
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ
ОАО «ФСК ЕЭС»

СТО 56947007-29.120.95-
051-2010

НОРМЫ
проектирования фундаментов из стальных свай-
оболочек и буронабивных свай большого диаметра

Стандарт организации

Дата введения: 18.06.2010

ОАО «ФСК ЕЭС»
2010

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

Сведения о стандарте организации

РАЗРАБОТАН: ОАО «СевЗап НТЦ»

ИСПОЛНИТЕЛИ: Л.И. Качановская, П.И. Романов, В.Н., М.С. Ермошина

ВНЕСЕН: Департаментом систем передачи и преобразования электроэнергии, Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС»

УТВЕРЖДЕН: приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 18.06.2010 № 429

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: с 18.06.2010

ВВЕДЕН впервые

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: zhulev-an@fsk-ees.ru.

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС»

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Область применения.....	4
2 Нормативные ссылки.....	4
3 Термины и определения	5
4 Общие положения.....	6
5 Основные указания по расчёту.....	7
6 Определение расчётных нагрузок на сваю.....	10
7 Расчёт по прочности материала свай и свайных ростверков	13
8 Расчёт по несущей способности грунта основания свай	14
9 Расчёт по перемещениям оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок	26
10 Расчёт по перемещениям сваи (горизонтальным и углам поворота головы свай) совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов	26
11 Расчёт фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения	35
12 Конструирование свайных фундаментов	37
13 Устройство свайных фундаментов	39

Введение

Стандарт организации «Нормы проектирования фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра» (далее - Стандарт) разработан в соответствии с требованиями Федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Настоящий Стандарт разработан в развитие обязательных положений и требований СНиП 2.02.01-83*, СНиП 2.02.03-85, СП 50-102-2003, СП 52-101-2003, СНиП 52-01-2003.

Стандарт устанавливает требования к проектированию фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра для объектов электросетевого строительства в различных инженерно-геологических условиях.

Стандарт должен быть пересмотрен в случаях ввода в действие новых технических регламентов и национальных стандартов, содержащих не учтенные в Стандарте требования, а также при необходимости введения новых требований и рекомендаций.

1 Область применения

Стандарт распространяется на проектирование и устройство свайных фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра объектов электросетевого строительства. Стандарт не распространяется на проектирование и устройство свайных фундаментов, возводимых на вечномёрзлых грунтах.

Свайные фундаменты объектов электросетевого строительства, возводимые в районах с наличием или возможностью развития опасных геологических процессов, следует проектировать с учётом дополнительных требований соответствующих нормативных документов, утверждённых или согласованных Госстроем России.

Стальные свай-оболочки могут применяться во всех классах грунтов, кроме скальных: в дисперсных природных и дисперсных техногенных.

Буронабивные сваи могут применяться во всех видах грунтов, кроме группы скальных: в скальных полускальных, природных дисперсных, полускальных и дисперсных техногенных.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте организации использованы нормативные ссылки на следующие нормативные документы:

СНиП II-23-81* Стальные конструкции;

СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения;

СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия;

СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений;

СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты;
СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии;
СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты;
СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства. Производство электромонтажных работ;
СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений;
СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов;
СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры;
СП 53-102-2004 Общие правила проектирования стальных конструкций;
ПУЭ - Правила устройства электроустановок, издание 7;
ГОСТ 5686-94 Грунты. Методы полевых испытаний сваями;
ГОСТ 19912-2001 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием;
ГОСТ 20522-96 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний;
ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация;
ГОСТ 27772-88* Прокат для строительных стальных конструкций.

Примечание.

При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования - на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем Стандарте приведены термины по СП 50-102-2003 и СНиП 52-01-2003, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 стальная свая-оболочка - стальная труба, заполняемая частично или полностью бетонным раствором или грунтом, погружаемая в пробуренный котлован, забивкой, вдавливанием или вибропогружаемая с или без выемки грунта (сталежелезобетонная или стальная конструкция);

3.2 буронабивная свая - железобетонная свая сплошного или кольцевого сечения с уширениями и без них, бетонируемая непосредственно в пробуренной скважине, в том числе с закреплением стенок скважины обсадной трубой (железобетонная конструкция);

3.3 буронабивная свая большого диаметра - буронабивная свая диаметром не менее 500 мм без уширений.

Наименования грунтов оснований приняты в соответствии с ГОСТ 25100-95.

4 Общие положения

4.1 Свайные фундаменты должны проектироваться на основе и с учётом:

- результатов инженерно-геологических изысканий для строительства;
- сведений о сейсмичности района строительства;
- данных, характеризующих назначение, конструктивные и технологические особенности сооружения и условия его эксплуатации;
- действующих на фундаменты нагрузок;
- условий существующей застройки и влияния на неё нового строительства;
- экологических требований;
- технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений для принятия варианта, обеспечивающего наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик грунтов и физико-механических свойств материалов фундаментов.

4.2 При проектировании фундаментов следует учитывать местные условия строительства, требования к охране окружающей среды, а также имеющийся опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений в аналогичных инженерно-геологических и гидрологических условиях.

4.3 Инженерно-геологические изыскания должны соответствовать требованиям, изложенным в разделе 5 СП 50-102-2003.

4.4 При проектировании свайных фундаментов в сейсмических районах дополнительно следует учитывать требования раздела 12 СП 50-102-2003.

4.5 При проектировании свайных фундаментов в специфических грунтах (просадочных, набухающих, засоленных, органо-минеральных, органических, элювиальных, насыпных, намывных, пучинистых, закреплённых) и в особых условиях дополнительно следует учитывать требования СП 50-101-2004.

4.6 Испытания несущей способности стальных свай-оболочек и буронабивных свай на сжимающие, выдёргивающие и горизонтальные нагрузки проводятся в соответствии с ГОСТ 5686-94.

Необходимость проведения статических испытаний одиночных свай определяется проектной организацией с учётом результатов инженерно-геологических изысканий. В отдельных случаях испытания статическими нагрузками позволяют уточнить и оптимизировать проектную глубину заложения свай.

Испытания свай статическими нагрузками выполняются:

- в случае сложных грунтовых условий, когда сваи погружаются в слабые грунты, представленные торфами, заторфованными грунтами, сапропелями и сапропелитами, текучими глинистыми, рыхлыми песчаными и другими сильносжимаемыми грунтами, а также насыпями;

- если возникают сомнения, что их несущая способность соответствует требованиям проекта (сваи, предназначенные для статического испытания, следует располагать на наиболее нагруженных участках при неблагоприятных грунтовых условиях);

- на участках с характерными для объекта грунтами.

Объём испытаний определяется проектной организацией на стадии разработки рабочего проекта для каждого объекта. Под объектом понимается участок ВЛ или площадка ПС. На каждый вид нагрузки на одной строительной площадке в сходных грунтовых условиях должны быть испытаны, как минимум, две сваи.

При испытании статической выдёргивающей нагрузкой должно быть испытано не менее 0.5 % от общего количества свай на объекте, но не менее 2 штук (двух свай на один вид нагрузки). При испытании свай статической вдавливающей или горизонтальной нагрузкой - не менее 2 штук (двух свай на один вид нагрузки) на объект.

4.7 Свайные фундаменты из стальных свай-оболочек и буронабивных свай, предназначенные для эксплуатации в условиях агрессивной среды, следует проектировать с учётом требований СНиП 2.03.11-85.

Антикоррозионную защиту стальных свай-оболочек (металлических труб) следует проводить в заводских условиях.

Антикоррозионное покрытие выбирается в зависимости от степени агрессивности среды в соответствии со СНиП 2.03.11-85 или по техническим условиям завода-изготовителя, если показатели стойкости покрытия не уступают требованиям СНиП 2.03.11-85 в заданных условиях.

5 Основные указания по расчёту

5.1 В соответствии с СП 50-102-2003 расчёт свайных фундаментов должен быть выполнен по предельным состояниям:

а) первой группы:

- по прочности материала свай и свайных ростверков;
- по несущей способности грунта основания свай на сжимающие и выдёргивающие нагрузки;

- по несущей способности грунта оснований свайных фундаментов (по устойчивости), если на них передаются значительные горизонтальные нагрузки, в том числе сейсмические, если сооружение расположено на откосе или вблизи него или если основание сложено круто падающими слоями грунта;

б) второй группы:

- по перемещениям оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок;

- по перемещениям свай (горизонтальным и углам поворота головы свай) совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов;

- по образованию или чрезмерному раскрытию трещин в элементах железобетонных конструкций свайных фундаментов.

В пучинистых грунтах должен быть выполнен расчёт свайных фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения.

Согласно СП 50-102-2003 расчёт по несущей способности, регламентированный последним подпунктом первой группы предельных состояний (по устойчивости), допускается не производить, если конструктивными мероприятиями обеспечена невозможность смещения проектируемого фундамента.

Расчёт по образованию или чрезмерному раскрытию трещин в элементах железобетонных конструкций свайных фундаментов следует выполнять в соответствии с СНиП 52-01-2003 и СП 52-101-2003.

5.2 Глубина погружения в грунт свай, воспринимающих выдёргивающие или горизонтальные нагрузки, должна составлять не менее 4.0 м.

5.3 Нагрузки и воздействия, учитываемые в расчётах свайных фундаментов, коэффициенты надёжности по нагрузке, а также возможные сочетания нагрузок следует принимать в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85* с учётом указаний СНиП 2.02.01-83* и ПУЭ (издание 7).

5.4 Расчёт свай, свайных фундаментов и их оснований по предельным состояниям первой группы и по перемещениям свай совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов следует выполнять на основные сочетания расчётных нагрузок в нормальных режимах и особое сочетание расчётных нагрузок в монтажных и аварийных режимах работы.

Расчёт свай, свайных фундаментов и их оснований по перемещениям оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок и по образованию или чрезмерному раскрытию трещин в элементах железобетонных конструкций свайных фундаментов следует выполнять на сочетание нормативных нагрузок в нормальных и аварийных режимах работы.

Сочетания нагрузок и расчётные режимы при расчёте фундаментов опор ВЛ и ОРУ подстанций следует определять в соответствии с ПУЭ.

5.5 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 СНиП II-23-81*, СП 53-102-2004, СНиП 52-01-2003 и СП 52-101-2003.

Расчётные значения характеристик грунтов определяются в соответствии с данными инженерно-геологических изысканий. Число определений характеристик грунтов для каждого инженерно-геологического элемента должно быть достаточным для их статистической обработки в соответствии с ГОСТ 20522-96 (не менее шести).

Расчётные значения прочностных характеристик песчаных и глинистых грунтов в обратной засыпке и при устройстве банкетов принимаются равными:

- расчётное значение угла внутреннего трения грунта обратной засыпки - 0.8 расчётного значения угла внутреннего трения грунта ненарушенной структуры;
- расчётное значение удельного сцепления грунта обратной засыпки - 0.5 расчётного значения удельного сцепления грунта ненарушенной структуры;
- расчётное значение модуля деформации грунта обратной засыпки - 0.5 расчётного значения модуля деформации грунта ненарушенной структуры;
- расчётное значение удельного веса грунта обратной засыпки - 0.8 расчётного значения удельного веса грунта ненарушенной структуры.

При применении специальных методов уплотнения характеристики грунтов должны определяться по данным специальных исследований.

При наличии почвенно-растительного слоя мощностью до 0.3 м, расчёт производится без учёта его влияния. При мощности почвенно-растительного слоя более 0.3 м в расчёт вводится толщина слоя, равная фактической, уменьшенной на 0.3 м, с характеристиками, принимаемыми по грунту подстилающего слоя, умноженными на коэффициенты:

- 0.7 для плотных песков;
- 0.85 для песков средней плотности;
- 1.0 для рыхлых песков;
- 0.9 для глинистых грунтов с показателем текучести $I_L \leq 0.5$;
- 1.0 для глинистых грунтов с показателем текучести $I_L > 0.5$.

При обработке почвенно-растительного слоя вспашкой и в районах с интенсивными атмосферными осадками или с искусственным орошением расчёт закреплений при отсутствии мероприятий по защите грунта основания от увлажнения следует производить с учётом возможных колебаний уровня грунтовых вод и изменения характеристик грунтов основания при замачивании.

5.6 Высота банкетки определяется расчётом в зависимости от нагрузок на фундаментную конструкцию и характеристик грунта. Расстояние от верхней грани ближайшего к поверхности ригеля до верха банкетки должно быть не менее ширины ригеля и не менее 0.6 м. Угол откоса банкетки принимается равным не более угла естественного откоса грунта банкетки.

6 Определение расчётных нагрузок на сваю

6.1 В каждое сочетание расчётных нагрузок на фундамент (расчётный режим) входят:

N_d^f - расчётная вертикальная сжимающая нагрузка, передаваемая на фундаментную конструкцию, κH ;

N_{du}^f - расчётная вертикальная выдёргивающая нагрузка, передаваемая на фундаментную конструкцию, κH ;

M_x^f - расчётный момент, передаваемый на фундаментную конструкцию, действующий в вертикальной плоскости, проходящей через ось OY (для опор ВЛ - направленную поперёк оси ВЛ), $\kappa H \cdot м$;

M_y^f - расчётный момент, передаваемый на фундаментную конструкцию, действующий в вертикальной плоскости, проходящей через ось OX (для опор ВЛ — направленную вдоль оси ВЛ), $\kappa H \cdot м$;

M_k^f - расчётный крутящий момент, передаваемый на фундаментную конструкцию, действующий в горизонтальной плоскости, проходящей через оси OX и OY , $\kappa H \cdot м$;

Q_x^f - расчётная горизонтальная нагрузка, передаваемая на фундаментную конструкцию, действующая вдоль оси OX (для опор ВЛ - вдоль оси ВЛ), κH ;

Q_y^f - расчётная горизонтальная нагрузка, передаваемая на фундаментную конструкцию, действующая вдоль оси OY (для опор ВЛ - поперёк оси ВЛ), κH .

Все нагрузки приложены в уровне опирания опоры на фундаментную конструкцию (в плоскости XOY).

Схема приложения нагрузок на фундамент приведена на рис. 6.1.

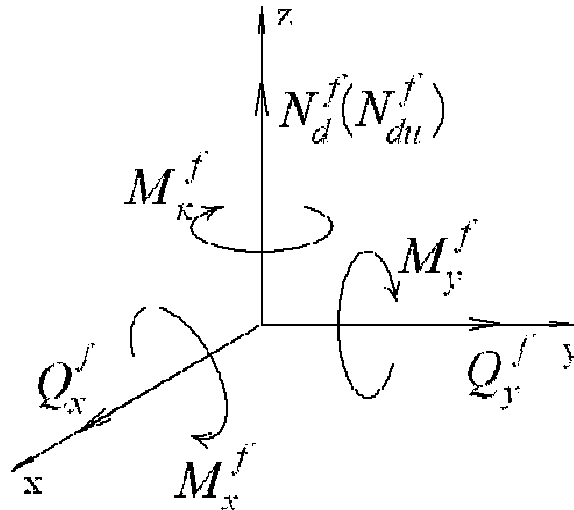


Рисунок 6.1 - Схема приложения расчётных нагрузок на фундамент (нагрузки приложены в уровне опирания опоры на фундаментную конструкцию (в плоскости XOY)).

6.2 Для одиночной вертикальной сваи в составе фундаментной конструкции (в состав фундаментной конструкции входит одна свая) расчётные нагрузки на сваю соответствуют нагрузкам на фундаментную конструкцию (момент рассчитывается в плоскости подошвы ростверка):

$$N_d = N_d^f + \gamma_f \cdot P \quad (6.1),$$

$$N_{du} = N_{du}^f - \gamma_f \cdot P \quad (6.2),$$

$$M_x = M_x^f + L_R \cdot Q_y^f \quad (6.3),$$

$$M_y = M_y^f + L_R \cdot Q_x^f \quad (6.4),$$

$$M_k = M_k^f \quad (6.5),$$

$$Q_x = Q_x^f \quad (6.6),$$

$$Q_y = Q_y^f \quad (6.7),$$

где

N_d - расчётная сжимающая нагрузка на одну сваю, κH ;

γ_f - коэффициент надёжности по нагрузке для веса фундаментной конструкции, принимаемый в соответствии с СНиП 2.01.07-85* равным:

1.05 - для металлических фундаментных конструкций при расчёте сжимающей нагрузки;

1.1 - для бетонных и железобетонных фундаментных конструкций при расчёте сжимающей нагрузки;

0.9 - при расчёте выдёргивающей нагрузки;

P - нормативное значение веса фундаментной конструкции, κH ;

N_{du} - расчётная выдёргивающая нагрузка на одну сваю, κH ;

M_x - расчётный момент, передаваемый на одну сваю, действующий в вертикальной плоскости, проходящей через ось OY (для опор ВЛ - направленную поперёк оси ВЛ), $\kappa H \cdot m$;

L_R - высота ростверка (расстояние от уровня задания нагрузок на фундамент до подошвы ростверка), m ;

M_y - расчётный момент, передаваемый на одну сваю, действующий в вертикальной плоскости, проходящей через ось OX (для опор ВЛ - направленную вдоль оси ВЛ), $\kappa H \cdot m$;

M_k - расчётный крутящий момент, передаваемый на одну сваю, действующий в горизонтальной плоскости, проходящей через оси OX и OY , $\kappa H \cdot m$;

Q_x - расчётная горизонтальная нагрузка, передаваемая на одну сваю, действующая вдоль оси OX (для опор ВЛ - вдоль оси ВЛ), κH ;

Q_y - расчётная горизонтальная нагрузка, передаваемая на одну сваю, действующая вдоль оси OY (для опор ВЛ - поперёк оси ВЛ), κH .

6.3 Для вертикальной сваи в составе фундаментной конструкции (в состав фундаментной конструкции входит не менее двух свай) расчётные нагрузки на сваю определяются по формулам:

$$N_d = \frac{N_d^f + \gamma_f \cdot P}{n} + \frac{(M_x^f + L_R \cdot Q_y^f) \cdot y}{\sum y_i^2} + \frac{(M_y^f + L_R \cdot Q_x^f) \cdot x}{\sum x_i^2} \quad (6.8),$$

$$N_{du} = \frac{N_{du}^f - \gamma_f \cdot P}{n} + \frac{(M_x^f + L_R \cdot Q_y^f) \cdot y}{\sum y_i^2} + \frac{(M_y^f + L_R \cdot Q_x^f) \cdot x}{\sum x_i^2} \quad (6.9),$$

$$M_x = L_R \cdot \left[\frac{Q_y^f}{n} + \frac{M_k^f \cdot x}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \right] \quad (6.10),$$

$$M_y = L_R \cdot \left[\frac{Q_x^f}{n} + \frac{M_k^f \cdot y}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \right] \quad (6.11),$$

$$M_k = 0 \quad (6.12),$$

$$Q_x = \frac{Q_x^f}{n} + \frac{M_k^f \cdot y}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \quad (6.13),$$

$$Q_y = \frac{Q_y^f}{n} + \frac{M_k^f \cdot x}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \quad (6.14),$$

где

n - количество свай в фундаментной конструкции;

y - расстояние от оси OX до оси сваи, для которой вычисляют расчётную нагрузку, m ;

y_i - расстояния от оси OX до оси каждой сваи, m ;

x - расстояние от оси OY до оси сваи, для которой вычисляют расчётную нагрузку, m ;

x_i - расстояния от оси OY до оси каждой сваи, m .

При определении расчётных нагрузок на сваю фундамент рассматривается как рамная конструкция, воспринимающая вертикальные и горизонтальные нагрузки, изгибающие и крутящие моменты. Нагрузка считается приложенной в центре тяжести фундаментной конструкции.

В соответствии с СП 50-102-2003 и СНиП 2.02.03-85 горизонтальная нагрузка, действующая на фундаментную конструкцию с вертикальными сваями одинакового поперечного сечения, принимается равномерно распределённой между всеми сваями.

7 Расчёт по прочности материала свай и свайных ростверков

7.1 При проектировании фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай необходимо произвести проверку по прочности материала свай и свайных ростверков на осевые силы, изгиб и кручение (в том числе на местную и общую устойчивость).

Проверка прочности ствола сваи при сжатии и растяжении производится на нагрузки N_d и N_{du} , рассчитываемые по п. 6.2 или п. 6.3.

При проверке прочности ствола сваи при изгибе необходимо учитывать, что максимальный изгибающий момент действует на сваю в сечении, определяемом расчётом с учётом давления грунта на сваю. Допускается максимальные изгибающие моменты для расчёта по прочности принимать равными:

$$M_x^{\max} = M_x + Q_y \cdot \left[\frac{h}{3} + L_0 \right] \quad (7.1),$$

$$M_y^{\max} = M_y + Q_x \cdot \left[\frac{h}{3} + L_0 \right] \quad (7.2),$$

где

h - глубина заложения нижнего конца сваи, отсчитываемая от природного рельефа или уровня планировки (при планировке срезкой), м;

L_0 - расстояние от подошвы ростверка до отметки поверхности грунта (при высоком ростверке), м.

Следовательно, проверка прочности ствола сваи при изгибе производится при одновременном действии пар нагрузок M_x^{\max} , Q_y и M_y^{\max} , Q_x .

Проверка прочности ствола сваи при кручении производится при действии нагрузки M_k .

Проверка прочности свайных ростверков производится при каждом сочетании действующих на фундамент нагрузок (в каждом расчётном режиме).

При установке ригелей необходимо произвести проверку по прочности ствола сваи при действии нагрузки в месте сопряжения ригеля и сваи.

7.2 При расчёте прочности стальной сваи-оболочки, заполняемой грунтом, (стальной конструкции) прочность сваи рассчитывается как прочность металлической оболочки (стальной конструкции).

При расчёте прочности стальной сваи-оболочки, заполняемой бетоном, (сталежелезобетонной конструкции) прочность сваи допускается рассчитывать как суммарную прочность металлической оболочки (стальной конструкции) и внутренней железобетонной конструкции.

Прочность буронабивной сваи большого диаметра (железобетонной конструкции) рассчитывается, как прочность железобетонной сваи круглого сечения.

7.3 Расчёт по прочности металлических свай и свайных ростверков следует производить в соответствии с требованиями СНиП II-23-81* и СП 53-102-2004.

7.4 Расчёт по прочности железобетонных свай и свайных ростверков следует производить в соответствии с требованиями СНиП 52-01-2003 и СП 52-101-2003.

7.5 В соответствии с СП 50-102-2003 при расчёте свай всех видов по прочности материала сваю следует рассматривать как стержень, жёстко заземлённый в грунте в сечении, расположенном от подошвы ростверка на расстоянии не менее l_1 , определяемом по формуле:

$$l_1 = L_0 + \frac{2}{\alpha_\varepsilon} \quad (7.3),$$

где

α_ε - коэффициент деформации сваи, определяемый в соответствии с приложением Д СП 50-102-2003, *1/м*.

7.6 При расчёте железобетонных (буронабивных) свай по прочности материала расчётное сопротивление бетона следует принимать с учётом коэффициента условий работы $\gamma_{cb} = 0.85$ согласно указаниям СНиП 52-01-2003 и коэффициента γ'_{cb} , учитывающего влияние способа производства свайных работ:

- в глинистых грунтах, если возможны бурение скважин и бетонирование их насухо без крепления стенок при положении уровня подземных вод в период строительства ниже пяты свай, $\gamma'_{cb} = 1.0$;

- в грунтах, бурение скважин и бетонирование в которых производят насухо с применением извлекаемых обсадных труб, $\gamma'_{cb} = 0.9$;

- в грунтах, бурение скважин и бетонирование в которых осуществляют при наличии в них воды с применением извлекаемых обсадных труб, $\gamma'_{cb} = 0.8$;

- в грунтах, бурение скважин и бетонирование в которых выполняют под глинистым раствором или под избыточным давлением воды (без обсадных труб), $\gamma'_{cb} = 0.7$.

8 Расчёт по несущей способности грунта основания свай

8.1 Стальную сваю-оболочку или буронабивную сваю в составе фундамента и вне его по несущей способности грунтов основания

(называемой в дальнейшем несущей способностью сваи) следует рассчитывать, исходя из условий:

$$N_d \leq \frac{F_d}{\gamma_k}, \quad (8.1)$$

$$N_{du} \leq \frac{F_{du}}{\gamma_k}, \quad (8.2)$$

$$\sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} \leq Q_p, \quad (8.3)$$

где

F_d - несущая способность сваи на сжимающие нагрузки, определяемая по данным полевых испытаний или по физико-механическим характеристикам грунтов, кН ;

γ_k - коэффициент надёжности, определяемый в соответствии с п. 8.2;

F_{du} - несущая способность сваи на выдёргивающие нагрузки, определяемая по данным полевых испытаний или по физико-механическим характеристикам грунтов, кН ;

Q_p - несущая способность сваи на горизонтальные нагрузки, определяемая по данным полевых испытаний, кН .

8.2 Коэффициент надёжности γ_k определяется в соответствии с указаниями СП 50-102-2003 и принимается в зависимости от числа свай в фундаменте равным:

1.75 (1.6) - при одной и менее 5 свай;

1.65 (1.5) - от 6 до 10 свай;

1.55 (1.4) - от 11 до 20 свай;

1.4 (1.25) - при 21 свае и более.

В скобках даны значения при определении несущей способности свай по результатам полевых испытаний статической нагрузкой или расчётом по результатам статического зондирования грунтов.

8.3 При наличии результатов полевых исследований несущую способность грунта основания свай следует определять с учётом данных статического зондирования грунтов. В случае проведения испытаний свай статической нагрузкой несущую способность грунта основания сваи следует принимать по результатам этих испытаний.

8.4 Проверка по устойчивости грунта основания свайного фундамента должна производиться в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83* и СП 50-101-2004 с учётом действия дополнительных горизонтальных реакций от свай, приложенных к сдвигаемой части грунта.

8.5 Расчёт несущей способности сваи по физико-механическим характеристикам грунтов

8.5.1 Несущую способность стальной сваи-оболочки или буронабивной сваи (грунта основания сваи), работающей на сжимающие нагрузки, по

физико-механическим характеристикам немёрзлых грунтов следует определять по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left[\gamma_{cR} R A + u \sum_i \gamma_{cf,i} f_i h_i \right] \quad (8.4),$$

где

F_d - несущая способность сваи при действии сжимающих нагрузок, κH ;

γ_c - коэффициент условий работы сваи при действии сжимающих нагрузок, принимаемый в соответствии с п. 8.1.2;

γ_{cR} - коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи, принимаемый для стальных свай-оболочек и буронабивных свай в зависимости от способа погружения свай и вида грунта под нижним концом сваи по таблице 1 с учётом п. 8.1.3;

R - расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое в соответствии с п. 8.1.4, $\kappa Па$;

A - площадь опирания сваи, принимаемая равной площади поперечного сечения сваи, $м^2$;

u - периметр поперечного сечения ствола сваи, $м$;

$\gamma_{cf,i}$ - коэффициент условий работы i -ого слоя грунта на боковой поверхности сваи, принимаемый для стальных свай-оболочек и буронабивных свай в зависимости от способа погружения свай и вида грунта по таблице 1 с учётом п. 8.5.3;

f_i - расчётное сопротивление i -ого слоя грунта на боковой поверхности ствола сваи, принимаемое по таблице 2 (соответствует таблице 7.2 СП 50-102-2003) с учётом п. 8.5.5, $\kappa Па$;

h_i - толщина i -ого слоя грунта, $м$.

8.5.2 Коэффициент условий работы сваи при действии сжимающих нагрузок γ_c определяется по формуле:

$$\gamma_c = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}, \quad (8.5)$$

где

γ_{c1} - коэффициент условий работы сваи, принимаемый в зависимости от свойств грунта, на который опирается свая:

0.8 - для глинистых грунтов с коэффициентом водонасыщения $S_r \geq 0.8$ и лессовых грунтов;

1.0 - в остальных случаях;

γ_{c2} - коэффициент условий работы сваи, принимаемый равным:

1.2 - для объектов электросетевого строительства, фундаменты которых не работают на выдёргивающие нагрузки;

1.2 - для нормальных промежуточных опор;

0.8 - для специальных опор (применяемых на больших переходах);

1.0 - в остальных случаях (в том числе для анкерно-угловых опор).

8.5.3 Коэффициенты γ_{cr} и γ_{cf} , принимаемые по поз. 2 таблицы 1, для глинистых грунтов с показателем текучести $0 < I_L < 0.5$ определяют интерполяцией.

8.5.4 Расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи R принимается в зависимости от типа и способа устройства (погружения) сваи:

- для стальных свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта или в предварительно пробуренную скважину диаметром, равным диаметру стальной сваи-оболочки, (забивкой, вдавливанием, вибропогружаемых), - по таблице 3 (соответствует таблице 7.1 СП 50-102-2003) с учётом п. 8.5.5;

- для стальных свай-оболочек, погружаемых в пробуренные котлованы, и буронабивных свай (должно обеспечиваться заглубление свай в грунт, принятый за основание их нижних концов, не менее чем на диаметр сваи, но не менее чем на 2 м):

- для крупнообломочных грунтов с песчаным заполнителем и песков в основании - в соответствии с п. 8.5.6;

- для глинистых грунтов в основании - по таблице 4 (соответствует таблице 7.7 СП 50-102-2003).

В таблице 3 над чертой даны значения R для песков, под чертой - для глинистых грунтов.

Таблица 1

Коэффициенты условий работы γ_{cr} и γ_{cf} для стальных свай-оболочек и буронабивных свай в зависимости от способа погружения свай и вида грунта.

Тип и способ устройства (погружения) сваи, виды грунтов	Коэффициент условий работы грунта	
	под нижним концом γ_{cr}	на боковой поверхности γ_{cf}
1. Стальные сваи-оболочки, погружаемые забивкой		
а) без выемки грунта	1.0	1.0
б) в предварительно пробуренную скважину диаметром, равным диаметру стальной сваи-оболочки, с заглублением концов свай не менее 1 м ниже забоя скважины	1.0	0.5
2. Стальные сваи-оболочки вибропогружаемые		
а) без выемки грунта		
в пески средней плотности:		
крупные и средней крупности	1.2	1.0
мелкие	1.1	1.0
пылеватые	1.0	1.0
в глинистые с показателем текучести $I_L = 0.5$		
супеси	0.9	0.9

Тип и способ устройства (погружения) сваи, виды грунтов	Коэффициент условий работы грунта	
	под нижним концом γ_{cR}	на боковой поверхности γ_{cf}
суглинки	0.8	0.9
глины	0.7	0.9
в глинистые с показателем текучести $I_L \leq 0$	1.0	1.0
б) в предварительно пробуренную скважину диаметром, равным диаметру стальной сваи-оболочки		
в пески	1.0	1.0
в супеси	1.0	0.9
в суглинки	1.0	0.7
в глины	1.0	0.6
3. Стальные сваи-оболочки, погружаемые вдавливанием		
а) без выемки грунта		
в пески средней плотности		
крупные, средней крупности и мелкие	1.1	1.0
пески пылеватые	1.1	0.8
в глинистые грунты с показателем текучести $I_L < 0.5$	1.1	1.0
в глинистые грунты с показателем текучести $I_L \geq 0.5$	1.0	1.0
б) в предварительно пробуренную скважину диаметром, равным диаметру стальной сваи-оболочки		
в пески средней плотности		
крупные, средней крупности и мелкие	1.0	0.9
пески пылеватые	1.0	0.8
в глинистые грунты с показателем текучести $I_L < 0.5$	1.0	0.8
глинистые грунты с показателем текучести $I_L \geq 0.5$	0.9	0.7
4. Стальные сваи-оболочки, погружаемые в пробуренные котлованы		
в пески, супеси, суглинки	1.0	0.6
в глины	1.0	0.5
5. Бутонабивные сваи, бетонируемые:		
а) при отсутствии воды в скважине (сухим способом), а также при использовании обсадных инвентарных труб		
в песках, супесях, суглинках	1.0	0.7
в глинах	1.0	0.6

Тип и способ устройства (погружения) свай, виды грунтов	Коэффициент условий работы грунта	
	под нижним концом γ_{cR}	на боковой поверхности γ_{cf}
б) под водой или под глинистым раствором в песках, супесях, суглинках, глинах	1.0	0.6
в) жёсткими бетонными смесями, укладываемыми с помощью глубинной вибрации (сухим способом) в песках, супесях, суглинках	1.0	0.8
в глинах	1.0	0.7

Таблица 2

Расчётное сопротивление грунта на боковой поверхности ствола свай f в зависимости от вида грунта, $кПа$.

Средняя глубина расположения слоя грунта, м	Песчаные грунты средней плотности								
	крупные и средней крупности	мелкие	пылеватые	-	-	-	-	-	-
	Глинистые грунты при показателе текучести I_L , равном								
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	35	23	15	12	8	4	4	3	2
2	42	30	21	17	12	7	5	4	4
3	48	35	25	20	14	8	7	6	5
4	53	38	27	22	16	9	8	7	5
5	56	40	29	24	17	10	8	7	6
6	58	42	31	25	18	10	8	7	6
8	62	44	33	26	19	10	8	7	6
10	65	46	34	27	19	10	8	7	6
15	72	51	38	28	20	11	8	7	6
20	79	56	41	30	20	12	8	7	6

Таблица 3

Расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи R для стальных свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта или в предварительно пробуренную скважину диаметром, равным диаметру сваи-оболочки, в зависимости от вида грунта, $кПа$

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Песчаные грунты средней плотности						
	гравелистые	крупные	-	средней крупности	мелкие	пылеватые	-
	Глинистые грунты при показателе текучести I_L , равном						
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
3	7500	$\frac{6600}{4000}$	3000	$\frac{3100}{2000}$	$\frac{2000}{1200}$	1100	600
4	8300	$\frac{6800}{5100}$	3800	$\frac{3200}{2500}$	$\frac{2100}{1600}$	1250	700
5	8800	$\frac{7000}{6200}$	4000	$\frac{3400}{2800}$	$\frac{2200}{2000}$	1300	800
7	9700	$\frac{7300}{6900}$	4300	$\frac{3700}{3300}$	$\frac{2400}{2200}$	1400	850
10	10500	$\frac{7700}{7300}$	5000	$\frac{4000}{3500}$	$\frac{2600}{2400}$	1500	900
15	11700	$\frac{8200}{7500}$	5600	$\frac{4400}{4000}$	2900	1650	1000
20	12600	8500	6200	$\frac{4800}{4500}$	3200	1800	1100

Таблица 4

Расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи R для стальных свай-оболочек, погружаемых в пробуренные котлованы, и буронабивных свай для глинистых грунтов, $кПа$

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Глинистые грунты, за исключением просадочных, при показателе текучести I_L , равном						
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
3	850	750	650	500	400	300	250
5	1000	850	750	650	500	400	350
7	1150	1000	850	750	600	500	450
10	1350	1200	1050	950	800	700	600
12	1550	1400	1250	1100	950	800	700

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Глинистые грунты, за исключением просадочных, при показателе текучести I_L , равном						
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
15	1800	1650	1500	1300	1100	1000	800
18	2100	1900	1700	1500	1300	1150	950
20	2300	2100	1900	1650	1450	1250	1050

8.5.5 Для значений сопротивлений f и R , принимаемых по таблицам 2 и 3 соответственно, следует:

- значения f и R для промежуточных глубин свай и промежуточных значений показателя текучести глинистых грунтов определять интерполяцией;

- значения f и R для супесей при числе пластичности $I_p < 4$ и коэффициенте пористости $e < 0.8$ определять как для пылеватых песков средней плотности;

- значения f и R для лессовых грунтов при глубине погружения свай более 5 м принимать по значениям, указанным для глубины 5 м; в случае возможности замачивания лессовых грунтов расчётные сопротивления принимать при показателе текучести, соответствующем полному водонасыщению грунта;

- значения f плотных песчаных грунтов увеличивать на 30 % по сравнению со значениями, приведёнными в таблице 2;

- значения f супесей и суглинков с коэффициентом пористости $e < 0.5$ и глин с коэффициентом пористости $e < 0.6$ увеличивать на 15 % по сравнению со значениями, приведёнными в таблице 2 при любых значениях показателя текучести;

- значения R плотных песчаных грунтов, плотность которых определена по данным статического зондирования, для свай, погруженных без использования предварительно устраиваемых скважин, увеличивать на 100 %; при определении плотности грунта по данным других видов инженерных изысканий и отсутствии данных статического зондирования значения R плотных песчаных грунтов увеличивать на 60 %, но не более чем до 20000 кПа;

- глубину погружения нижнего конца сваи и среднюю глубину расположения слоя грунта при планировке территории срезкой, подсыпкой, намывом до 3 м принимать от уровня природного рельефа, а при срезке, подсыпке, намыве от 3 до 10 м - от условной отметки, расположенной соответственно на 3 м выше уровня срезки или на 3 м ниже уровня подсыпки;

- для глинистых грунтов, коэффициент водонасыщения которых в природном состоянии $S_r \geq 0.8$, показатель текучести для определения расчётного сопротивления грунта под нижним концом сваи R и расчётного

сопротивления грунта на боковой поверхности ствола сваи f следует вычислять для водонасыщенного грунта по формуле:

$$I_L = \frac{0.9 e \gamma_w / \gamma_s - W_p}{W_L - W_p}, \quad (8.6)$$

где

I_L - показатель текучести грунта;

e - коэффициент пористости грунта природного сложения;

γ_w - удельный вес воды, принимаемый равным 9.8 кН/м^3 ;

γ_s - удельный вес частиц грунта, кН/м^3 ;

W_p - влажность грунта на границе раскатывания, доли единицы;

W_L - влажность грунта на границе текучести, доли единицы;

при значении $I_L < 0.4$, полученном при расчёте по формуле 8.6, I_L следует принимать равным 0.4.

8.5.6 Расчётное сопротивление грунта под нижним концом сваи R для стальных свай-оболочек, погружаемых в пробуренные котлованы, и буронабивных свай для крупнообломочных грунтов с песчаным заполнителем и песков в основании следует определять по формуле:

$$R = 0.75 \cdot \alpha_4 (\alpha_1 \gamma'_1 D + \alpha_2 \alpha_3 \gamma_1 h), \quad (8.7)$$

где

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ - безразмерные коэффициенты, принимаемые по таблице 5 (соответствует таблице 7.6 СП 50-102-2003) в зависимости от расчётного значения угла внутреннего трения грунта основания;

γ'_1 - расчётное значение удельного веса грунта в основании сваи, принимаемое с учётом п. 8.5.7, кН/м^3 ;

γ_1 - приведённое расчётное значение удельного веса грунтов, расположенных выше нижнего конца сваи, принимаемое в соответствии с п. 8.1.8 с учётом п. 8.5.7, кН/м^3 ;

D - диаметр сваи, м ;

h - глубина заложения нижнего конца сваи, отсчитываемая от природного рельефа или уровня планировки (при планировке срезкой), м .

8.5.7 Расчётное значение удельного веса водонасыщенных грунтов рассчитывается с учётом взвешивающего действия воды по формуле:

$$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \quad (8.8)$$

где

γ' - удельный вес грунта с учётом взвешивающего действия воды, кН/м^3 .

8.5.8 При слоистом напластовании грунтов приведённое расчётное значение удельного веса грунтов γ_1 , расположенных выше нижнего конца сваи, определяется по формуле:

$$\gamma_i = \frac{\sum_i \gamma_{i,i} \cdot h_i}{\sum_i h_i}, \quad (8.9)$$

где

$\gamma_{i,i}$ - расчётный удельный вес i -ого слоя грунта, расположенного выше нижнего конца сваи, $\text{кН}/\text{м}^3$.

8.5.9 Для забивных и вдавливаемых свай, опирающихся нижним концом на рыхлые пески или глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0.6$, несущую способность сваи при действии сжимающей силы F_d следует определять по результатам статических испытаний свай.

Таблица 5

Значения безразмерных коэффициентов в зависимости от расчётного значения угла внутреннего трения грунта основания.

Коэффициенты	Расчётные значения угла внутреннего трения грунта φ_1 , град.								
	23	25	27	29	31	33	35	37	39
α_1	9.5	12.6	17.3	24.4	34.6	48.6	71.3	108.0	163
α_2	18.6	24.8	32.8	45.5	64.0	87.6	127.0	185.0	260.0
α_3 при h/D равно:									
4.0	0.78	0.79	0.80	0.82	0.84	0.85	0.85	0.85	0.87
5.0	0.75	0.76	0.77	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
7.5	0.68	0.70	0.71	0.74	0.76	0.78	0.80	0.82	0.84
10.0	0.62	0.65	0.67	0.70	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81
12.5	0.58	0.61	0.63	0.67	0.70	0.73	0.75	0.78	0.80
15.0	0.55	0.58	0.61	0.65	0.68	0.71	0.73	0.76	0.79
17.5	0.51	0.55	0.58	0.62	0.66	0.69	0.72	0.75	0.78
20.0	0.49	0.53	0.57	0.61	0.65	0.68	0.72	0.75	0.78
22.5	0.46	0.51	0.55	0.60	0.64	0.67	0.71	0.74	0.77
25.0 и более	0.44	0.49	0.54	0.59	0.63	0.67	0.70	0.74	0.77
α_4 при $D, \text{м}$, равно:									
0.8 и менее	0.34	0.31	0.29	0.27	0.26	0.25	0.24	0.23	0.22
4.0	0.25	0.24	0.23	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.17

8.5.10 Несущую способность стальной сваи-оболочки или буронабивной сваи (грунта основания сваи), работающей на выдёргивающие нагрузки, по физико-механическим характеристикам немёрзлых грунтов следует определять по формуле:

$$F_{du} = \gamma_c u \sum_i \gamma_{cf,i} f_i h_i , \quad (8.10)$$

где

F_{du} - несущая способность сваи при действии выдёргивающих нагрузок, кН ;

γ_c - коэффициент условий работы сваи при действии выдёргивающих нагрузок, принимаемый в соответствии с 8.1.11.

8.5.11 Коэффициент условий работы сваи при действии выдёргивающих нагрузок γ_c принимается равным:

1.0 - для нормальных промежуточных опор;

0.85 - для анкерных прямых без разности тяжений;

0.8 - для угловых (промежуточных и анкерных), анкерных (прямых и концевых) с разностью тяжений, порталов открытых распределительных устройств;

0.6 - для специальных опор (применяемых на больших переходах);

1.0 - в остальных случаях.

8.5.12 Учёт отрицательных (негативных) сил трения грунта на боковой поверхности свай следует учитывать в соответствии с разделом 7 СП 50-102-2003.

8.6 Расчёт несущей способности свай по данным полевых испытаний

8.6.1 Несущая способность сваи (грунта основания сваи), работающей на выдёргивающие и сжимающие может быть определена по результатам статических испытаний свай и испытаний грунтов статическим зондированием в соответствии с СП 50-102-2003. Несущая способность сваи, работающей на горизонтальные нагрузки (грунта основания сваи и прочности материала сваи), может быть определена по результатам статических испытаний свай.

8.6.2 Испытания свай статическими нагрузками проводятся в соответствии с ГОСТ 5686-94, испытания грунтов статическим зондированием - ГОСТ 19912-2001. Для определения несущей способности свай по результатам статических испытаний в одинаковых грунтовых условиях должно быть проведено не менее двух испытаний.

8.6.3 Несущая способность основания одиночной сваи по результатам полевых испытаний свай выдёргивающей, сжимающей или горизонтальной статическими нагрузками в немерзлых грунтах в соответствии с СП 50-102-2003 определяется по формуле:

$$F_p = \frac{\gamma_c}{\gamma_g} F_{u,n} , \quad (8.11)$$

где

F_p - несущая способность сваи при действии выдёргивающей, сжимающей или горизонтальной силы, кН ;

γ_c - коэффициент условий работы, в случае сжимающих нагрузок принимаемый по 8.5.2, в случае выдёргивающих - по 8.5.11, в случае горизонтальных нагрузок принимаемый равным 1;

γ_g - коэффициент надёжности по грунту, принимаемый в соответствии с 8.6.4;

$F_{u,n}$ - нормативное значение предельного сопротивления сваи, κH .

8.6.4 В случае если число свай, испытанных в одинаковых грунтовых условиях, составляет менее шести, нормативное значение предельного сопротивления сваи следует принимать равным наименьшему предельному сопротивлению, полученному из результатов испытаний, значение коэффициента надёжности по грунту для немерзлых грунтов - $\gamma_g = 1$.

Если число испытанных в одинаковых грунтовых условиях свай составляет 6 и более, $F_{u,n}$ и γ_g следует определять на основании статистической обработки частных значений предельных сопротивлений свай, полученных по данным испытаний, руководствуясь требованиями ГОСТ 20522-96 применительно к методике, приведенной в нем для определения временного сопротивления при значении доверительной вероятности 0.95.

8.6.5 При испытании свай выдёргивающей или горизонтальной статическими нагрузками за частное значение предельного сопротивления F_u по графикам зависимости перемещений от нагрузок принимается нагрузка на одну ступень менее нагрузки, без увеличения которой перемещения сваи s непрерывно возрастают (при $s \leq 15 \text{ мм}$).

При испытании свай на сжатие если сжимающая нагрузка доведена до значения, вызывающего непрерывное возрастание осадки свай s без увеличения нагрузки (при $s \leq 20 \text{ мм}$), то эту нагрузку принимают за частное значение предельного сопротивления испытываемой сваи.

В остальных случаях за частное значение предельного сопротивления сваи F_u сжимающей нагрузке следует принимать нагрузку, под действием которой испытываемая свая получит осадку s , определяемую по формуле:

$$s = 0.05 D, \quad (8.12)$$

где

D - диаметр сваи, m .

Если осадка, определённая по формуле 8.12, окажется более 40 mm , то за частное значение предельного сопротивления сваи F_u сжимающей нагрузке принимается нагрузка, соответствующая $s = 40 \text{ мм}$.

Если при максимально достигнутой при испытаниях нагрузке равной или более $1.5 F_{d,du}^f$ (где $F_{d,du}^f$ - принятая в проекте расчётная нагрузка, передаваемая на сваю), перемещение сваи окажется менее значения, определённого по формуле 8.12, то за частное значение предельного

сопротивления сваи F_u допускается принимать максимальную нагрузку, полученную при испытаниях.

9 Расчёт по перемещениям оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок

9.1 В соответствии с требованиями СП 50-102-2003 расчёт по перемещениям оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок следует производить, исходя из условия:

$$s \leq s_u \quad (9.1),$$

где

s - совместная деформация сваи, свайного фундамента и сооружения (осадка, перемещение, относительная разность осадок свай, свайных фундаментов, крены свайных фундаментов), определяемая в соответствии с разделом 7 СП 50-102-2003, m ;

s_u - предельное значение совместной деформации основания сваи, свайного фундамента и сооружения, устанавливаемое в соответствии с СП 50-101-2004 и СНиП 2.02.01-83*, m .

9.2 Расчёт по перемещениям оснований свай и свайных фундаментов от вертикальных нагрузок для немёрзлых грунтов не требуется, если:

- фундамент работает только на сжимающие и выдёргивающие нагрузки в соответствии с СП 50-102-2003, за исключением фундаментов анкерных, анкерно-угловых, концевых и переходных опор;
- фундамент работает только на сжимающие нагрузки, и в пределах диаметра сваи под её нижним концом залегают плотные пески, крупнообломочные или твёрдые глинистые грунты.

10 Расчёт по перемещениям сваи (горизонтальным и углам поворота головы свай) совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов

10.1 Расчёт по перемещениям закрепления (сваи, сваи с ригелем в составе фундаментной конструкции) совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов, действующих на фундаментную конструкцию во взаимно перпендикулярных плоскостях, допускается рассчитывать отдельно в каждой из двух взаимно перпендикулярных вертикальных плоскостей (вдоль оси OX (направленной вдоль оси ВЛ) и вдоль оси OY (направленной поперёк оси ВЛ)) с введением дополнительных коэффициентов условий работы γ_{cm} .

Для каждого нормируемого сочетания нагрузок расчёт должен быть выполнен для двух сочетаний расчётных нагрузок, передаваемых на фундаментную конструкцию:

- $N_d, \gamma_{cm} Q_x, M_y$;
- $N_d, \gamma_{cm} Q_y, M_x$;

где

γ_{cm} - коэффициент условий работы, принимаемый в зависимости от отношения моментов M_x и M_y , действующих на фундамент во взаимно перпендикулярных плоскостях, по таблице 6.

Таблица 6

Коэффициент условий работы γ_{cm} в зависимости от отношения моментов M_x и M_y , действующих на фундамент во взаимно перпендикулярных плоскостях.

$\frac{M_x}{M_y}$ при $M_x \leq M_y$, $\frac{M_y}{M_x}$ при $M_x > M_y$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Коэффициент γ_{cm}	1.0	0.86	0.77	0.73	0.71	0.71

Расчёт закреплений, имеющих ригели, расположенные параллельно плоскости действия нагрузок рассматриваемого сочетания, производится без учёта этих ригелей.

При слоистом напластовании грунтов расчётные характеристики и коэффициенты, зависящие от разновидностей грунтов, принимаются средними по длине сваи (погруженной в грунт) с учётом толщин слоёв грунтов.

10.2 При расчёте по перемещениям закрепления совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов все действующие на закрепление расчётные нагрузки каждого нормируемого сочетания должны быть приведены к отметке поверхности грунта:

$$- N_d, Q^s, M^s;$$

где

Q^s - расчётная горизонтальная нагрузка, передаваемая на закрепление в уровне отметки поверхности грунта ($Q^s = \gamma_{cm} Q_x$ или $Q^s = \gamma_{cm} Q_y$), кН;

M^s - расчётный момент, передаваемый на закрепление в уровне отметки поверхности грунта ($M^s = M_y + L_0 \cdot \gamma_{cm} Q_x$ или $M^s = M_x + L_0 \cdot \gamma_{cm} Q_y$), кН·м;

L_0 - расстояние от подошвы ростверка до отметки поверхности грунта (при высоком ростверке), м.

10.3 Расчёт по перемещениям закрепления совместно с грунтом основания от действия горизонтальных нагрузок и моментов следует производить, исходя из условий:

$$Q^s \leq \gamma_{cg} \gamma_c Q_u \quad (10.1),$$

$$\beta \leq \beta_u \quad (10.2),$$

где
 γ_{cg} - коэффициент условий работы закрепления, принимаемый в зависимости от разновидности и структуры грунта по таблице 7;

Таблица 7

Коэффициент условий работы закрепления γ_{cg} в зависимости от разновидности и структуры грунта.

Разновидность грунта:		Коэффициент условий работы закрепления γ_{cg} в грунтах со структурой	
		ненарушенной	нарушенной
крупно-обломочные	галечниковые, гравийные	1.1	1.0
пески	гравелистые, крупные	1.1	1.0
	средней крупности	1.05	1.0
	мелкие	1.1	1.0
	пылеватые	1.15	1.05
супеси	твёрдые, полутвёрдые ($I_L \leq 0.25$)	1.3	1.2
	пластичные, текучие ($I_L > 0.25$)	1.4	1.3
суглинки	твёрдые, полутвёрдые ($I_L \leq 0.25$)	1.25	1.15
	тугопластичные ($0.25 < I_L \leq 0.5$)	1.4	1.25
	мягко- и текучепластичные, текучие ($I_L > 0.5$)	1.4	1.25
глины	твёрдые, полутвёрдые ($I_L \leq 0.25$)	1.5	1.3
	тугопластичные ($0.25 < I_L \leq 0.5$)	1.5	1.3
	мягко- и текучепластичные, текучие ($I_L > 0.5$)	1.5	1.4

γ_c - коэффициент условий работы закрепления, принимаемый в соответствии с п. 10.4;

Q_u - предельная горизонтальная сила, определяемая в соответствии с п. 10.6, кН ;

β - расчётное значение угла поворота закрепления, принимаемое в соответствии с п. 10.18, рад ;

β_u - предельное значение угла поворота закрепления, принимаемое $\beta_u = 0.01 \text{ рад}$.

10.4 Коэффициент условий работы закрепления γ_c принимается равным:

1.0 - для нормальных промежуточных опор;

0.85 - для анкерных прямых без разности тяжений;

0.8 - для угловых (промежуточных и анкерных), анкерных (прямых и концевых) с разностью тяжений, порталов открытых распределительных устройств;

0.6 - для специальных опор (применяемых на больших переходах);

1.0 - в остальных случаях.

10.5 При расчёте предельной горизонтальной силы и расчётного угла поворота закрепления все действующие на закрепление нагрузки каждого нормируемого сочетания должны быть заменены двумя силами:

- горизонтальной сосредоточенной силой, приложенной на высоте H от отметки поверхности грунта;

- вертикальной силой, приложенной в уровне отметки поверхности грунта, равной сжимающей нагрузке N_d .

Высота приложения горизонтальной сосредоточенной силы определяется в зависимости от диаметра и заглубления сваи:

$$- H = \frac{M^s}{Q^s} \text{ при } h \leq 5D;$$

$$- H = \frac{M^s}{Q^s} \cdot \frac{h}{5D} \text{ при } h > 5D,$$

где

h - глубина заложения нижнего конца сваи, отсчитываемая от природного рельефа или уровня планировки (при планировке срезкой), m ;

D - диаметр сваи, m .

10.6 Значение предельной горизонтальной силы Q_u определяется по формуле:

$$Q_u = \frac{\omega}{\alpha + \theta + C_1} \left[\sigma_u \left[\theta \cdot (2\eta + \theta)(C_1 + C_2) + (2\eta + 1) \frac{f_g \cdot D}{2h} \right] + \sigma_r + f_g N_d C_3 \right], \quad (10.4)$$

где

ω - безразмерный коэффициент формы эпюры давления грунта на сваю, учитывающий уменьшение давления в непосредственной близости к поверхности грунта и принимаемый равным $\omega = 1 - 0.003 c_1$;

c_1 - расчётное значение удельного сцепления грунта, kPa ;

α - безразмерный коэффициент, принимаемый равным отношению высоты приложения горизонтальной сосредоточенной силы H к глубине погружения сваи в грунт h , $\alpha = \frac{H}{h}$;

C_1, C_2, C_3 - безразмерные переменные, определяемые в соответствии с 10.7;

σ_u - сила пассивного давления грунта на сваю, принимаемая в соответствии с 10.8, κH ;

η - безразмерный коэффициент, определяемый в соответствии с 10.11;

σ_r - сила давления грунта на ригели, принимаемая в соответствии с 10.13 (при расчёте безригельного закрепления принимается равной $\sigma_r = 0$), κH ;

f_g - коэффициент трения грунта по поверхности сваи, принимаемый в соответствии с 10.16;

θ - относительная глубина центра поворота закрепления (сваи), определяемая в соответствии с 10.17.

10.7 Безразмерные переменные C_1, C_2, C_3 определяются в зависимости от коэффициента η и относительной глубины центра поворота закрепления θ по формулам:

$$C_1 = \frac{1-\theta}{3} \cdot \frac{3\eta+2+\theta}{2\eta+1+\theta}, \quad (10.5)$$

$$C_2 = \frac{\theta}{3} \cdot \frac{3\eta+\theta}{2\eta+\theta}, \quad (10.6)$$

$$C_3 = \frac{1-\theta}{3} \cdot \frac{3\eta+1+2\theta}{2\eta+1+\theta}. \quad (10.7)$$

10.8 Сила пассивного давления грунта на сваю σ_u определяется по формуле:

$$\sigma_u = \frac{m_\varphi \cdot b \cdot h^2}{2}, \quad (10.8)$$

где

m_φ - параметр пассивного давления грунта, определяемого внутренним трением, принимаемый в соответствии с п. 10.9, $\kappa H/м^3$;

b - расчётная ширина сваи, принимаемая в соответствии с п. 10.10, $м$.

10.9 Параметр m_φ принимается в зависимости от расчётных значений характеристик грунта по формуле:

$$m_\varphi = \gamma_l \cdot \text{tg}^2(45^\circ + \varphi_l/2), \quad (10.9)$$

где

γ_l - расчётное значение удельного веса грунта, $\kappa H/м^3$;

φ_l - расчётное значение угла внутреннего трения грунта, $град$.

10.10 Расчётная ширина сваи b принимается в зависимости от расчётного значения угла сдвига по формуле:

$$b = D \cdot \left(1 + \frac{2h \operatorname{tg}\left(\frac{\psi}{5}\right)}{3D \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\psi}{2}\right)} \right), \quad (10.10)$$

где

ψ - расчётное значение угла сдвига грунта, град.

Расчётное значение угла сдвига грунта определяется по формуле:

$$\psi = \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg} \varphi_l + \frac{c_l}{\sigma_0}\right), \quad (10.11)$$

где

σ_0 - нормальное давление грунта, принимаемое равным $\sigma_0 = 100 \text{ кПа}$.

10.11 Безразмерный коэффициент η определяется по формуле:

$$\eta = \frac{m_c}{m_\varphi h}, \quad (10.12)$$

где

m_c - параметр сцепления грунта, принимаемый в соответствии с п. 10.12, кПа.

Таблица 8

Коэффициенты условий работы ригелей γ_{cr} в зависимости от типа закрепления (количество и расположение ригелей)

Тип закрепления (количество и расположение ригелей)		Коэффициенты условий работы ригелей	
		γ_{cr1}	γ_{cr2}
Одноригельное:	Один верхний ригель	1.0	0.0
Двухригельное:	Один верхний и один нижний ригели	1.0	1.0
	Два верхних ригеля одинаковых размеров, расположенных в горизонтальной плоскости симметрично относительно оси OX или OY	1.6	0.0

10.12 Параметр m_c принимается в зависимости от расчётных значений характеристик грунта по формуле:

$$m_c = 2c_l \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi_l}{2}\right) \quad (10.13).$$

10.13 Сила давления грунта на ригели σ_r принимается по формуле:

$$\sigma_r = \gamma_{cr1} \sigma_{r1} \cdot \left(\left(\frac{D}{2} + a_{r1} \right) \frac{f_g}{h} + 1 - \frac{z_{r1}}{h} - C_3 \right) + \gamma_{cr2} \sigma_{r2} \cdot \left(\left(\frac{D}{2} + a_{r2} \right) \frac{f_g}{h} - \frac{z_{r2}}{h} + C_3 \right) \quad (10.14),$$

где:

γ_{cr1} - коэффициент условий работы верхних ригелей, принимаемый в зависимости от типа закрепления (количества и расположения ригелей) по таблице 10.4;

γ_{cr2} - коэффициент условий работы верхних ригелей, принимаемый в зависимости от типа закрепления (количества и расположения ригелей) по таблице 10.4;

σ_{r1} - сила давления грунта на верхний ригель, принимаемая в соответствии с п. 10.14, кН ;

z_{r1} - расстояние от уровня отметки поверхности грунта (или банкетки) до середины высоты верхнего ригеля, м ;

a_{r1} - ширина верхнего ригеля, м ;

σ_{r2} - сила давления грунта на нижний ригель, принимаемая в соответствии с п. 10.15, кН ;

z_{r2} - расстояние от уровня нижнего конца сваи до середины высоты нижнего ригеля, м ;

a_{r2} - ширина нижнего ригеля, м .

10.14 При расположении ригеля в основном грунте (не в грунте банкетки) сила давления грунта на верхний ригель σ_{r1} принимается по формуле:

$$\sigma_{r1} = h_{r1} (L_{r1} - D) (m_c + m_\varphi z_{r1}) \left(1 + \frac{0.3}{L_{r1}} \right), \quad (10.15)$$

где

h_{r1} - высота верхнего ригеля, м ;

L_{r1} - длина верхнего ригеля, м .

При расположении ригеля в грунте банкетки сила давления грунта на верхний ригель σ_{r1} принимается по формуле:

$$\sigma_{r1} = h_{r1} L_{r1} (m_c + m_\varphi (h_b - z_{r1})), \quad (10.16)$$

где

h_b - высота банкетки, м .

10.15 Сила давления грунта на нижний ригель σ_{r2} принимается по формуле:

$$\sigma_{r2} = h_{r2} (L_{r2} - D) (m_c + m_\varphi (h - z_{r2})) \left(1 + \frac{0.3}{L_{r2}} \right), \quad (10.17)$$

где

h_{r2} - высота нижнего ригеля, м ;

L_{r2} - длина нижнего ригеля, м .

10.16 Коэффициент трения грунта f_g определяется в зависимости от вида поверхности сваи и расчётного значения угла внутреннего трения грунта по формулам:

- для бетонной поверхности сваи:

- для крупнообломочных грунтов и песков средней степени водонасыщения и водонасыщенных (с коэффициентом водонасыщения $S_r > 0.5$):

$$f_g = tg \varphi_I - 0.1; \quad (10.18)$$

- для остальных разновидностей грунтов:

$$f_g = tg \varphi_I; \quad (10.19)$$

- для металлической поверхности сваи:

- для крупнообломочных грунтов и песков средней степени водонасыщения и водонасыщенных (с коэффициентом водонасыщения $S_r > 0.5$):

$$f_g = 0.9(tg \varphi_I - 0.1); \quad (10.20)$$

- для остальных разновидностей грунтов:

$$f_g = 0.9 tg \varphi_I. \quad (10.21)$$

10.17 Относительная глубина центра поворота закрепления θ определяется из уравнения:

$$\theta \sigma_u (2\eta + \theta) [2(\alpha + \theta + C_1) - C_1 - C_2] - \sigma_u (2\eta + 1) \left(\alpha + \theta + C_1 + \frac{f_g \cdot D}{2h} \right) - \omega f_g N_d (\alpha + \theta + C_1 + C_3) - \omega (\sigma_r + (\alpha + \theta + C_1) (\gamma_{cr2} \sigma_{r2} - \gamma_{cr1} \sigma_{r1})) = 0. \quad (10.22)$$

Значения параметра θ ориентировочно лежат в интервале $\theta \in [0, 1]$.

10.18 Расчётное значение угла поворота закрепления β определяется в зависимости от типа закрепления по формулам:

- для безригельного закрепления:

$$\beta = \frac{3Q^s}{4E_I h^2} \cdot (6\alpha_B + 3) \cdot \nu; \quad (10.23)$$

- для одно- или двухригельного закрепления:

$$\beta = \frac{3Q^s}{8E_I h^2} \cdot [(6\alpha_B + 5) \cdot \nu_1 + (6\alpha_B + 1) \cdot \nu_2], \quad (10.24)$$

где

E_I - расчётное значение модуля деформации грунта, $кПа$;

α_B - безразмерный коэффициент, принимаемый в соответствии с п. 10.19;

ν, ν_1, ν_2 - безразмерные переменные, определяемые в соответствии с п. 10.20.

10.19 Коэффициент α_B принимается в зависимости от структуры грунта и наличия банкетки:

- для закрепления без банкетки:

$$\alpha_B = \alpha = \frac{H}{h}; \quad (10.25)$$

- для закрепления с банкеткой в грунте с ненарушенной структурой:

$$\alpha_B = \frac{H - h_B/4}{h + h_B/4}; \quad (10.26)$$

- для закрепления с банкеткой в грунте с нарушенной структурой:

$$\alpha_B = \frac{H - h_B/2}{h + h_B/2}, \quad (10.27)$$

где

h_B - высота банкетки, м.

10.20 Коэффициенты ν , ν_1 , ν_2 определяются по таблице 4 в зависимости от значения параметра t , принимаемого равным:

- для безригельного закрепления:

$$t = \frac{D}{h} \text{ при определении } \nu;$$

- для одноригельного закрепления:

$$t = \frac{3h_{r1} L_{r1}}{h^2} \text{ при определении } \nu_1;$$

$$t = \frac{D}{h} \text{ при определении } \nu_2;$$

- для двухригельного закрепления по схеме: один верхний и один нижний ригели:

$$t = \frac{3h_{r1} L_{r1}}{h^2} \text{ при определении } \nu_1;$$

$$t = \frac{3h_{r2} L_{r2}}{h^2} \text{ при определении } \nu_2;$$

- для двухригельного закрепления по схеме: два верхних ригеля одинаковых размеров, расположенных в горизонтальной плоскости симметрично относительно оси OX или OY :

$$t = \frac{3h_{r1} L_{r1}}{h^2} \text{ при определении } \nu_1 \text{ и } \nu_2.$$

Таблица 4

Коэффициенты ν , ν_1 , ν_2 в зависимости от значения параметра t

Значение параметра t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Коэффициенты ν , ν_1 , ν_2	6.3	4.9	4.1	3.6	3.2	2.9	2.7	2.5	2.4	2.3

Значения коэффициентов ν , ν_1 , ν_2 для промежуточных значений параметра t определяются интерполяцией.

11 Расчёт фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения

11.1 Расчёт фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения выполняется в соответствии с СП 50-101-2004.

В соответствии с СП 50-101-2004 расчёт оснований фундаментов опор ВЛ, сложенных пучинистыми грунтами, по несущей способности должен выполняться с учётом одновременного действия сил морозного пучения, постоянных и длительных временных нагрузок. Расчёт оснований опор на одновременное действие сил морозного пучения и кратковременных нагрузок (ветровых и от обрыва проводов) не требуется.

Глубина заложения нижнего конца сваи должна быть не менее чем на диаметр сваи больше расчетной глубины сезонного промерзания-оттаивания грунта.

11.2 Проверка устойчивости фундаментов на воздействие касательных сил морозного пучения, действующих вдоль боковой поверхности фундаментов, выполняется по формуле:

$$\tau_{fn} A_{fn} - \gamma_f N_d^c \leq \frac{\gamma_c F_{rf}}{\gamma_n}, \quad (11.1)$$

где

τ_{fn} - значение расчетной удельной касательной силы пучения, принимаемое в соответствии с п. 11.3, $\kappaПа$;

A_{fn} - площадь боковой поверхности фундамента (в том числе ригелей и ростверка), находящейся в пределах расчетной глубины сезонного промерзания-оттаивания, $м^2$;

γ_f - коэффициент надёжности по сжимающей нагрузке, принимаемый $\gamma_f = 0.9$;

N_d^c - расчётная постоянная сжимающая нагрузка, $\kappaН$;

γ_c - коэффициент условий работы, принимаемый равным $\gamma_c = 1.1$;

γ_n - коэффициент надёжности, принимаемый равным $\gamma_n = 1.1$;

F_{rf} - расчётное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания вследствие трения его боковой поверхности о талый грунт, лежащий ниже расчетной глубины промерзания, принимаемое в соответствии с п. 11.4, $\kappaН$.

Устойчивость фундаментов, работающих на постоянные выдёргивающие нагрузки, дополнительно проверяется по формуле:

$$\tau_{fn} A_{fn} + \gamma_f N_{du}^c \leq \frac{\gamma_c F_{rf}}{\gamma_n}, \quad (11.2)$$

где

γ_f - коэффициент надёжности по выдёргивающей нагрузке, принимаемый $\gamma_f = 1.1$;

N_{du}^c - расчётная постоянная выдёргивающая нагрузка, κH .

11.3 Значение расчетной удельной касательной силы пучения τ_{fn} должно определяться, как правило, опытным путем.

При отсутствии опытных данных допускается принимать значения τ_{fn} по таблице 5 в зависимости от разновидности грунта и глубины сезонного промерзания-оттаивания. Для промежуточных глубин промерзания значения τ_{fn} определяются интерполяцией.

Значения τ_{fn} для грунтов, используемых при обратной засыпке котлованов, принимают по первой строке таблицы.

В зависимости от вида поверхности фундамента приведённые в таблице значения τ_{fn} умножают на коэффициент:

0,8 - для металлической поверхности из горячекатаного проката без специальной обработки;

1,0 - для гладкой бетонной необработанной поверхности;

1,1 - для шероховатой бетонной поверхности с выступами и кавернами до 5 мм;

1,25 - для шероховатой бетонной поверхности с выступами и кавернами до 20 мм.

Для поверхностей фундаментов, покрытых специальными составами, уменьшающими силы смерзания, а также при применении других противопучинных мероприятий, значение τ_{fn} следует принимать на основании опытных данных.

11.4 Расчётное значение силы F_{rf} , κH , удерживающей фундамент от выпучивания, для немёрзлых грунтов следует определять по формуле:

$$F_{rf} = \sum_i f_i (u h_i + A_i^r + A_i^R), \quad (11.3)$$

где

f_i - расчётное сопротивление i -ого слоя грунта, находящегося ниже расчётной глубины сезонного промерзания-оттаивания, на боковой поверхности ствола сваи, принимаемое в соответствии с разделом 8.1, $\kappa Па$;

u - периметр поперечного сечения ствола сваи, $м$;

h_i - толщина i -ого слоя грунта, находящегося ниже расчётной глубины сезонного промерзания-оттаивания, $м$.

A_i^r - площадь боковой поверхности сдвига ригелей в i -ом слое грунта, находящемся ниже расчётной глубины промерзания-оттаивания, $м^2$;

A_i^R - площадь боковой поверхности сдвига ростверка в i -ом слое грунта, находящемся ниже расчётной глубины промерзания-оттаивания, m^2 .

Площади боковой поверхности ригелей и ростверка учитываются при заложении ригелей и ростверка соответственно ниже расчётной глубины промерзания-оттаивания.

Таблица 5

Значения расчётной удельной касательной силы пучения τ_{fn} , кПа, в зависимости от разновидности грунта и глубины сезонного промерзания-оттаивания

Разновидность и характеристики грунта	Значения расчётной удельной касательной силы пучения τ_{fn} , кПа, при глубине сезонного промерзания-оттаивания грунта, м		
	до 1.5	2.5	3 и более
глинистые грунты при показателе текучести $I_L > 0.5$; крупнообломочные грунты с заполнителем, пески мелкие и пылеватые с коэффициентом водонасыщения $S_r > 0.95$	110	90	70
глинистые грунты при показателе текучести $0.25 < I_L \leq 0.5$; крупнообломочные грунты с заполнителем, пески мелкие и пылеватые с коэффициентом водонасыщения $0.8 < S_r \leq 0.95$	90	70	55
глинистые грунты при показателе текучести $I_L \leq 0.25$; крупнообломочные грунты с заполнителем, пески мелкие и пылеватые с коэффициентом водонасыщения $0.6 < S_r \leq 0.8$	70	55	40

12 Конструирование свайных фундаментов

12.1 Выбор конструкции и размеров свай должен осуществляться с учётом значений и направления действия нагрузок на фундаменты (в том числе монтажных нагрузок), а также технологии строительства здания или сооружения.

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.

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

12.3 Фундаменты из буронабивных свай большого диаметра следует проектировать преимущественно в виде одиночных свай.

Фундаменты из стальных свай-оболочек в зависимости от действующих нагрузок следует проектировать в виде одиночных свай или свайных кустов.

Рекомендуемое количество стальных свай-оболочек в кустах: две, три, четыре, шесть и более.

При конструировании фундаментов необходимо соблюдать условие ограничения минимального расстояния между сваями: расстояние в свету между стволами буронабивных свай (без уширений) и свай-оболочек должно быть не менее 1.0 м.

12.4 Выбор длины свай должен производиться в зависимости от грунтовых условий строительной площадки, уровня расположения нижней части ростверка с учётом возможностей имеющегося оборудования для устройства свайных фундаментов.

При проектировании фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай большого диаметра необходимую несущую способность свай рекомендуется обеспечивать за счёт увеличения глубины погружения сваи, а не за счёт увеличения её диаметра.

12.5 В песках, а также в твёрдых и тугопластичных глинистых грунтах рекомендуется применять безригельное закрепление.

Стальные сваи-оболочки в этих случаях рекомендуется погружать с минимальным нарушением структуры грунта (без выемки грунта или с устройством скважины диаметром, равным диаметру стальной сваи-оболочки).

Применение закреплений с нарушением естественной структуры грунта (погружаемых с выемкой грунта) во всех случаях должно обосновываться проектом.

12.6 В зависимости от конструктивных особенностей здания или сооружения могут быть применены монолитные железобетонные или металлические ростверки.

Железобетонные ростверки применяют для обеспечения жёсткости фундамента из стальных свай-оболочек и буронабивных свай, а также для уменьшения давления на грунт при восприятии больших величин изгибающих моментов.

Высота железобетонного ростверка определяется расчётом согласно СНиП 52-01-2003. Армирование ростверка производится плоскими сетками, как правило, из арматуры класса А-III (А400). Для ростверка применяют, как правило, бетон класса по прочности В20.

При расчёте жёсткого железобетонного ростверка, обеспечивающего одинаковую осадку всех свай, следует учитывать перераспределение нагрузки на сваи, в результате которого нагрузка на угловые сваи будет выше средних, что может вызвать значительные изгибающие моменты на краях и в углах ростверка.

Металлические ростверки применяют для фундаментов из стальных свай-оболочек.

Конструктивное решение металлического ростверка определяется в зависимости от нагрузок на фундамент и прочности материала ростверка. Сортамент балок ростверка определяется в зависимости от нагрузки в соответствии с СНиП II-23-81* и СП 53-102-2004.

Соединение всех элементов металлического фундамента между собой производится при помощи сварки или болтового соединения. Балки ростверка следует изготавливать из той же марки стали, из которой изготовлены стальные свай-оболочки: рекомендуется сталь марки С 255 при температуре эксплуатации выше -40°C и сталь марки С345 при температуре эксплуатации ниже -40°C в соответствии с ГОСТ 27772-88*.

Железобетонный или металлический ростверк может быть расположен ниже уровня поверхности земли для улучшения эстетического вида фундамента (видна только его опорная часть) и его экологичности (на поверхности земли проектируются зелёные насаждения), уменьшения землеотвода. В этом случае необходимо принять дополнительные меры по защите ростверка от коррозии в соответствии со СНиП 2.03.11-85.

12.7 Сопряжение железобетонного или металлического свайного ростверка со сваями предусматривается жёстким и рекомендуется в случае, когда:

- сваи располагаются в слабых грунтах (рыхлых песках, глинистых грунтах текучей консистенции, илах, торфах и т.п.);
- в месте сопряжения сжимающая нагрузка, передаваемая на сваю, приложена к ней с эксцентриситетом, выходящим за пределы её ядра сечения;
- на сваю действуют значительные горизонтальные нагрузки или изгибающие моменты;
- при работе свай на выдёргивающие нагрузки.

12.8 При строительстве на пучинистых грунтах необходимо предусматривать меры, предотвращающие или уменьшающие влияние сил морозного пучения грунта на фундаментную конструкцию.

12.9 При проектировании фундаментов из стальных свай-оболочек и буронабивных свай на основаниях, включающих органоминеральные и органические грунты, следует назначать глубину погружения нижних концов свай больше глубины заложения слоёв этих грунтов. Расчёт фундаментной конструкции должен проводиться по схеме высокого свайного ростверка без учёта несущей способности органоминеральных и органических грунтов.

13 Устройство свайных фундаментов

11.1 Устройство и проверка качества свайных фундаментов осуществляется в соответствии с СП 50-102-2003, СНиП 3.02.01-87 и требованиями к устройству фундаментов объектов электросетевого строительства согласно СНиП 3.05.06-85.

11.2 Рекомендуемая последовательность устройства фундаментов из стальных свай-оболочек:

- планировка поверхности площадки;
- разбивка осей фундаментов;
- проверка наличия всех деталей, сборочных единиц и их соответствия спецификациям общих видов, комплектующей и отгрузочной ведомостям;
- при погружении стальных свай-оболочек без выемки грунта:
- погружение стальных свай-оболочек (забивкой, вдавливанием, вибропогружением) до проектной отметки;
- при погружении стальных свай-оболочек в скважину диаметром, равным диаметру ствола сваи:
 - устройство скважины;
 - погружение стальных свай-оболочек (забивкой, вдавливанием, вибропогружением) до проектной отметки;
 - при бетонировании внутренней полости сваи: установка арматурного каркаса в полость сваи;
 - заполнение полости ствола сваи грунтом или литым бетоном;
 - при погружении стальных свай-оболочек в скважину диаметром, большим диаметра ствола сваи, или в котлован:
 - устройство скважины или котлована;
 - погружение стальных свай-оболочек (краном) в скважину или котлован;
 - установка ригелей в котлован и соединение их со свайей;
 - засыпка пазух котлована или скважины грунтом и последующая трамбовка;
 - при бетонировании внутренней полости сваи: установка арматурного каркаса в полость сваи;
 - заполнение полости ствола сваи грунтом или литым бетоном;
 - составление акта скрытых работ на погружение стальных свай-оболочек и ригелей;
 - проведение испытаний стальных свай-оболочек статической нагрузкой и составление протокола испытаний;
 - устройство свайного ростверка;
 - устройство (отсыпка) банкетки;
 - приёмка и контроль качества работ по устройству свайных фундаментов в соответствии с требованиями СП 50-102-2003;
 - составление акта скрытых работ на монтажные работы.

11.3 Рекомендуемая последовательность устройства фундаментов из буронабивных свай большого диаметра:

- планировка поверхности площадки;
- разбивка осей фундаментов;
- проверка наличия всех деталей, сборочных единиц и их соответствия спецификациям общих видов, комплектующей и отгрузочной ведомостям;

- устройство скважины диаметром, равным диаметру ствола сваи, с погружением при необходимости обсадной трубы (ниже уровня подземных вод);
- установка арматурного каркаса в скважину или в обсадную трубу и заполнение скважины или обсадной трубы литым бетоном (или наоборот в зависимости от технологии изготовления буронабивной сваи);
- извлечение обсадной трубы;
- после твердения бетона сваи (набора необходимой прочности) устройство котлована на глубину, равную проектной глубине погружения ригелей;
- установка ригелей в котлован и соединение их со сваями;
- устройство низкого свайного ростверка;
- засыпка котлована грунтом и последующая трамбовка;
- составление акта скрытых работ на устройство буронабивных свай и погружение ригелей;
- проведение испытаний свай статической нагрузкой и составление протокола испытаний;
- устройство высокого свайного ростверка;
- устройство (отсыпка) банкетки;
- приёмка и контроль качества работ по устройству свайных фундаментов в соответствии с требованиями СП 50-102-2003;
- составление акта скрытых работ на монтажные работы.

Буронабивные сваи бетонируются в скважинах, пробуренных в глинистых грунтах выше уровня подземных вод без крепления стенок скважин, а в любых грунтах ниже уровня подземных вод — с закреплением стенок скважин глинистым раствором или инвентарными извлекаемыми обсадными трубами.

Обсадные трубы допускается оставлять в грунте только в случаях, когда исключена возможность применения других решений конструкции фундаментов (при устройстве буронабивных свай в пластах грунтов со скоростью фильтрационного потока более 200 м/сут, при применении буронабивных свай для закрепления действующих оползневых склонов и в других обоснованных случаях).

При устройстве буронабивных свай в водонасыщенных глинистых грунтах для крепления стенок скважин допускается использовать избыточное давление воды.

Бетонирование под водой или под глинистым раствором следует производить только методом вертикально перемещаемой трубы (ВПТ) или с помощью бетононасосов.

11.4 Обратная засыпка котлованов, а также отсыпка банкетов должна производиться слоями толщиной 20-30 см с тщательным уплотнением каждого слоя с доведением до плотности 1.55 т/м^3 .

11.5 Геотехнический мониторинг в процессе производства работ по устройству свайных фундаментов должен производиться согласно разделу 16 СП 50-102-2003.