



Кубанский государственный  
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

# Лекция 8 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

Лектор: Полищук А. И.  
заведующий кафедрой  
оснований и фундаментов,  
д-р техн. наук, профессор



## Выбор типа и длины свай

**Тип свай и их длина** выбираются в зависимости от грунтовых условий площадки строительства, нагрузок на фундаменты, глубины заложения подошвы ростверка. Нижний конец свай, как правило, следует погружать в наиболее прочный грунт по сравнению с другими слоями грунта в пределах рассматриваемой глубины. Этот, наиболее прочный грунт, принято называть **несущим слоем основания** для свайного фундамента. Для несущего слоя основания прочностные ( $c$ ,  $\varphi$ ) и деформационные ( $E$ ) характеристики грунта обычно больше по сравнению с вышерасположенными в пределах длины рассматриваемых свай. Погружение и устройство свай (забивных, вдавливаемых, ввинчиваемых, набивных, буровых и др.) в несущий слой основания рекомендуется принимать в следующих пределах:

- в крупнообломочные, гравелистые, крупные и средней крупности пески; пылевато-глинистые грунты с показателем текучести  $I_L \leq 0,1$  на глубину не менее 0,5 м;
- прочие нескальные грунты на глубину не менее 1,0 м.

С учетом вышеизложенного общую длину свай  $L$  на этапе проектирования свайного фундамента принимают (рис. 1.1):

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 \quad (1.1)$$

где,  $l_1$  – верхний участок длины свай, выступающей над поверхностью дна котлована, принимаемый равным 0,5–0,6 м;

$l_2, l_3$  – средние участки длины свай, соприкасающейся боковой поверхностью с имеющимися слоями грунта, принимаемые равными их мощности, м;

$l_4$  – нижний участок длины свай, погружаемой в несущий слой основания, принимаемый равным 0,5–1,0 м и более.

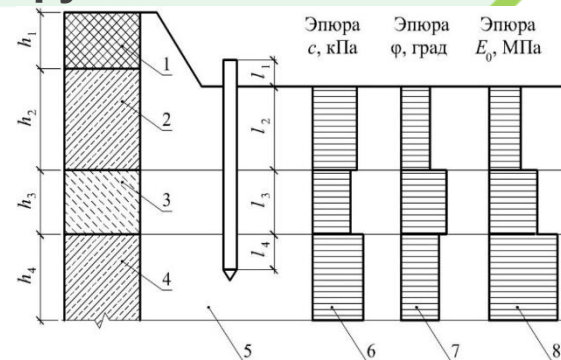


Схема к назначению длины свай для проектируемого фундамента здания:

1 – насыпной грунт; 2 – суглинок текучепластичный; 3 – супесь пластичная; 4 – суглинок полутвердый; 5 – несущий слой основания для проектируемого свайного фундамента; 6, 7, 8 – соответственно эпюры удельного сцепления  $c$  (кПа), угла внутреннего трения  $\varphi$  (град) и модуля деформации грунта  $E_0$  (МПа)

**Слабые грунты** (разновидности глинистых текучепластичной и текучей консистенции, рыхлые пески, торфы и др.) не рекомендуется использовать в качестве несущего слоя основания свайных фундаментов. **Для свай-стоек**, погружаемых в скальный неветрелый грунт (без линз и прослоек слабого грунта), нижние концы должны заделываться в несущий слой основания не менее чем на 0,5 м. Исключение в этом случае составляют сваи-стойки забивные, вдавливаемые и ввинчиваемые у которых их нижние концы могут заделываться в несущий слой основания на глубину менее 0,5 м.

## Определение несущей способности свай

**Несущая способность сваи  $F_d$**  – это предельное сопротивление основания ее перемещению под нагрузкой. Существуют следующие методы определения несущей способности вертикально нагруженных одиночных свай:

- 1) аналитический по физико-механическим характеристикам грунта основания;
- 2) статический по данным испытаний свай вертикальной статической нагрузкой;
- 3) динамический по данным испытаний свай при их погружении;
- 4) статического зондирования грунтов;
- 5) испытаний грунтов эталонными сваями.

Несущая способность свай  $F_d$  на этапе проектирования фундаментов предварительно определяется **аналитическим методом**. Однако в практике проектирования свайных фундаментов существенное значение имеют **полевые испытания (исследования)** грунтов на основе которых устанавливается их несущая способность. К ним относятся испытания свай статической нагрузкой, статическое зондирование грунтов, испытания грунтов эталонными сваями, динамические испытания свай и другие. Наиболее достоверным является **статический метод** определения несущей способности свай  $F_d$ . Меньшей точностью обладают метод статического зондирования грунтов, метод испытаний грунтов эталонными сваями. Указанные выше методы оценки несущей способности свай  $F_d$  применяют при проектировании свайных фундаментов промышленных и гражданских зданий.



Сваи в составе фундамента рассчитывают по несущей способности исходя из условия:

$$N \leq N_d = \frac{\gamma_0 \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k}, \quad (2.1)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю (продольное усилие, возникающее в ней от расчетных нагрузок), кН;

$N_d$  – расчетная нагрузка, допускаемая на сваю, кН;  
 $F_d$  – несущая способность (предельное сопротивление) грунта основания одиночной сваи.

$\gamma_0, \gamma_n, \gamma_k$  – коэффициенты условий работы надежности по сооружению и по грунту принимаемые по СП2413330.2011

## Определение несущей способности свай

**Несущая способность сваи  $F_d$**  – это предельное сопротивление основания ее перемещению под нагрузкой. Существуют следующие методы определения несущей способности вертикально нагруженных одиночных свай:

- 1) аналитический по физико-механическим характеристикам грунта основания;
- 2) статический по данным испытаний свай вертикальной статической нагрузкой;
- 3) динамический по данным испытаний свай при их погружении;
- 4) статического зондирования грунтов;
- 5) испытаний грунтов эталонными сваями.

Несущая способность свай  $F_d$  на этапе проектирования фундаментов предварительно определяется **аналитическим методом**. Однако в практике проектирования свайных фундаментов существенное значение имеют **полевые испытания (исследования)** грунтов на основе которых устанавливается их несущая способность. К ним относятся испытания свай статической нагрузкой, статическое зондирование грунтов, испытания грунтов эталонными сваями, динамические испытания свай и другие. Наиболее достоверным является **статический метод** определения несущей способности свай  $F_d$ . Меньшей точностью обладают метод статического зондирования грунтов, метод испытаний грунтов эталонными сваями. Указанные выше методы оценки несущей способности свай  $F_d$  применяют при проектировании свайных фундаментов промышленных и гражданских зданий.



Сваи в составе фундамента рассчитывают по несущей способности исходя из условия:

$$N \leq N_d = \frac{\gamma_0 \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k}, \quad (2.1)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю (продольное усилие, возникающее в ней от расчетных нагрузок), кН;

$N_d$  – расчетная нагрузка, допускаемая на сваю, кН;

$F_d$  – несущая способность (предельное сопротивление) грунта основания одиночной сваи.

$\gamma_c, \gamma_n, \gamma_k$  – коэффициенты условий работы надежности по сооружению и по грунту принимаемые по СП2413330.2011

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

**Конструирование.** Минимальный размер или сторона ствола сваи  $d_{св}$  (см) определяется с учетом минимально допустимой толщины стенки стакана  $S$  под колонну ( $S_{min} \geq 15$  см), допустимого отклонения сваи в плане  $C_{от}$  или  $\Delta$  (см) и диаметра или размера стороны сечения колонны  $d_k$  (см) из условия:

- для сваи со стаканом под сборную железобетонную колонну:

$$d_{св} \geq d_k + 2 \cdot (S + C_{от}) + a_3, \quad (3.1)$$

где  $a_3 = 10$  см (размер для формирования размера ствола сваи);

- для сваи с выпусками арматуры под монолитную железобетонную колонну:

$$d_{св} \geq d_k + 2 \cdot \Delta, \quad (3.2)$$

При установке прямоугольных в плане колонн на сваю круглого сечения значение  $d_k$  принимается равным размеру диагонали колонны (рис). Длина сваи принимается исходя из требуемой несущей способности на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок.

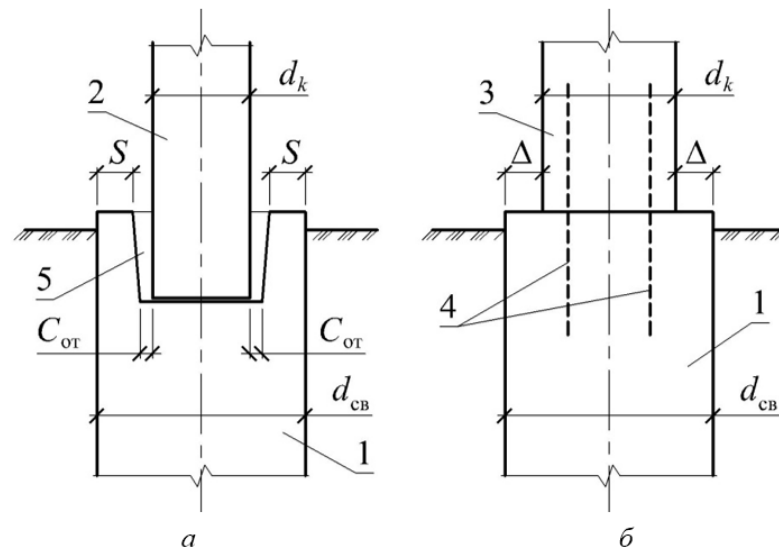


Схема сопряжения железобетонных односвайных фундаментов и колонн здания:

*a, б* – соответственно сваи со стаканом и без стакана под железобетонную колонну; 1 – буронабивная свая; 2 – сборная железобетонная колонна; 3 – монолитная железобетонная колонна; 4 – выпуски арматуры; 5 – стакан в буронабивной свае

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

**Расчет осадки одиночных свай.** Расчет осадки одиночной сваи односвайного фундамента, прорезающей слой грунта с модулем сдвига  $G_1$ , МПа, коэффициентом Пуассона  $\nu_1$  и опирающейся на грунт, характеризующийся модулем сдвига  $G_2$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_2$  при условии  $l/d_{св} > G_1 \cdot l / (G_2 \times d_{св}) > 1$  (где  $l$  – длина сваи, м;  $d_{св}$  – наружный диаметр поперечного сечения ствола сваи, м) допускается производить по формулам:

– для одиночной висячей сваи без уширения пяты:

$$S = \beta \cdot \frac{N}{G_1 \cdot l} \quad (4.1)$$

где  $N$  – вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, МН;

$\beta$  – коэффициент, определяемый по формуле:

$$\beta = \frac{\beta'}{\lambda_1} + \frac{1 - (\beta' / \alpha')}{\chi} \quad (4.2)$$

здесь  $\beta'$  – коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ( $EA = \infty$ ), определяемый по формуле:

$$\beta' = 0,17 \ln \left( k_v \cdot \frac{G_1 \cdot l}{G_2 \cdot d_{св}} \right); \quad (4.3)$$

$\alpha'$  – тот же коэффициент для случая однородного основания с характеристиками  $G_1$  и  $\nu_1$ , определяемый по формуле:

$$\alpha' = 0,17 \ln \left( k_{\nu 1} \cdot \frac{l}{d_{св}} \right); \quad (4.4)$$

$\chi$  – относительная жесткость сваи, определяемая по формуле:

$$\chi = \frac{EA}{G_1 \cdot l^2}; \quad (4.5)$$

$EA$  – жесткость ствола сваи на сжатие, МН;

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

$$\lambda_1 = \frac{2,12 \chi^{3/4}}{1 + 2,12 \chi^{3/4}}; \quad (4.6)$$

$k_v, k_{\nu 1}$  – коэффициенты, определяемые по формуле:

$$k_v = 2,82 - 3,78\nu + 2,18\nu^2, \quad (4.7)$$

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

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

### Свайные ленточные фундаменты

#### Размещение свай

$$a = \frac{F_d}{k \cdot N_d \cdot \gamma_k} \quad (5.1)$$

где  $F_d, \gamma_k$  – то же, что и в формуле (2.1);

$k$  – число рядов свай;

$N_d$  – расчетная допускаемая нагрузка (погонная нагрузка) на сваю в уровне подошвы ростверка

Расстояние между осями двух рядов свай  $C_p$  и двухрядном шахматном  $C_p$  их размещение в ленточных свайных фундаментах (рис) определяется по формуле:

$$C_p \geq \sqrt{(3d_{св})^2 - a^2}, \quad (5.2)$$

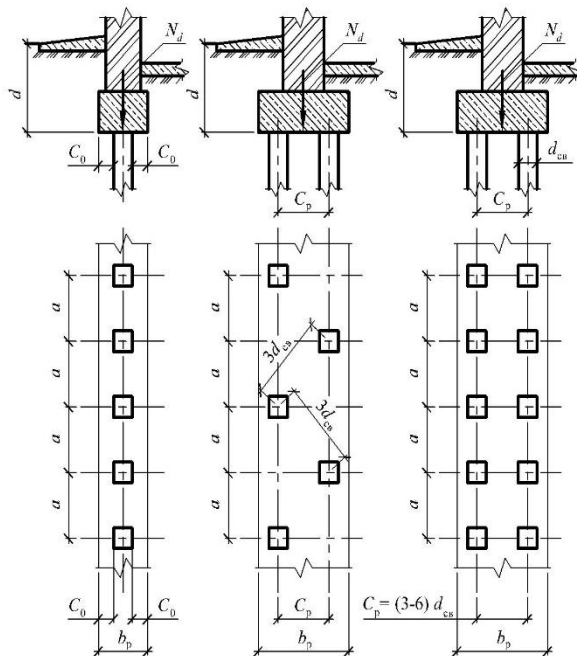
где все обозначения приведены на рисунке

Проверяют условие (5.3) для выбранного участка свайного ленточного фундамента (например, длиной 1, 3 или 6 м):

$$N \leq \frac{N_d}{n} \leq \frac{\gamma_0 \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k}, \quad (5.3)$$

где  $N$  – расчетная нагрузка, передаваемая на сваю (продольное усилие, возникающее в ней от расчетных нагрузок);

$N_d, F_d, \gamma_0, \gamma_n, \gamma_k$  – то же, что и в (2.1) и (5.1).



Схемы размещения свай в ленточных свайных фундаментах:  
а, в – соответственно при однорядном и двухрядном расположении свай;  
б – при расположении свай в шахматном порядке;

$C_0$  – расстояние от грани свай до края ростверка;  $b_p$  – ширина ростверка, устанавливаемая расчетом;  $C_p$  – расстояние между осями рядов свай при их шахматном расположении;  $d_{св}$  – диаметр или наибольшая сторона прямоугольного сечения сваи;  $a$  – шаг устройства свай;  $d$  – глубина заложения подошвы ростверка;  $N_d$  – расчетная допускаемая нагрузка на сваю (погонная нагрузка) в уровне подошвы ростверка

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

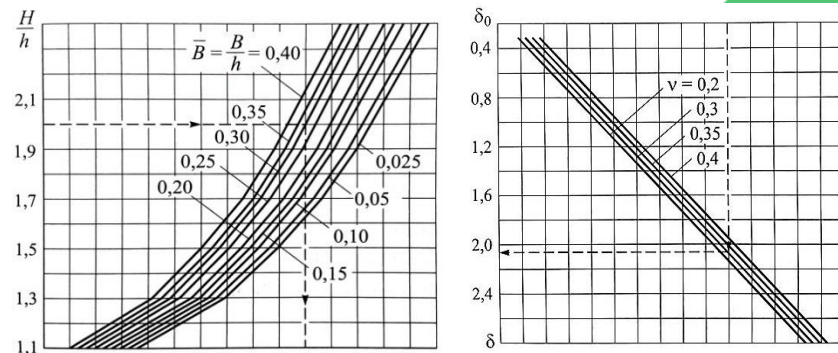
### Свайные ленточные фундаменты. Осадка

$$S \leq \frac{N_d \cdot (1-\nu)^2}{\pi \cdot E} \cdot \delta_0, \quad (6.1)$$

где  $N_d$  – то же, что и (5.1) с учетом нагрузки от веса фундамента в виде массива грунта со сваями, ограниченного сверху – поверхностью планировки, с боков – вертикальными плоскостями, проходящими по наружным граням крайних рядов свай, снизу – плоскостью, проходящей через нижние концы свай, кН;

$E$ ,  $\nu$  – соответственно значения модуля деформации, кПа, и коэффициента Пуассона грунта в пределах сжимаемой толщи основания, определяемые для указанного выше фундамента в соответствии с установленными требованиями (СП 22.13330.2016);

$\delta_0$  – коэффициент, принимаемый по номограмме (рис) в зависимости от коэффициента Пуассона  $\nu$ , приведенной ширины фундамента  $\bar{B} = B/h$  (где  $B$  – ширина фундамента, принимаемая по наружным граням крайних рядов свай, м,  $h$  – глубина погружения свай, м) и приведенной глубины сжимаемой толщи  $H_c/h$  ( $H_c$  – глубина сжимаемой толщи).



Номограмма для определения значений  $\delta_0$

Значения коэффициента  $\delta_0$  определяют по номограмме следующим образом. На номограмме через точку, соответствующему вычисляемому значению приведенной глубины сжимаемой толщи, проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с линией приведенной ширины фундамента  $\bar{B}$  и опускают перпендикуляр до линии коэффициента Пуассона грунта  $\nu$ . Из точки пересечения проводят линию, параллельную оси абсцисс, до пересечения с осью ординат, на которой приведены значения коэффициента  $\delta_0$ .

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

**Пример.** Требуется определить осадку свайного фундамента 9-этажного кирпичного дома при расположении свай в один ряд.

**Исходные данные.** Сваи сечением 30×30 см длиной 11 м, расстояние между сваями 90 см, ширина ростверка  $b_p = 40$  см. Расчетная нагрузка на свайный фундамент  $N_\phi = 711$  кН/м.

Площадка строительства сложена слоем суглинков мощностью 24 м, консистенция суглинков изменяется от мягкопластичной до полутвердой. В плоскости острия свай и ниже залегают суглинки тугопластичные и полутвердые: показатель консистенции  $I_L = 0,24-0,27$ ; удельный вес  $\gamma = 18,7-20,0$  кН/м<sup>3</sup>; коэффициент пористости  $e = 0,64-0,67$ ; угол внутреннего трения  $\varphi = 20-21^\circ$ ; удельное сцепление  $c = 0,022-0,024$  МПа; структурная прочность грунта  $p_{st}$  на уровне острия свай 0,016–0,019 МПа; с глубиной она увеличивается до 0,025–0,3 МПа. Модуль деформации грунта  $E_{cp}$  от плоскости острия свай до нижней границы сжимаемой зоны с учетом уплотнения грунта под сваями равен 12,5 МПа.

**Решение.** Находим характеристику  $E_1$ . Для этого:

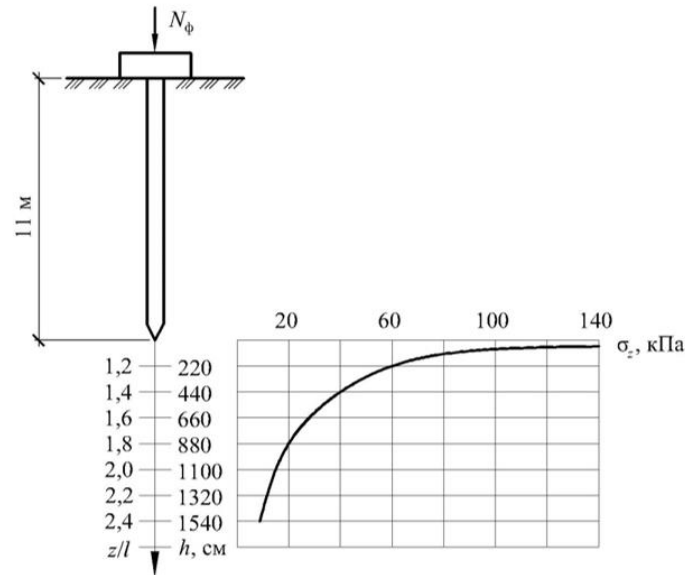
1. Определяем приведенную ширину свайного фундамента  $\beta = d_0/l = 0,4/11 = 0,036$ .

2. Вычисляем приведенную глубину сжимаемой толщи. На рис приведена эпюра дополнительных напряжений  $\sigma_z$  под однорядным свайным ленточным фундаментом. Анализ этой эпюры показывает, что дополнительные напряжения  $\sigma_z$  в сжимаемой толще не превышают структурной прочности грунта сжатию  $p_{st}$  на глубине  $z_0/l = 2,2$ .

3. Находим компоненту перемещения по номограмме на рисунке. При  $z_0/l = 2,2$ ;  $\delta = 0,036$  и  $\nu = 0,35$   $\delta_0 = 2,73$ .

4. Определяем осадку  $S$  свайного фундамента:

$$S = \frac{N_\phi(i - \nu)^2}{\pi \cdot E_1} \delta_0 = \frac{7110(i - \nu)^2}{3,14 \cdot 14,2 \cdot 10^2} \cdot 2,73 = 4,35 \text{ см.}$$



Эпюра распределения напряжений под однорядным свайным фундаментом

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

### Отдельные свайные фундаменты

#### Размещение свай

$$n = k_m \cdot \frac{N_d \cdot \gamma_k}{F_d}, \quad (8.1)$$

где  $N_d$ ,  $F_d$ ,  $\gamma_k$  – то же, что и в (2.1) и (5.1);

$k_m$  – коэффициент, учитывающий наличие момента сил, принимаемый равным 1,15–1,25.

Полученное по (8.1) количество свай округляют в большую сторону до целого числа. Затем сваи размещают в кусте таким образом, чтобы ростверк получился компактным. Расстояние между осями висячих свай рекомендуется принимать не менее  $3d_{св}$ , а для свай-стоек – не менее  $1,5d_{св}$ , где  $d_{св}$  – диаметр, либо наибольшая сторона поперечного сечения сваи.

После размещения свай в плане определяют расчетные нагрузки  $N$  на сваи куста в плоскости действия момента сил.

$$N = \frac{N_d}{n} \pm \frac{\sum M \cdot y}{\sum y_i^2}, \quad (8.2)$$

где  $N_d$  – то же, что и в (5.3);

$n$  – количество свай в кусте;

$M$  – расчетный момент сил относительно центральной оси подошвы ростверка;

$y$  – расстояние от главной оси до оси сваи, для которой вычисляется расчетная нагрузка  $N$ ;

$y_i^2$  – квадрат расстояния от главной оси до оси каждой сваи.

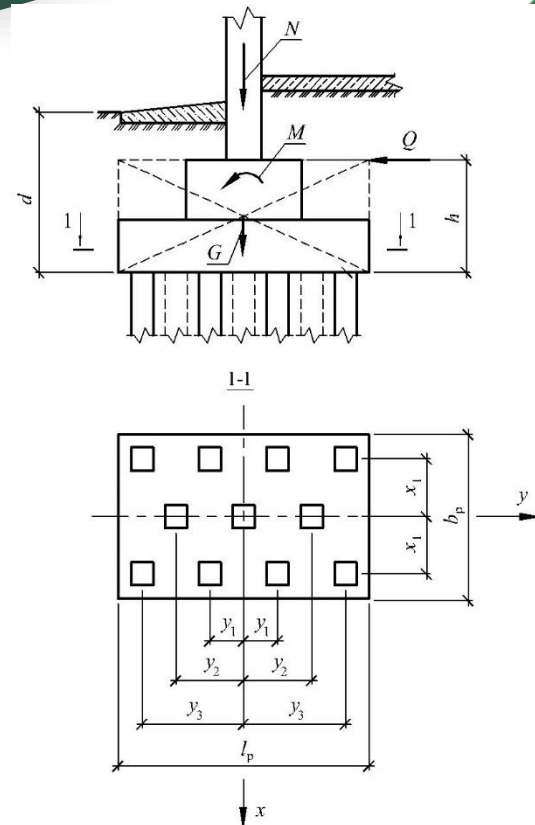


Схема к расчету внецентренно нагруженного отдельного свайного фундамента (из куста свай)

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

### Отдельные свайные фундаменты

**Размещение свай.** Обычно рассматривают крайние сваи куста для которых действуют максимальные  $N_{max}$  и минимальные  $N_{min}$  усилия (нагрузки). Затем проверяют условия:

$$N_{max} \leq \frac{\gamma_0 \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k}, \quad (9.1)$$

$$N_{min} \geq 0, \quad (9.2)$$

где  $\gamma_0$ ,  $F_d$ ,  $\gamma_n$ ,  $\gamma_k$  – то же, что и в (2.1).

Найденное максимальное усилие на сваю  $N_{max}$  должно удовлетворять условию расчета по первой группе предельных состояний (2.1). При этом для кратковременных (ветровых, крановых и т. п.) и особых нагрузок допускается расчет свайных фундаментов производить с учетом перегрузки крайних свай до 20 % (Справочник геотехника, 2016, параграф 6.6.3).

Если условия (9.1) не выполняются, то увеличивают количество свай в фундаменте и/или их длину, либо изменяют расстояние между ними. Если не выполняется условие (9.2) и усилие  $N_{min}$  приобретает отрицательное значение  $N_{min} < 0$ , то следует выполнить проверку работы свай на выдергивание:

$$N_{min} \leq \frac{F_{du}}{\gamma_k}, \quad (9.3)$$

где  $F_{du}$  – несущая способность сваи, работающей на выдергивание и определяемая согласно СП 24.13330.2011, п. 7.2.5;

$\gamma_k$  – то же, что и в (2.1).

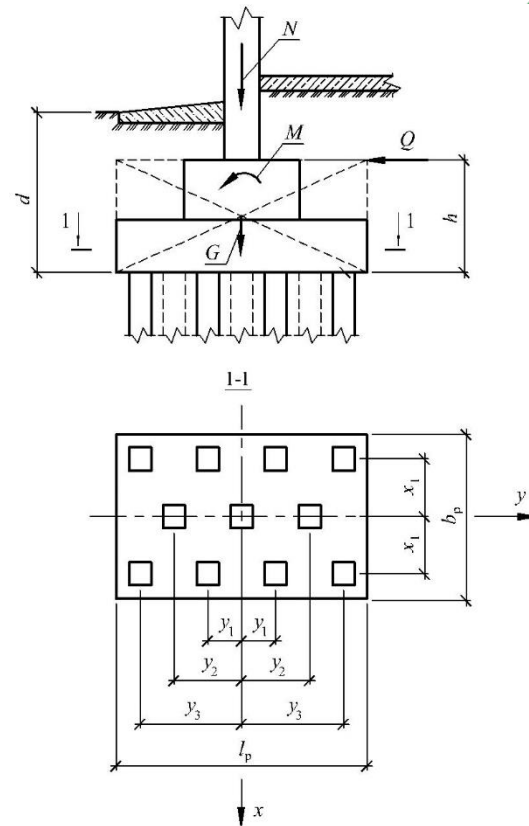


Схема к расчету внецентренно нагруженного отдельного свайного фундамента (из куста свай)

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

### Осадки фундаментов из кустов свай.

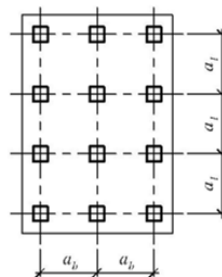
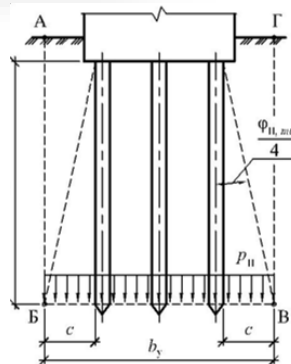
Область применения рассматриваемого метода распространяется на висячие сваи, эксплуатируемые в дисперсных грунтах (преимущественно крупнообломочных, песчаных и глинистых) не обладающих специфическими неблагоприятными свойствами (просадочными, набухающими и др.).

Куст свай рассматривается как условный массивный фундамент, состоящий из свай, грунта межсвайного пространства и некоторого объема грунта, примыкающего к наружным сторонам свайного фундамента. Границы условного фундамента (рис) определяются:

- снизу – плоскостью *БВ*, проходящей через нижние концы свай;
- с боков – вертикальными плоскостями *АБ* и *ГВ*, отстоящими от наружных граней крайних рядов вертикальных свай на расстоянии *c*, равном:

$$c = h \cdot \operatorname{tg} \left( \frac{\varphi_{II, \text{cp}}}{4} \right), \quad (10.1)$$

где *h* – глубина погружения свай в грунт, считая от подошвы ростверка, м;



Схемы условных фундаментов для расчета его осадок

$\varphi_{II, \text{cp}}$  – осредненное расчетное значение угла внутреннего трения грунта:

$$\varphi_{II, \text{cp}} = \frac{\sum \varphi_{II, i}}{\sum h_i}, \quad (10.2)$$

где  $\varphi_{II, i}$  – расчетные значения углов внутреннего трения для отдельных пройденных сваями слоев грунта толщиной  $h_i$ ;

- сверху – поверхностью планировки грунта *АГ*.

Размеры подошвы условного фундамента *АБВГ* при определении его границ по указанным выше правилам находят по формулам:

$$b_y = a_b \cdot (m_b - 1) + d_{\text{св}} + 2 \cdot c, \quad (10.3)$$

$$l_y = a_l \cdot (m_l - 1) + d_{\text{св}} + 2 \cdot c, \quad (10.4)$$

где  $a_b$  и  $a_l$  – расстояния между осями свай соответственно по поперечным и продольным осям, м;

$m_b$  и  $m_l$  – количество рядов свай по ширине и длине фундамента (на рис,  $a \ m_b = 3, m_l = 4$ );

$d_{\text{св}}$  – диаметр круглого или сторона квадратного сечения свай. м.

## Расчет и конструирование свайных фундаментов

**Осадки фундаментов из кустов свай.** Расчет осадок свайного фундамента как условного массивного выполняется тем же методом послойного суммирования, что и расчет фундамента мелкого заложения, учитывая фактические габариты (размеры) условного фундамента (рис).

$$p_{II} = \frac{N_{II}}{A_y} \leq R, \quad (11.1)$$

где  $A_y$  – площадь подошвы условного фундамента,  $m^2$ ;

$N_{II}$  – расчетная нагрузка на основание фундамента при расчете его по второй группе предельных состояний, кН, определяемая с учетом нагрузки от собственного веса условного фундамента по формуле:

$$N_{II} = N_{II,0} + N_{II,c} + N_{II,p} + N_{II,r}, \quad (11.2)$$

где  $N_{II,0}$  – расчетная нагрузка от здания или сооружения на уровне верхнего обреза фундамента, кН;

$N_{II,c}$ ,  $N_{II,p}$ ,  $N_{II,r}$  – расчетные нагрузки от веса соответственно свай, ростверка и грунта, кН, в объеме условного фундамента  $ABCD$  (рис).

Расчетное сопротивление грунта основания  $R$  определяется также, как и для фундамента мелкого заложения, но с заменой фактических габаритов на размеры условного фундамента  $b_y$ ,  $l_y$  и  $d_y$ .

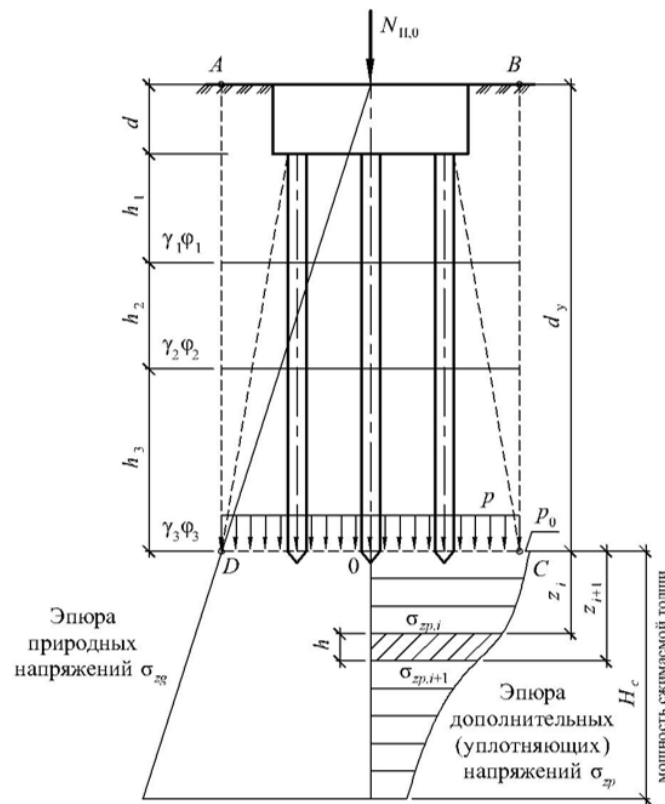


Схема к определению осадок свайного фундамента из куста свай методом послойного суммирования



**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**

Кубанский государственный  
аграрный университет имени И. Т. Трубилина

*заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»,  
д-р техн. наук, профессор Полищук А. И.*