

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

---

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

## **ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

**Свайные фундаменты: инженерно-геологическое  
обоснование, определение размеров, расчет осадок**

**Методические указания**

**Санкт-Петербург  
Издательство политехнического университета  
2012**

**Основания и фундаменты. Свайные фундаменты: инженерно-геологическое обоснование, определение размеров, расчет осадок: метод. указания / В.А. Мельников. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 20 с.**

Методические указания соответствуют содержанию государственного образовательного стандарта дисциплины БЗВ6 «Основания и фундаменты» подготовки бакалавров по направлениям «Электроэнергетика» и «Строительство».

Изложены материалы, необходимые для обучения студентов методам проектирования оснований и свайных фундаментов различного назначения. Рассмотрены основные принципы расчета и проектирования свайных фундаментов, а также определение их размеров и осадок в соответствии с положениями действующих норм проектирования.

Приведены необходимые материалы в виде таблиц, графиков, расчетных схем и формул.

Предназначены для студентов заочного обучения, изучающих дисциплину «Основания и фундаменты», служат дополнением к рекомендуемым в СПбГПУ учебникам и учебным пособиям.

## Введение

Повышение экономической эффективности проектных решений фундаментов способствует совершенствованию методов их расчета и проектирования. Одной из характерных особенностей фундаментов является вариантный характер их проектирования, когда необходимо рассмотреть несколько вариантов фундаментов и выбрать из них наиболее экономически целесообразный, отвечающий современной технологии возведения, обеспечивающий долговременную и безопасную эксплуатацию сооружения, а также экологическую безопасность среды застройки. В курсовой работе для этого требуется рассмотреть два вида фундаментов: мелкого заложения и, как альтернативный вариант – свайный.

Свайные фундаменты применяются в тех случаях, когда грунты основания представлены насыпью большой мощности, торфами, илистыми отложениями, связными грунтами в текучем и текуче-пластичном состоянии и т.п.

В настоящее время большой размах приобрело строительство на слабых водонасыщенных грунтах, когда строители используют под объекты площадки, которые ранее признавались геологами негодными для возведения сооружений.

Применение свайных фундаментов может быть также обусловлено требованиями повышения устойчивости, уменьшения осадок, крена как собственно самого фундамента, так и всего сооружения.

В первой главе дана оценка грунтового основания, выбран тип и предварительные размеры ростверка, назначена глубина заложения подошвы ростверка. Во второй главе определены тип и размер свай. В третьей главе рассчитана несущая способность свай и их число. Далее, в четвертой главе разработана конструкция свайного фундамента и уточнены размеры ростверка. Затем, в пятой главе рассчитана осадка свайного фундамента и его устойчивость. Указано на необходимость рассмотрения конкурирующих вариантов фундаментов.

В настоящее время выбор наиболее оптимального конструктивного решения фундамента осуществляется, как правило, путем технико-экономического сравнения вариантов устройства фундаментов по следующим показателям: экономической эффективности, материалоемкости, необходимости выполнения работ в сжатые сроки, величинам предельных осадок и их неравномерностей, возможности выполнения работ в зимнее время и т.п.

При выполнении курсовой работы используются положения действующих норм и правил проектирования, перечень которых приведен в списке литературы.

## 1. Область применения свайных фундаментов. Выбор типа и размеров свай

Область применения свайных фундаментов определяется инженерно-геологическими условиями и нагрузками, передаваемыми на фундамент.

Проектирование выполняется в соответствии с СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты».

По характеру передачи нагрузки на грунтооснования сваи подразделяются на сваи-стойки и сваи-трения (висячие).

К сваям-стойкам относятся сваи всех видов, опирающиеся на скальные грунты, а забивные сваи, кроме того, на малосжимаемые (крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем средней плотности и плотным, а также глины твердой консистенции в водонасыщенном состоянии с модулем деформации  $E > 50 \text{ МПа}$ ). Для сваи-стойки не учитывается трение по боковой поверхности.

К сваям-трения относятся сваи, относятся сваи, опирающиеся на сжимаемые грунты.

Под действием предельного усилия висячая свая получает вертикальные перемещения достаточные для возникновения сил трения между сваей и грунтом.

Для этих свай нагрузка передается как боковой поверхностью сваи, так и ее нижним концом. Несущая способность висячей сваи определяется суммой сопротивления сил трения по ее боковой поверхности –  $f$ , и сопротивлением по острию –  $R$ .

Конструирование свайного фундамента проводят в два этапа. Вначале производят размещение свай в ростверке, определяют размеры самого ростверка. Затем, на втором этапе, уточняют нагрузки, действующие на сваю, и, если надо, изменяют их длину и сечение. Далее, следуя принципу проектирования фундаментов методом последовательных приближений, рассчитывают сваи заново, начиная с п.1, учитывая изменившиеся усилия.

Проектирование свайного фундамента начинается с предварительного определения размеров ростверка и глубины заложения подошвы ростверка.

Глубина заложения подошвы ростверка назначается исходя из следующих соображений:

1. Расчетной глубины промерзания грунта основания;
2. Размеров самого ростверка (схема сопряжения с надфундаментной конструкцией и сваей);
3. Конструктивных особенностей здания – наличие подвалов, технического подполья и др. п. 7.11 с.81 СНиПа 2.02.01-83\*.

При назначении глубины заложения подошвы ростверка руководствуются теми же соображениями, что и при определении глубины заложения подошвы фундаментов, возводимых на естественном основании (п.3.1 СНиП 2.02.01-83\*).

В курсовой работе принимаем глубину заложения подошвы ростверка такой же, как для фундаментов мелкого заложения, определенную из условия

не промерзания подошвы ростверка, инженерно-геологических, гидрогеологических условий основания.

Предварительные размеры ростверка в плане определяются размерами надфундаментной части сооружения (колонны).

Например:

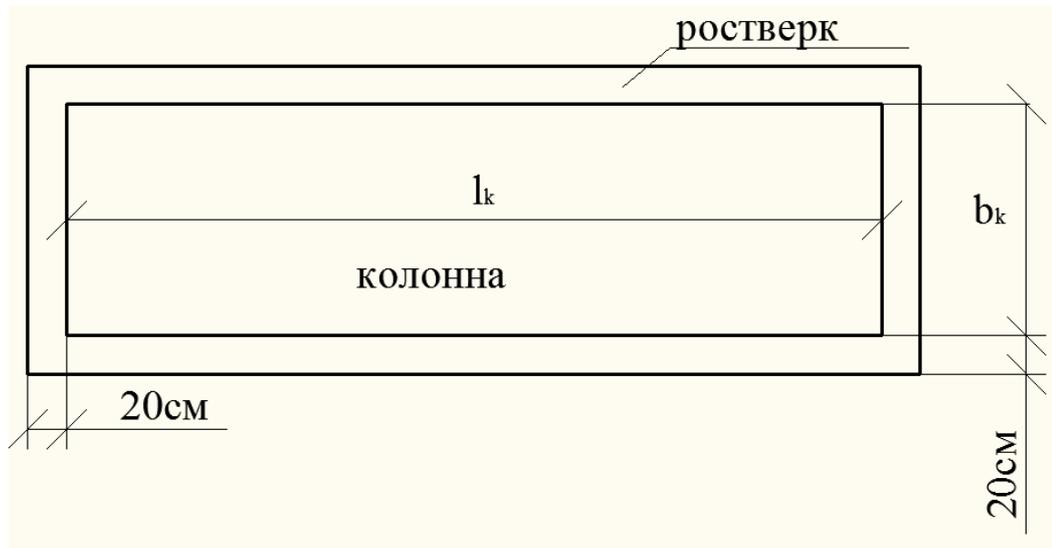


Рис.1. Определение размеров ростверка

$$b_p = b_k + 0,2 \cdot 2 = 1,2 + 0,2 \cdot 2 = 1,6 \text{ м,}$$

$$l_p = l_k + 0,2 \cdot 2 = 4,2 + 0,2 \cdot 2 = 4,6 \text{ м.}$$

Далее находим вес ростверка –  $Q_p$ .

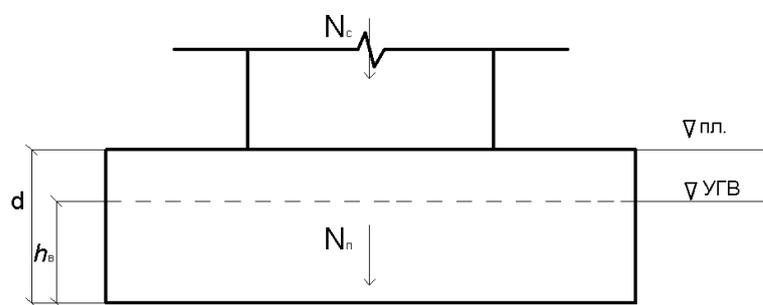


Рис.2. Определение веса ростверка

$$Q_p = b_p \cdot l_p \cdot d \cdot \gamma_{ж/б} = 1,6 \cdot 4,6 \cdot 2,3 \cdot 2,5 = 40 \text{ тс}$$

Определяем расчетную сжимающую силу на уровне подошвы ростверка –  $N_{\Pi}$ .

$$N_{\Pi} = N_c + Q_p - \gamma_b \cdot h_b \cdot (b_p \cdot l_p) = 400 + 40 - 1 \cdot 1,36 \cdot 1,6 \cdot 4,6 = 430 \text{ тс.}$$

## 2. Оценка инженерно-геологических условий основания и назначение расчетной длины сваи

Расчет свайного фундамента начинают с составления расчетной схемы с изображением геологического разреза (грунтовой колонки) с отметками слоев; указанием консистенции глинистых грунтов, плотности песков, уровня грунтовых вод, угла внутреннего трения, сцепления и модуля деформации грунтов (рис.3).

В соответствии с п. 7.10 СНиП 2.02.03-85 выбор длины сваи должен назначаться в зависимости от грунтовых условий. Смотрим на геологический разрез и оцениваем слои грунта, которые прорежет свая. Необходимо назначить слой грунта, куда будет заглублена свая. Несущим принимается слой грунта, обладающий хорошими строительными свойствами. При однородных (сжимаемых) грунтах длина сваи назначается на основании технико-экономического сравнения.

Висячие сваи заглубляют своим концом в наиболее плотный слой грунта на 1,5-2,0м (но не менее 0,5м в случае крупнообломочных, гравелистых, крупных и средней крупности песков, глинистых грунтов с показателем консистенции  $I_k \leq 0,1$ ) и не менее 1,0м в другие скальные грунты ( $I_L = 0,1$  – близкое к твердому состоянию грунта).

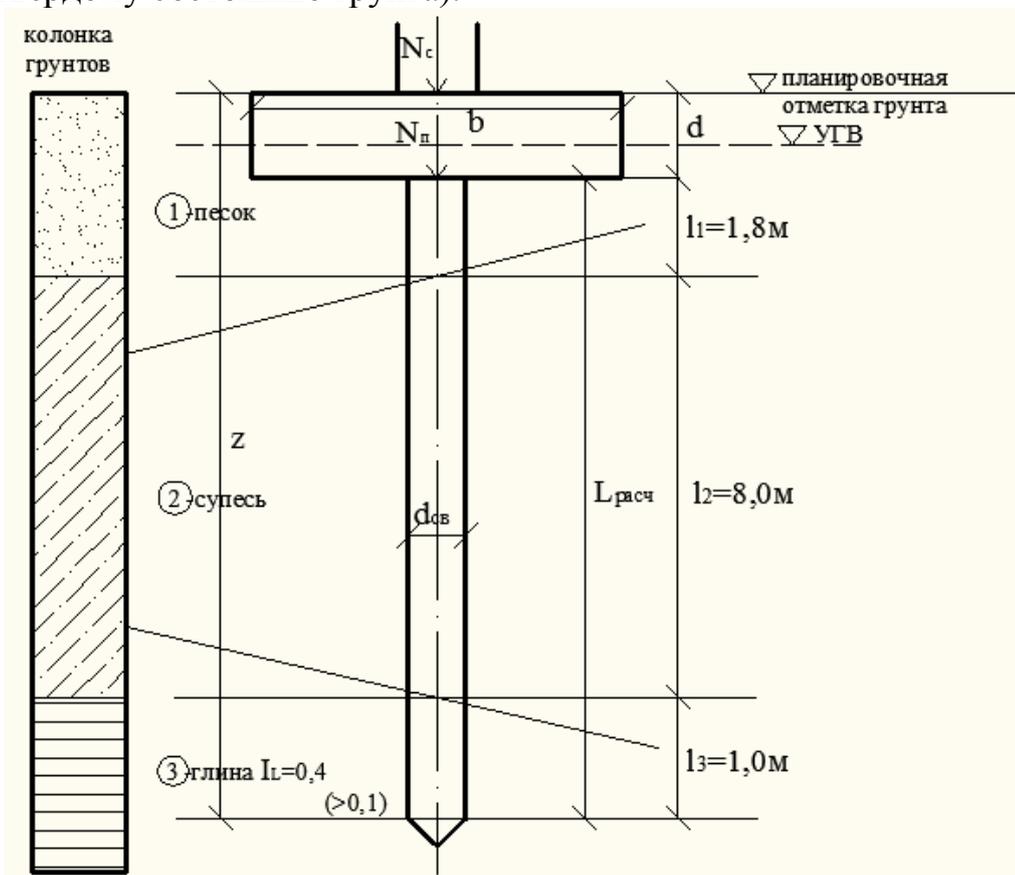


Рис. 3. Расчетная схема к определению длины сваи

Сваями прорезаем грунт 1 и 2 и опираем на слой 3, заглубляя на 1м согласно указаниям СНиП 2.02.03-85.

$L_p$  – расчетная длина сваи – расстояние от подошвы ростверка до начала заострения:

$$L_p = z - d,$$

где  $z$  – глубина от поверхности грунта до начала заострения,

$d$  – глубина заложения подошвы ростверка.

Таким образом, длина сваи  $L_{расч}$  определяется глубиной залегания слоя несущего прочного грунта, в который заглубляется свая, и отметкой заложения подошвы ростверка.

Принимаем, к примеру:

$$L_{расч} = l_1 + l_2 + l_3 = 1,8м + 8,0м + 1,0м = 10,8м.$$

В соответствии с п. 7.4 СНиП 2.02.03-85 заделка сваи в ростверке составляет 5-10см. И, следовательно:

$$L_{констр} = L_{расч} + (5 \div 10)см,$$

$$L_{констр} = 10,8м + 0,1м = 10,9м.$$

Окончательно принимаем  $L_{св}$ -длину сваи.

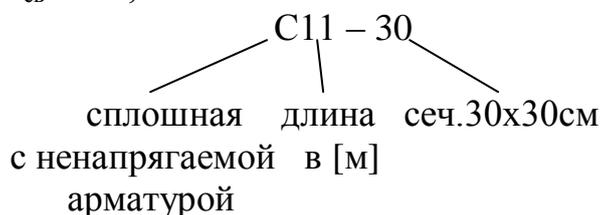
Определив необходимую длину, выбираем также по типовым значениям, исходя из нагрузки на сваю, рациональное сечение и марку сваи.

Сечение сваи принимаем по сортаменту до 6м,

20x20 } здесь выбираем в зависимости от  
25x25 } нагрузок  
30x30 }

далее до 12м 30x30, до 16м 35x35 и 40x40 по несущей способности, нагрузке и конструктивным соображениям ростверка.

Пример: по сортаменту принимаем забивную железобетонную сваю квадратного сечения  $L_{св}=11м$ , сечение 30x30см.



Практика показывает, что при выборе длины сваи необходимо руководствоваться следующими соображениями: сваи-стойки эффективны при любой длине; сваи трения считаются эффективными, если их длина в 2-3 раза больше ширины ростверка. Характерные кривые осадка–нагрузка  $S=f(N)$ , полученные по данным испытаний висячих свай статической нагрузкой, приведены на рис.4.

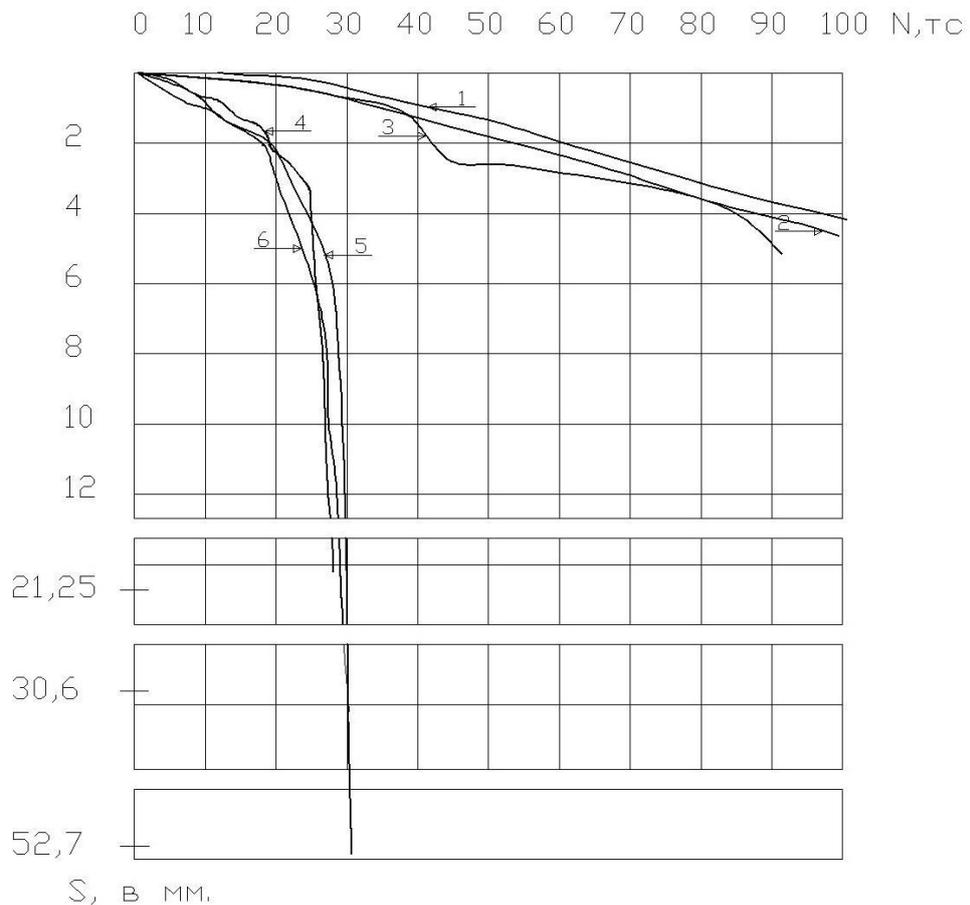


Рис.4 Совмещенный график испытаний свай  
1,2 и 3 – сваи длиной 22,6 м, 4,5 и 6 – сваи длиной 6 м.

Испытываемые сваи погружали в илистые грунты мощностью более 30м.

Слева (кривые 4,5,6) относятся к коротким сваям длиной 6м, а справа (кривые 1,2,3) к сваям длиной 22м.

Предельная нагрузка для коротких свай равна 25-30тс, а для длинных свай при нагрузке 100тс не достигнут даже предел в пропорциональной зависимости нагрузка-осадка. Отсюда вывод: в слабых основаниях целесообразнее проектировать более длинные сваи с большей нагрузкой вместо большого количества коротких свай с малой нагрузкой.

### 3. Определение несущей способности свай. Расчет числа свай

Расчет несущей способности вертикально нагруженных висячих свай (свай-трения) производится, как правило, только по прочности грунта, так как по прочности материала сваи несущая способность всегда заведомо выше.

Расчет ведется по первой группе предельных состояний (по несущей способности).

В соответствии с п.4.2 СНиП 2.02.03-85 несущую способность  $F_d$  висячей забивной сваи (квадратной, квадратной с круглой полостью, прямоугольной и полый, круглой диаметром до 0,8м) и сваи-оболочки, не заполненной бетоном, работающих на сжимающую нагрузку, следует определять как сумму расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности.

$$F_d = \gamma_c \cdot (\gamma_{CR} \cdot R \cdot A + U \cdot \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i), \quad (1)$$

где  $\gamma_c \cdot \gamma_{CR} \cdot R \cdot A$  – значение для сваи-стойки: смысл разделения свай на стойки и висячие сваи заключается в том, что для сваи-стойки перемещения острия под нагрузкой не происходит и силы трения по боковой поверхности не возникают.

$\gamma_c$  – коэффициент условия работы сваи в грунте, который зависит от вида свай.  $\gamma_c = 1,0$  для свай прямоугольного продольного сечения, забивных. Для набивных, винтовых, сваи-оболочек может быть  $\gamma_c \neq 1$ .

$\gamma_{cf}, \gamma_{CR}$  – коэффициенты условия работы грунта соответственно под нижним концом и по боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения и изготовления сваи на расчетное сопротивление грунта ( $\gamma_{cf} = \gamma_{CR} = 1$  – если сваи погружаются забивкой - табл.3.3 СНиП).

$A$  – площадь опирания сваи на грунт.

$$A = (d_{cb})^2 = (0,3\text{м})^2 = 0,09\text{м}^2.$$

$U$  – наружный периметр поперечного сечения сваи.

$$U = 4 \cdot d_{cb},$$

$$U = 4 \cdot 0,3 = 1,2\text{м}.$$

$R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи (принимается по табл.1 п.4.2 СНиП 2.02.03-85).

$f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -ого слоя однородного грунта основания по боковой поверхности сваи (принимается по табл.2 п.4.2 СНиП 2.02.03-85).

При определении  $f_i$  по таблицам пласты грунтов следует расчленить на однородные слои толщиной не более 2м (рис. 5). Для промежуточных глубин или характеристик грунтов  $R$  и  $f_i$  определяются интерполяцией.

$h_i$  – толщина  $i$ -ого слоя грунта ( $h_i \leq 2\text{м}$  и в пределах  $h_i$  должна быть однородной).

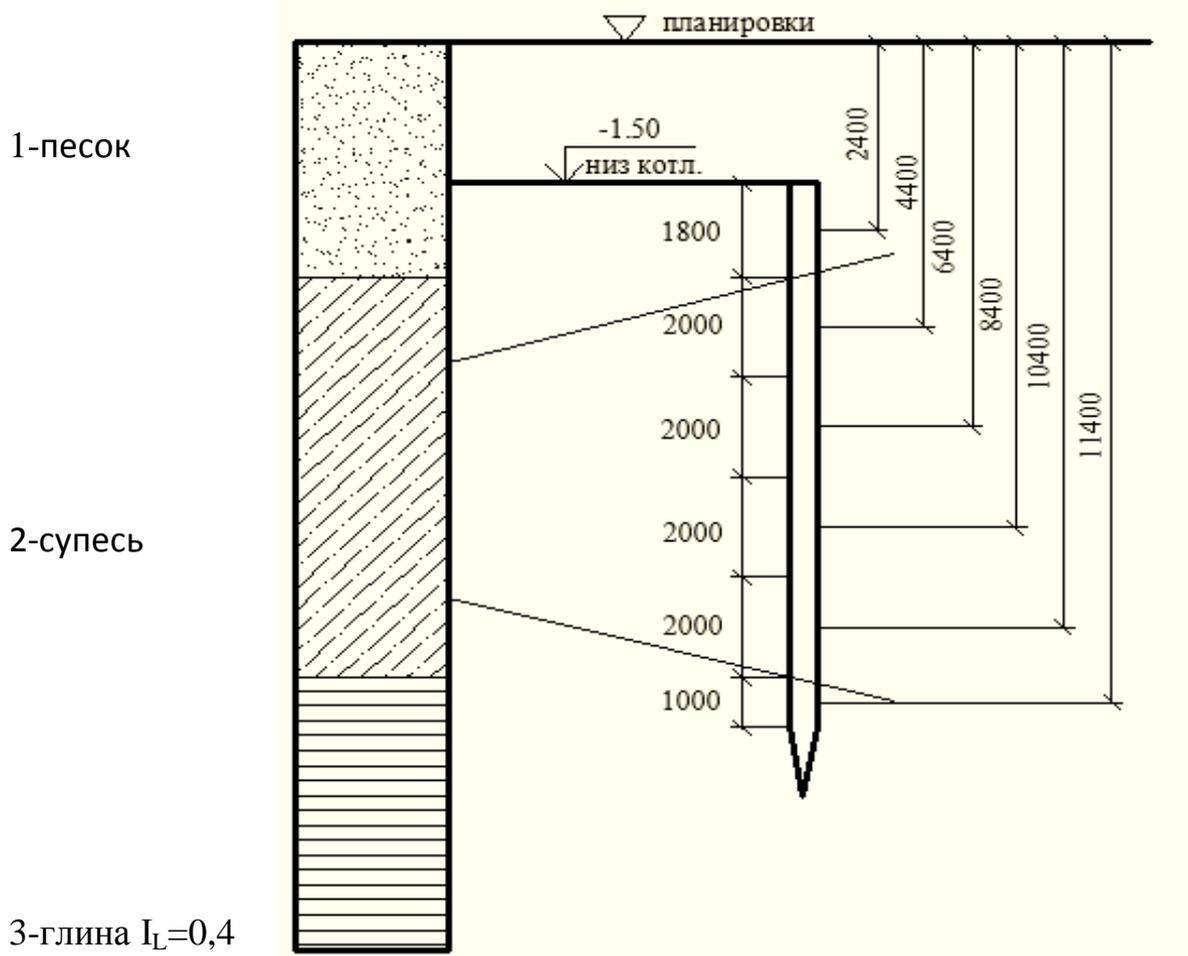


Рис.5. Расчетная схема к определению несущей способности сваи по грунту

Пример расчета  $F_d$ :

- Толщу грунта, пронизываемого сваем, разбиваем на слои толщиной 1-2м
- для 1-ого слоя грунта при средней глубине расположения слоя  $h_1=2,4$ м,  $f_1=3,8$ тс/м<sup>2</sup>;
  - для 2-ого слоя грунта при средней глубине расположения слоя  $h_2=4,4$ м,  $f_2=4,4$ тс/м<sup>2</sup>;
  - для 3-ого слоя грунта при средней глубине расположения слоя  $h_3=6,4$ м,  $f_3=6,0$ тс/м<sup>2</sup>;
  - для 4-ого слоя грунта при средней глубине расположения слоя  $h_4=8,4$ м,  $f_4=6,2$ тс/м<sup>2</sup>;
  - для 5-ого слоя грунта при средней глубине расположения слоя  $h_5=10,4$ м,  $f_5=6,5$ тс/м<sup>2</sup>;
  - для 6-ого слоя грунта при средней глубине расположения слоя  $h_6=11,4$ м,  $f_6=3,8$ тс/м<sup>2</sup>.

Сопротивление под нижним концом сваи  $R=270 \text{ тс/м}^2$

Следует отметить, что изложенный метод и таблицы СНиПа базируются на обобщении результатов испытаний большого числа обычных и специальных свай вертикальной статической нагрузкой, проведенных в различных грунтовых условиях.

Расчеты по формуле (1) удобно вести в табличной форме:

Таблица 1

Фундамент	$N_{п}$	R	$\frac{\gamma_{CR}^*}{R^*A}$	$N_{\text{слоя}}$	$h_i$	$f_i$	$\sum_{i=1}^n \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i$	U	$F_d$	$F_{RS}$	n
	тс	тс/м <sup>2</sup>	тс		м	тс/м <sup>2</sup>	тс/м	м	тс	тс	шт.
I	430	270	25,9	1	1,8	3,8	30,7	1,2	25,9	44,8	10
				2	2,0	4,4					
				3	2,0	6,0					
				4	2,0	6,2					
				5	2,0	6,5					
				6	1,0	3,8					
II											

Последовательность расчетов такова:

1. Сначала определяем  $F_d$  – несущую способность сваи по грунту. Иначе,  $F_d$  - это расчетная несущая способность грунта основания для данной одиночной сваи.

2. Далее определяем  $F_{RS}$  – силу расчетного сопротивления сваи по грунту.

$$F_{RS} = \frac{F_d}{\gamma_k},$$

где  $\gamma_k$  – коэффициент надежности, зависящий от способа определения  $F_d$  (в соответствии с п.3.10 СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты).

$\gamma_k = 1,4$  – если несущая способность определяется расчетом (данные берутся по таблице).

$\gamma_k = 1,2$  – если несущая способность  $F_d$  определена статическими испытаниями. Например, конкретные сваи на стройплощадках.

$\gamma_k = 1,25$  – если проведены полевые испытания статическим или динамическим зондированием.

Определение несущей способности сваи расчетом производится во всех случаях. Полевые же испытания свай по существующим нормативным документам не являются обязательными, однако для надежности проектного решения к ним обычно прибегают. При этом наиболее достоверными являются испытания свай статической нагрузкой (предпроектные).

Для фундаментов испытывающих большие горизонтальные усилия, применяются статические испытания свай горизонтальной нагрузкой.

3. Далее определяем количество свай в фундаменте. Необходимое количество свай рассчитывают, предполагая в первом приближении равномерное размещение и передачу нагрузки на все сваи в ростверке из выражения:

$$n = \frac{N_{\Pi}}{F_{RS}}.$$

где  $N_{\Pi}$ - расчетная сжимающая сила в плоскости подошвы ростверка

Данные округляют до целого числа в большую сторону. Например,

$$n = \frac{N_{\Pi}}{F_{RS}} = \frac{430 \text{ тс}}{44,8 \text{ тс}} = 9,59.$$

Принимаем число свай  $n=10$  шт.

Затем производим проверку усилий, передаваемых на сваю. Согласно п.3.9 СНиП 2.02.03-85 расчетная нагрузка, передаваемая на сваю, должна удовлетворять условию:

$$N = \frac{N_{\Pi}}{n} \leq F_{RS} = \frac{F_d}{\gamma_k},$$

где  $N$  – расчетное усилие, передаваемое на одну сваю (от сооружения и веса ростверка).

Проверяем неравенство:

$$N = \frac{N_{\Pi}}{n} = \frac{430}{10} = 43 \text{ тс} < F_{RS} = 44,8 \text{ тс}.$$

Таким образом, нагрузка, передаваемая на одну сваю от сооружения и веса ростверка, не превышает силу расчетного сопротивления сваи по грунту.

Для учета моментов и горизонтальных сил производим проверку нагрузки на сваю с учетом внецентренного нагружения фундамента. Тогда нагрузка на сваю:

$$N = \frac{N_{\Pi}}{n} + \frac{M_y * x_1}{\sum x_i^2} + \frac{M_x * y_1}{\sum y_i^2}, \quad (2)$$

где  $N_{\Pi}$ - расчетная сжимающая сила в плоскости подошвы ростверка,

$M_x, M_y$  – расчетные изгибающие моменты (тс·м), относительно главных центральных осей инерции, плана свай в плоскости подошвы ростверка;  $n$ – число свай в фундаменте;  $x_i$  – расстояние от главных осей инерции до оси каждой сваи, м;  $y_1$  – расстояние от главных осей инерции до оси сваи, для которой вычисляется расчетная нагрузка, м.

Пример расчета для наиболее удаленной от оси инерции – у сваи 1:

$$M_y = 3,5 \text{ тс} \cdot \text{м}$$

$$N_1 = \frac{N_{\Pi}}{n} + \frac{M_y * x_1}{\sum x_i^2} = \frac{430}{10} + \frac{3,5 * 2,25}{6,1} = 43 + 1,2 = 44,2 \text{ тс}$$

$$N_1 = 44,2 \text{ тс} < F_{RS} = 44,8 \text{ тс}$$

Условие выполняется.

Если условие (2) не выполняется, и расчетная нагрузка  $-N$  свай крайних рядов (они наиболее нагружены от момента) не превышает  $F_{RS}$  на  $\pm 5\%$  для постоянных и длительно-действующих временных нагрузок, и  $\pm 20\%$  для временных кратковременных (ветер, крановая), то свайный фундамент остается таким же, как и при проектировании только на вертикально приложенную силу  $N_{\Pi}$ .

Если и эти условия не выполняются, то возможны три варианта исправления неравномерности нагрузок на сваи от момента:

1. Увеличивают число свай, размещая симметрично относительно центра колонны. При этом сваи нагружены неравномерно ( $\eta_M > 1$ ).

Новое число свай:

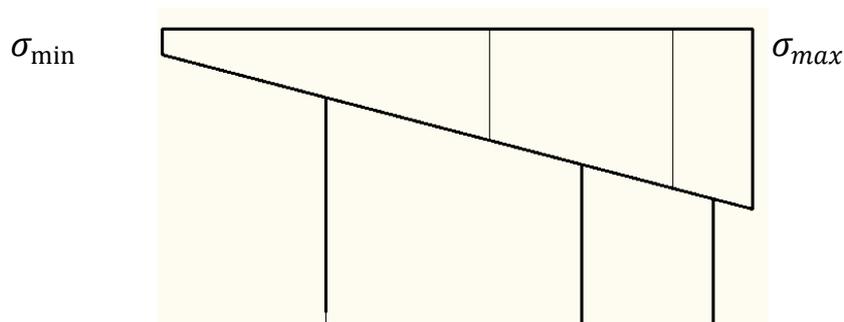
$$n' = n * \eta_M,$$

где  $\eta_M = 1 \dots 1,6$  в зависимости от момента.

Пример:  $n' = n * \eta_M = 10 * 1,2 = 12$  шт.

2. Сваи размещают равномерно, но центр подошвы ростверка смещают относительно центра колонны на величину эксцентриситета  $e$  или  $2e$ . При этом сваи оказываются нагруженными равномерно ( $\eta_M = 1$ ).
3. Распределяют сваи неравномерно, путем последовательных приближений: строят эпюру  $\sigma$  по подошве ростверка (по сопрягату):

$$\sigma_{\frac{max}{min}} = \frac{N_{\Pi}}{A_{\text{роствв}}} \pm \frac{M_y}{W_{\text{роствв}}}$$



Далее задаются число свай в одном ряду и число рядов; делят эпюру на равновеликие площади, центры тяжести которых дают положения рядов. При этом все сваи нагружены равномерно, а  $\eta_m = 1$ .

После расстановки новых свай необходимо вновь рассчитать  $N$  и проверить условие:

$$N_i = \frac{N_{\Pi}}{n} \leq F_{RS} = \frac{F_d}{\gamma_k}$$

Окончательно принимаем число свай (например,  $n = 12$  шт) и переходим к конструированию свайного ростверка.

#### 4. Конструирование свайного ростверка. Уточнение его размеров

Ростверк устраивают поверху свай для обеспечения совместной работы свай под нагрузкой.

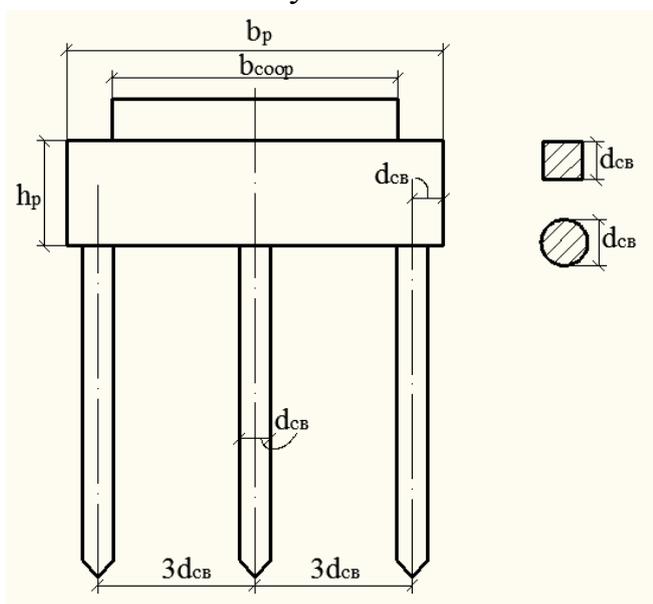
Начинают с размещения свай в плане и определения размеров подошвы ростверка.

Сваи в центрально нагруженном свайном фундаменте располагают рядами или в шахматном порядке (рис. 7).

Размеры ростверка также определяются и размерами надфундаментного сооружения (рис.6).

При небольших значениях эксцентриситетов фундамента сваи допускается размещать симметрично относительно геометрической оси опорной конструкции (например, колонны).

Согласно указанию СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты»



минимальное расстояние между осями свай  $d_{\min}$  принимают равным  $3d$  – для висячих свай и  $1,5d$  – для свай-стоек. Максимальное расстояние между сваями определяется конструкцией сопряжения сваи с ростверком и обычно не превышает  $6d$  (рис.6).

$$b_p = b_{\min} + 2 \cdot d_{св} > b_{соор}$$

$$b_{\min} = 3 \cdot d \cdot (n_p - 1),$$

где  $n_p$  – число рядов свай

Рис.6. Конструкция свайного фундамента

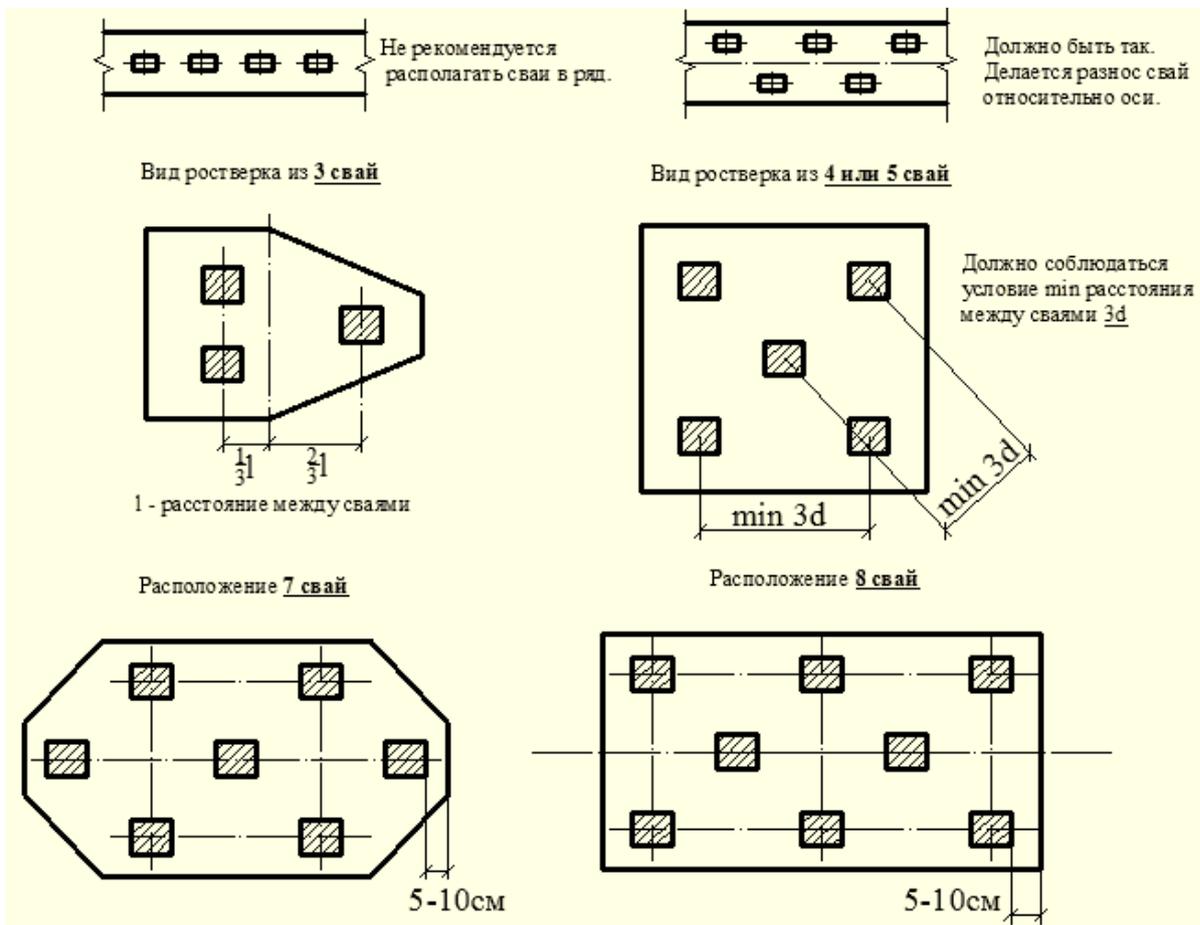


Рис.7. Расположение свай в плане

Размеры ростверка:

Размеры ростверка могут изменяться по отношению к предварительно назначенным, но не должны быть меньше размеров опирающейся на него конструкции (колонны, быка моста и т.п.).

1. Размеры ростверка в плане принимаются кратными 30см.

2. Высота ростверка определяется из условий заделки колонны и свай. Конструктивная высота ростверка назначается на 40см больше глубины стакана для опорного сооружения. Размеры по высоте кратны 15см.

Следует отметить, что заделка свай в ростверк на 5-10см обеспечивает свободное опирание ростверка на сваю и учитывается в расчетах условно как шарнирное соединение.

Жесткое сопряжение свайного ростверка со сваями предусматривается в следующих случаях:

1. Сваи погружены в слабые грунт (рыхлые пески, глинистые грунты текучей консистенции, илы, торфы и др.);

2. На сваю действуют горизонтальные нагрузки и горизонтальные перемещения больше, чем предельно допустимые для данного здания или сооружения.

3. Имеются наклонные или составные вертикальные сваи.

4. Сваи работают на выдергивание.

Жесткое сопряжение железобетонных свай с монолитным железобетонным ростверком проектируется в соответствии с требованиями СНиП по проектированию железобетонных конструкций.

Для железобетонных ростверков свайных фундаментов принимается бетон класса не ниже B15.

## **5. Расчет осадки свайного фундамента. Выбор основного варианта**

В результате нагружения свайного фундамента грунт основания уплотняется, сжимается, фундамент получает осадку, следовательно, получают деформации и наземные конструкции.

Сложность определения осадок свайных фундаментов связана с тем, что они передают нагрузку на грунт основания одновременно через боковую поверхность свай и их нижние концы. При этом, соотношение передаваемых нагрузок зависит от многих факторов: числа свай, их длины, расстояния между ними, свойств грунта, способа погружению свай.

Поэтому свайный фундамент при расчете его осадки рассматривается как условный массивный фундамент на естественном основании, что соответствует требованиям СНиП 2.02.03-85. Далматов Б.И. стр.161, Костерин Э.В. Основания и фундаменты, 1990г. §30.

Расчет осадки начинают с построения расчетной схемы (рис.9) и определения контура ABCD условного фундамента.

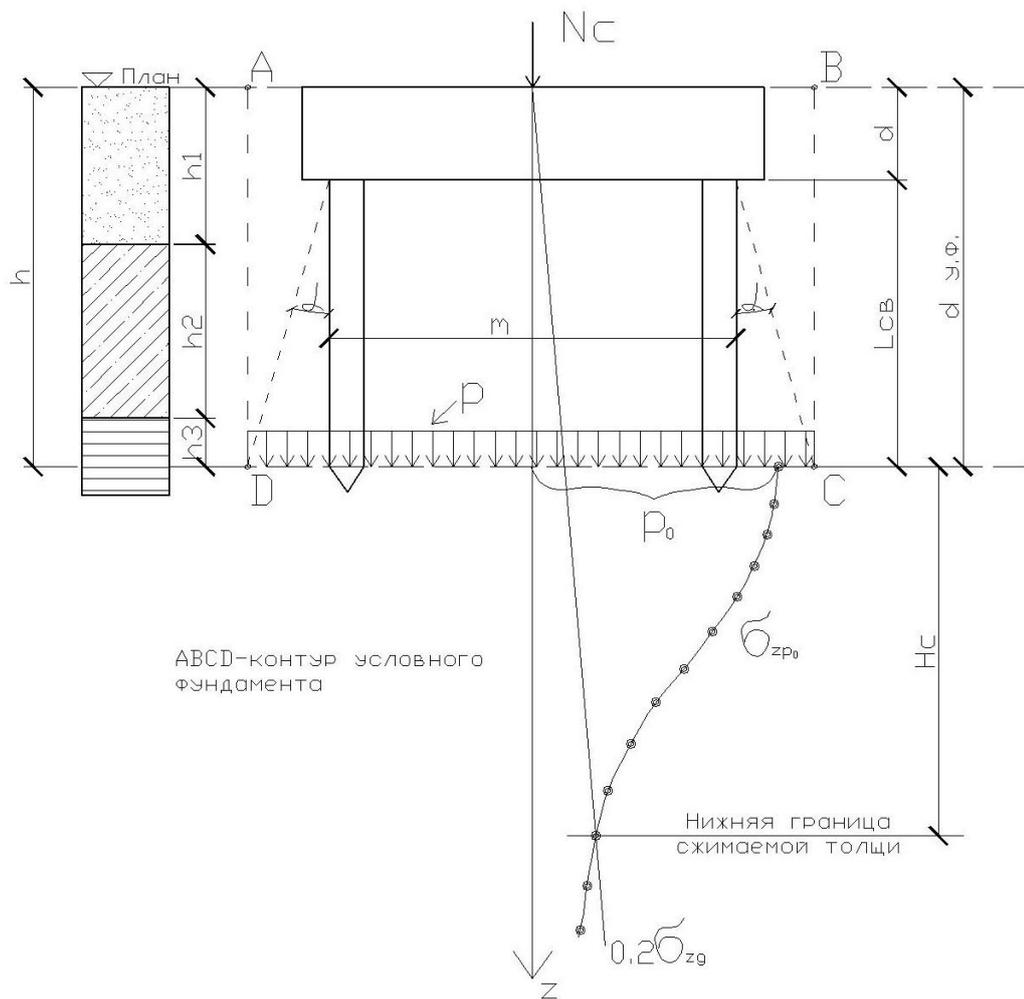


Рис.9. Расчетная схема условного фундамента

$\alpha = \frac{\varphi_{\text{ср}}}{4}$  – угол распространения давления под ростверком.

$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum \varphi_i \cdot h_i}{\sum h_i}$  – средний угол внутреннего трения толщи грунтов, в которых находится свая (средневзвешенное значение).

$h = h_1 + h_2 + h_3$  – толщина слоев грунта, пройденных сваяй.

$A_{\text{у.ф.}} = b_{\text{у.ф.}} \cdot l_{\text{у.ф.}}$  – площадь условного фундамента,

$$b_{\text{у.ф.}} = m + 2 \cdot L_{\text{св}} \cdot \text{tg} \left( \frac{\varphi_{\text{ср}}}{4} \right),$$

$$l_{\text{у.ф.}} = n + 2 \cdot L_{\text{св}} \cdot \text{tg} \left( \frac{\varphi_{\text{ср}}}{4} \right).$$

Далее определяем вес условного фундамента давление на основание.

$$G_{\text{у.ф.}} = G_{\text{р}} + G_{\text{св}} + G_{\text{гр}} \approx \gamma_{\text{прив}} \cdot (L_{\text{св}} + d) \cdot A_{\text{у.ф.}},$$

где  $(L_{\text{св}} + d) = d_{\text{у.ф.}}$  – высота условного фундамента,

$A_{\text{у.ф.}} = b_{\text{у.ф.}} \cdot l_{\text{у.ф.}}$  – площадь условного фундамента или  $A_{\text{у.ф.}} = b_{\text{у.ф.}} \cdot 1\text{м}$  – для ленточного фундамента.

Находим:

$p$  – среднее давление под подошвой условного фундамента,

$p_0$  – дополнительное (к природному) давление на основание.

$$p = \frac{N_c}{A_{у.ф.}} + \gamma_{прив.у.ф.} \cdot (L_{св} + d),$$

$$\gamma_{прив.у.ф.} = 2,2 \text{ тс/м}^3.$$

$$p_o = p - \gamma' \cdot (L_{св} + d),$$

где  $\gamma' \cdot (L_{св} + d) = \sigma_{zg_o}$  – природное давление существовавшее на отметке подошвы условного фундамента до начала строительства,

$\gamma'$  – средний удельный вес грунта в пределах глубины  $L_{св} + d$ , рассчитанный по формуле:

$$\gamma' = \frac{\sum \gamma_i \cdot h_i}{\sum h_i}.$$

Замечание:

При наличии грунтовой воды необходимо учитывать взвешивание, как в вычислениях  $G_{у.ф.}$  ( $\gamma_{прив.взв.} \approx 1,2 \text{ тс/м}^3$ ), так и в вычислениях  $\sigma_{zg}$  и  $\gamma'$ ; расчет  $\sigma_{zg}$  ведется от отметки природного рельефа.

Вертикальное напряжение в основании от нагрузки определяется по формуле:

$$\sigma_{z_{p_o}} = \alpha \cdot p_o,$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от формы подошвы фундамента и относительной глубины  $\zeta$  («дзетта»),  $\zeta = \frac{2 \cdot z}{b}$ .

табл.1, стр.30 СНиП 2.02.01-83\*

табл.55, стр.128 Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений.

Затем необходимо рассчитать собственно осадку  $S$  условного фундамента, методика которого подробно изложена в разделе 3 [5] и здесь не приводится.

По вычислении значений осадок фундаментов проверяют условие  $S \leq S_u$ , где  $S_u$  – предельно допустимая величина деформации (осадки), а также  $\frac{S_1 - S_2}{L} \leq \left[ \frac{\Delta S}{L} \right]_{пред}$  – относительная неравномерность осадок.

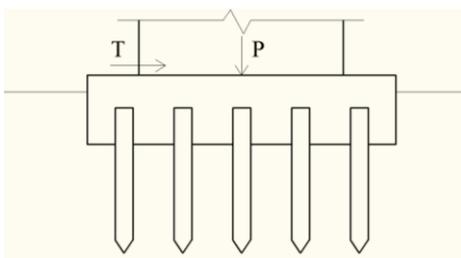
Например:

Склад  $S_u = 10 \text{ см}$ ,

Водонапорная башня  $S_u = 20 \text{ см}$ ,

Водосброс  $\left[ \frac{\Delta S}{L} \right]_u = 0,004$ .

При наличии горизонтальной силы необходимо определять горизонтальное смещение голов свай. (Руководство стр.100-105; Далматов стр.177-182)



Условие  $(\Delta_r)_{\text{пред}} = 1-2\text{см}$ .

Если  $\Delta_r > (\Delta_r)_{\text{пред}}$  – то следует применять вместе с вертикальными наклонные сваи.

В заключении по результатам расчетов необходимо дать таблицу, например:

1. Для свайных фундаментов принята забивная свая С11-30.
2. За грунт опирания под нижним концом сваи принята глина (слой №3,  $\varphi = 20^\circ$ ,  $C = 0,8 \frac{\text{тс}}{\text{м}^2}$ ,  $I_l = 0,4$ ).
3. Расчетная нагрузка на сваи принята  $N = 43\text{тс}$ ;  $44,2 \text{ тс}$ .
4. Количество свай в фундаменте  $\Phi 1 = 10$ ;  $\Phi 2 = 12$ .
5. Расчетная осадка фундамента  $\Phi 1$  составляет  $S = 3,9\text{см}$ ;  $\Phi 2 - S = 2,7\text{см}$ .

По окончании расчетов необходимо сравнить два конкурирующих варианта фундаментов и выбрать наиболее рациональный.

Одной из важнейших особенностей является вариантное проектирование фундаментов. Из рассчитанных двух вариантов выбирают тот, который требует меньше затрат (материалов, средств, времени), учитывает технические возможности строительных фирм, не наносит вред окружающей среде.

Примеры:

### **Заключение**

В данной работе было рассмотрено два варианта фундаментов: мелкого заложения и свайный фундаменты. В качестве фундаментов мелкого заложения принимаются монолитные отдельностоящие фундаменты из железобетона. Глубина заложения фундаментов 1,6 и 2,2 м. Необходимые размеры подошвы для наиболее нагруженного фундамента мелкого заложения:  $2,0\text{м} \times 6,6 \text{ м}$ . Осадка фундамента – 3,9 см.

В качестве альтернативного варианта рассматриваются свайные фундаменты. По способу заглубления выбираем забивные сваи, по условию взаимодействия с грунтом – висячие. По форме и конструкции сваи принимаются квадратнопоперечного сечения с заостренным концом. Принимаем сваи:  $30 \times 30$ ,  $l=8 \text{ м}$ . принимаем фундамент с низким ростверком, необходимые размеры подошвы ростверка для наиболее нагруженного фундамента:  $2,4 \text{ м} \times 5,4 \text{ м}$ . Осадка фундамента – 2,7 см. Оба вида фундаментов

соответствуют требованиям как по несущей способности, так и требованиям по совместным деформациям (осадки, крены).

Для данного сооружения, с нашей точки зрения, целесообразно выбрать фундаменты мелкого заложения, т.к. они требуют меньшего расхода материала и, следовательно, дешевле. Окончательно принимаем за основной вариант – фундаменты мелкого заложения.

### **Заключение**

Нами рассмотрены два возможных варианта фундаментов под мостовые опоры. В любом случае работы по возведению фундаментов будут производиться в сухом русле (до пуска воды в канал). Работы будут вестись в открытом котловане. Можно заметить, что фундаменты мелкого заложения получились распластанными, что потребовало устройства бетонных приливов к быкам со стороны, обращенной к берегу. Это необходимо для того, чтобы не допустить среза консоли фундамента. Эти приливы, помимо того, что они значительно увеличивают объем бетона, создают еще дополнительные трудности в процессе производства работ, особенно если учесть, что фундаменты (а соответственно и приливы) неодинаковы под левой и правой мостовыми опорами. В отличие от фундаментов мелкого заложения фундаменты свайные не требуют никаких дополнительных работ при возведении быка. Плита ростверка получилась достаточно компактная. Никаких технологических трудностей при забивке свай возникнуть не должно; грунт допускает забивку, наклонные сваи не требуются. Кроме того, поскольку оба фундамента одинаковы, они более технологичны, чем фундаменты на естественном основании. Окончательно в качестве основного варианта фундаментов под мостовые опоры принимаем свайные фундаменты.

## Рекомендуемая литература

1. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М., 1995.
2. Свод правил СП50-102-2003. Проектирование и устройство свайных фундаментов, ФГУП ЦПП, М., 2004.
3. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений. Учебное пособие под редакцией Б.И.Далматова, 2-е изд. М., изд-во АСВ, СПб, СПбГАСУ, 2001.
4. Фундаменты гражданских и промышленных зданий и сооружений. Альбом конструкций: учебное пособие для проектирования. СПб. Изд-во Политехнического ун-та, 2010.
5. Основания и фундаменты. Фундаменты мелкого заложения: конструкции, определение размеров, расчет осадок: метод. указания В.А. Мельников. – СПб.:Изд-во Политехн. Ун-та, 2011.
6. В.А. Ярошенко, А.Н. Баданин, О.В. Тягнибин. Проектирование фундаментов промежуточных опор постоянных мостов. СПб. Изд-во ВТУ ЖДВ, 2009.

## Содержание

Введение .....	3
1. Область применения свайных фундаментов. Выбор типа и размеров свай .....	4
2. Оценка инженерно-геологических условий основания и назначение расчетной длины сваи .....	6
3. Определение несущей способности свай. Расчет числа свай .....	8
4. Конструирование свайного ростверка. Уточнение его размеров .....	14
5. Расчет осадки свайного фундамента. Выбор основного варианта .....	16
Заключение .....	19
Рекомендуемая литература .....	21