

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 10.10.2023 04:11:38  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра промышленного и гражданского строительства



### Проектирование свайных фундаментов

Методические рекомендации к практическим занятиям для студентов  
направления подготовки 08.03.01 «Строительство»,  
08.04.01 «Строительство»

Курск 2021

УДК 624.011.1

Составитель: К.О. Дубракова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *А.В. Масалов*

**Проектирование свайных фундаментов:** методические рекомендации к практическим занятиям/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. К.О. Дубракова, Курск, 2021.- 38 с. - Библиогр.: с. 38.

Методические указания соответствуют Федеральному государственному образовательному стандарту по направлениям подготовки (специальности) 08.03.01, 08.04.01.

Содержат сведения по вопросам проектирования свайных фундаментов по I и II группам предельных состояний.

Предназначены для студентов направления подготовки 08.03.01, 08.04.01 дневной и заочной форм обучения.

Текст напечатается в авторской редакции.

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## Содержание

1. Свайные фундаменты. Основные понятия. Виды свай.....	4
2. Проектирование свайных фундаментов .....	22
3. Расчет свай и свайных фундаментов по деформациям.....	31
Библиографический список.....	38

## 1. СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ. ВИДЫ СВАЙ

При возникновении необходимости передачи давления сооружения на более плотные грунты, залегающие на некоторой глубине, рационально применение свайных фундаментов.

**Сваи** предназначены для передачи давления сооружения на грунт основания. Группу свай, образующую свайный фундамент, поверху связывают жесткой конструкцией в виде балки (рандбалки) или плиты, называемой **ростверком**. Ростверк обеспечивает равномерную передачу нагрузок от конструкций сооружения на все сваи и препятствует горизонтальному перемещению верхней части свай.

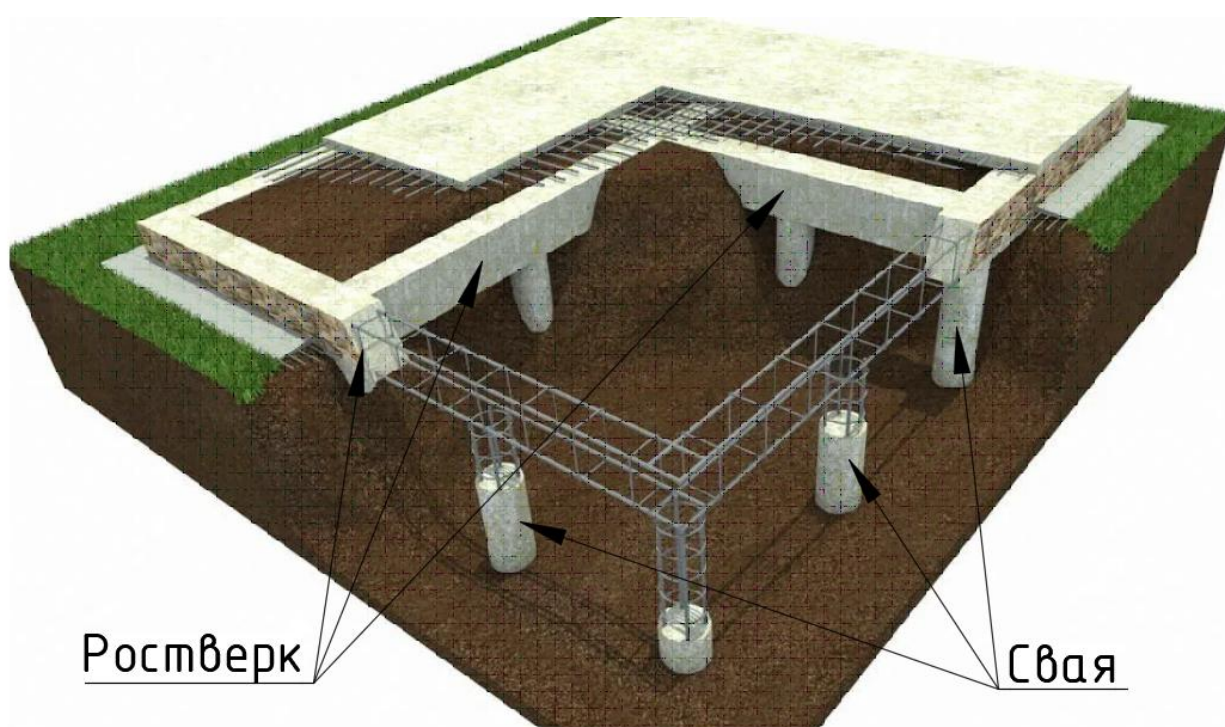


Рисунок 1.1

Ростверки бывают:

- высокие - нижняя плоскость которых лежит выше поверхности грунта;
- низкие - ростверки с заглубленной в грунт нижней плоскостью.

## **Основные нормативно-технические документы, необходимые для расчета**

При расчете и проектировании свайных фундаментов следует выполнять требования:

1. *Технического регламента о безопасности зданий и сооружений;*
2. *СП 20.13330.2016 "Нагрузки и воздействия" (с изменениями N 1, N 2);*
3. *СП 22.13330.2016 "Основания зданий и сооружений" (с изменениями N 1, N 2);*
4. *СП 24.13330.2011 "Свайные фундаменты" (с изменениями N 1, N 2, N 3);*
5. *СП 131.13330.2018 "Строительная климатология";*
6. *ГОСТ 27751-2014 "Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения"*

Виды свай

**По способу заглубления в грунт различают следующие виды свай:**

а) забивные и вдавливаемые (далее - забивные) железобетонные, деревянные и стальные предварительно изготовленные, погружаемые в грунт за счет вытеснения, а также путем установки в лидерные скважины при помощи молотов, вибропогружателей, вибровдавливающих, виброударных и вдавливающих устройств, а также железобетонные круглые полые сваи диаметром до 0,8 м, заглубляемые вибропогружателями без выемки или с частичной выемкой грунта и не заполняемые бетонной смесью (ГОСТ 19804);



Рисунок 1.2

б) сваи-оболочки железобетонные диаметром более 0,8 м, погружаемые вибропогружателями с выемкой грунта из их полости и заполняемые частично или полностью бетонной смесью, а также сваи в виде металлических труб, погружаемые с открытым нижним концом без выемки грунта;



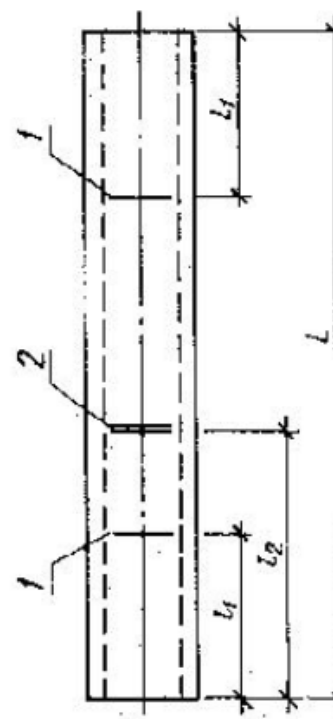


Рисунок 1.3: 1 - место строповки при выемке из опалубки и транспортировании (одинарная полоса); 2 - место строповки при подъеме на копер (двойная полоса)

в) набивные бетонные и железобетонные, устраиваемые в грунте путем укладки бетонной смеси в скважины, образованные в результате принудительного вытеснения - отжатия грунта;

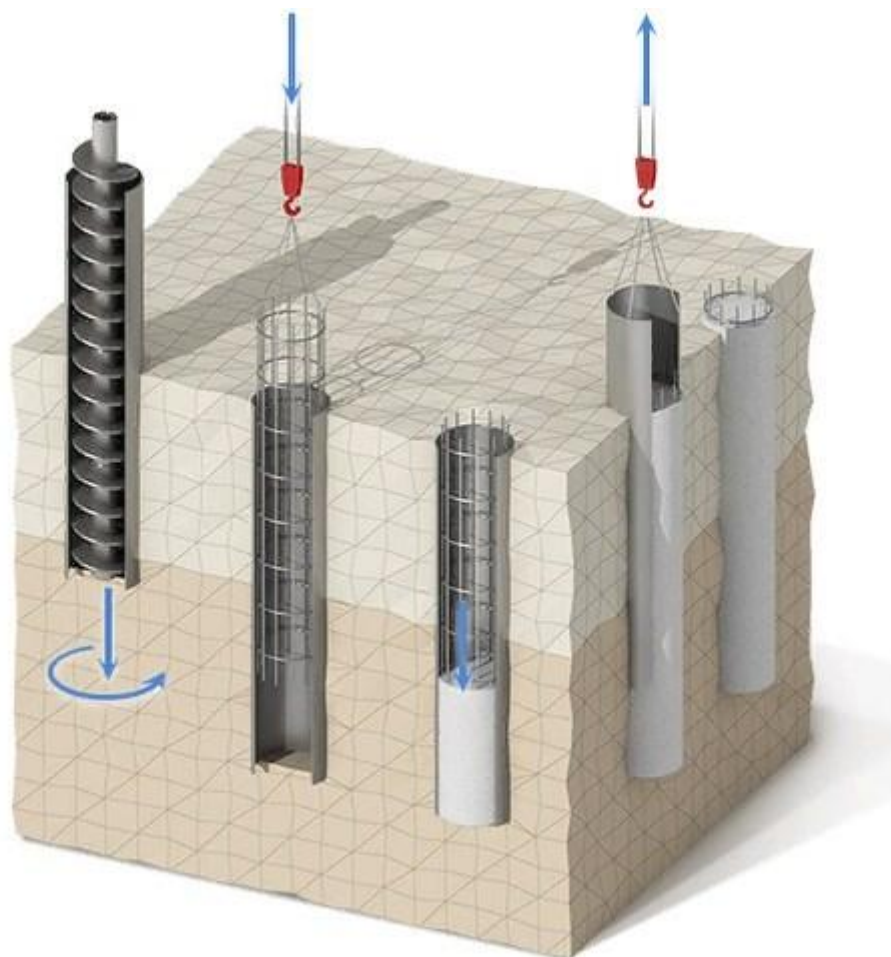


Рисунок 1.4

г) буровые железобетонные, устраиваемые в грунте путем заполнения пробуренных скважин бетонной смесью или установки в них предварительно изготовленных железобетонных элементов;



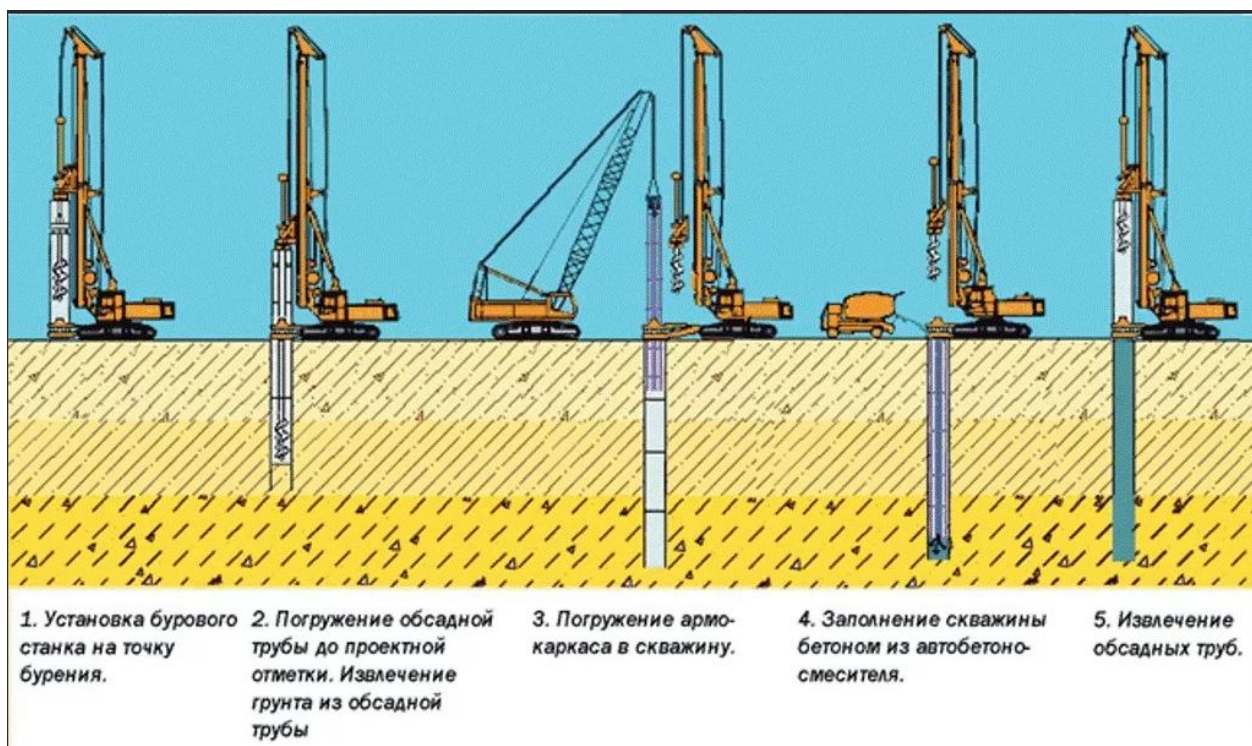


Рисунок 1.5

д) винтовые сваи, состоящие как минимум из одной металлической винтовой лопасти (спирали) и трубчатого металлического ствола со значительно меньшей по сравнению с лопастью площадью поперечного сечения, погружаемые в грунт путем ее завинчивания в сочетании с регулируемым вдавливанием с лидерными скважинами или без них.



Рисунок 1.6

**По условиям взаимодействия с грунтом сваи следует подразделять на:**

- а) сваи-стойки;

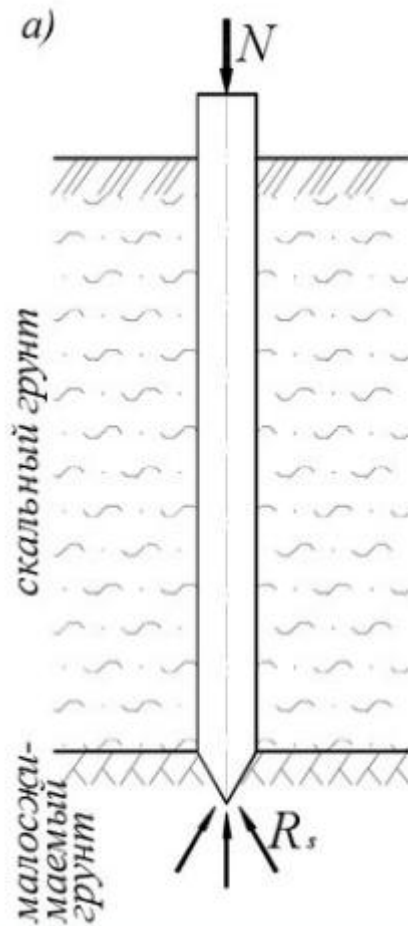


Рисунок 1.7

**!Вывод:** основной параметр, определяющий несущую способность сваи по грунты – **площадь** поперечного сечения.

б) висячие (сваи трения).

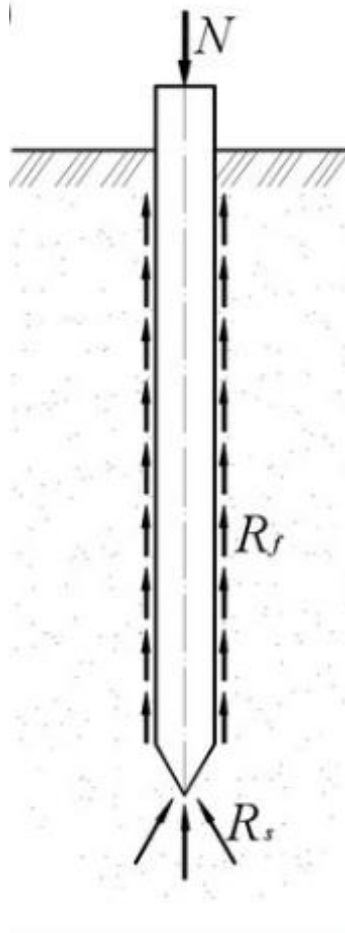


Рисунок 1.8

**!Вывод:** основной параметр, определяющий несущую способность сваи по грунты – **периметр** поперечного сечения.

К сваям-стойкам следует относить сваи всех видов, опирающиеся на скальные и слабodeформируемые грунты, а забивные сваи, кроме того, на слабodeформируемые грунты (ГОСТ 25100), и передающие нагрузку на основание преимущественно по пяте сваи.

К висячим сваям (сваям трения) следует относить сваи всех видов, опирающиеся на деформируемые грунты и передающие нагрузку на основание боковой поверхностью и нижним концом.



**Забивные и вдавливаемые железобетонные сваи размером поперечного сечения 0,8 м включительно и железобетонные сваи-оболочки следует подразделять:**

а) по способу армирования - на сваи и сваи-оболочки с ненапрягаемой продольной арматурой с поперечным армированием и на предварительно напряженные со стержневой или проволочной продольной арматурой (из высокопрочной проволоки и арматурных канатов) с поперечным армированием и без него;

б) по форме поперечного сечения - на сваи квадратные, прямоугольные, таврового и двутаврового сечений,



Рисунок 1.9



Рисунок 1.10

квадратные с круглой полостью,

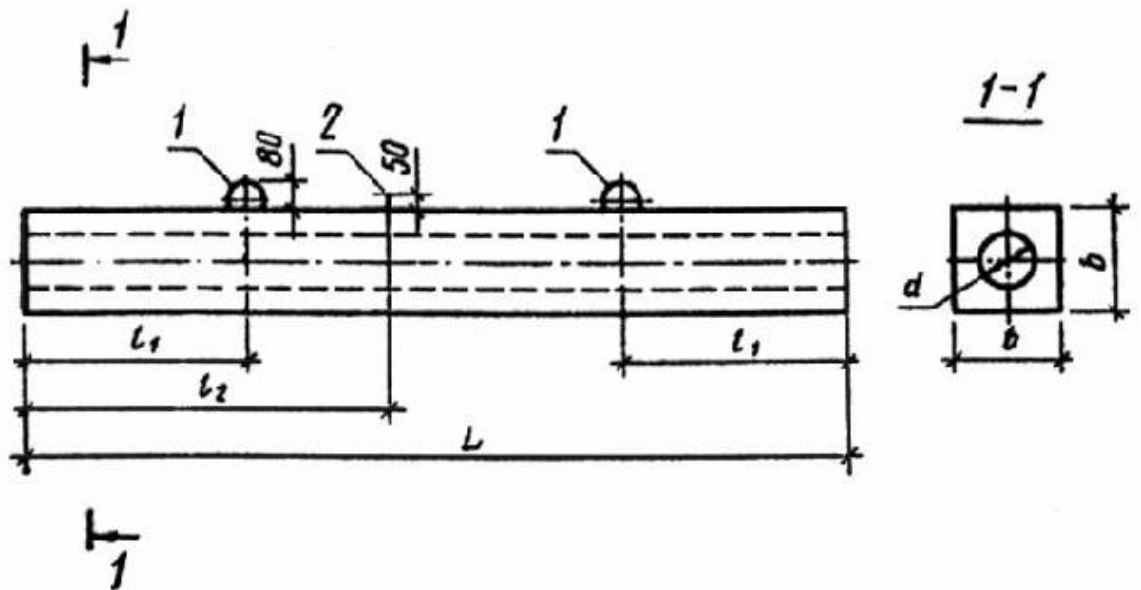
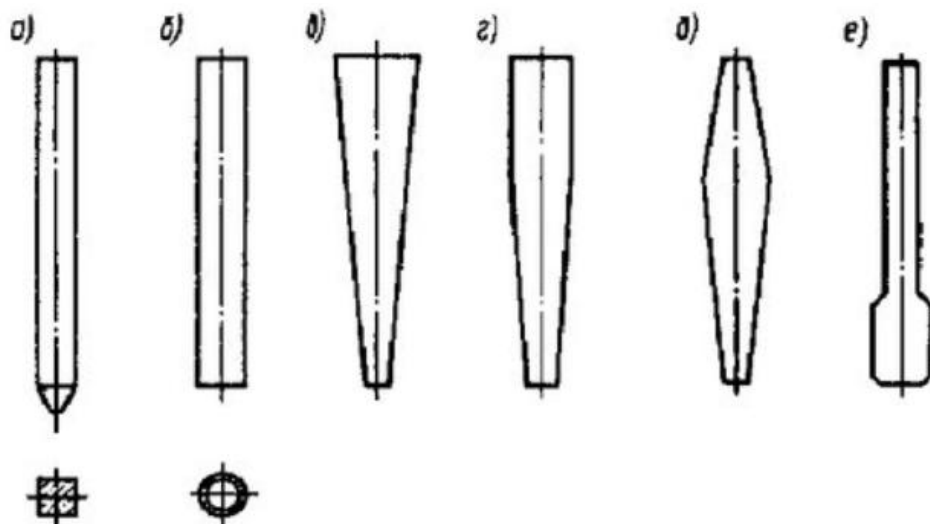


Рисунок 1.11



полые круглого сечения;

в) по форме продольного сечения - на призматические, цилиндрические, с наклонными боковыми гранями (пирамидальные, трапецеидальные);



***а – призматические; б – цилиндрические;  
в – пирамидальные; г – трапецеидальные; д  
– ромбовидные; е – с уширенной пятой  
(булавовидные)***

Рисунок 1.12

г) по конструктивным особенностям - на сваи цельные и составные (из отдельных секций);

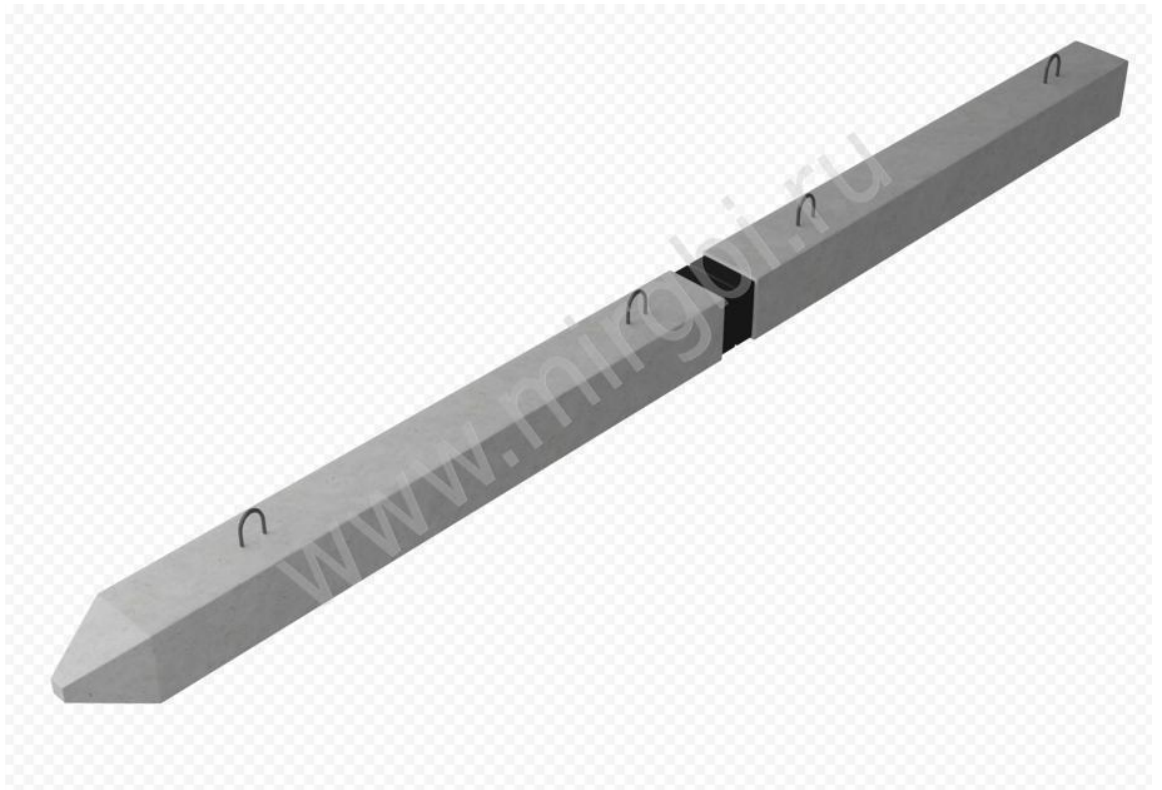


Рисунок 1.13

д) по конструкции нижнего конца - на сваи с заостренным или плоским нижним концом, или объемным уширением (булавовидные) и на полые сваи с закрытым или открытым нижним концом или с камуфлетной пятой.

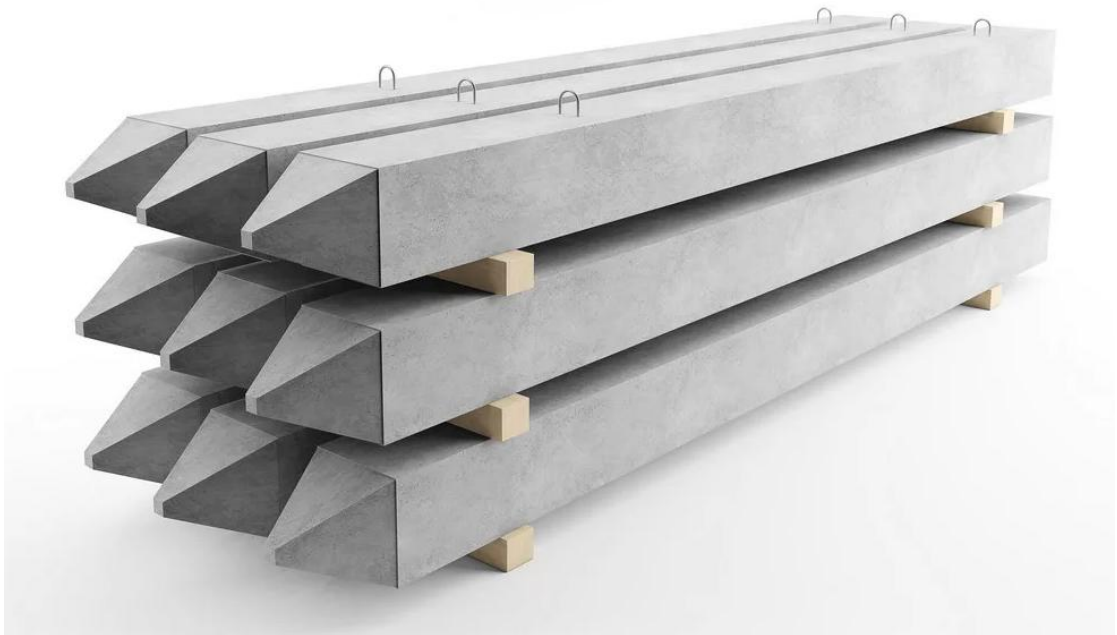


Рисунок 1.14 - Сваи с заостренным нижним концом



Рисунок 1.15 - Свая с плоским нижним концом

Сваи забивные с камуфлетной пятой устраивают путем забивки полых свай круглого сечения с закрытым стальным полым наконечником с последующим заполнением полости сваи и наконечника бетонной смесью и устройством с помощью взрыва камуфлетной пяты в пределах наконечника.

**Набивные сваи по способу устройства подразделяют на:**

а) вытеснительные, устраиваемые путем погружения (забивкой, вдавливанием или завинчиванием) инвентарных труб, нижний конец которых закрыт оставляемым в грунте башмаком (наконечником) или бетонной пробкой, с последующим извлечением этих труб по мере заполнения скважин бетонной смесью, в том числе после устройства уширения из втрамбованной сухой бетонной смеси;

б) виброштампованные, устраиваемые в пробитых скважинах путем заполнения скважин жесткой бетонной смесью, уплотняемой виброштампом в виде трубы с заостренным нижним концом или закрепленным на ней вибропогружателем;

в) в выштампованном ложе, устраиваемые путем выштамповки в грунте скважин пирамидальной или конусной формы с последующим заполнением их бетонной смесью.

**Буровые сваи по способу устройства подразделяют на:**

а) буронабивные сплошного сечения с уширениями и без них, бетонированные 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;

б) буронабивные с применением технологии непрерывного полуго шнека;

в) баретты - буровые сваи, изготавливаемые технологическим оборудованием типа плоский грейфер или гидрофреза;

г) буронабивные с камуфлетной пятой, устраиваемые путем бурения скважин с последующим образованием уширения взрывом (в том числе электрохимическим) и заполнением скважин бетонной смесью;

д) буроинъекционные диаметром 0,15-0,35 м, устраиваемые в пробуренных скважинах путем нагнетания (инъекции) в них мелкозернистой бетонной смеси, а также устраиваемые полым шнеком или с использованием не извлекаемых буровых штанг;

е) 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);

ж) сваи-столбы, устраиваемые путем бурения скважин с уширением или без него, укладки в них омоноличивающего цементно-песчаного раствора и опускания в скважины предварительно изготовленных

цилиндрических или призматических элементов сплошного сечения со сторонами или диаметром 0,8 м и более;

з) буроопускные сваи с камуфлетной пятой, отличающиеся от буронабивных свай с камуфлетной пятой тем, что после образования и заполнения камуфлетного уширения в скважину опускают железобетонную сваю.

Применение свай с оставляемыми обсадными трубами допускается 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 не менее 0,5 атм при условии удаления места проведения работ от существующих объектов не менее 25 м (указанное требование не относится к случаю устройства свай с бурением под защитой инвентарных обсадных труб).

Железобетонные и бетонные сваи следует проектировать из тяжелого бетона по ГОСТ 26633. Для нестандартизованных забивных железобетонных свай, а также для набивных и буровых свай необходимо предусматривать бетон класса не ниже В15, для забивных железобетонных свай с напрягаемой арматурой - не ниже В22,5.

Железобетонные ростверки свайных фундаментов следует проектировать из тяжелого бетона класса не ниже: для монолитных - В15, для сборных - В20. Для опор мостов класс бетона свай и свайных ростверков следует назначать в соответствии с требованиями СП 35.13330, а для гидротехнических сооружений - СП 40.13330 и СП 41.13330.

Бетон для замоноличивания железобетонных колонн в стаканах свайных ростверков, а также оголовков свай при сборных ленточных ростверках следует предусматривать в соответствии с требованиями СП 63.13330, но не ниже класса В15.

Деревянные сваи должны быть изготовлены из бревен хвойных пород (сосны, ели, лиственницы, пихты), соответствующих требованиям ГОСТ 9463, диаметром 22-34 см и длиной 6,5 и 8,5 м. Естественная коничность (сбег) бревен сохраняется. Применение деревянных свай для фундаментов капитальных зданий и сооружений допускается при расположении их голов ниже уровня подземных вод. Допускается применять конструкции с железобетонными элементами выше уровня подземных вод и деревянными элементами ниже их уровня.

Металлические сваи могут изготавливаться из стали, а также из высокопрочного чугуна. Допускается применение сталебетонных конструкций. При устройстве стальных трубчатых свай для геотехнических категорий 2 и 3 не допускается повторное применение труб, бывших в употреблении.



Допускается применение комбинированных свай, при устройстве которых использовано более двух технологий их устройства, в том числе с применением технологий струйной цементации и глубинного смешивания. Элементы закрепления грунта могут применяться для повышения несущей способности свай в виде: - фрагмента закрепленного основания под пятой сваи и (или) отдельных закрепленных участков по боковой поверхности сваи; - предварительно закрепленного грунтового массива, в который погружается заранее изготовленный элемент.

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

### Основные указания по расчету

Расчет свайных фундаментов и их оснований должен быть выполнен в соответствии с ГОСТ 27751 по предельным состояниям:

*первой группы:*

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. Этот расчет следует производить с учетом конструктивных мероприятий, предусмотренных для предотвращения смещения проектируемого фундамента;

*второй группы:*

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.

Расчеты 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 подъеме их на копер за одну точку, удаленную от головы свай на  $0,3l$  (где  $l$  - длина свай).

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

1,5 - при расчете по прочности;

1,25 - при расчете по образованию и раскрытию трещин.

В этих случаях коэффициент надежности по нагрузке к собственному весу свай принимают равным единице.

Сваю в составе фундамента и одиночную по несущей способности грунта основания следует рассчитывать исходя из условия:

$$\gamma_n \cdot N \leq \frac{F_d}{\gamma_{c,g}}, \quad (2.1)$$

где  $N$  - расчетная нагрузка, передаваемая на сваю (продольное усилие, возникающее в ней от расчетных нагрузок, действующих на фундамент при

наиболее невыгодном их сочетании);

$F_d$  - несущая способность (предельное сопротивление) грунта основания одиночной сваи;

$\gamma_n$  - коэффициент надежности по назначению (ответственности) сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10 соответственно для сооружений I, II и III уровней ответственности;

$\gamma_{c,g}$  - коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным:

1,2 - если несущая способность сваи определена по результатам полевых испытаний статической нагрузкой;

1,25 - если несущая способность сваи определена расчетом по результатам статического зондирования грунта или по результатам динамических испытаний сваи, выполненных с учетом упругих деформаций грунта, а также по результатам полевых испытаний грунтов эталонной сваей или сваей-зондом;

1,4 - если несущая способность сваи определена расчетом, в том числе по результатам динамических испытаний свай, выполненных без учета упругих деформаций грунта;

1,4 (1,25) - для фундаментов опор мостов при низком ростверке, на висячих сваях (сваях трения) и сваях-стойках, а при высоком ростверке - только при сваях-стойках, воспринимающих сжимающую нагрузку независимо от числа свай в фундаменте.

Расчетную нагрузку на сваю  $N$ , кН, следует определять, рассматривая фундамент как группу свай, объединенную жестким ростверком, воспринимающим вертикальные и горизонтальные нагрузки и изгибающие моменты.

Для фундаментов с вертикальными сваями расчетную нагрузку на сваю допускается определять по формуле:

$$N = \frac{N_d}{n} \pm \frac{M_x \cdot y}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_y \cdot x}{\sum x_i^2}, \quad (2.2)$$

где  $N_d$  - расчетная сжимающая сила, кН, передаваемая на свайный ростверк в уровне его подошвы;

$M_x, M_y$  - передаваемые на свайный ростверк в плоскости подошвы расчетные изгибающие моменты, кН·м, относительно главных центральных осей  $x$  и  $y$  плана свай в плоскости подошвы ростверка;

$n$  - число свай в фундаменте;

$x_i, y_i$  - расстояния от главных осей до оси каждой сваи, м;

$x, y$  - расстояния от главных осей до оси каждой сваи, для которой вычисляют расчетную нагрузку, м.

Сваи и свайные фундаменты следует рассчитывать по прочности материала.

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

$$S \leq S_u, \quad (2.3)$$

где  $S$  - совместная деформация сваи, свайного фундамента и сооружения

(осадка, перемещение, относительная разность осадок свай, свайных фундаментов и т.п.),

$S_u$  - предельное значение совместной деформации основания сваи, свайного фундамента и сооружения, устанавливаемое в соответствии с СП 22.13330.

## Расчетные методы определения несущей способности свай

### Свай-стойки

Несущую способность  $F_d$ , кН, забивной сваи, сваи-оболочки, набивной и буровой сваи, опирающейся на скальный грунт, а также забивной сваи, опирающейся на малосжимаемый грунт, следует определять по формуле:

$$F_d = \gamma_c \cdot R \cdot A, \quad (2.4)$$

где  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1;

$R$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, кПа;

$A$  - площадь опирания на грунт сваи,  $\text{м}^2$ , 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 трех ее диаметров.

**Висячие** забивные, вдавливаемые всех видов и сваи-оболочки, погружаемые без выемки грунта (забивные сваи трения)

Несущую способность  $F_d$ , кН, висячей забивной и вдавливаемой свай и сваи-оболочки, погружаемой без выемки грунта, работающих на сжимающую нагрузку, следует определять как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формуле:

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + u \cdot \sum \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i), \quad (2.5)$$

где  $\gamma_c$  - коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1;

$R$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое по таблице 7.2 СП24.13330;

$A$  - площадь опирания на грунт сваи,  $\text{м}^2$ , принимаемая по площади поперечного сечения сваи брутто или по площади поперечного сечения камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру, или по площади сваи-оболочки нетто;

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

$f_i$  - расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа, принимаемое по таблице 7.3 СП24.13330;

$h_i$  - толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;

$\gamma_{cR}$ ,  $\gamma_{cf}$  - коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта и принимаемые по таблице 7.4 СП 24.13330.

Таблица 2.1 - Таблица 7.2 СП24.13330

Глубина погружения нижнего конца сваи, м	Расчетные сопротивления под нижним концом забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, $R$ , кПа						
	песков средней плотности						
	гравелистых	крупных	-	средней крупности	мелких	пылеватых	-
	глинистых грунтов 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
ë	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
25	13400	9000	6800	5200	3500	1950	1200
30	14200	9500	7400	5600	3800	2100	1300
$\geq 35$	15000	10000	8000	6000	4100	2250	1400

Таблица 2.2 - Таблица 7.3 СП24.13330.

Средняя глубина расположен ия слоя грунта, м	Расчетные сопротивления на боковой поверхности забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек $f_i$ , кПа								
	песков средней плотности								
	крупны х и средней крупнос ти	мелк их	пылеват ых	-	-	-	-	-	-
	глинистых грунтов при показателе текучести $I_L$ , равном								
	$\leq 0,2$	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
25	86	61	44	32	20	12	8	7	6
30	93	66	47	34	21	12	9	8	7
≥ 35	100	70	50	36	22	13	9	8	7

Таблица 2.3 - Таблица 7.4 СП24.13330.

Способы погружения забивных и вдавливаемых свай и свай-оболочек, погружаемых без выемки грунта, и виды	Коэффициенты условий работы грунта при расчете несущей

грунтов	способности свай	
	под нижним концом $\gamma_{cR}$	на боковой поверхности $\gamma_{cf}$
1 Погружение сплошных и полых с закрытым нижним концом свай механическими (подвесными), паровоздушными и дизельными молотами	1,0	1,0
2 Погружение забивкой и вдавливанием в предварительно пробуренные лидерные скважины с заглублением концов свай не менее 1 м ниже забоя скважины при ее диаметре:		
а) равном стороне квадратной сваи	1,0	0,5
б) на 0,05 м менее стороны квадратной сваи	1,0	0,6
в) на 0,15 м менее стороны квадратной или диаметра сваи круглого сечения (для опор линий электропередачи)	1,0	1,0
3 Погружение с подмывом в песчаные грунты при условии добивки свай на последнем этапе погружения без применения подмыва на 1 м и более	1,0	0,9
4 Вибропогружение свай-оболочек, вибропогружение и вибровдавливание свай в грунты:		
а) пески средней плотности:		
крупные и средней крупности	1,2	1,0
мелкие	1,0	1,0
пылеватые	1,0	1,0

б) глинистые с показателем текучести $I_L = 0,5$ :		
супеси	0,9	0,9
суглинки	0,8	0,9
глины	0,7	0,9
в) глинистые с показателем текучести $I_L \leq 0$	1,0	1,0
5 Погружение молотами полых железобетонных свай с открытым нижним концом:		
а) при диаметре полости сваи менее 0,4 м	1,0	1,0
б) то же, от 0,4 до 0,8 м	0,7	1,0
6 Погружение любым способом полых свай круглого сечения с закрытым нижним концом на глубину 10 м и более с последующим устройством в нижнем конце свай камуфлетного уширения в песчаных грунтах средней плотности и в глинистых грунтах с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при диаметре уширения, равном:		
а) 1,0 м независимо от указанных видов грунта	0,9	1,0
б) 1,5 м в песках и супесях	0,8	1,0
в) 1,5 м в суглинках и глинах	0,7	1,0
7 Погружение вдавливанием свай:		
а) в пески крупные, средней крупности и мелкие	1,1	1,0
б) в пески пылеватые	1,1	0,8
в) в глинистые грунты с показателем текучести $I_L < 0,5$	1,1	1,0

г) то же, $I_L \geq 0,5$	1,0	1,0
Примечание - Коэффициенты $\gamma_{сR}$ и $\gamma_{сf}$ по поз.4 для глинистых грунтов с показателем текучести $0,5 > I_L > 0$ определяют интерполяцией.		

### 3. РАСЧЕТ СВАЙ И СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

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

$$s \leq s_u, \quad (3.1)$$

где  $S_u$  - совместная деформация сваи, свайного фундамента и сооружения (осадка, перемещение, относительная разность осадок свай, свайных фундаментов и т.п.), определяемая расчетом;

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

Расчет осадки одиночных свай, прорезающих слой грунта с модулем сдвига  $G_1$ , МПа, коэффициентом Пуассона  $\nu_1$  и опирающихся на грунт, рассматриваемый как линейно-деформируемое полупространство, характеризуемое модулем сдвига  $G_2$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_2$ , допускается производить при условии  $l/d > 5$ ;  $G_1 \cdot l/G_2 \cdot d > 1$  (где  $l$  - длина сваи, м,  $d$  - наружный диаметр поперечного сечения ствола сваи, м) по формулам:

**для одиночной висячей сваи без уширения пяты:**

$$S = \beta \cdot \frac{N}{G_1 \cdot l} \quad (3.2)$$

где  $N$  - вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, МН;  $\beta$  - коэффициент, определяемый по формуле:

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + 0,5 \cdot \frac{1 - (\beta'/a')}{\chi}, \quad (3.3)$$

где  $\beta' = 0,17 \cdot \ln(k_v \cdot G_1 \cdot l / G_2 \cdot d)$  – коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ( $EA = \infty$ );

$\alpha' = 0,17 \cdot \ln(k_v \cdot l / d)$  – тот же коэффициент для случая однородного основания с характеристиками  $G_1$  и  $\nu_1$ ;

$\chi = E \cdot A / G_1 \cdot l^2$  – относительная жесткость сваи;

$E \cdot A$  – жесткость ствола сваи на сжатие, МН.

$\lambda_1$  – параметр, характеризующий увеличение осадки за счет сжатия ствола и определяемый по формуле:

$$\lambda_1 = \frac{2,12 \cdot \chi^{3/4}}{1 + 2,12 \cdot \chi^{3/4}}, \quad (3.4)$$

$k_v, k_{v1}$  – коэффициенты, определяемые по формуле:

$$k_v = 2,82 - 3,78 \cdot \nu + 2,18 \cdot \nu^2, \quad (3.5)$$

соответственно при  $\nu = (\nu_1 + \nu_2) / 2$  и при  $\nu = \nu_1$ .

Для одиночной сваи с уширением пяты или сваи-стойки:

$$S = \frac{1 - \nu_2}{G_2 \cdot d_b} + \frac{N \cdot l}{EA}, \quad (3.6)$$

$d_b$  – диаметр уширения сваи.

Характеристики  $G_1$  и  $\nu_1$  принимаются осредненными для всех слоев грунта в пределах глубины погружения сваи, а  $G_2$  и  $\nu_2$  – в пределах  $0,5l$ , т.е. на глубинах от  $l$  до  $1,5l$  от верха свай, при условии, что под нижними концами свай отсутствуют глинистые грунты текучей консистенции, органоминеральные и органические грунты.

Модуль сдвига грунта  $G = E_0 / 2 \cdot (1 + \nu)$  допускается принимать равным  $0,4E_0$ , а коэффициент  $k_v$  равным 2,0 (где  $E_0$  – модуль общей линейной деформации).

Расчетный диаметр  $d$  для свай некруглого сечения, в частности стандартных забивных свай заводского изготовления, вычисляется по формуле:



$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}, \quad (3.7)$$

где  $A$  – площадь поперечной сваи.

### Расчет осадки свайного куста

При расчете осадок группы свай необходимо учитывать их взаимное влияние. Дополнительная осадка сваи, находящейся на расстоянии (расстояние измеряется между осями свай) от сваи, к которой приложена нагрузка, равна:

$$s_{ad} = \delta \cdot \frac{N}{G_1 l}, \quad (3.8)$$

где

$$\delta = \begin{cases} 0,17 \cdot \ln \frac{k_v \cdot G_1 \cdot l}{2 \cdot G_2 \cdot a}, & \text{если } \frac{k_v \cdot G_1 \cdot l}{2 \cdot G_2 \cdot a} > 1; \\ 0, & \text{если } \frac{k_v \cdot G_1 \cdot l}{2 \cdot G_2 \cdot a} \leq 1. \end{cases} \quad (3.9)$$

Расчет осадки  $i$ -й сваи в группе из свай при известном распределении нагрузок между сваями производится по формуле:

$$S_i = S(N_i) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_j}{G_1 \cdot l}, \quad (3.10)$$

где  $S(N)$  - осадка одиночной сваи.

В случае, когда распределение нагрузки между сваями неизвестно, формула может использоваться для расчета взаимодействия свайного фундамента с надфундаментной конструкцией. При этом удобно использовать метод сил строительной механики. Взаимное влияние осадок кустов свай следует учитывать методом угловых точек.

### Расчет осадки свайного фундамента как условного фундамента

Осадку большеразмерного свайного фундамента (свайного поля) следует определять по формуле:

$$S = S_{ef} + \Delta S_p + \Delta S_c, \quad (3.11)$$

где  $S_{ef}$  – осадка условного фундамента;

$\Delta S_p$  - дополнительная осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента;

$\Delta S_c$  – дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай.

Границы условного фундамента (см. рисунок 3.1) определяют следующим образом:

снизу - плоскостью АБ, проходящей через нижние концы свай; с боков - вертикальными плоскостями АВ и БГ, отстоящими от осей крайних рядов вертикальных свай на расстоянии 0,5 шага свай (рисунок 1, а), но не более 1,5d (d - диаметр или сторона поперечного сечения сваи), а при наличии наклонных свай - проходящими через нижние концы этих свай (рисунок 1, б); сверху - поверхностью планировки грунта ВГ.

Расчет осадки условного фундамента производят методом послойного суммирования деформаций линейно-деформируемого основания с условным ограничением сжимаемой толщи (см. СП 22.13330). Вертикальное нормальное напряжение, определяющее деформации и глубину сжимаемой толщи, подсчитывается только от действия нагрузки, приложенной к свайному фундаменту, т.е. вес грунта в пределах условного фундамента не учитывается. Начальные напряжения определяются с учетом экскавации котлована.

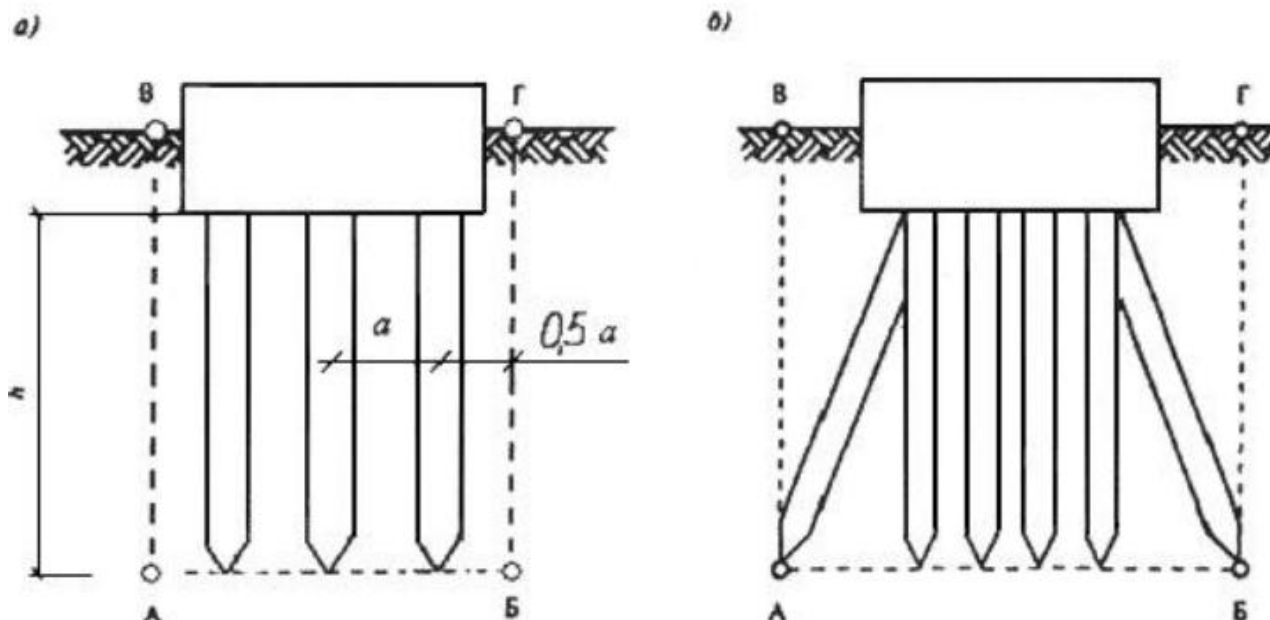


Рисунок 3.1 – Определение границ условного фундамента при расчете осадки свайных фундаментов

Значение осадки продавливания сваи определяется методом ячейки в упруго-пластической постановке или по формулам:

$$\Delta s_p = \frac{\Delta s_{p1}}{\frac{\Delta s_{p1}}{\Delta s_{p0}} \left(1 - \frac{E_1}{E_2}\right) + \frac{E_1}{E_2}} ; \quad (3.12)$$

$$\Delta s_{p1} = \frac{\pi(1 - \nu_2^2)p}{4E_2} (a - 1,5d) ; \quad (3.13)$$

$$\Delta s_{p0} \approx \frac{(1 - \nu_2^2)(1 - k)P}{dE_2} , \quad (3.14)$$

где  $E_1$ ,  $\nu_1$  – осредненные значения модуля общей деформации и коэффициента Пуассона в пределах длины сваи;

$E_2$ ,  $\nu_2$  – осредненные значения модуля общей деформации и коэффициента Пуассона в пределах активной зоны сжатия массива под подошвой условного фундамента;

$p$  – среднее давление по подошве условного фундамента, кПа;

$a$  – осевое расстояние между сваями фундамента при одинаковом шаге их расстановки и осевое расстояние между сваями в окрестности данной сваи при неодинаковом шаге;

$P = p \cdot a^2$  для свай квадратного сечения и  $P \approx 0,79 \cdot p \cdot a^2$  для свай круглого сечения;

$k = b/a$  для свай квадратного сечения, где  $b$  – сторона сечения сваи и  $k = d/a$  для свай круглого сечения.

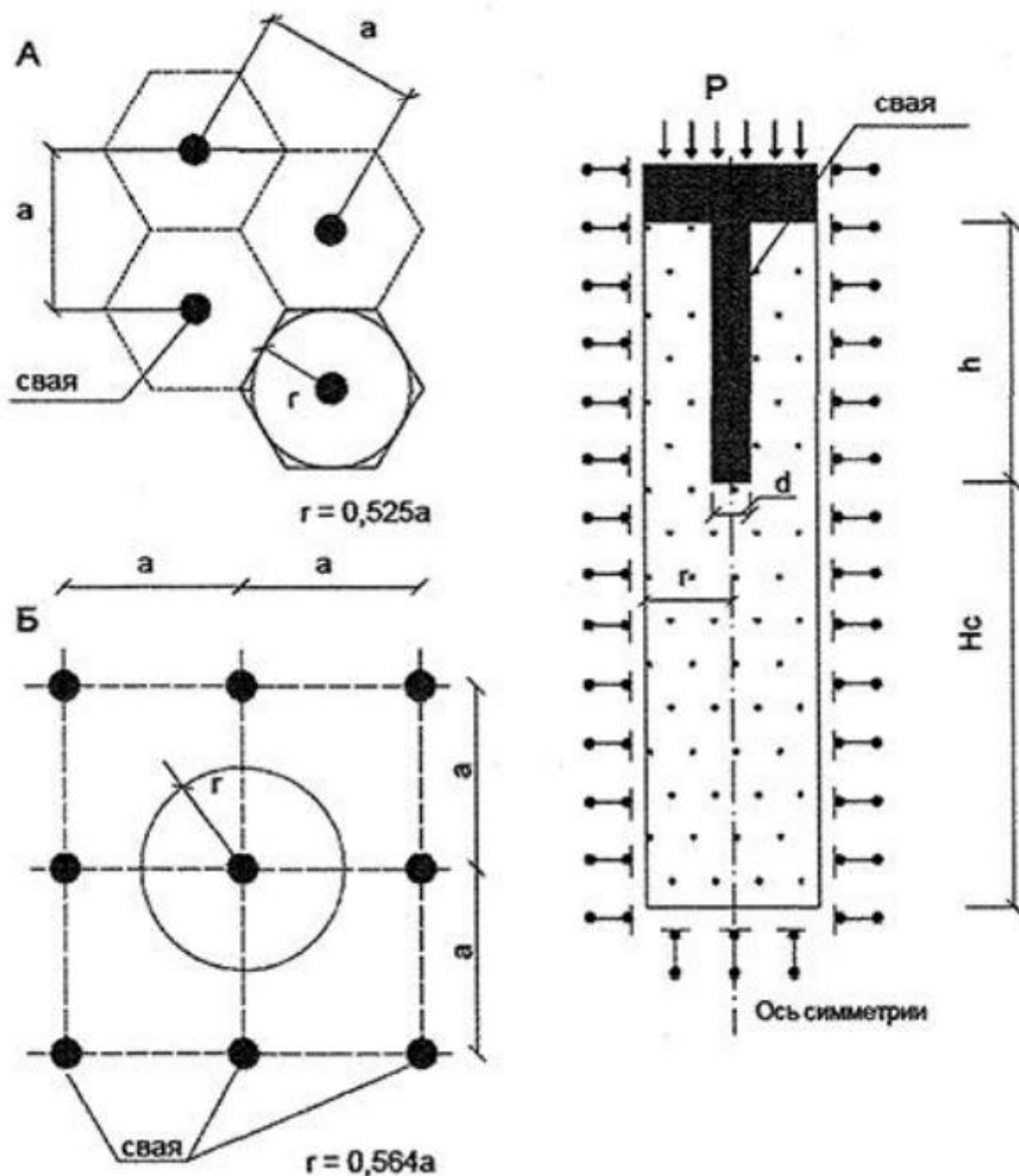


Рисунок 3.2 – Расчетная схема метода ячейки

Осадку за счет сжатия ствола допускается определять по формуле:

$$\Delta S_c = \frac{P \cdot (l - a)}{EA} \quad (3.15)$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам.
2. ГОСТ 2.113-75 Единая система конструкторской документации. Групповые и базовые конструкторские документы.
3. ГОСТ 2.306-68 Единая система конструкторской документации. Обозначения графические материалов и правила их нанесения на чертежах.
4. ГОСТ Р 21.1101-2009. Система работаной документации для строительства. Основные требования к работаной и рабочей документации.
- ГОСТ 21.110-95 Система работаной документации для строительства. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.
5. ГОСТ 21.113-88 Система работаной документации для строительства. Обозначения характеристик точности.
6. ГОСТ 21.201-2011 Система работаной документации для строительства. Условные изображения элементов зданий, сооружений и конструкций.
7. ГОСТ 21.205-93 Система работаной документации для строительства. Условные обозначения элементов санитарно-технических систем.
8. ГОСТ 21.502-2007 Система работаной документации для строительства. Правила выполнения работаной и рабочей документации металлических конструкций.
9. ГОСТ 82-70 Прокат стальной горячекатаный широкополосный универсальный. Сортамент.
10. ГОСТ 103-2006 Прокат сортовой горячекатаный полосовой. Сортамент.
- ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия
11. ГОСТ 6727-80 Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия

12. ГОСТ 8510-86 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент.
13. ГОСТ 13015-2003 Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
14. ГОСТ 14098-91 Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры.
15. ГОСТ 21780-2006 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности.
16. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 "О составе разделов работаной документации и требованиях к их содержанию" (ред. от 12.11.2016, с изм. от 28.01.2017).