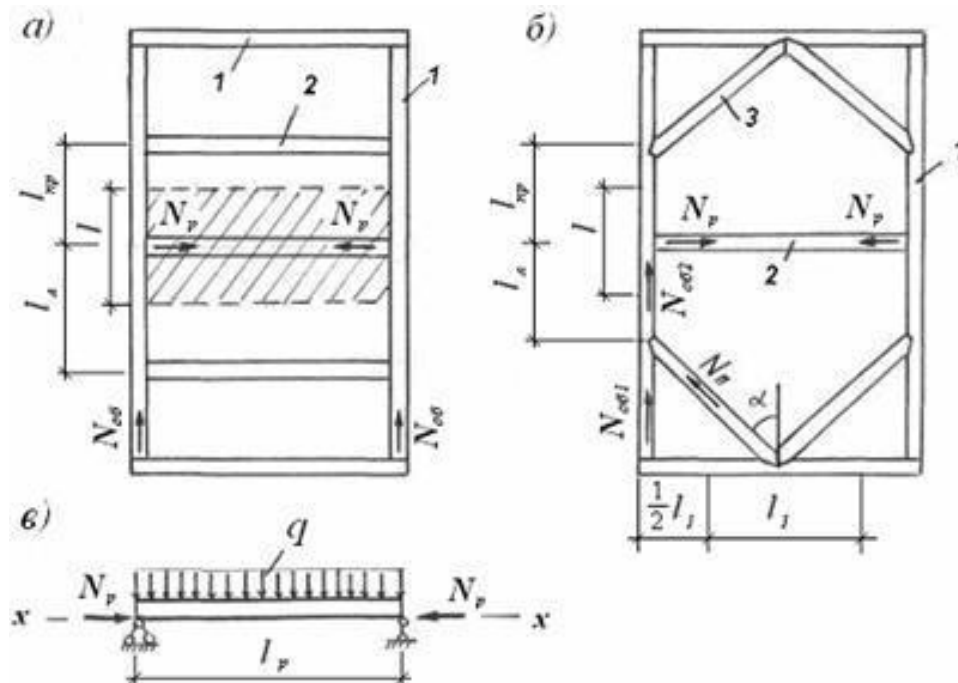


Рис. 6.7. План креплений шпунтового ограждения:

a - крепление без подкосов; b - крепление с подкосами; c - расчетная схема
для расчетной распорки;

1 - обвязка; 2 - распорка; 3 - подкос

Прочность распорки проверяют по формуле:

$$\sigma = \frac{N_p}{A_n \varphi} + \frac{M_y}{\xi W_{xn}} \leq R_c \frac{m}{\gamma_n}, \quad (6.7)$$

где M_y - изгибающий момент в расчетном сечении распорки от
вертикальной нагрузки q :

$$M_y = \frac{ql_p^2}{8}; \quad (6.8)$$

W_{xn} - момент сопротивления сечения распорки, относительно горизонтальной оси X, см³;

A_n - площадь сечения распорки нетто;

ξ - коэффициент, изменяющийся от 1 до 0, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие изгиба элемента, определяется по формуле:

$$\xi = 1 - \frac{\lambda^2 N_{cz}}{3100 R_i A_n}, \quad (6.9)$$

здесь λ - гибкость элементов в плоскости изгиба;

R_i - расчетное сопротивление материала распорки.

В конструкции крепления должно быть предусмотрено устройство опирания обвязки и распорки для передачи вертикальной нагрузки в местах их соединения.

В случае, если на шпунт дополнительно передается вертикальная нагрузка (от копров, кранов и т.п.), глубина забивки шпунтин на участке передачи вертикальной нагрузки должна быть проверена на восприятие вертикальных усилий в соответствии с нормами проектирования свай. Ширину участка ограждения, передающего сосредоточенную вертикальную нагрузку, определяют из условия распространения усилий в ограждении под углом 30° к вертикали.

ВЫБОР И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОГРУЖЕНИЯ ЗАБИВНЫХ СВАЙ

7.1. Критерии выбора. Общие положения

Единый критерий любого выбора: пространство возможностей (**B**) выбираемого объекта должно быть больше или равно пространству предъявляемых к нему требований (**T**) [3]

$$B \geq T, \quad (7.1)$$

Любой обобщённый критерий всегда может быть представлен в виде ряда частных составляющих критериев. Для выбора технологии их можно записать в виде четырёхмерного пространства и его качественных характеристик (физических, экологических, социологических) [3, 4]:

$$\left. \begin{array}{l} \text{I: } X_B \geq X_T \\ \text{II: } Y_B \geq Y_T \\ \text{III: } Z_B \geq Z_T \end{array} \right\} \text{геометрические критерии} \quad (7.2)$$

$$\text{IV: } \Pi_B \geq \Pi_T \left(\frac{1}{T_B} \geq \frac{1}{T_T} \right) - \text{критерий производительности (или времени)} \quad (7.3)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{V: } КП_B \geq КП_T - \text{критерий качества продукции (сооружения)} \\ \text{VI: } БР_B \geq БР_T - \text{критерий безопасности работ} \\ \text{VII: } ЭЛ_B \geq ЭЛ_T - \text{критерий экологичности технологии} \\ \text{VIII: } УТ_B \geq УТ_T - \text{критерий устойчивости технического процесса} \\ \text{IX: } ЭС_B \geq ЭС_T - \text{критерий эстетичности,} \end{array} \right\} \quad (7.4)$$

Х: $\mathcal{E}N_B \geq \mathcal{E}N_T$ - критерий экономичности.

В известной мере эти критерии выбора можно рассматривать как основные (классические), однако их состав может быть всегда расширен за счет специфических требований, выставляемых, например, со стороны Заказчика (или Потребителя) продукции, а также для уточнения выбора.

Как известно, практической целью технологии как науки является: выбор метода технологии, разработка оптимальных технологических схем, выбор типа и числа строительных машин, необходимых для выполнения работ по объекту в заданные сроки и с требуемым качеством, при минимальной стоимости работ.

Все перечисленные выше критерии выбора технологии используются и при выборе строительных машин. При этом **геометрическое пространство возможностей** следует рассматривать как рабочую зону машины, а **пространство требований** – как технологический объём, в каждой точке которого должны быть выдержаны остальные критерии, обеспечивающие качество этого объёма.

Одним из основных является критерий **качества продукции** (сооружения), которое определяется всеми потребительскими свойствами и также оценивается с помощью всех приведённых выше универсальных критериев, но применённых уже к сооружению на всех стадиях его возведения и эксплуатации. Заметим, что предела качеству изделий нет, но есть оптимальный необходимый уровень качества, соответствующий технико-экономическим возможностям общества на данном этапе его развития [13, 18].

Все упомянутые критерии выбора, в зависимости от конкретных машин и условий, могут быть ещё более детализированы.

Так, критерий **производительности** может быть представлен как эксплуатационной производительностью, так и технической, или их составляющими [3, 22]. Например:

- а) ёмкостью ковша (кузова);
- б) сохранностью продукции;
- с) циклом работы;

- d) грузоподъёмностью;
- e) рабочими скоростями;
- f) мобильностью;
- g) временем перебазировки;
- h) временем монтажа и т. п.

При этом выбор рекомендуется начинать с наиболее мощных и высокопроизводительных машин.

Критерий **устойчивости (надёжности, непрерывности) технологического процесса** определяется и качеством машин, их новизной, надёжностью, техническим состоянием, выработкой и т. п.

Он может быть выражен также коэффициентом запаса в количестве машин VIII-1

$$K_{уст} = \frac{N^C}{N^P} \geq [K_{уст}], \quad (7.5)$$

где: N^C – списочное число машин;
 N^P – расчётное число машин.

Устойчивость работы технологической цепи определяется оптимальным согласованием составляющих её машин по их числу и мощности.

Безопасность подразделяется следующим образом:

- a) внутренняя (собственная) - для оператора и для машины;
- b) внешняя – для других участников технологического процесса.

Экологичность оценивается степенью чистоты технологического процесса по отношению к окружающей среде и природе в настоящем и будущем.

Экономичность включает все приведённые показатели, а также характеристики машин: общую массу, массу движущихся частей, расходы топлива, других видов энергии.

Отметим, что если выдержаны прочие критерии выбора, условие экономичности, как правило, выполняется автоматически, по-

сколькx является синтетическим.

И, конечно, требует проверки критерий **времени выполнения работ**, который обеспечивается лишь при условии максимальной загрузки машин.

Естественно, что все требования к машине можно разделить на жёсткие и нежёсткие.

К жёстким требованиям, например, геометрическим, относятся требования, которые должны быть выполнены безусловно точно (или строго). Однако здесь следует заметить, что невыполнимых требований теоретически не существует.

К нежёстким - относятся требования, для которых допустимо лишь приближение к некоторой оптимальной величине.

Выбор типа машин для выполнения любого процесса определяется из принципа наибольшего соответствия данной машины условиям работы или наибольшего удовлетворения требований.

Поскольку выбор является многофакторным, то степень соответствия машины условиям её работы можно оценить величиной:

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{B_i} q_i}{\sum_{i=1}^n q_i} , \quad (7.6)$$

где q_i – относительная важность (весовой коэффициент) достижения удовлетворения данного требования.

Степень соответствия определяется при условии $B_i \geq T_i$, в противном случае следует принять обратные величины, например:

$$\frac{1}{T_B} \geq \frac{1}{T_T} \quad (7.7)$$

Наилучшее соответствие предполагается при $C_0=1$.

Приведённые условия позволяют провести сравнение вариантов различных типов и марок машин и выбрать лучший из них.

В случае невыполнения какого-либо из критериев всегда существует два выхода:

- 1) увеличение ресурса возможностей (например, мощности машины);
- 2) снижение уровня требований (например, технологического объёма).

7.2. Основы расчёта числа машин

Все машины в технологической цепи можно разделить на ведущие и ведомые. К звену ведущих отнесём машины, имеющие следующие признаки:

- а) наиболее дорогие и сложные машины;
- б) определяющие интенсивность работ;
- в) стоящие в начале технологической цепи;
- г) загруженные на полную мощность.

Например, при выполнении земляных работ ведущими машинами являются экскаваторы, а при выполнении бетонных работ – бетоносмесители. Однако их выбор может быть всегда уточнён технико-экономическим сравнением вариантов [22].

Машины в остальных звеньях цепи отнесём к ведомым. Поскольку число машин всегда является целым, то ведомые машины могут быть и недогруженными, т. е. их потенциальная производительность не может быть полностью использована.

В зависимости от конкретных условий проекта расчётное число ведущих машин (а равно и любых ведущих исполнителей) можно определить различными методами:

I. – по интенсивности J' (или скорости) выполнения работ одной машиной:

$$N_{\text{вм}}^p = \frac{J^p}{J'} \quad (7.8)$$

II. – по объёму работ V' , выполняемому одной машиной:

$$N_{вм}^P = \frac{V}{V'} \quad (7.9)$$

III. – по продолжительности работ T' , выполняемых одной машиной:

$$N_{вм}^P = \frac{T'}{T^P} \quad (7.10)$$

где J' – эксплуатационная производительность (интенсивность работы) одной машины;

V' – выработка одной машины за срок строительства;

T' – время выполнения всего объёма работ одной машиной.

Практически расчётная интенсивность работ (поток) определяется по выражению:

$$J^P = \frac{V}{T^P} K_{нер}, \quad (7.11)$$

где V – объём работ;

T^P – расчётная продолжительность их выполнения;

$K_{нер}$ – коэффициент неравномерности интенсивности работ, учитывающий конкретные условия строительства и временной уровень рассмотрения (с, мин, ч, смена).

Проектное число ведущих машин принимается из следующих условий:

$$\left. \begin{array}{l} 1) N_{виц}^{\Pi} = E \text{ - целое число;} \\ 2) N_{виц}^{\Pi} \rightarrow N_{виц}^P \text{ - т.е. стремится к расчётному,} \\ \text{но может быть и больше, и меньше его;} \\ 3) N_{мин} \leq N_{виц}^{\Pi} \leq N_{макс}; \\ 4) N_{виц}^{\Pi} \rightarrow N_{мин}. \end{array} \right\} \quad (7.12)$$

Из условия надёжности технологического процесса **VIII-1**

$$N_{мин} \rightarrow 2 \quad (7.13)$$

Из условия возможности размещения машин **I-1**

$$N_{макс} \leq \frac{\Phi}{\Phi'}, \quad (7.14)$$

где Φ – возможный фронт работ на объекте (в любых измерителях);

Φ' – фронт, требуемый для эффективной работы одной машины.

При этом проектный поток

$$J^{\Pi} = \Pi_{виц} N_{виц}^{\Pi} \quad (7.15)$$

и проектный срок строительства (с учетом коэффициента запаса)

$$T^{\Pi} = \frac{V}{J^{\Pi}} K_{нер} K_{зан} \quad (7.16)$$

Расчётное число ведомых машин

$$N_{вм}^P = \frac{J^{\Pi}}{\Pi_{вм}} \quad (7.17)$$

и проектное

$$N_{вм}^{\Pi} \geq N_{вм}^P \quad (7.18)$$

при выполнении условий (7.12).

В заключение отметим, что недостаточное внимание к расчётам числа машин приводит к большим потерям времени и ресурсов.

7.3. Основные критерии выбора молота и копра

Выбор сваебойного оборудования осуществляется таким образом, чтобы обеспечить забивку свай до проектной отметки. Здесь справедливы все общие положения, описанные выше и определяющие выбор любого типа строительных машин, в том числе и сваебойных молотов.

Основные критерии выбора молотов. Выбор молота для забивки свай и свай-оболочек следует производить в соответствии с требованиями [12], исходя из предусмотренной проектом несущей способности свай (свай-оболочек) и их веса.

Как правило, выбор дизельного молота для забивки свай производят по двум критериям - энергии одного удара и коэффициенту применимости молота.

Однако, по мнению авторов, с целью оптимизации выбора дизельного молота необходимо рассмотреть и ряд дополнительных критериев.

Критерий IV-I энергии удара

$$E_d^B \geq E_d^T \quad (7.19)$$

где: E_d^B -возможная энергия удара молота;

E_d^T - требуемая энергия удара молота.

Возможная энергия - это энергия, которую может развить выбираемый молот. Для различных типов молотов определяется по ниже представленным формулам:

а) для подвесных молотов

$$E_d^B = Mh \quad (7.20)$$

б) для трубчатых дизель-молотов

$$E_d^B = 0.9Mh \quad (7.21)$$

с) для штанговых дизель-молотов

$$E_d^B = 0.4Mh \quad (7.22)$$

где M – вес ударной части молота, Н;

h – фактическая высота падения ударной части молота, принимаемая равной:

- а) для трубчатых дизель-молотов – 2,5...2,8 м;
- б) для штанговых дизель-молотов – 1,7...2,2 м;
- с) для штанговых дизель-молотов – 1,7...2,2 м.

Возможную энергию удара можно взять из характеристик молотов.

Требуемая энергия - это энергия, которой должен обладать молот для погружения сваи до обеспечения требуемой несущей способности.

Согласно [17] требуемую энергию удара молота, необходимую для погружения сваи, представим в следующем виде:

$$E_d^T = F_d S_A k_{TC} k_\alpha \quad (7.23)$$

где F_d – несущая способность сваи, кН;

S_A - условный требуемый отказ сваи (0,0322м),

k_{TC} - коэффициент, учитывающий тип сваи,

k_α - коэффициент, учитывающий наклон сваи

Критерий V-I применимости молота (безопасности удара для сваи)

$$k^e \leq k^T, \quad (7.24)$$

где k^e – возможный коэффициент применимости молота;

k^T – требуемый коэффициент применимости молота.

Эти коэффициенты зависят от материала сваи и типа молота, определяются по соответствующей формуле

$$k^e = \frac{(m_1 + m_2 + m_3)}{E_d^e}, \quad (7.25)$$

где m_1 - полная масса молота, кг;

m_2 - масса сваи с наголовником, кг;

m_3 - масса подбабка, кг.

$$k^T = k \cdot k_{mx} \quad (7.26)$$

где k - стандартный коэффициент применимости;

k_{mx} - коэффициент, учитывающий технологию погружения [17].

Значение стандартного коэффициента применимости молота в зависимости от материала свай (или шпунта) следует принимать по таблице 7.1

Таблица 7.1

Значения стандартного коэффициента применимости молота

Тип молота	Коэффициент k , т/кдж, при материале свай		
	железобетон	сталь	дерево
Трубчатые дизель-молоты двойного действия	0,6	0,55	0,5
Молоты одиночного действия и штанговые дизель-молоты	0,5	0,4	0,35
Подвесные молоты	0,3	0,25	0,2

Критерий IV-2 производительности молота

$$S_{a \min}^{\beta} \geq S_a^T, \quad (7.27)$$

где $S_{a \min}^{\beta}$ - возможный отказ сваи по расчёту;

S_a^T - требуемый отказ сваи (0,002 м).

Дополнительные критерии выбора свайных молотов.

Критерий V -2 защиты железобетонных свай

$$\sigma_{усл}^B \geq \sigma_{усл}^T \quad (7.28)$$

$$\sigma_{усл}^B = m_y / A, \quad (7.29)$$

где $\sigma_{усл}^B$ – возможное условное статическое напряжение в свае;

$\sigma_{усл}^T$ – требуемое условное статическое напряжение в свае;

m_y – масса ударной части молота,

A – площадь поперечного сечения сваи.

Критерий V-3 динамических напряжений в свае.

Данный критерий аналогичен предыдущему, но в нём рассматриваются динамические напряжения от удара при условии, что $\sigma_{дин}^T = 33$ МПа для железобетона.

Динамическое напряжение при забивке по формуле Бахолдина [2]

$$\sigma = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{6E_d}{\left(\frac{\delta_{II}}{E_{II}} + \frac{1}{2} \frac{L_c}{E_c}\right) \left(1 + \frac{G}{q}\right) A}}, \quad (7.30)$$

где: δ_{II} , E_{II} – соответственно толщина и модуль упругости

прокладки наголовника,

L_c , E_c – соответственно длина сваи и модуль упругости её материала; G - вес ударной части молота;

q – вес сваи, наголовника и подбавка.

По приближённой формуле сопротивления материалов

$$\sigma_{дин} = \sigma_{ст} K_{дин}, \quad (7.31)$$

при

$$K_{дин} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{\Delta_{ст}}}, \quad (7.32)$$

где $\sigma_{ст}$ – статическое напряжение от веса молота;

$\Delta_{ст}$ – соответствующая ему осадка головы сваи;

$K_{дин}$ – коэффициент динамичности при ударе.

Для оценки напряжений можно использовать также формулу Герсевича [12]

$$\sigma_{дин} = E_c \frac{V_M}{V_y} \quad (7.33)$$

при

$$V_M = \sqrt{2g \frac{E_d}{G}}, \quad (7.34)$$

где V_M и V_y – скорости соответственно движения ударной части молота и распространения продольной ударной волны в свае;
 g – ускорение свободного падения.

Критерий V-I сохранения общей прочности материала сваи

$$\sigma \leq [\sigma], \quad (7.35)$$

где σ и $[\sigma]$ – обобщённое напряжение при изготовлении, транспортировке и забивке сваи и соответствующее допускаемое напряжение в материале.

Критерий III вертикального габарита молота

$$h^B \leq h^T, \quad (7.36)$$

где h^B и h^T – возможная и требуемая высота молота с наголовником.

Здесь h^T выбирается в зависимости от высотных характеристик кранов и копровых устройств, применяемых для обеспечения нормальной эксплуатации молота.

Критерий VII-1 обеспечения безопасности по расстояниям

$$R^B \geq R^T, \quad (7.37)$$

где R^B и R^T – возможное и требуемое расстояния от места забивки до ближайших зданий и сооружений. ($R^T = 25$ м.)

Критерий VII-2 безопасности по ускорениям колебаний

$$1/A^B = 1/A^T, \quad (7.38)$$

где A^B и A^T – возможное и допустимое ускорение колебаний фундамента существующего здания, при котором исключаются опасные значения дополнительных осадок.

Аналогичным образом могут быть записаны критерии, показателями которых являются скорости, амплитуды, частоты колебаний элементов других, кроме фундамента, элементов существующих зданий.

Приведённые критерии позволяют упростить процедуру выбора свайных молотов и выбрать оптимальный вариант решения технической задачи.

Расчёт отказа сваи.

От каждого удара свая погружается на определённую величину, которая называется **отказом**. Отказ является показателем сопротивления сваи вертикальной нагрузке. Серия ударов называется **залогом**, который также может быть использован для определения отказа.

Величина отказа S_a связана аналитической зависимостью с несущей способностью сваи и энергией удара.

Расчёт отказа приведём по методике, описанной в [15]. Формулы для расчёта отказа приведём в несколько видоизменённой записи.

$$S_a = \frac{E_d^B C_1}{F_d (F_d + C_1)} C_2, \quad (7.39)$$

при

$$C_1 = \eta A \quad (7.40)$$

и

$$C_2 = \frac{m_1 + \varepsilon^2 (m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}, \quad (7.41)$$

где S_a – фактический остаточный отказ;

η - коэффициент, зависящий от материала свай, принимаемый по таблице 7.2.

Таблица 7.2

Значения коэффициента по материалу свай

Виды свай	Коэффициент η , кН/м ²
Железобетонные с наголовником	1500
Деревянные без подбабка	1000
Деревянные с подбабком	800

A – площадь, ограниченная наружным контуром сплошного или полого поперечного сечения ствола свай (независимо от наличия у свай острия), м²;

E_d^B - энергия удара принятого молота, кДж, зависящая от типа молота, принимается по его характеристикам или определяется по формулам (7.20) – (7.22).

F_d – несущая способность свай,

ε - коэффициент восстановления удара, принимаемый (при забивке железобетонных свай $\varepsilon^2 = 0,02$);

m_1 – масса молота, т;

m_2 – масса свай и наголовника, т;

m_3 – масса подбабка, т.

Примечание:

1. Несущую способность сваи для выбора молота необходимо рассчитывать при глубине погружения, соответствующей условиям строительного, а не эксплуатационного периода.

2. Расчётный отказ для железобетонных свай длиной свыше 25 м, а также для стальных трубчатых свай следует определять на основе волновой теории удара.

Расчёт КПД удара молота.

Для расчёта КПД удара молота предлагаем следующую формулу

$$\eta_y = \frac{F_d S_a}{E^B}, \quad (7.42)$$

где η_y - КПД удара молота.

Отметим, что при малых F_d значение E^B не реализуется полностью.

В свою очередь

$$E^B = E_M \eta_M, \quad (7.43)$$

при

$$E_M = GH, \quad (7.44)$$

где η_M - КПД молота;

E_M – полная энергия удара на один удар;

G – вес ударной части;

H – высота падения ударной части.

Целесообразно свести необходимые расчёты в таблицу 7.3.

Таблица 7.3.

Определение КПД удара молота

№	$H, м$	$F_d, кН$	$S_a, м$	$E_M, дж$	$E^B, дж$	η_y
---	--------	-----------	----------	-----------	-----------	----------

По результатам расчёта рекомендуется построить графические зависимости отказа сваи и КПД удара молота от глубины погружения сваи:

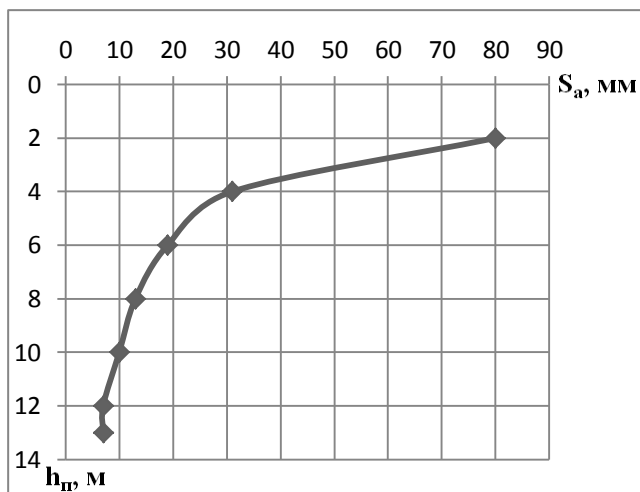


Рис. 7.1. Зависимость отказа сваи S_a от глубины погружения сваи

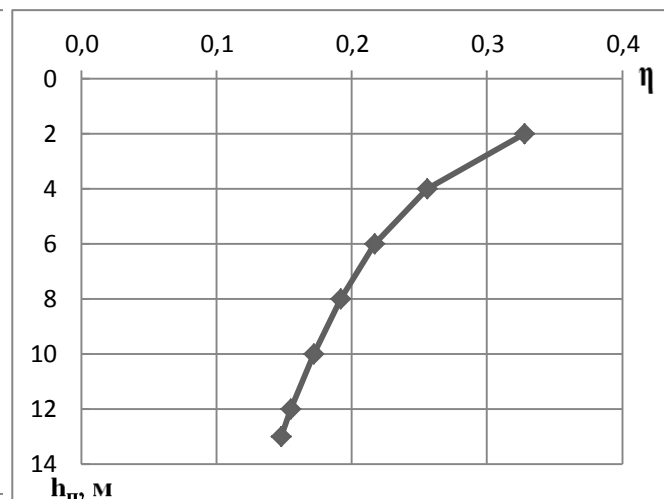


Рис. 7.2. Зависимость КПД удара молота от глубины погружения сваи

Расчёт чистого времени погружения свай.

Чистое время погружения сваи запишем в виде

$$t_{чп} = \int_{l_0}^{l_{II}} \frac{dz}{V(z)}, \quad (7.45)$$

при

$$V(z) = v^* S_a \geq V_{\min}, \quad (7.46)$$

где l_{II} – глубина забивки сваи;

$V(z)$ – скорость погружения сваи;

v^* – частота воздействий (ударов, колебаний) погружателя;

S_a – отказ (подача, т. е. погружение сваи от одного воздействия);

z – ордината (текущая глубина погружения),

l_0 – глубина погружения без забивки, т. е. под собственным весом сваи и молота с наголовником;

V_{\min} – минимальная скорость погружения из условия обеспечения приемлемой производительности.

Интеграл легко вычислить графически, если построить эпюру скоростей по глубине забивки (рис.7.3).

При вибрационном методе отказ (подача) оценивается непосредственно скоростью погружения.

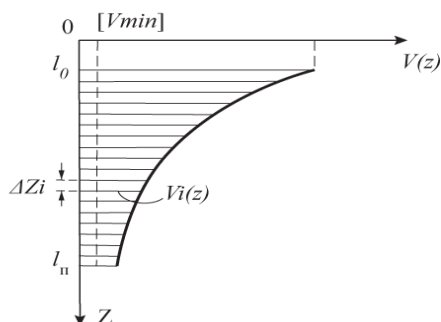


Рис. 7.3. Зависимость скорости забивки сваи от глубины её погружения

На практике рекомендуем применить метод послойного суммирования времени забивки.

Чистое время погружения сваи определяем по формуле

$$t_{\text{чп}} = \sum t_i = \sum \frac{h_i}{V_i}, \quad (7.47)$$

при

$$V_i = S_a \nu, \quad (7.48)$$

где V_i - средняя скорость погружения в данном i -м слое грунта;

ν - частота ударов молота;

t_i - время пробивки i -го слоя.

Все расчёты по определению чистого времени погружения сваи рекомендуется свести в таблицу 7.4.

Таблица 7.4.

№	h_n , м	S_a , м	V_i , м/мин	t_i , мин/сл	$\sum t_i = t_{\text{чп}}$, мин
---	-----------	-----------	---------------	----------------	----------------------------------

По результатам расчетов строятся графические зависимости, примеры которые отображены на рисунках 7.4. – 7.6.

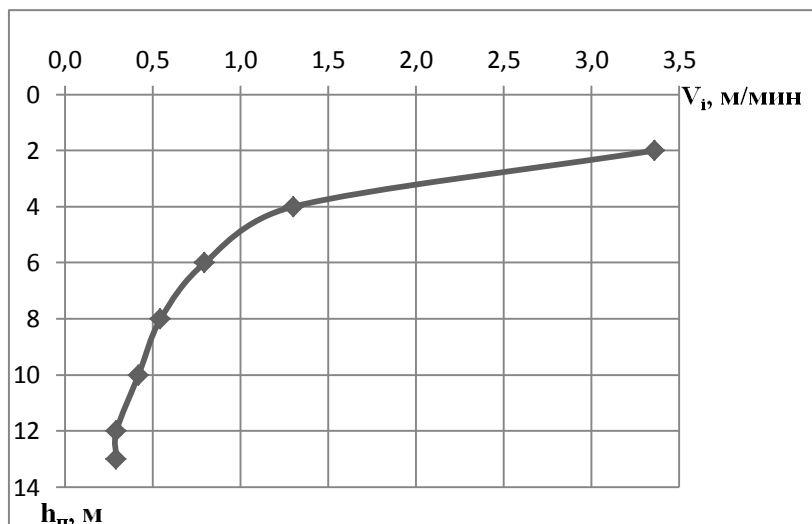


Рис.7.4. Зависимость средней скорости V_i погружения сваи от глубины её погружения

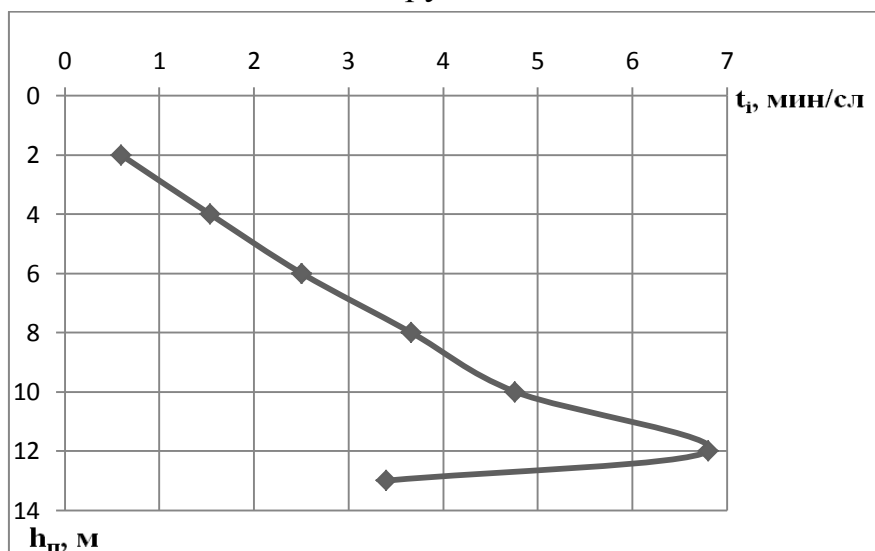


Рис.7.5. Зависимость времени t_i пробивки i -го слоя грунта от глубины погружения сваи

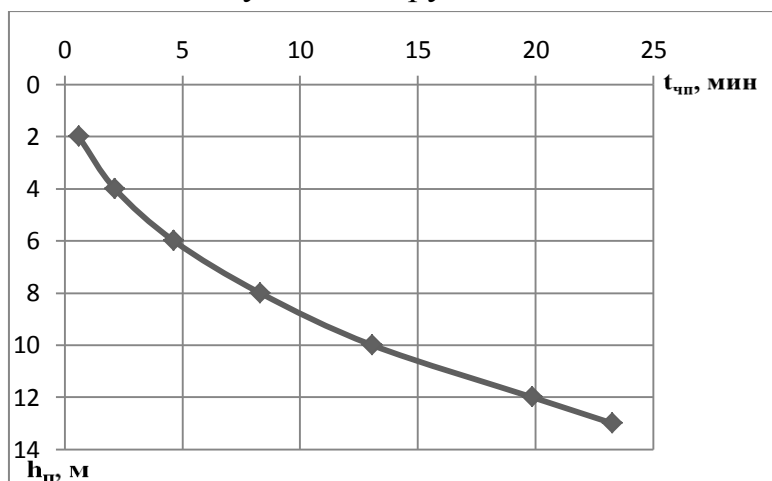


Рис.7.6. Зависимость чистого времени забивки сваи от глубины её погружения

Критерии выбора копров на суше.

Критерий II-1 возможности погружения наклонной сваи

$$i^B \geq i^T, \quad (7.49)$$

где i^B - возможный уклон мачты копра;

i^T - требуемый уклон сваи.

Критерий IV-1 грузоподъемности копра

$$m^B \geq m^T \quad (7.50)$$

где: m^B - возможная масса, которую способен поднять крюк копра;

m^T - максимальная суммарная масса сваи, молота с наголовником и такелажными приспособлениями.

Критерий III-1 высоты подъема крюка (по длине сваи)

$$H^B \geq H^T, \quad (7.51)$$

где H^B - возможная высота подъема крюка;

H^T - требуемая высота подъема крюка:

$$H^T = l_{св} + h_m + \Delta h + h_n + h_T, \quad (7.52)$$

где $l_{св}$ – длина сваи;

h_m – высота молота;

Δh – запас высоты подъема крюка (0.5м)

h_n – высота наголовника;

h_T – высота полиспаста и такелажных приспособлений.

Критерий I-1 вылета мачты копра

$$R^B \geq R^T, \quad (7.53)$$

где R^T и R^B – требуемый и возможный радиусы действия копра (последний зависит от массы груза).

Критерий I-2 ограничения размеров поперечного сечения сваи

$$d^B \geq d^T, \quad (7.54)$$

где d^B – наибольший возможный размер поперечного сечения сваи;
 d^T – то же, для проектной сваи.

Критерий IV-2 проходимости копра

$$\sigma^B \leq \sigma^T, \quad (7.55)$$

где σ – давление на грунт, создаваемое опорной частью копра.

Критерий IV-3 вездеходности копра по значению преодолеваемого уклона местности

$$i_m^B \geq i_m^T, \quad (7.56)$$

где i_m^B – уклон местности, преодолеваемый копром;

i_m^T – требуемый к преодолению уклон местности.

Выбор сухопутного транспортного средства.

Выбор сухопутного транспортного средства осуществляем по следующим критериям:

$$\text{I-1: по длине кузова } l^B \geq l^T; \quad (7.57)$$

$$\text{IV-1: по грузоподъемности } G^B \geq G^T; \quad (7.58)$$

$$\text{IV-2: по объёму кузова } V^B \geq V^T; \quad (7.59)$$

$$\text{IV-3: по скорости хода } v^B \geq v^T. \quad (7.60)$$

7.4. Расчёт технической и эксплуатационной производительности копра.

Техническая производительность погружения сваи [3, 22]

$$P^T = \frac{Q_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}}, \quad (7.61)$$

где $Q_{\text{ц}}$ - объём работы, выполняемый копровой установкой при погружении сваи (в данном случае равен одной свае), св.;

$T_{\text{ц}}$ - время цикла погружения сваи, мин.

Время цикла погружения сваи представим в виде суммы слагаемых

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{чп}} + t_{\text{дон}} \quad (7.62)$$

$$t_{\text{дон}} = t_{\text{см}} + t_{\text{гор}} + t_{\text{вер}} + t_{\text{ус}} + t_{\text{ум}} + t_{\text{он}} + t_{\text{ко}} + t_{\text{рс}} + t_{\text{нм}} + t_{\text{мк}}, \quad (7.63)$$

где $T_{\text{ц}}$ - время выполнения одного цикла погружения сваи;

$t_{\text{чп}}$ - время чистого погружения сваи (см. пункт 5);

$t_{\text{дон}}$ - время выполнения дополнительных операций (по Кладько С.Н.);

$t_{\text{см}}$ - время на строповку сваи и установку отводных блоков (0,5-2 мин);

$t_{\text{гор}}$ - время подтаскивания сваи к копру на длину пути 10...20 м со скоростью 10...30 м/мин;

$t_{\text{вер}}$ - время подъёма сваи на копёр с той же скоростью;

$t_{\text{ус}}$ - время установки сваи в направляющие копра (3-5 мин);

$t_{\text{ум}}$ - время установки наголовника и молота на сваю (1-4 мин);

$t_{\text{он}}$ - время опускания и установки сваи на грунт в проектное положение (1-2 мин);

$t_{\text{ко}}$ - время, затрачиваемое на контроль направления погружения сваи (2-5 мин);

$t_{\text{рс}}$ - время на расстроповку сваи (0,5-1 мин);

$t_{\text{нм}}$ - время на подъем молота и снятие наголовника (1-4 мин);

t_{mk} – время на маневры копра (2-10 мин).

Расчёт эксплуатационной производительности копра.

Для определения эксплуатационной производительности воспользуемся формулой

$$\Pi^{\mathcal{E}} = \Pi^T k_{\epsilon}, \quad (7.64)$$

где k_{ϵ} - коэффициент использования рабочего времени машины, определяемый по формуле:

$$k_{\epsilon} = \frac{1 - \sum \theta_j}{1 + \sum \theta_i} k'_{\epsilon}, \quad (7.65)$$

где: θ_j - относительная потеря времени j-го вида,

θ_i - относительная производительность с учётом потери времени i-го вида,

k'_{ϵ} - дополнительный коэффициент для определения эксплуатационной производительности (ориентировочно 0,95).

$$\theta_j = \frac{T_{\Pi_j}}{T_{O_j}}, \quad (7.66)$$

где T_{Π_j} – относительная потеря времени j-ого вида;

T_{O_j} - общая продолжительность работ, включая потерю времени.

В расчётах необходимо учитывать следующие виды потери времени:

j=1 - ежечасные потери времени;

j=2 - ежеполусменные потери времени;

j=3 - ежесменные потери времени;

Предыдущие потери времени можно ориентировочно принять в размере 5 мин.

j=4 - ежесуточные потери времени;

j=5 - ежемесячные потери времени.

j=6 - потери времени на уход, заправку, профилактику работоспособности машины.

$$\theta_i = \frac{\Pi^T}{\Pi^i}, \quad (7.67)$$

где Π^T - техническая производительность;

Π^i - условная производительность с учетом потери времени i -го вида

$$\Pi^i = \frac{W_i}{T_{\Pi_i}}, \quad (7.68)$$

где W_i - объем основных работ, выполненный до начала потери времени i -го вида.

T_{Π_i} - абсолютная потеря времени i -го вида.

Подставляя (7.70) в (7.69) получаем

$$\theta_i = \frac{\Pi^T T_{\Pi_i}}{W_i}. \quad (7.69)$$

При **i = 1** в расчётах учтём потерю времени на передвижку копра с одной стоянки на другую в пределах одного ряда.

T_{Π_1} - потеря времени на передвижку копра;

W_1 - число свай, погружаемых с одной стоянки.

Определение числа свай, погружаемых с одной стоянки.

В предлагаемом ниже решении для расчёта W_1 вначале определим число шагов свай, погружаемых с одной стоянки копра (рис.7.7).

$$n_{ш} = \frac{B}{b}, \quad (7.70)$$

где B - часть длины свайного ряда, входящая в рабочую зону копра;

b – шаг свай в ряду.

$$B = 2\sqrt{(R_{\max}^B)^2 - (l^T)^2}, \quad (7.71)$$

где R_{\max}^B – наибольший радиус рабочей зоны копра;

l^T – расстояние от оси копра до оси свайного ряда.

$$l^T = l_1 + l_5 + l_4, \quad (7.72)$$

при

$$l_5 = l_2 + l_3, \quad (7.73)$$

где l_i – расстояния, указанные на рис.7.7.

Следует отметить, что величина l_5 зависит от глубины котлована H и типа грунта, и рекомендуется по нормам [17].

Принятое число свай при этом будет соответствовать следующим значениям:

- а) при $n_{\text{ш}} < 2$ будет $W_1 = 1$;
- б) при $2 \leq n_{\text{ш}} < 4$ будет $W_1 = 3$;
- с) при $4 \leq n_{\text{ш}} < 6$ будет $W_1 = 5$ и т.д.

При нахождении оси копра Y между сваями, то принятое число свай при этом будет соответствовать следующим значениям:

- а) при $n_{\text{ш}} < 1$ будет $W_1 = 0$;
- б) при $1 \leq n_{\text{ш}} < 3$ будет $W_1 = 2$;
- с) при $3 \leq n_{\text{ш}} < 5$ будет $W_1 = 4$ и т.д.

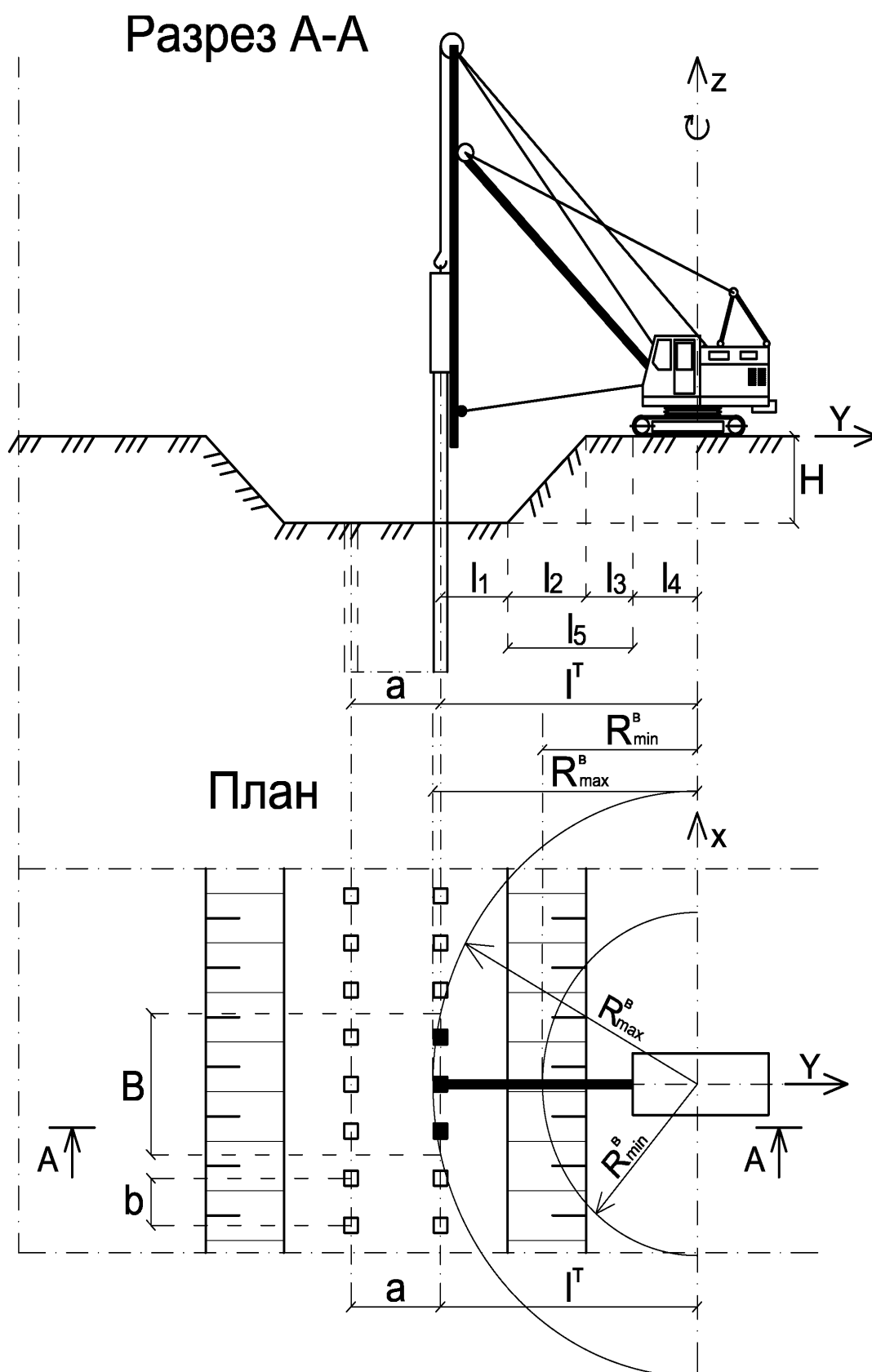


Рис.7.7. Технологическая схема погружения свай
 Определим другие случаи потери времени:

i = 2 - учёт потери времени на передвижку копра с одного свайного ряда на другой в пределах одной секции свайного поля.

$T_{П_2}$ – потеря времени на передвижку копра;

W_2 – число свай в одном ряду в пределах секции.

i = 3 учёт потери времени на передвижку копра на следующую секцию свайного поля.

$T_{П_1}$ – потеря времени на передвижку;

W_3 – число всех свай в предыдущей секции.

$$W_3 = W_2 n_{ряд} \quad (7.74)$$

i = 4 - учёт потери времени на замену транспортных средств доставки свай.

$T_{П_4}$ – потеря времени на замену транспортных средств;

W_4 – число свай, доставляемых в одном транспортном средстве (ТС) с учётом грузоподъёмности.

$$W_4 = \min \left\{ \frac{G^B}{m_{св}}; \frac{V_{ТС} \eta_V}{V_{CB}} \right\}, \quad (7.75)$$

где G^B - возможная грузоподъёмность ТС;

$m_{св}$ – масса сваи;

$V_{ТС}$ – объём кузова ТС;

η_V – КПД использования объёма кузова ТС;

V_{CB} – объём сваи.

В том случае, если сваи доставлены заранее и разложены по местам погружения, то случай при **i = 4** не рассматривается.

i = 5 - учёт потери времени на переход с одного участка на другой участок.

i = 6 - учёт потери времени на переход с одного объекта на другой объект.

Далее, определив по ТЕРам или ЕНиРам норму времени $H_{вр}$, находим нормативную эксплуатационную производительность, (св/час).

$$P_n^э = \frac{1}{H_{вр}} \quad (7.76)$$

По окончании необходимо сравнить результаты и сделать соответствующие выводы.

Расчёт времени выполнения свайных работ.

Время выполнения свайных работ определяем по формуле

$$T = \frac{N_{св}}{P^э} k_{зан}, \quad (7.77)$$

где $N_{св}$ - число свай,

$k_{зан}$ - коэффициент запаса времени выполнения работ (в первом приближении рекомендуется принимать равным 1,1).

Таким образом завершена расчётная часть курсового проекта по забивным сваям.

ВЫБОР И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ВИБРОПОГРУЖЕНИЯ СВАЙ

При устройстве свайного фундамента в условиях крупного мегаполиса одной из основных задач является сведение к минимуму негативного воздействия строительства на окружающую среду. В частности, это касается динамического и шумового воздействий.

При применении вибропогружателей для погружения свай вблизи существующих зданий и сооружений необходимо, прежде всего, оценить опасность динамических воздействий на них, исходя из влияния колебаний на деформации грунтов оснований близлежащих зданий и сооружений, технологические приборы и оборудование. Кроме того, необходимо сравнить уровень колебаний при вибропогружении с допустимым по санитарным нормам, приведённым в таблице 8.1.

Таблица 8.1.

Допустимые скорости колебаний вибросистем

Конструкции зданий и сооружений	Допустимые скорости колебаний, см/с, при грунтах основания		
	Пески		
	плотные	средней плотности	рыхлые
	Глинистые грунты при показателе текучести		
	$I_L < 0,5$	$0,5 \leq I_L \leq 0,75$	$I_L > 0,75$
Монолитные железобетонные и каркасные со стальным каркасом	6,0	4,5	1,5
Каркасные с рамным каркасом из монолитного железобетона	4,0	2,0	0,7
Кирпичные блочные и панельные	3,0	1,5	0,5

Значения скорости колебаний V , см/с, зданий и сооружений вычисляют по формуле

$$V = 2\pi\alpha\nu, \quad (8.1)$$

где α и ν - соответственно амплитуда и частота колебаний, определяемые экспериментально при пробном погружении свай.

Оценку влияния динамических воздействий на деформации оснований, сложенных горизонтальными, выдержанными по толщине слоями песка (допускается уклон поверхности не более 0,2), кроме водонасыщенных мелких и пылеватых, можно не производить при вибропогружении свай на расстоянии до зданий и сооружений свыше 25 м (шпунта — свыше 10 м).

В случае необходимости погружения свай и шпунта на меньших расстояниях до зданий и сооружений должны быть приняты меры по уменьшению уровня и непрерывной продолжительности динамических воздействий. С этой целью используются следующие технологии [23, 24]:

- а) погружение свай в лидерные скважины;
- б) чередующееся погружение ближайших и более удалённых свай от зданий и др.

При этом необходимо проводить геодезические наблюдения за осадками близлежащих зданий и сооружений.

8.1. Классификация и критерии выбора вибропогружателей.

Процесс вибропогружения происходит по принципу преодоления сопротивления поверхностного трения с помощью «разжижения» грунта вибрацией.

Действие вибропогружателя состоит в создании направленных продольных усилий синхронным и противоположно направленным вращением дебалансов.

Генерируемые в возбуждательной коробке вибропогружателя колебания передаются через зажимы на погружаемый элемент. Плотный прилегающий к погружаемому элементу грунт колеблется с меньшей

частотой и теряет сцепление с ним, не создавая больше помех для погружения. Таким образом, вибрация погружаемого ствола сваи снижает трение сваи по грунту и обеспечивает быстрое её погружение в несвязные грунты. В водонасыщенных грунтах вибрация приводит к образованию временной водяной прослойки между сваей и грунтом, что значительно сокращает трение и упрощает процесс погружения.

Характерной особенностью вибропогружения является возможность заглубления сваи-оболочки, масса которой в 5...10 раз превышает массу вибропогружателя, тогда как при забивке сваи молот должен иметь массу ударной части не менее половины массы сваи.

Наиболее важными критериями при вибропогружении свай являются центробежная сила, статический момент, частота и амплитуда, величины которых, их сочетание и возможность изменения определяются конструкцией вибропогружателя.

Оборудование для вибропогружения свай включает в себя следующие элементы:

- a) вибропогружатель,
- b) наголовник для его жёсткого крепления к свае,
- c) направляющий каркас,
- d) технические средства извлечения грунта из полости погружаемой сваи.

В практике применяются различные типы вибропогружателей:

- a) направленного действия;
- b) с пригрузочной подрессорной плитой;
- c) вибромолоты;
- d) низкочастотные;
- e) вибророторы двойного действия;
- f) вибровдавливатели;
- g) виброкабестаны.

Однако при определении типа вибропогружателя могут возникнуть трудности с его выбором и это, в свою очередь, несомненно, отразится на производительности труда и интенсивности строительства.

Одним из важнейших направлений повышения производительности труда при устройстве свайного фундамента вибропогружением является, по нашему мнению, оптимальный выбор вибропогружателя свай, который определяется некоторым рядом критериев [3, 4].

Критерии выбора вибропогружателей.

В [4] приведены основные условия выбора вибропогружателей свай, которые мы приводим ниже в несколько преобразованной записи.

Критерий IV – I вынуждающей силы вибропогружателя

$$F_0^B \geq F_0^T, \quad (8.2)$$

где F_0 - вынуждающая сила вибропогружателя;

B - индекс возможной величины;

T - индекс требуемой величины.

Значение требуемой вынуждающей силы вибропогружателя F_0^T , кН, определяем по формуле

$$F_0^T = \frac{F_d - K_{вс} G_{вс}}{k_s}, \quad (8.3)$$

при

$$k_s = \frac{k_{s,w} k_{s,зр}}{k_{s,ул} k_{s\rho}}, \quad (8.4)$$

где F_d - несущая способность свай;

$K_{вс}$ - коэффициент условий вибропогружения свай, равный 2,8;

$G_{вс}$ - суммарный вес вибросистемы, включая вибропогружатель, свайный элемент и наголовник, кН;

k_s - коэффициент снижения бокового сопротивления грунта во время вибропогружения;

$k_{s,зр}$ - коэффициент влияния характеристик грунта принимаемый по таблице 1 [17] (ориентировочно для песчаных влажных грунтов средней плотности – 2,6...6,2, от гравелистых до мелких и для глинистых – 1,3...3,5 с показателем текучести от 0 до 0,8);

$k_{s,w}$ - коэффициент влияния водонасыщения песков, принимается соответственно:

- а) крупные пески – 1,2;
- б) средние – 1,3;
- с) мелкие и пылеватые – 1,5;

$k_{s,ил}$ - коэффициент влияния заиления песков (для заиленных – 1,2);

$k_{s\rho}$ - коэффициент влияния плотности песков, принимается соответственно:

- а) для плотных – 1,2;
- б) для рыхлых – 0,9.

Необходимое значение минимальной вынуждающей силы вибропогружателя F_0 окончательно принимается:

- а) при погружении свай-оболочек (с извлечением грунта из внутренней полости в ходе погружения) - не ниже $1,3 G_{вс}$;
- б) при погружении полых свай без извлечения грунта – $2,5 G_{вс}$.

Критерий IV-2: другое значение требуемой вынуждающей силы

$$F_0^T \geq K_{TC_1} G_{вс}, \quad (8.5)$$

где K_{TC_1} - коэффициент для трубосвай, принимается равным:

- а) 1,3 – при извлечением грунта;
- б) 2,5 – без извлечения.

Критерий IV-3 статического момента массы дебалансов

$$K_m^в \geq K_m^T \quad (8.6)$$

Здесь

$$K_m^T = \frac{M_{вс} A_0^T}{K_{TC_2}}, \quad (8.7)$$

где $M_{вс}$ - суммарная масса вибропогружателя, свай и наголовника, кг;

$K_{ТС_2}$ - коэффициент для полых свай и свай-оболочек с извлечением грунта из внутренней полости, равный 1,2;

A_0^T - необходимая амплитуда колебаний при отсутствии сопротивлений грунта, см, принимается по табл. 2 [17]. Для грунтов от водонасыщенных песков и илов до гравелистых песков и твёрдых глин:

а) от 0,7см до 1,4 см при глубине погружения до 20 метров;

б) от 0,9см до 1,6см – при глубине погружения свыше 20 метров.

При окончательном выборе типа вибропогружателя следует учитывать, что при равной вынуждающей силе большей погружающей способностью обладает вибропогружатель с большим статическим моментом массы дебалансов K_m , а при прочих равных условиях следует выбирать вибропогружатель с регулируемыми в процессе работы параметрами.

Ниже приведены дополнительные, по сравнению с нормативными документами, критерии выбора вибропогружателей.

Критерий IV-4 скорости чистого погружения

$$v^в \geq v^T, \quad (8.8)$$

где $v^в$ - возможная скорость вибропогружения свай;

v^T - требуемая скорость вибропогружения.

По мнению авторов, значение требуемой скорости вибропогружения v^T можно принять в пределах от 0,1 м/мин до 0,2 м/мин.

Величину возможной скорости вибропогружения определяют по формуле (м/мин):

$$\nu_1^e = \frac{C_e \lambda}{30} - F_d \frac{C_e^2}{15(150N + G_{ec} C_e)}, \quad (8.9)$$

при

$$C_e = An \quad (8.10)$$

где: C_e - характеристика вибрации;

A - половина размаха колебаний верха сваи, м;

n - число оборотов эксцентриков в мин.;

λ - коэффициент, учитывающий отношение статического сопротивления грунта к динамическому при вибропогружении, согласно литературе [4] принимается:

а) для песчаных грунтов – 2,0...6,8;

б) для глинистых – 2,0...4,5;

согласно другим данным рекомендуется:

а) для песков и супесей - 4,5...3,0 от водонасыщенных до маловлажных;

б) для суглинков - 4,0...2,5;

с) для глин - 3,0...2,0 при показателе текучести от 0,75 до 0,25.

N - полезная величина мощности, расходуемая на погружение сваи, кВт;

G_{ec} - суммарный вес вибросистемы (вес сваи и вибратора с наголовником), т.

$$N = N_{\partial e} \eta_{\partial e} - N_x \quad (8.11)$$

при

$$N_x = \varphi N_{наспорт}, \quad (8.12)$$

где $N_{\partial e}$ - полная потребляемая активная мощность в конце погружения, определяемая ваттметром, кВт;

$\eta_{\partial\partial}$ - КПД электродвигателя вибропогружателя (по рекомендациями [4] принимается равным от 0,8 до 0,9);

N_x - потребляемая мощность холостого хода, кВт;

φ - доля паспортной мощности (равная 0,25 для низкочастотных вибропогружателей);

$N_{\text{паспорт}}$ - паспортная мощность электродвигателя, кВт.

Значение возможной скорости вибропогружения V^6 также можно определить по обобщённой формуле, рекомендованной как для метода забивки, так и для метода вибропогружения, например [4]

$$v_3^6 \leq \frac{\eta F E_d}{\frac{F_d}{M} \left(\frac{F_d}{M} + \eta F \right)} \frac{Q_n + \varepsilon^2 (q + q_1)}{Q_n + q + q_1}, \quad (8.13)$$

где v_3^6 - возможная скорость вибропогружения, м/мин;

η -коэффициент, тс/м², зависящий от типа свай, согласно [17] принимается:

- а) для железобетонных свай с наголовником – 150 тс/м²;
- б) для деревянных – (80 – 100) тс/м²;
- с) для стальных с наголовником - 500 тс/м²;

E_d - расчётная энергия удара, тс*м, зависящая от величины вынуждающей силы и принимаемая в пределах от 450 тс*м до 3500тс*м соответственно для значений вынуждающей силы от 10 тс до 80тс [17];

M - коэффициент, вводимый для метода вибропогружения, зависящий от вида грунта и принимаемый в пределах 0,7 -1,3 (меньшее значение соответствует глинистым грунтам, большее – гравийным) [17];

Q_n - полный вес вибропогружателя, тс;

\mathcal{E} - коэффициент восстановления удара, при применении вибропогружателей равен нулю;

Q - вес сваи и наголовника, тс;

Q_1 - вес подбабка при использовании вибропогружателя равен нулю;

Критерий IV-5 чистого времени погружения

$$\frac{1}{t_{чп}^{\varepsilon}} \geq \frac{1}{t_{чп}^T}, \quad (8.14)$$

где $t_{чп}^{\varepsilon}$ - возможное значение чистого времени вибропогружения;

$t_{чп}^T$ - требуемое значение чистого времени вибропогружения.

Чистое время вибропогружения свай запишем в виде

$$t_{чп} = \sum \frac{h_i}{v_i}, \quad (8.15)$$

где h_i - толщина расчётного слоя, м;

v_i - среднее значение скорости погружения при прохождении свай i -го слоя, определяемое по приведённым выше формулам возможных скоростей для различных глубин погружения свай, м/мин.

Критерий IV-6 производительности

$$P^{\varepsilon} \geq P^T, \quad (8.16)$$

где P^{ε} - эксплуатационная производительность вибропогружения свай.

Основные положения по расчётам эксплуатационной производительности изложены в литературе [1, 3, 11, 22, 23, 24].

Критерий V-1 сохранение прочности материала свай при вибропогружении (сравнение возникающих сжимающих напряжений)

$$\sigma^{\epsilon} \leq \sigma^T, \quad (8.17)$$

где σ - нормальные напряжения в поперечном сечении материала сваи в процессе вибропогружения.

$$\sigma^T = [\sigma], \quad (8.18)$$

где $[\sigma]$ - допустимое нормальное напряжение.

При сжатии возможные нормальные напряжения определяем по формуле:

$$\sigma_c^{\epsilon} = \frac{F_0^{\epsilon} + G_{\text{вс}}}{F} \quad (8.19)$$

где: F_0^{ϵ} - возможная вынуждающая сила вибропогружателя т;

$G_{\text{вс}}$ - суммарный вес вибросистемы (вес сваи и вибратора с наголовником), т;

F - площадь поперечного сечения ствола сваи, м².

При растяжении возможные растягивающие напряжения определяем по следующей формуле:

$$\sigma_p^{\epsilon} = \frac{F_0^{\epsilon} - Q_n}{F} \quad (8.20)$$

Критерий V-2 сохранение прочности материала сваи оболочки при разрыве внутренним давлением жидкости, заполняющей полость при вибропогружении (сравнение возникающих растягивающих напряжений)

$$\sigma_{\text{раз}}^{\epsilon} \leq \sigma_{\text{раз}}^T. \quad (8.21)$$

где $\sigma_{раз}^6$ - возможное напряжение разрыва при вибропогружении, вызываемое явлением гидравлического удара жидкости, заполняющей внутреннюю полость оболочки во время вибропогружения.

Жидкостью может быть вода акватории, и даже слабые грунты в текучем состоянии, например илы. Здесь возможные напряжения разрыва оцениваются специальными расчётами. Однако при применении различных технологических мероприятий, защищающих трубчатую сваю от явлений гидравлического удара, они могут быть снижены.

По нашему мнению, значимость таких проверок на прочность и устойчивость (в общем случае – надёжность) элементов сооружений непосредственно в процессе строительства сегодня существенно возрастает, поскольку возрастает со временем динамичность строительных технологий.

8.2. Критерии выбора копра при вибропогружении свай

Для выбора копра с вибропогружателем применяем те же критерии, что и для выбора копра с молотом.

Особенностью выбора первых является возможность присоединения вибропогружателей к свае при её горизонтальном положении. В этом случае рассмотрим критерий грузоподъёмности крюка копра.

Критерий III-1 грузоподъёмности крюка копра

$$G^6 \geq G^T. \quad (8.22)$$

где G^6 – возможная грузоподъёмность крюка копра (зависит от вылета крюка), т;

G^T – требуемая грузоподъёмность крюка копра, равная суммарной массе сваи, наголовника, вибропогружателя и такелажных приспособлений.

8.3. Определение основных параметров при вибропогружении свай

А. Графическое определение амплитуды колебания

Амплитуда колебания A (мм) определяется зависимостью

$$A = f(h), \quad (8.23)$$

где h – глубина вибропогружения, м.

Диаграмма «Амплитуда - глубина забивки» показывает минимальный диапазон амплитуды, необходимый для достижения определённой глубины забивки.

Как видно из диаграммы, для несвязных грунтов значения диапазона амплитуды колебания могут быть меньше по сравнению со связными.

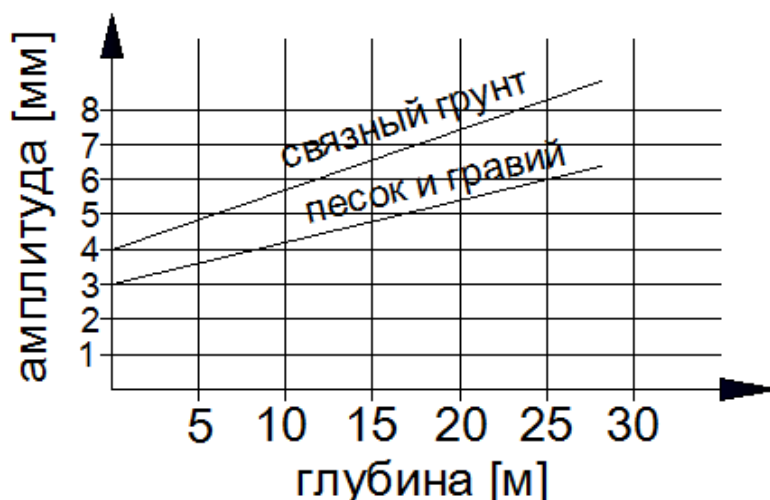


Рисунок 8.2. Диаграмма «Амплитуда- глубина забивки».

Зная значения вызванных амплитуд, легко определяется статический момент $M_{ст}$ требуемого вибратора из формулы

$$A = \frac{M_{ст}}{G_{вс}}, \quad (8.24)$$

где $G_{вс}$ - суммарный вес вибросистемы, включая вибропогружатель, свайный элемент и наголовник.

При пластичном и водонасыщенном грунте значение общей амплитуда (2A) может быть меньше, чем при связном грунте. Однако следует иметь в виду, что она не должна быть менее 6 мм при условии свободного колебания в грунте без учёта демпфирования.

Дополнительными вспомогательными данными для определения расчётных характеристик при вибропогружении свай являются содержание воды в почве, плотность напластования, структура грунта и возможные используемые вспомогательные инструменты.

Б. Графическое определение центробежной силы

Центробежная сила $G_{\text{с}}$ вибропогружателя определяется зависимостью

$$G_{\text{с}} = f(h), \quad (8.25)$$

где h – глубина вибропогружения свай, м.

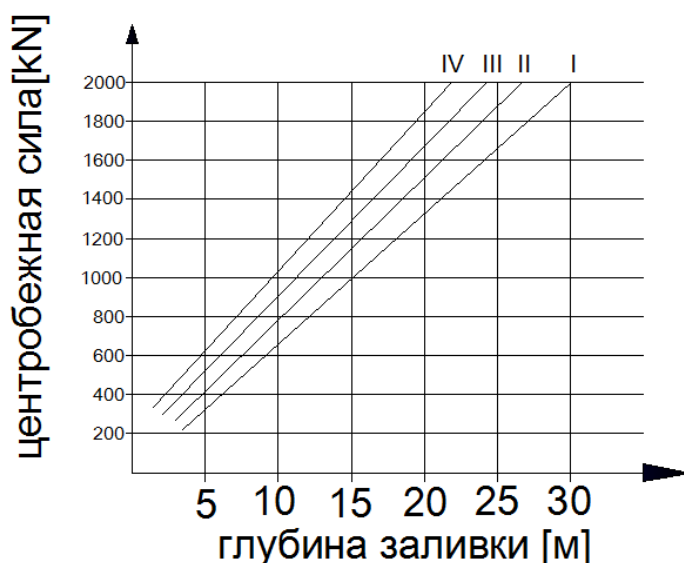


Рисунок 5.9.3. Диаграмма «Центробежная сила- глубина забивки».

На диаграмме представлены четыре рода грунта, характеристики которых указаны в таблице 8.2.

Таблица 8.2.

Характеристики грунта по плотности и твёрдости

Группа грунта	Песок и гравий	Связный и илистый грунт
I	Рыхлый	Мягкий
II	Средний	Пластичный
III	Плотный	Твёрдый
IV	Очень плотный	Очень твёрдый

Как видно из диаграммы при одной и той же глубине вибропогружения значение центробежной силы должно быть выше при погружении в грунты с большей плотностью.

В. Особенности расчёта несущей способности

Расчёт несущей способности свай при вибропогружении проводится по методике определения несущей способности висячей забивной свай в соответствии с [15]. При этом все значения необходимых коэффициентов принимаются в соответствии с особенностями применяемой технологии вибропогружения.

8.4. Расчёты технической и эксплуатационной производительности***Расчёт технической скорости погружения***

Скорость чистого вибропогружения V^6_1 (см/мин) определяем по формуле (8.9). Расчёт технической производительности выполняем по методике, описанной в главе 7.

Расчёт эксплуатационной производительности

Для расчёта значения эксплуатационной производительности по формуле (8.15) определим чистое время вибропогружения свай, непосредственно величину эксплуатационной производительности — по методике, используемой при погружении свай забивкой и описанной в главе 7.

ВЫБОР И РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ЗАВИНЧИВАНИЯ СВАЙ

Ключевыми критериями оптимального выбора технологии и машин для завинчивания свай является требуемый крутящий момент $M_{кр}$ и длина свай L [10]. Зная необходимые значения этих величин, ранее выбирали соответствующие машины.

Однако в действительности существуют и другие критерии, влияющие на оптимальный выбор кабестана и копровой (либо крановой) установки. Приведём основные из них.

9.1. Выбор свайного кабестана

Критерий I-1 возможного диаметра захватного устройства кабестана

$$d^B \geq d^T, \quad (9.1)$$

где d^B - возможная величина диаметра захватного устройства кабестана;

d^T - диаметр ствола свай или её наголовника (переходника).

Критерий II-1 возможности завинчивания наклонных свай.

$$\alpha^6 \geq \alpha^T, \quad (9.2)$$

где α^6 - возможное значения угла наклона свай;

α^T - требуемое значение угла наклона свай.

Критерий IV-1 крутящего момента, создаваемого кабестаном на оси свай

$$M_{кр}^B \geq M_{кр}^T, \quad (9.3)$$

где $M_{кр}^B$ - значение возможного крутящего момента,

$M_{кр}^T$ - значение требуемого крутящего момента.

Критерий IV-2 одновременного вдавливающего усилия

$$P^B \geq P^T, \quad (9.4)$$

где P^B - возможное значение одновременного вдавливающего усилия;

P^T - требуемое значение одновременного вдавливающего усилия.

Критерий IV-3 возмущающей силы при применении вибропогружателя

$$F_0^B \geq F_0^T, \quad (9.5)$$

где F_0^B - возможная величина возмущающей силы вибропогружателя,

F_0^T - требуемая величина возмущающей силы вибропогружателя.

Критерий IV-5 скорости погружения сваи:

$$v^B \geq v^T \quad (9.6)$$

где: v^B - значение возможной скорости погружения сваи,

v^T - минимальная требуемая скорость (по аналогии с забивкой может быть принята ориентировочно равной 0.1м/мин).

Критерий V-1 общей прочности материала винтовой сваи.

Прочность материала сваи должна быть обеспечена на всех стадиях её создания, транспортирования, погружения и эксплуатации.

9.2. Выбор копровой (крановой) установки.

Критерий II-1 максимального радиуса действия

$$R_{\max}^B \geq R_{\max}^T, \quad (9.7)$$

где R_{\max}^B - значение возможного максимального радиуса действия копровой установки (зависит от поднимаемого груза);

R_{\max}^T - значение требуемого максимального радиуса действия копровой установки (см. также главу 7).

Критерий II -2 минимального радиуса действия

$$R_{\min}^B \leq R_{\min}^T, \quad (9.8)$$

где R_{\min}^B - значение возможного минимального радиуса действия копровой установки;

R_{\min}^T - значение требуемого минимального радиуса действия копровой установки.

Критерий III - 1 возможной длины сваи

$$L^B \geq L^T, \quad (9.9)$$

где L^B - значение возможной длины сваи;

L^T - значение требуемой длины сваи.

Критерий IV-1 крутящего момента, создаваемого кабестаном на оси сваи

$$M_{кр}^B \geq M_{кр}^T, \quad (9.10)$$

где $M_{кр}^B$ - возможный крутящий момент, который требует специального уравновешивающего реактивного действия со стороны копра (крана);

$M_{кр}^T$ - требуемый крутящий момент.

Критерий IV-2 грузоподъёмности копра

$$G^B \geq G^T, \quad (9.11)$$

где G^B - возможное значение грузоподъёмности копра (зависит от вылета стрелы),

G^T - масса сваи с наголовником и погружающим

оборудованием.

Критерий IV-3 одновременного вдавливающего усилия

$$P^B \geq P^T, \quad (9.12)$$

где P^B - возможное вдавливающее усилие, которое требует специального уравнивающего реактивного действия со стороны копра;

P^T - требуемое вдавливающее усилие.

Критерий IV-2 проходимости копра

$$\sigma^B \leq \sigma^T, \quad (9.13)$$

где σ - давление на грунт, создаваемое опорной частью копра.

Критерий IV-3 вездеходности копра по значению преодолеваемого уклона местности

$$i^B \geq i^T, \quad (9.14)$$

где i^B - уклон местности, преодолеваемый копром;

i^T - требуемый к преодолению уклон местности.

9.3. Расчёт чистого времени завинчивания свай.

Вначале определим необходимое число оборотов для завинчивания сваи по формуле

$$N_{об} = \frac{h_n}{a_l \eta}, \quad (9.15)$$

где: h_n – глубина погружения сваи;

a_l – шаг винтовой лопасти;

η - коэффициент полезного действия, рекомендуемый к принятию в первом приближении равным 0,9.

Далее определим время, затраченное на один оборот сваи, по одной из формул

$$t_{об} = \frac{2\pi R}{V_{хода}} \quad (9.16)$$

или

$$t_{об} = \frac{1}{V}, \quad (9.17)$$

где $V_{хода}$ - скорость хода конца рычага для завинчивания свай;

R - длина рычага от оси сваи;

V - частота оборотов сваи, создаваемая кабестаном.

Тогда время чистого погружения сваи легко определится по предлагаемой ниже формуле:

$$t_{чн} = t_{об} N_{об} \quad (9.18)$$

Расчёты технической и эксплуатационной производительности и времени выполнения работ произведём аналогично методике, приведённой в главе 7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев С.И. Основания и фундаменты: Учебное пособие. СПб.: Изд-во ПГУПС, 2007. 111 с.
2. Бахолдин Б.В., Игонькин Н.Т. К вопросу о сопротивлении грунта по боковой поверхности сваи. В сб.: Основания, фундаменты и подземные сооружения. Труды НИИОСП, вып. 58, 1968. С. 42 – 48.
3. Булатов Г.Я. Введение в общую теорию технологий (на примере строительства). Учебное пособие. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2003. 175 с.
4. Булатов Г.Я., Колосова Н.Б. Критерии выбора вибропогружателя. Инженерно-строительный журнал, 2011, №1. С. 32–39.
5. Владимирский С.Р. Механизация строительства мостов: Учебное пособие. СПб.:Изд-во ДНК, 2005. 152 с.
6. ГОСТ 27751—88. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту.
7. Грехов И.В., Гольденберг И.Н. Конструкции опор временных железнодорожных мостов: Учебное пособие. М.: Изд-во «Евросервис-ООО», 2000. 144 с.
8. Губин А.В. и др. Строительство искусственных сооружений: Учебное пособие. СПб.: ВТИ ЖДВ и ВОСО, 2011. 472с.
9. Далматов Б.И. и др. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений: Учебное пособие. М.: Изд-во АВС, 2001. 440с.
10. Железков В.Н. Винтовые сваи в энергетических и других отраслях строительства. СПб.: Изд-во Прагма, 2004. 126 с.
11. Мангушев Р.А и др. Современные свайные технологии, учеб. пособие-СПб: Изд-во СПбГАСУ, 2007. 160 с.
12. Руководство по проектированию свайных фундаментов. НИИОСП им. Н.М. Герсевича. М.: Стройиздат 1980. 391 с.
13. СНиП 3.01.01-85*. Организация строительного производства: Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2000.
14. СП 22.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.01 – 83* «Основания зданий и сооружений». Утвержден Приказом Минрегиона РФ № 823 от 28.12.10 г.
15. СП 24.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03 – 85 «Свайные фундаменты». Утвержден Приказом Минрегиона РФ № 786 от 20.05.11 г.

16. СП 25.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 2.02.04 – 88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Утвержден Приказом Минрегиона РФ № 620 от 29.12.11 г.

17. СП 45.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.02.01 – 87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». Утвержден Приказом Минрегиона РФ № 635 от 29.12.11 г.

18. СП 48.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 12-1-2004 «Организация строительства». Утвержден Приказом Минрегиона РФ № 781 от 20.05.11 г.

19. СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений». Одобрен для применения постановлением Госстроя России № 28 от 09.03.04 г.

20. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов». Одобрен для применения постановлением Госстроя России № 96 от 21.06.03 г.

21. СП 70.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 3.03.01 – 87 «Несущие и ограждающие конструкции». Утвержден Приказом Минрегиона РФ № 465 от 25.11.11 г.

22. Телешев В.И., Ватин Н.И., Марчук А.Н., Комаринский М.В. Производство гидротехнических работ. Часть 1. Учебник для вузов. М. : Изд-во АСВ, 2010. 432 с.

23. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А. Технология строительных процессов. Учебник для вузов. Часть 1. М. : Изд-во Высшая школа, 2008. 392 с.

24. Терентьев О.М., Данилов Н.Н. Технология строительных процессов. Учебник для ВУЗов. М.: Изд-во «Высшая школа», 2001. 464 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

НОМЕНКЛАТУРА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ

Таблица П 1.1

Номенклатура забивных железобетонных свай

Сваи	Ширина грани или диаметр свай, см	Длина свай, м	Исходная рабо- чая документа- ция
Цельные квадратного сплошного сечения с ненапрягаемой армату- рой	20	3 - 6	Серия* 1.011.1- 10 вып. 1
	25	4,5 - 6	
	30	3 - 12	
	35	8 - 16	
	40	13 - 16	
То же, с поперечным армированием ствола с напрягаемой арматурой	20	3 - 6	ГОСТ 19804.2
	25	4,5 - 6	
	30	3 - 15	
	35	8 - 20	
	40	13 - 20	
То же, без поперечного армирования ствола	25	5 - 6	ГОСТ 19804.4
	30	3 - 12	
Составные квадр. сплош. сечения с попе- речным армир. ствола	30	14 - 20	Серия* 1.011.1- 10 вып. 8
	35	14 - 24	
	40	14 - 28	
Цельные квадратного сечения с круглой по- лостью	25, 30, 40	3 - 8	ГОСТ 19804.3
Цельные полые круг- лые сваи и сваи- оболочки	40, 50, 60 80, 100, 120, 160	4 - 18 6 - 12	ГОСТ 19804.5
Составные полые круг- лые сваи и сваи- оболочки	40	14 - 26	ГОСТ 19804.6
	50	14 - 30	
	60	14 - 40	
	80, 100, 120, 160	14 - 48	
Сваи-колонны: - квадратного сечения	20	5 - 8	Серия* 3.015-5
	30	5 - 12	
	35	5 - 16	
	40	8 - 16	
- двухконсольные	20	5 - 6,5	Серия* 1.821.1-2
	30	5 - 7,5	
- полые круглые	40, 50, 60, 80	5 - 18	Серия* 3.015-5
* Типовые строительные конструкции, изделия и узлы. Рабочие чертежи. ФГУП ЦПП			

Таблица П 1.2

Номенклатура буронабивных свай

Тип сваи	Способ изготовления свай	Диаметр свай*, мм	Класс бе- тона	Длина свай, м
БСС	Вращательным бурением в устойчивых глинистых грунтах без закрепления стенок скважин	500/1200	В15 - В22,5	10 - 30
		500/1400		
		500/1600	В15 - В22,5	
		600/1600		
		800/1800	В15 - В22,5	
		1000	В15	
		1200	В15	
БССм	То же	400 500	В15	2 - 4
БСВг	Вращательным бурением в неустойчивых грунтах с закреплением стенок скважин глинистым раствором	600/1600	В15 - В22,5	8 - 20
БСВо	Вращательным и ударно-канатным бурением в неустойчивых грунтах с закреплением стенок скважин трубами, оставляемыми в грунте	600/1600 800/1800	В15 - В22,5	8 - 30
БСИ	То же, с извлечением инвентарных обсадных труб	880	В15	8 - 50
		980		
		1080		
		1180		
* Перед чертой указан диаметр ствола свай, за чертой - диаметр уширения				

РАСЧЕТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ

Таблица П 2.1

Расчетные сопротивления грунтов R , тс/м², под нижним концом свай

Глубина погружения нижнего конца свай Z_R , м	Песчаные грунты средней плотности						
	Гра- ве- лист.	Круп- ные	-	Средней крупн.	Мелкие	Пылева- тые	-
	Пылевато-глинистые грунты при показателе текучести J_L , равном						
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
3	750	$\frac{660}{400}$	300	$\frac{310}{200}$	$\frac{200}{120}$	110	60
4	830	$\frac{680}{510}$	380	$\frac{320}{250}$	$\frac{210}{160}$	125	70
5	880	$\frac{700}{620}$	400	$\frac{340}{280}$	$\frac{220}{200}$	130	80
7	970	$\frac{730}{690}$	430	$\frac{370}{330}$	$\frac{240}{220}$	140	85
10	1050	$\frac{770}{730}$	500	$\frac{400}{350}$	$\frac{260}{240}$	150	90
15	1170	$\frac{820}{750}$	560	$\frac{440}{400}$	290	165	100
20	1260	850	620	$\frac{480}{450}$	320	180	110
25	1340	900	680	520	350	195	120

Примечания:

1. Числитель относится к пескам, знаменатель - к пылевато-глинистым грунтам.

2. Глубина погружения нижнего конца свай Z_R принимается: при наличии размыва - от линии вероятного размыва (ЛВР); при отсутствии размыва - от уровня природного рельефа.

3. Для плотных песков табличные значения умножаются на 1,6.

4. Для скальных, крупнообломочных грунтов и пылевато-глинистых грунтов твердой консистенции ($J_L < 0$) расчетное сопротивление следует принимать равным 2000 тс/м².

Таблица П 2.2

Расчетные сопротивления грунтов f_i , тс/м², по боковой поверхности свай

Средняя глубина расположения слоя грунта Z_i	Песчаные грунты средней плотности								
	Крупные и средн. крупн.	Мелкие	Пылеватые	-	-	-	-	-	-
	Пылевато-глинистые грунты при показателе текучести								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
I	3,5	2,3	1,5	1,2	0,8	0,4	0,4	0,3	0,2
2	4,2	3,0	2,1	1,7	1,2	0,7	0,5	0,4	0,4
3	4,8	3,5'	2,5	2,0	1,4	0,8	0,7	0,6	0,5
4	5,3	2,8	2,7	2,2	1,6	0,9	0,8	0,7	0,5
5	5,6	4,0	2,9	2,4	1,7	1,0	0,8	0,7	0,6
6	5,8	4,2	3,1	2,5	1,3	1,0	0,8	0,7	0,6
8	6,2	4,4	3,3	2,6	1,9	1,0	0,8	0,7	0,6
10	6,5	4,6	3,4	2,7	1,9	1,0	0,8	0,7	0,6
15	7,2	5,1	3,8	2,8	2,0	1,1	0,8	0,7	0,6
20	7,9	5,6	4,1	3,0	2,0	1,2	0,8	0,7	0,6

Примечания:

1. Средняя глубина расположения слоя Z_i принимается: при наличии, размыва - от линии вероятного размыва (ЛВР); при отсутствии размыва - от -уровня природного рельефа.

2. Для плотных песков табличные значения умножаются на 1,3 ; для рыхлых - на 0,8.

3. При определении Z_i пласты грунтов следует расчленять на отдельные слои толщиной не более 2 м.

ФОРМЫ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

П 3.1 Форма акта на скрытые работы [18]

АКТ

освидетельствования скрытых работ

№ _____ « ____ » _____ 20 ____ г.

Представитель застройщика или заказчика _____

(должность, фамилия, инициалы, реквизиты документа о представительстве)

Представитель лица, осуществляющего строительство _____

(должность, фамилия, инициалы, реквизиты документа о представительстве)

Представитель лица, осуществляющего строительство, по вопросам строительного контроля _____

(должность, фамилия, инициалы, реквизиты документа о представительстве)

Представитель лица, осуществляющего подготовку проектной документации _____

(должность, фамилия, инициалы, реквизиты документа о представительстве)

Представитель лица, осуществляющего строительство, выполнившего работы, подлежащие освидетельствованию _____

(должность, фамилия, инициалы, реквизиты документа о представительстве)

а также иные представители лиц, участвующих в освидетельствовании:

(наименование, должность, фамилия, инициалы, реквизиты документа о представительстве)

произвели осмотр работ, выполненных _____

(наименование лица, осуществляющего строительство, выполнившего работы)

и составили настоящий акт о нижеследующем:

1. К освидетельствованию предъявлены следующие работы _____

(наименование скрытых работ)

2. Работы выполнены по проектной документации _____

(номер, другие реквизиты чертежа, наименование проектной документации, сведения о лицах, осуществляющих подготовку раздела проектной документации)

3. При выполнении работ применены _____

(наименование строительных материалов (изделий) со ссылкой на сертификаты или другие документы, подтверждающие качество)

4. Предъявлены документы, подтверждающие соответствие работ предъявляемым к ним требованиям:

(исполнительные схемы и чертежи, результаты экспертиз, обследований, лабораторных и иных испытаний выполненных работ, проведенных в процессе строительного контроля.)

5. Даты: начала работ « ____ » _____ 200 ____ г.

окончания работ « ____ » _____ 200 ____ г.

6. Работы выполнены в соответствии с

(указываются наименование, статьи (пункты) технического регламента (норм и правил), иных нормативных правовых актов, разделы проектной документации)

7. Разрешается производство последующих работ по _____

(наименование работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения)

Дополнительные сведения

Акт составлен в _____ экземплярах.

Приложения:

Представитель застройщика или заказчика

(должность, фамилия, инициалы, подпись)
Представитель _____ лица, _____ осуществляющего _____ строительство _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись)

Представитель лица, осуществляющего строительство, по вопросам строительного контроля _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись)

Представитель лица, осуществляющего подготовку проектной документации _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись)

Представитель лица, осуществляющего строительство, выполнившего работы, подлежащие освидетельствованию

(должность, фамилия, инициалы, подпись)

Представители иных лиц: _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись)

(должность, фамилия, инициалы, подпись)

(должность, фамилия, инициалы, подпись)

П 3.2. Форма журнала забивки свай

Наименование строительной организации _____

Объект _____

ЖУРНАЛ ЗАБИВКИ СВАЙ

(с № _____ по № _____)

Начато _____

Окончание _____

1. Система копра _____

2. Тип молота _____

3. Вес ударной части молота _____ кгс

4. Давление (воздуха, пара) _____ атм

5. Тип и вес наголовника _____ кгс

СВАЯ № _____ (по плану свайного поля)

1. Дата забивки _____

2. Марка сваи _____

3. Абсолютная отметка поверхности грунта у сваи _____

4. Абсолютная отметка острия сваи _____

5. Проектный отказ, см _____

№ за- лога	Высота подь- ема ударной части молота, см	Число ударов в залоге	Глубина по- гружения сваи от залога, см	Отказ от одного удара, см	Примечание
1	2	3	4	5	6

Исполнитель _____ Подпись _____

(фамилия, имя, отчество)

П 3.3. Форма сводной ведомости забитых свай

Наименование строительной организации _____

Объект _____

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ЗАБИТЫХ СВАЙ

(с № _____ по № _____)

Начато _____

Окончание _____

№ п/п	№ сваи	Тип сваи	Дата	Глубина забивки, м		Тип молота	Общее количество ударов	Отказ от одного удара, см		Примечание
	по плану свайного поля		смена	по проекту	фактическая			при забивке	при добивке	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Исполнитель _____ Подпись _____

(фамилия, имя, отчество)

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАЕБОЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Таблица П 4.1

Техническая характеристика паровоздушных молотов одиночного действия

Показатель	типа СССР			треста ГСФС			ВНИИСДМ		
	570	582	680	3000	6500	8200	С-276	С-811	С-812
Масса ударной части, кг	1800	3000	6000	3000	6500	8200	3000	6000	8000
Высота падения ударной части, м	1,5	1,3	1,37	1,25	1,25	1,2	1,37	1,37	1,37
Энергия удара, кДж	27,0	39,0	82,0	32,0	82,0	109,6	41,0	82,0	100,0
Частота ударов в 1 мин.	30	30	30	10	4-10	4-5	40-50	40-45	35-40
Рабочее давление, МПа	1,0	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8
Расход воздуха, м ³ /мин.	-	-	-	11	18	24	9	18-20	26
Расход пара, кг/ч	350	550	1100	550	1300	1500	710	1250	1500
Высота молота, мм	4840	4640	4960	2850	3125	2580	4650	4730	4730
Масса молота, т	2,7	4,3	8,85	4,25	7,3	8,7	4,25	8,2	11,0

Таблица П 4.2

Техническая характеристика паровоздушных молотов двойного действия

Показатели	С-35	СССМ-708	С-32	С-231	С-977
Масса ударной части, кг	614	680	655	1130	2250
Высота падения ударной части, м	0,45	0,406	0,525	0,58	0,46
Энергия удара, кДж	10,9	9,5	15,9	18,2	17-27
Частота ударов в 1 мин.	135	140	125	105	105
Рабочее давление, МПа	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Расход сжатого воздуха, м ³ /мин	12,8	12,7	17	17	16,5
Высота молота, мм	2375	2490	2390	2689	3000
Масса молота, т	3,77	2,97	4,09	4-15	5,20

Таблица П 4.3

Техническая характеристика трубчатых дизель-молотов отечественного производства

Показатели	УР 1250 СП-75	УР-1800 СП-76	С-949Б СП-77	С-954К СП-78	С-974К СП-79	- СП-84
Масса ударной части, кг	1250	1800	2500	3500	5000	7500
Полный ход поршня, м	3,0	3,0	3,2	3,2	3,2	3,8
Наибольшая потенциальная энергия удара, кДж	36,8	53,0	73,5	103,0	147,0	243,0
Расчетная энергия удара, кДж	30,4	44,1	61,8	86,3	123,5	184,3
Частота ударов в 1 мин	43-55	43-55	43-55	43-55	42	42
Высота молота, м	4,4	4,4	5,2	5,5	5,5	6,2
Масса молота, т	2,7	3,9	5,8	7,8	9,6	16,0
Рекомендуемая масса забиваемых свай, т	1,5-4,0	2,0-5,0	3,0-7,0	4,0-10,0	5,0-15,0	до 22,0

Примечания:

1) первая марка - молот с воздушным, вторая - с водяным охлаждением;

2) выпускают также молоты типа УРБ - быстроходные, с частотой ударов 65 в мин.

Таблица П 4.4

Техническая характеристика гидромолотов фирмы Junttan (Финляндия)

Показатели	ННК-4	ННК-5	ННК-6	ННК-7	ННК-10	ННК-14
Масса ударной части, кг	4000	5000	6000	7000	10000	14000
Полный ход поршня, м	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Наибольшая потенциальная энергия удара, кДж	48,0	60,0	72,0	81,0	120,0	168,0
Частот ударов в 1 мин:						
- при мин. ходе поршня	100	100	100	100	100	100
- при ходе поршня 0,5 м	60	60	60	60	60	60
- при макс. ходе поршня	30	30	30	30	30	30
Масса молота, т	6,3	7,4	8,6	9,7	14,8	19,0
Высота молота, м	4,94	5,31	5,68	6,05	5,95	6,95
Производительность гидронасоса, л/мин	300	300	300	300	600	600
Рабочее давление в гидросистеме, атм.	140	150	160	185	150	185
Установленная мощность, кВт	70	75	80	93	150	185

Таблица П 4.5

Техническая характеристика отечественных копровых установок для забивки свай

Показатели	МСК-1	СП-49В	КН-1-16	КГМ-16	СП-46 КМ-12	СП-69	СП-56
	самоходные на базовой машине				рельсовые		
	спец.	Т-170 МБГ-1	ЭО-5122А	ЭО-6123	неповоротный	поворотные	
Высота копра, м	14,9	18,3	24,56	25,0	23,4	24,0	29,0
Грузоподъемность, т:							
- для молота	3,0	6,0	6,0	17,0	6,5	7,0	12,0
- для свай	3,0	6,0	6,0	6,5	5,5	7,0	8,0
Наклоны мачты:							
- назад	4:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1	3:1
- вперед	4:1	8:1	8:1	8:1	8:1	8:1	8:1
- поперек	4:1	8:1	5:1	10:1	-	30:1	-
Вылета, м	0,4	0,4	0,55	1,2	1,05	1,2	1,35
Масса, т:							
- ударной части молота	1,25	2,5	2,5	3,5-7,5	2,5	2,5	3,5-5,0
- копровой установки	22,9	28,6	54,0	70,0	15,5	26,0	54,3
- навесного оборудования	9,4	9,14	17,0	17,0	-	-	-
Мощность, кВт	160	96	125	150	21	28	72

Таблица П 4.6

Техническая характеристика зарубежных копровых установок для забивки свай

Показатели	PM-20 Junttan Финляндия	M-90 Menck Германия	MH-32103 Delmag Германия	LS-108RH Sumitomo Япония	Kobe Steel Япония	KH-500L- PD Hitachi Япония	L-77 Landswerk Швеция
Высота, м	22,0	19,5	22,0	24,0	21,0	32,0	21,7
Грузоподъемность, т:							
- для молота	6,0	4,5	11,0	6,3	3,2	19,2	4,0
- для свай	6,0	3,0	6,0	5,0	3,7	15,0	4,0
Наклоны мачты:							
- назад	3:1	4:1	3:1	-	2,5:1	3:1	3,5:1
- вперед	3:1	4:1	6:1	-	-	8:1	3,5:1
- поперек	5:1	20:1	15:1	-	-	8:1	4:1
Вылет, м	1,5-6,0	1,75-6,0	1,2-6,3	5,6	5,0	-	4,6
Масса, т:							
- ударной части молота	до 6,0	2,2	4,6	-	-	7,2 и 8	-
- копровой установки	40,0	-	58,0	60,6	-	160,0	39,0
- навесного оборудования	-	-	14,0	-	5,77	30,4	7,2
Мощность, кВт	122	-	18,5	63	70	180	100

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНВЕНТАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОНТОНОВ

Характеристики	Марка понтона					
	КС-63	УП-78	П-12	НЖМ-56	ПМ-70	ТПП
Габаритные размеры, м:						
- длина	7,2	6,0	12,0	9,0	6,75	5,97(4,91)
- ширина	3,6	3,0	3,0	2,6	2,85	2,4
- высота	1,8	1,4	1,5	1,2	1,4	1,0
Масса, т:						
- без соединительных элементов	6,28	4,57	11,5	4,0(3,7)	4,54	1,05(1,0)
- соединительных элементов	0,52	0,4	0,5	-	-	-
Водоизмещение полное, т	45	24,5	52,6	28,0	26,9	14,3(11,8)
Нагрузка наибольшая на понтон, кН	260	160	340	120	240	80
Нагрузки местные предельные, кН:						
- в любой точке шпангоута	30	35	87	-	-	-
- в бортовых узлах	380	200	440	90	150	70

Примечание. Размеры и масса в скобках указаны для средних секций понтонов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИБРОПОГРУЖАТЕЛЕЙ

Таблица П 6.1

Техническая характеристика вибропогружателей отечественного производства

	ВПМ-170	ВУ-1,6	ВРП15/60	ВРП30/132	ВРП70/200	ВП-52Б
	с постоянными параметрами			с регулируемыеми параметрами		
Статический момент массы дебалансов, кНхм	7,0	3,4	0-1,5	0-3,0	2,3-7,0	5,2
Частота вращения дебалансов, об/мин	475-550	300-498	0-460	0-520	0-500	250-500
Вынуждающая сила максимальная, кН	1250-1700	350-960	348	895	2000	1480
Мощность основного электродвигателя, кВт	200	2×90	60	132	200	2×132
Масса вибропогружателя без наголовника, т	15,6	12,0	5,08	7,25	14,0	13,25
Габариты, мм:						
- высота	3400	1910	2044	2245	3250	1880
- длина	1860	3350	1245	1440	1700	3200
- ширина	1260	2620	1114	1440	1346	2850
Тип гидравлического наголовника	НГ-1,6	НГ-1,6	НГ-0,6	НГ-0,8	НГ-1,6	НГ-3

Таблица П 6.2

Техническая характеристика гидровибропогружателей зарубежного производства

Показатели	JV100 фир- мы Junttan Финляндия	MS-100 HNF фирмы Krupp Германия	100HD фирмы PTC Франция	400 «King Kong» фир- мы APE США	HVB400 фир- мы Tenkers Германия	1412B фир- мы ICE Голландия
Статический момент, кНхм	1,0	1,0	1,15	1,5	1,4	1,15
Частота вращения, об/мин	1800	2156	1400	1500	1900	1350
Максимальная вынуж- дающая сила, кН	2500	2500	2510	3559	4000	2300
Максимальная ампли- туда, мм	8	26	28	38	20,5	28
Масса вибропогружа- теля, т	12,0	10,9	13,25	15,5	18,0	12,9
Габариты, мм:						
- высота	3100	3235	3000	3048	3500	3000
- длина	2250	2410	2300	2438	1800	2310
- ширина	610	660	800	660	1400	760

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Таблица П 7.1

Техническая характеристика уширителей к бурильным машинам

Диаметр об- садной трубы, мм	Диаметр уширения D, мм	Наружный диаметр D1, мм	Высота Н/Нmax, мм	Высота ков- ша Н1, мм	Вместимость ковша, м³	Масса, кг
Уширители отечественного производства						
1000/920	2650	800	4020/4780	1365	0,3	3170
1180/1100	2650	980	4020/4780	1365	0,55	1240
1500/1400	2650	1270	4040/4800	1380	1,0	3640
1680/1580	3500	1510	4040/4800	1380	1,7	4180
Уширители фирмы Kato (Япония)						
1000/920	2000	850	730	-	-	1200
1180/1100	2500	1050	930	-	-	1300
1480/1380	3000	1320	1200	-	-	2000
1680/1580	3500	1520	1400	-	-	2500

Таблица П 7.2

Техническая характеристика буровых машин зарубежного производства

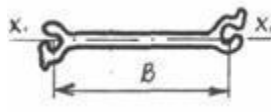
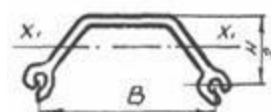
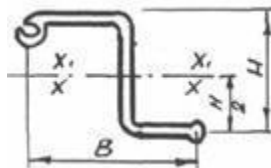
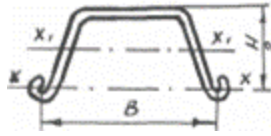
Показатели	Tellbor фир- мы Bade Германия	BG-14 фир- мы Bauer Германия	B220 фирмы Casa-grande Италия	PF1200-YSII фирмы Kato Япония	30THC-VS фирмы Kato Япо- ния	50THC-VSIII фирмы Kato Япония
Базовая машина	навесное обо- рудование на кран	экскаватор R962T Liebherr	специальная гусеничная	специальная гусеничная	экскаватор Комацу- Каминдз	специальная гусеничная
Метод бурения	вращательный, ударный	вращательный	вращательный	вращательный	ударный	вращательный, ударный
Диаметр скважины, м	0,9-2,0	1,2; 1,5; 1,8	1,5; 2,5	1; 1,2	1,2; 1,5; 1,7	1,5; 1,7
Диаметр уширения, м	-	-	-	2,5	-	3; 3,5
Глубина бурения, м	40	60	68	24; 20	40; 30; 24	50; 40
Максимальный наклон оси скважины	-	-	-	5:1	-	5:1
Габариты, м:						
- высота	-	20,35	21,55	22,5	13,3	22,5
- длина	-	7,725	9,35	10,65	9,45	11,07
- ширина	-	3,8	3,0	4,06	3,2	4,06
Ходовая часть, м:						
- колея	-	3,05	4,4	2,62	3,2	2,62
- ширина башмака гу- сеницы	-	0,75	0,8	0,6	0,6	0,6
- база	-	4,4	5,398	3,94	3,524	3,94
Масса, т	4,9-17,0	80	70	52	39	67

Таблица П 7.3

Техническая характеристика буровых машин отечественного производства

Показатели	МБНА-1М	МБУ-1,2	МБС-1,7А	БС-2	БМ-3061	БМ-4001
Базовая машина	автомобиль КРАЗ-250К	кран- экскаватор Э-1258	гусеничный кран ДЭК- 251	специаль- ная гусе- ничная	экскаватор ЭО-5123	экскаватор ЭО-6123-1
Метод бурения	вращатель- ный, ударный	вращатель- ный	вращатель- ный, удар- ный	ударно- канатный	вращатель- ный, удар- ный	вращатель- ный, удар- ный
Диаметр скважины, м	1,0	1,2	1,3; 1,7	1,0	0,6-1,5	1,2; 1,5; 1,7
Диаметр уширения, м	-	-	3,5	-	2,5; 3,5	2,65; 3,5
Глубина бурения, м	20	32	28; 30,5	200	15-30	40; 30; 24
Пред. наклон оси скважины	5:1	-	-	-	-	-
Габариты, м:						
- высота	16,09	20	24,7	15,05	19,7	24,85
- длина	11,6	10,17	12,44	7,24	9,0	10,46
- ширина	4,85	3,8	4,76	3,9	3,08; 5,2	3,8
Ходовая часть, м:						
- колея	-	3,1	3,73	2,6	2,51	3,1
- ширина башмака гусеницы	-	0,7	0,625	0,42	0,63	0,7
- база	-	3,7	4,186	3,55	3,12	3,7
Масса, т	29	62	60	31	67	70

ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЬНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ

Поперечное сечение шпунтовых свай	Тип шпунтовых свай	Вес 1 метра шпунтовой сваи, кгс	Площадь сечения шпунтовой сваи A , см^2	Момент инерции		Момент сопротивления		Расчетная ширина шпунтовой сваи b , мм	Толщина шпунтовой стенки H , мм
				Отдельной шпунтовой сваи, I_x , см^4	Пог.м шпунтовой стенки, I_x , см^4	Отдельной шпунтовой сваи, W_x , см^3	Пог.м шпунтовой стенки, W_x , см^3		
	ШП-1	64	82	332	961	73	188,5	400	105
	ШП-2	30	39	80	482	28	136	200	75
	ШК-1	50	64	730	3000	114	400	400	2□75
	ШК-2	58	74	2243	10425	260	835	400	2□125
	ШД-3	61	78	7600	19000	630	1570	400	240
	ШД-5	93	119	20100	50250	1256	3140	400	320
	Ларсен-III	62	79,2	-	23200	-	1600	400	2x145
	Ларсен-IV	74	94,3	4660	39600	405	2200	400	2x180
	Ларсен-V	100	127,6	6243	50943	461	2962	420	2x172

ГРАФИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ШПУНТОВЫХ СТЕНОК ОГРАЖДЕНИЯ КОТЛОВАНОВ

По приводимым ниже графикам, в зависимости от конструкции стенки, определяются необходимые для их расчета расчетные величины от постоянной и временной нагрузок:

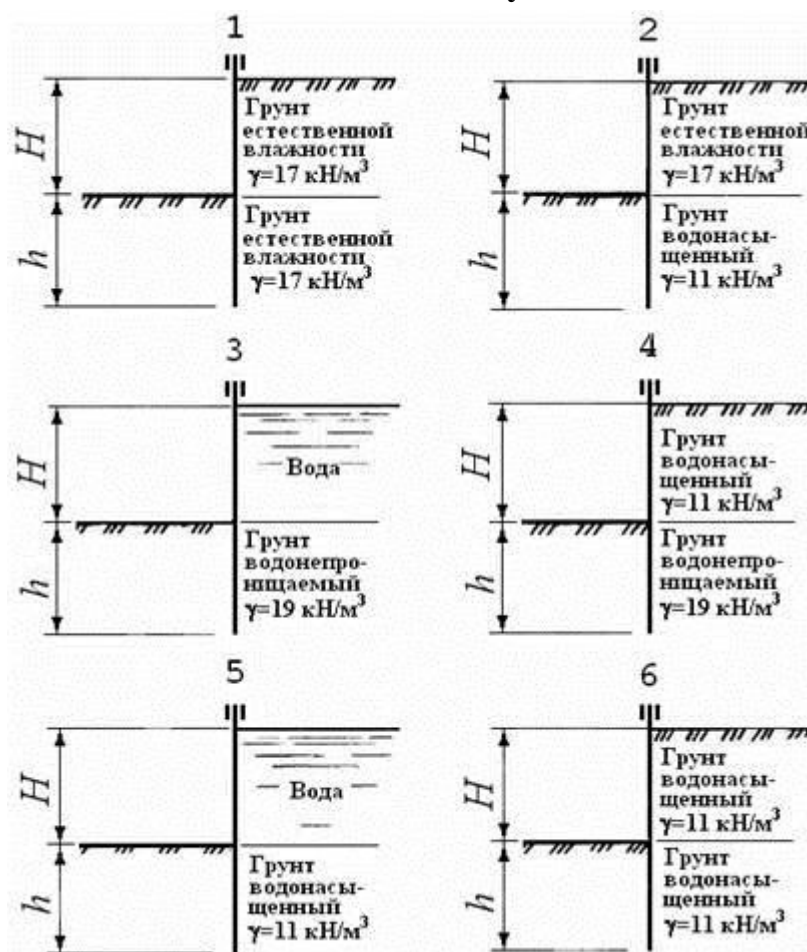
H - необходимая глубина заделки шунта в м;

M - расчетный изгибающий момент в кНм. На 1 м стенки;

R - расчетное усилие в распорке в кН на 1 м стенки.

Расчетные величины по графикам могут определяться для следующих шести случаев напластования грунтов, пересекаемых стенкой:

А. Расчетные случаи



Б. ГРАФИКИ

Для определения глубины заделки и расчетных усилий в элементах шпунтовых ограждений котлованов в зависимости от типа шпунтовой стенки и расчетного случая напластования грунтов, пересекаемых стенкой:

H - необходимая глубина заделки шпунта в м;

M - расчетный изгибающий момент в кНм на 1 м стенки;

R - расчетное усилие в распорке в кН на 1 м стенки.

Графики дают значения h_n , M_n , R_n (от постоянной нагрузки) и Δh , ΔM , ΔR (от временной нагрузки) для различных типов шпунтовой стенки:

I - без распорок;

II - с одной распоркой без консоли;

III - с одной распоркой при наличии консоли;

IV - с двумя распорками без консоли;

V - с двумя распорками при наличии консоли.

Расчетные величины h , M , R даны в функции:

- глубины котлована H , измеряемой в м;
- угла внутреннего трения грунта φ° ;
- гидрогеологических условий, принятых исходя из шести характерных случаев.

Интенсивность временной нагрузки во всех случаях принята равной 34 кН/м^2 .

При снижении против расчетной временной нагрузки при промежуточном положении уровня воды или другом изменении условий следует, пользуясь графиками, применять интерполирование. Ориентировочные значения углов внутреннего трения грунта φ° могут приниматься:

- для илов, пылеватых песков, супесей, суглинков, мокрых глин – $10 - 25^\circ$;
- для песков мелких и средних - $25 - 30^\circ$;
- для песков крупных, гравия - $30 - 45^\circ$.

Глубина забивки шпунта h , определяемая по графикам должна удовлетворять условию:

$$h \geq \frac{H_n}{3i_d} \text{ - для однорядных перемычек;}$$

$$h \geq \frac{H_n}{5i_d} \text{ - для двухрядных перемычек}$$

где H_n - высота от горизонта воды до дна котлована;

i_d - допустимый выходной градиент фильтрационной воды:

- для песков $i_d=0,4-0,5$;
- для суглинков $i_d=0,5-0,75$;
- для глин $i_d=0,75-1,0$.

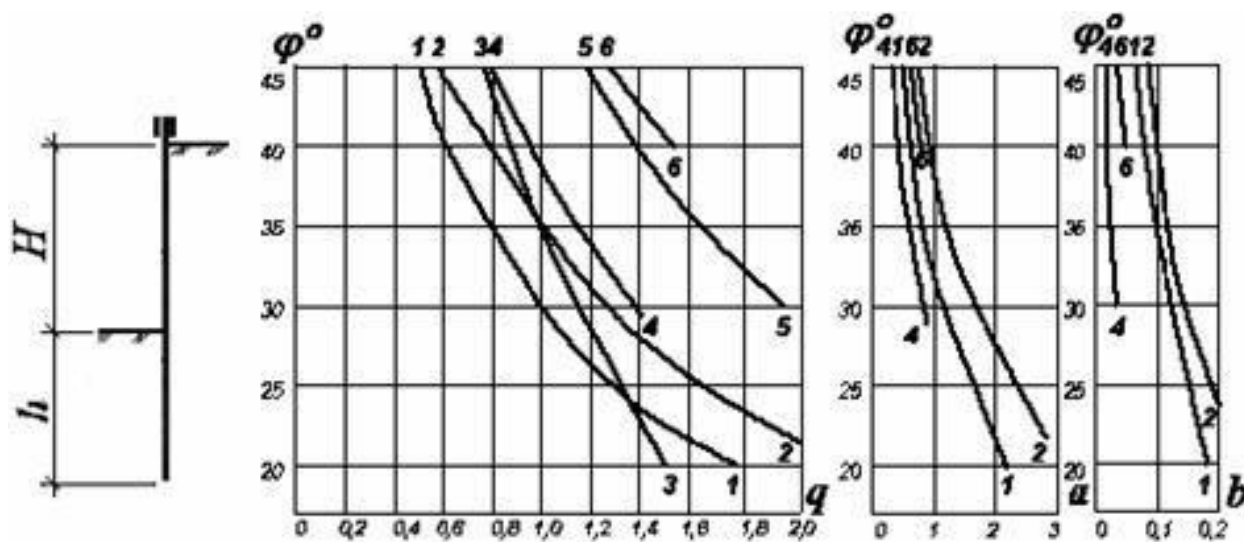
I. Шпунтовое ограждение котлована без распорок

1. Глубина забивки шпунтовой стенки:

$$h = h_n + \Delta h$$

- от постоянной нагрузки - $h_n = qH$;

- от временной нагрузки - $\Delta h = a + bH$



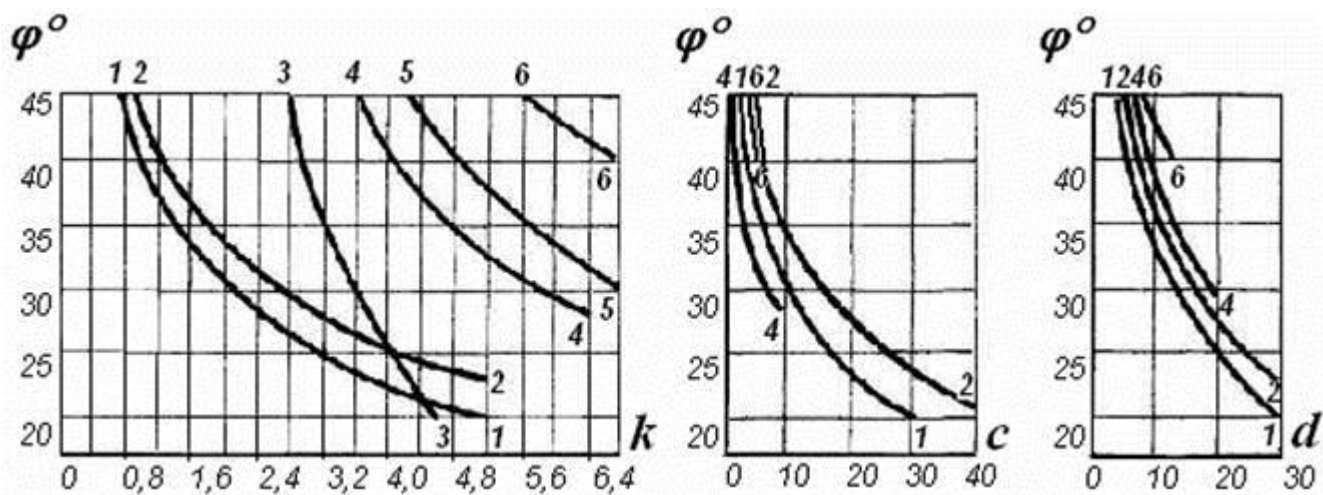
Графики величин коэффициентов q , a , b

2. Расчетный изгибающий момент на 1 м шпунтовой стенки:

$$M = M_n + \Delta M$$

- от постоянной нагрузки - $M_n = k \times H^3$;

- от временной нагрузки - $\Delta M = cH + dh^2$



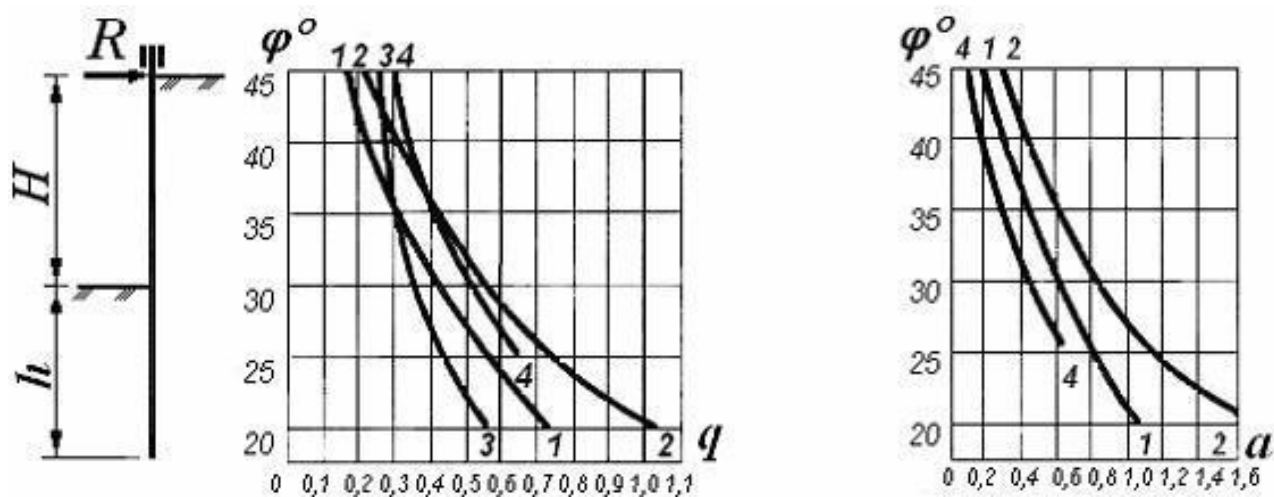
Графики величин коэффициентов k , c и d

II. Шпунтовое ограждение котлована с одной распоркой

1. Глубина забивки шпунтовой стенки:

$$h = h_n + \Delta h$$

- от постоянной нагрузки - $h_n = qH$;
- от временной нагрузки - $\Delta h = a$

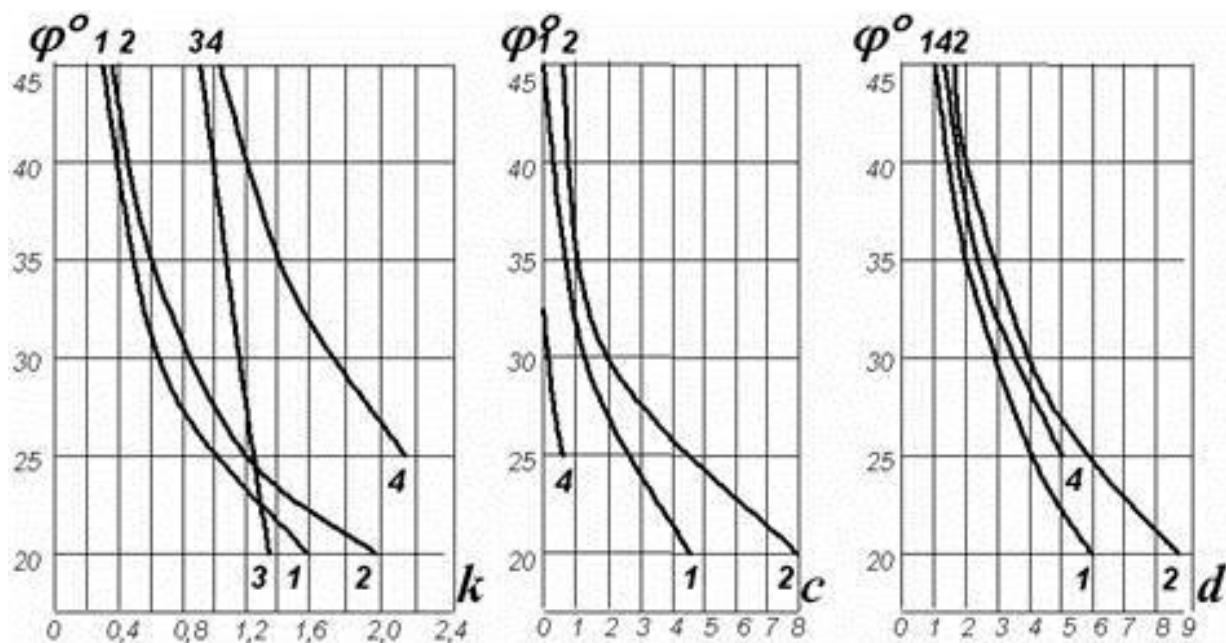


Графики величин коэффициентов q , a .

2. Расчетный изгибающий момент на 1 м шпунтовой стенки:

$$M = M_n + \Delta M$$

- от постоянной нагрузки - $M_n = k \times H^3$;
- от временной нагрузки - $\Delta M = cH + dh^2$



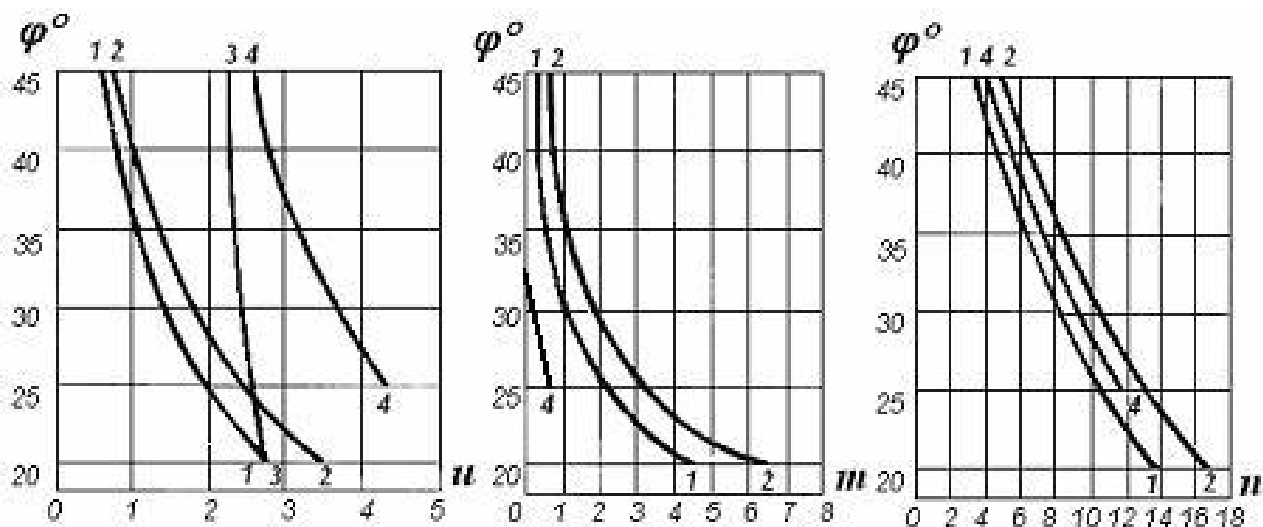
Графики величин коэффициентов k , c и d

3. Расчетное усилие в распорке в кН на 1 м шпунтовой стенки:

$$R = R_n + \Delta R$$

- от постоянной нагрузки - $R_n = u \times H^2$;

- от временной нагрузки - $\Delta R = m + nH$



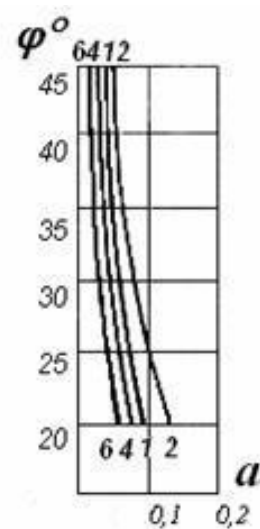
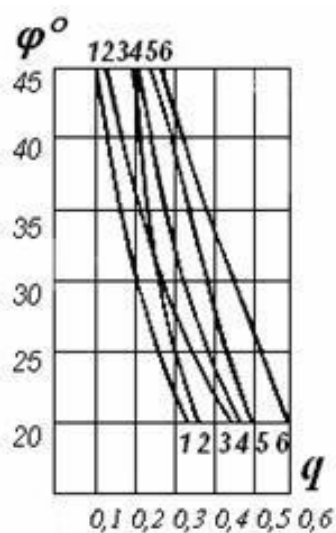
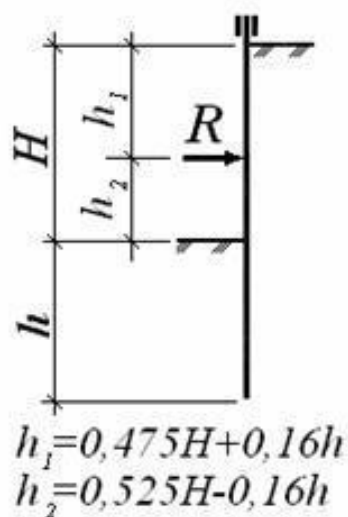
Графики величин коэффициентов u , m , n

III. Шпунтовое ограждение котлована с одной распоркой при наличии консоли.

1. Глубина забивки шпунтовой стенки:

$$h = h_n + \Delta h$$

- от постоянной нагрузки - $h_n = qH$;
- от временной нагрузки - $\Delta h = a$

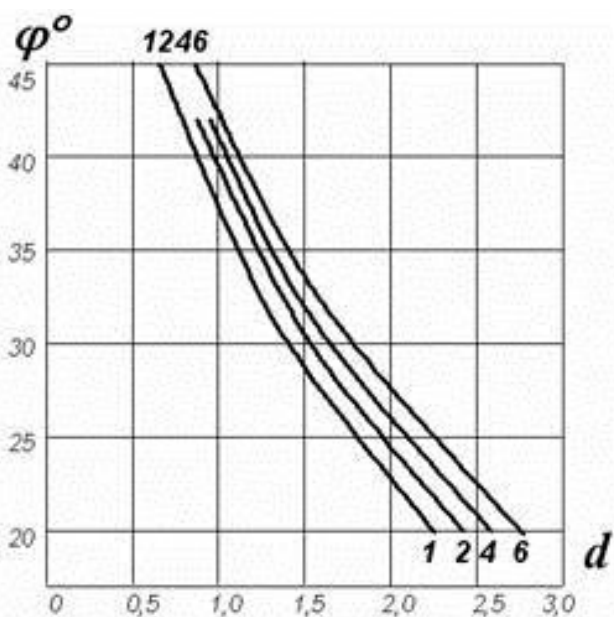
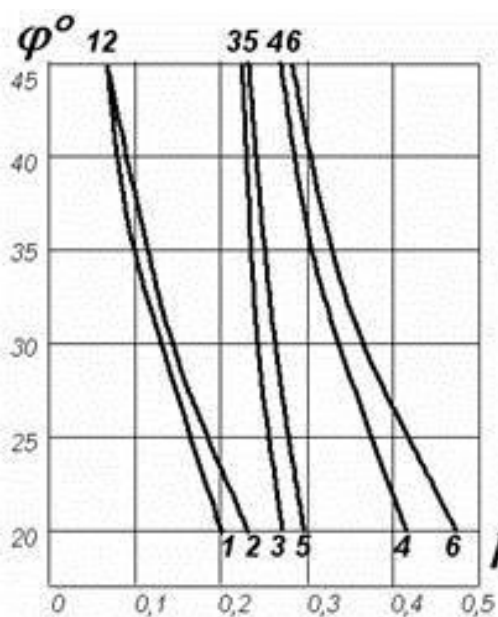


Графики величин коэффициентов q и a

2. Расчетный изгибающий момент на 1 м шпунтовой стенки

$$M = M_n + \Delta M$$

- от постоянной нагрузки - $M_n = k \times H^3$;
- от временной нагрузки - $\Delta M = dh^2$



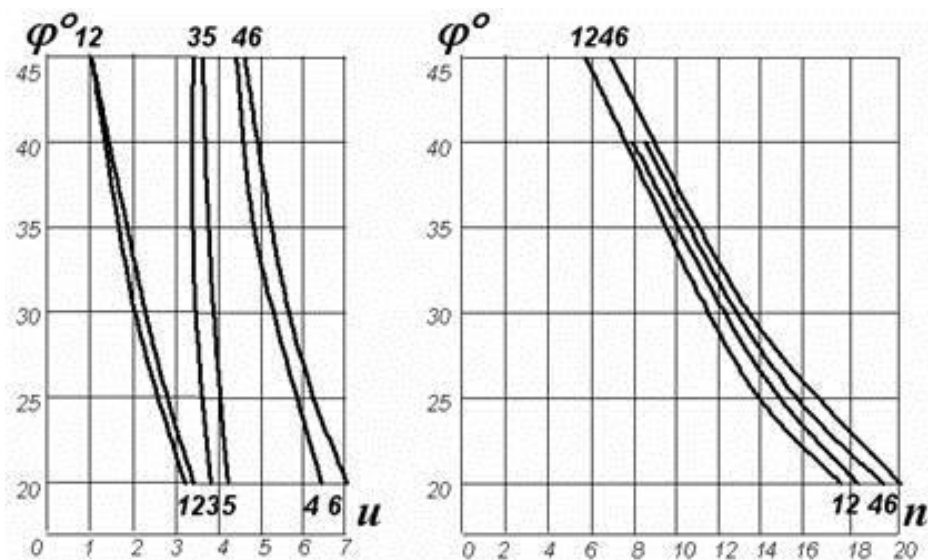
Графики величин коэффициентов k и d

3. Расчетное усилие в распорке в кН на 1 м шпунтовой стенки:

$$R = R_n + \Delta R$$

- от постоянной нагрузки - $R_n = u \times H^2$;

- от временной нагрузки - $\Delta R = nH$



Графики величин коэффициентов u и n

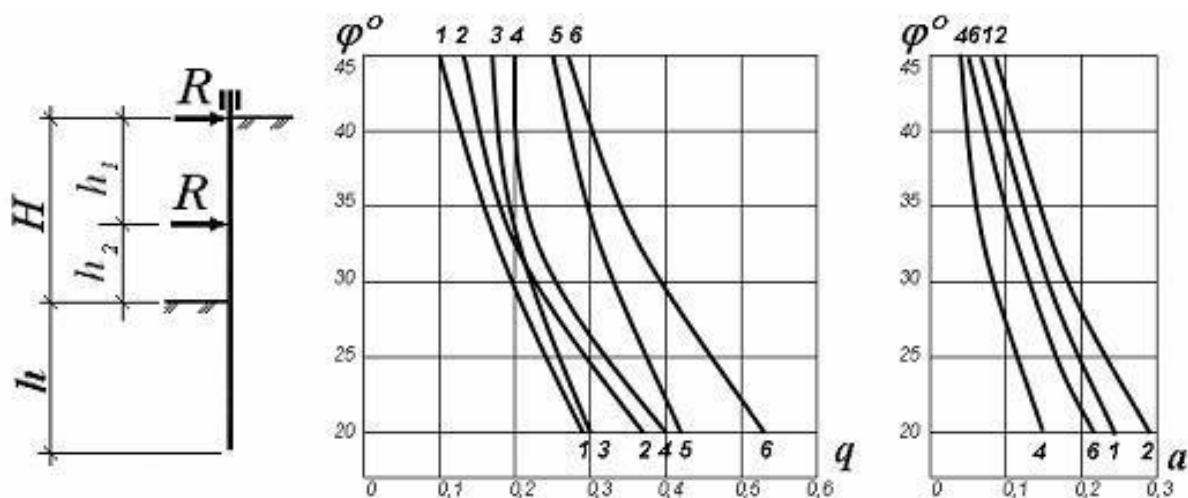
IV. Шпунтовое ограждение котлована с двумя распорками без консоли

1. Глубина забивки шпунтовой стенки:

$$h = h_n + \Delta h$$

- от постоянной нагрузки - $h_n = qH$;

- от временной нагрузки - $\Delta h = a$

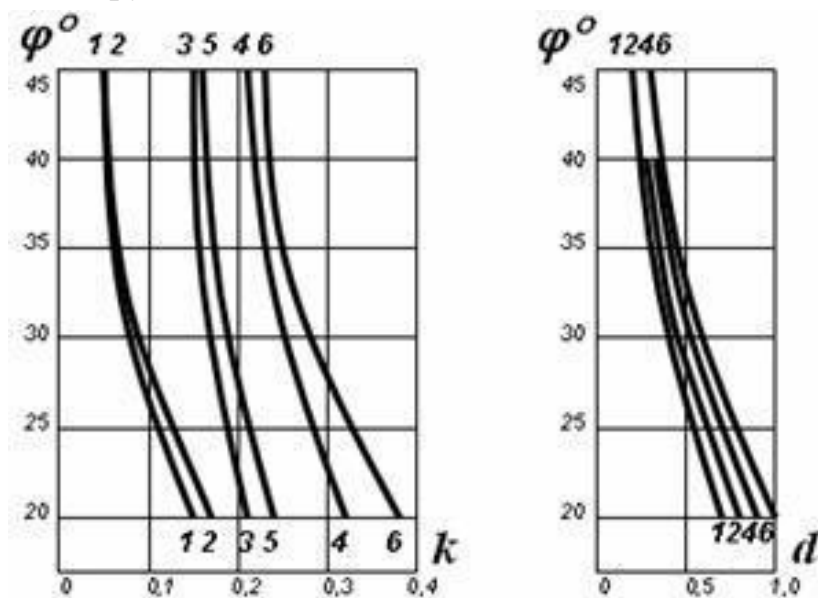


Графики величин коэффициентов q и a

2. Расчетный изгибающий момент на 1 м шпунтовой стенки

$$M = M_n + \Delta M$$

- от постоянной нагрузки - $M_n = k \times H^3$;
- от временной нагрузки - $\Delta M = dh^2$

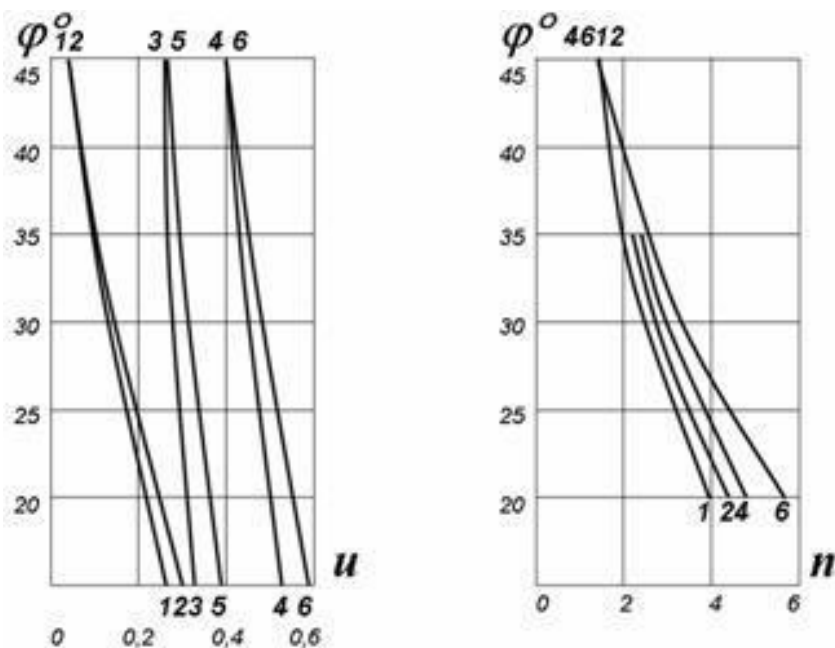


Графики величин коэффициентов k и d

3. Расчетное усилие в распорке в кН на 1 м шпунтовой стенки:

$$R_1 = R_{1n} + \Delta R_1$$

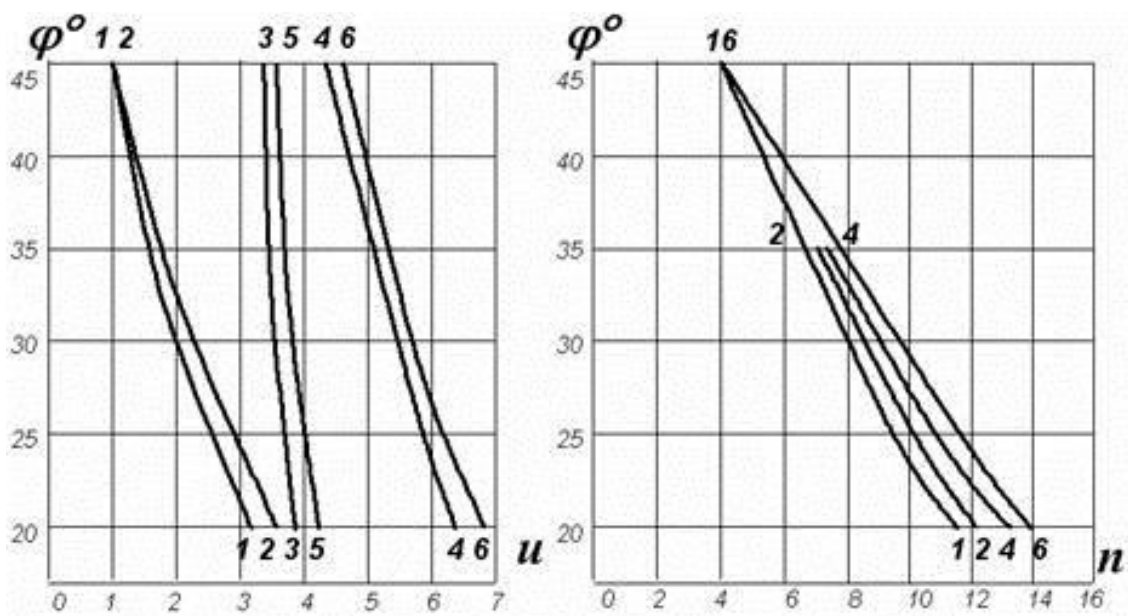
- от постоянной нагрузки - $R_{1n} = u \times H^2$;
- от временной нагрузки - $\Delta R_1 = nH$



Графики величин коэффициентов u и n для определения усилий в верхней распорке R_1

$$R_2 = R_{2n} + \Delta R_2$$

- от постоянной нагрузки - $R_{2n} = u \times H^2$;
- от временной нагрузки - $\Delta R_2 = nH$



Графики величин коэффициентов u и n для определения усилий в нижней распорке R_2

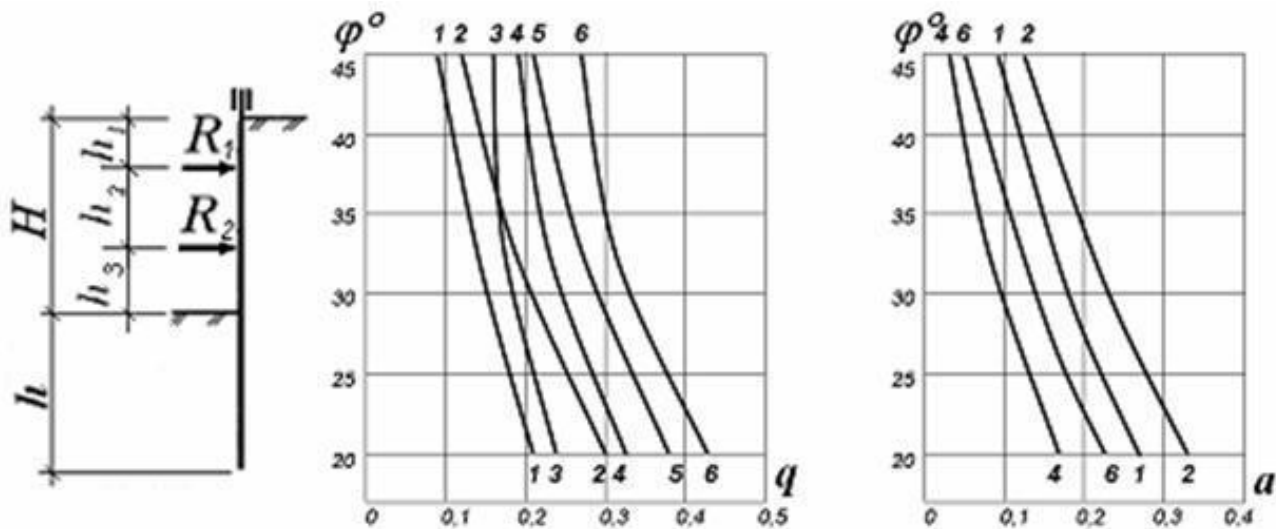
V. Шпунтовое ограждение котлована с двумя распорками при наличии консоли

1. Глубина забивки шпунтовой стенки:

$$h = h_n + \Delta h$$

- от постоянной нагрузки - $h_n = qH$;

- от временной нагрузки - $\Delta h = a$



$$h_1 = 0,347H + 0,12h$$

$$h_2 = 0,359H + 0,12h$$

$$h_3 = 0,294H - 0,24h$$

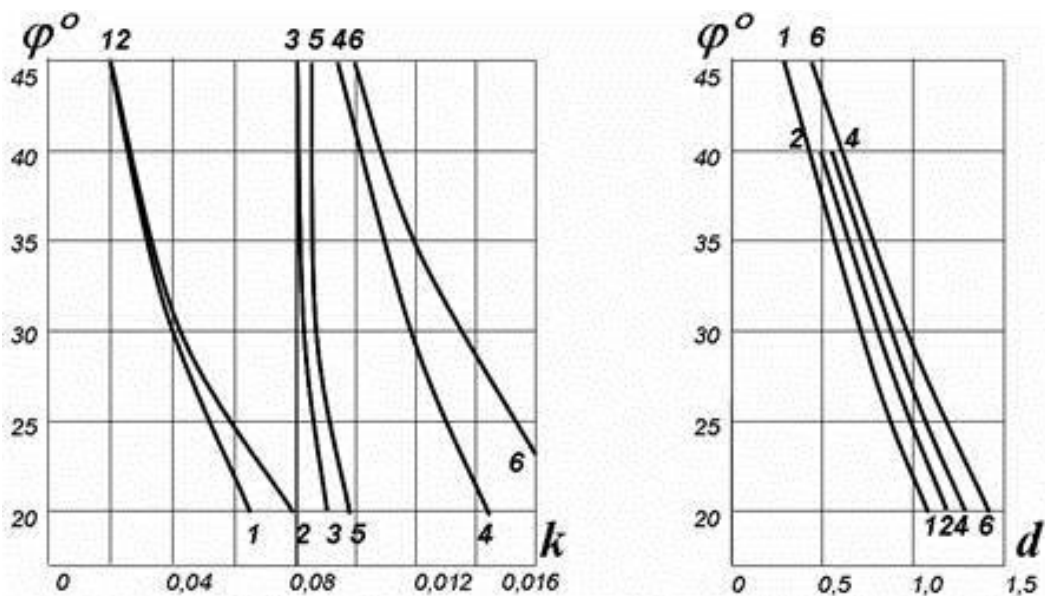
Графики величин коэффициентов q и a

2. Расчетный изгибающий момент на 1 м шпунтовой стенки

$$M = M_n + \Delta M$$

- от постоянной нагрузки - $M_n = k \times H^3$;

- от временной нагрузки - $\Delta M = dh^2$

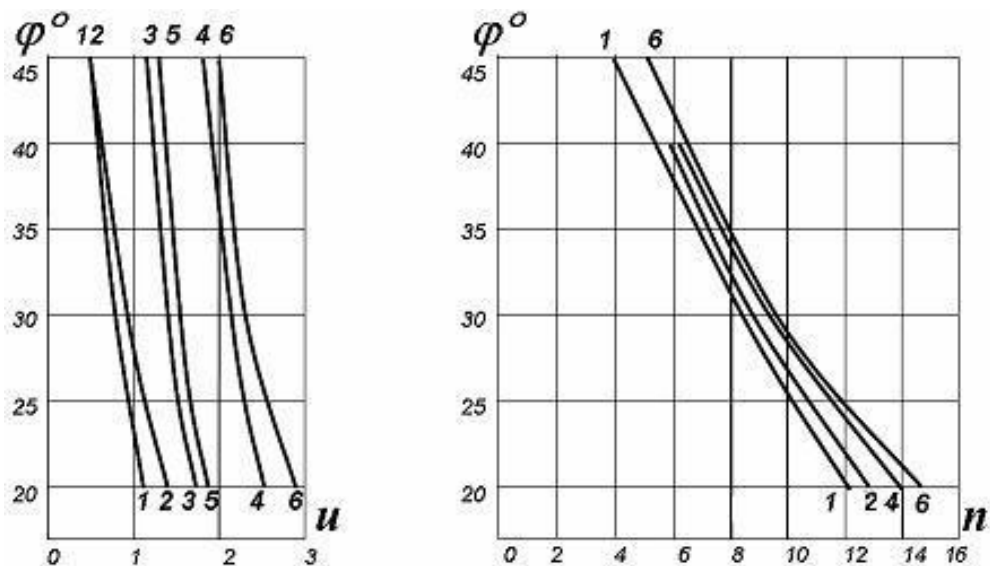


Графики величин коэффициентов k и d

3. Расчетное усилие в распорке в кН на 1 м шпунтовой стенки:

$$R_1 = R_{1n} + \Delta R_1$$

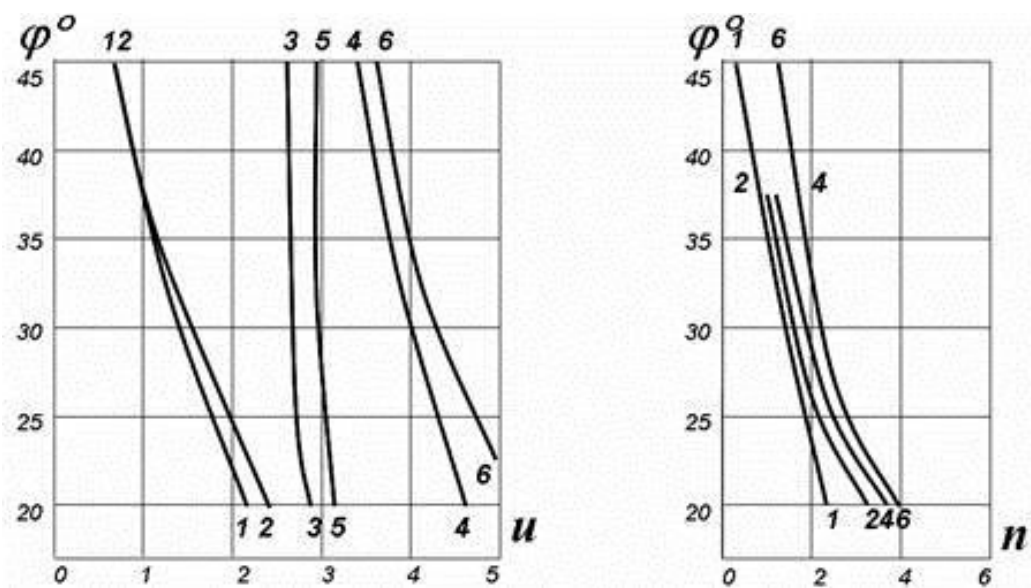
- от постоянной нагрузки - $R_{1n} = u \times H^2$;
- от временной нагрузки - $\Delta R_1 = nH$



Графики величин коэффициентов u и n для определения усилий в верхней распорке R_1

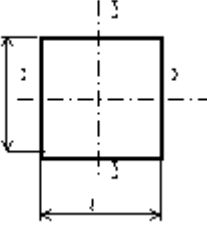
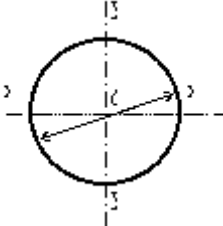
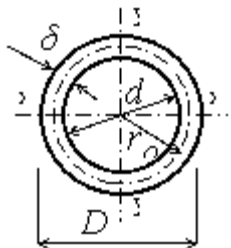
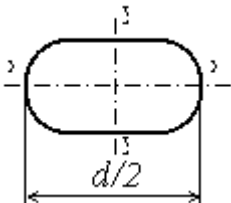
$$R_2 = R_{2n} + \Delta R_2$$

- от постоянной нагрузки - $R_{2n} = u \times H^2$;
- от временной нагрузки - $\Delta R_2 = nH$



Графики величин коэффициентов u и n для определения усилий в нижней распорке R_2

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ, МОМЕНТОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ, МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ И СТАТИЧЕСКИХ МОМЕНТОВ СЕЧЕНИЯ

Сечение	Площадь	Момент сопротивления	Момент инерции	Статический момент полсечения
<p>Прямоугольник</p> 	$A = bh$	$W_x = \frac{bh^2}{6}$	$I_x = \frac{bh^3}{12}$	$S_x = \frac{bh^2}{8}$
<p>Круг</p> 	$A = \frac{\pi d^2}{4}$ $A = 0,785d^2$	$W_x = \frac{\pi d^3}{32}$ $W_x = 0,098d^3$	$I_x = \frac{\pi d^4}{64}$ $I_x = 0,049d^4$	$S_x = \frac{d^3}{12}$ $S_x = 0,083d^3$
<p>Кольцо</p> 	$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$	$W_x = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32D}$	$I_x = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4)$	$S_x = 2r_0^2 \delta$
<p>Лежень</p> 	$A = 0,740d^2$	$W_x = 0,091d^3$ $W_y = 0,097d^3$	$I_x = 0,039d^4$ $I_y = 0,049d^4$	$S_x = 0,063d^3$

*Ватин Николай Иванович,
Баданин Андрей Николаевич,
Булатов Георгий Яковлевич,
Колосова Наталья Борисовна*

УСТРОЙСТВО СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Учебное пособие

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 953005 – учебная литература

Подписано к печати Формат 60х84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 13,69. Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в издательстве Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 550-40-14
Тел./факс: (812) 297-57-76