

**4-й курс, направление
«Строительство» (профиль ПГС),
ФВЗО (заочное отделение)**

**Курс лекций
«Основания и фундаменты
зданий, сооружений»**

**форма контроля –
экзамен, весенний семестр**

Список литературы

Справочно-нормативная литература

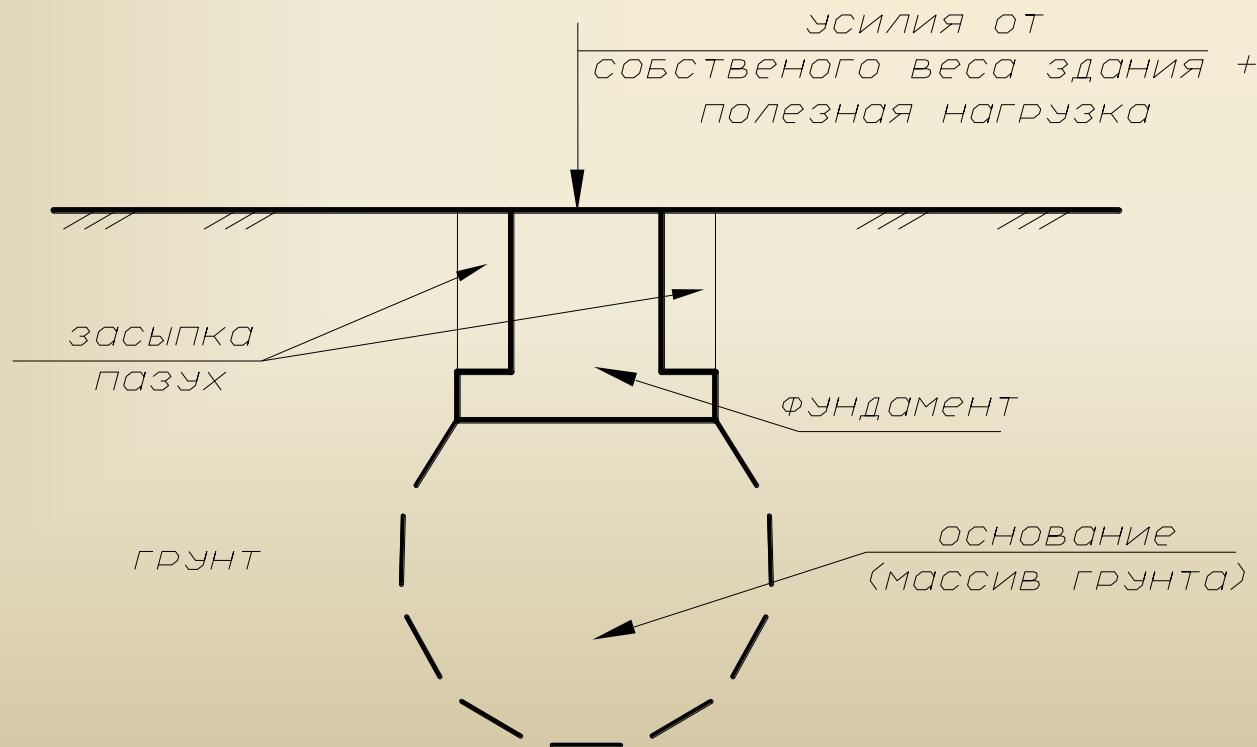
1. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. М., Минрегион России, 2016.
2. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. СНиП 2.02.03-85. М., Минстрой России, 2021.
3. Другие действующие СП по фундаментостроению и основаниям (вечномерзлые грунты, фундаменты в сейсмических районах и т.п.).

Основная учебная литература

1. Далматов Б.И. *Механика грунтов, основания и фундаменты.* М., СИ, 1988 или 2012.
2. *Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения.* М., СИ, 1985 (переиздание 2007).
3. Ухов С.Б. *Механика грунтов, основания и фундаменты.* М., ВШ, 2010.

Основание – это массив грунта, воспринимающий давление от фундамента.

Фундамент – это конструкция, служащая для передачи грунту (основанию) веса здания или сооружения, и других действующих на него нагрузок.



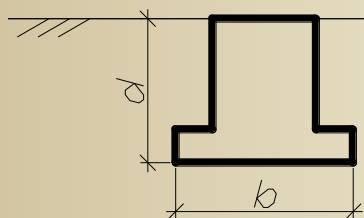
Основания могут быть представлены различными грунтами

(скальные; дисперсные; мерзлые, техногенные, обладающие специфическими свойствами).

Все грунты при внешних воздействиях могут изменять свои характеристики (при увлажнении или уменьшении влажности, промерзании и т.п.).

Фундаменты, применяемые в строительстве, представлены большим разнообразием типов и конструкций. Например,

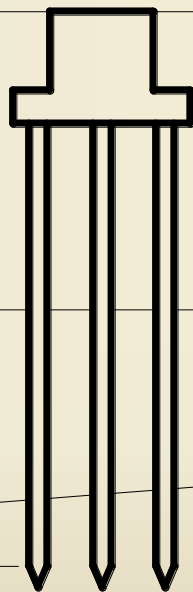
Фундаменты
мелкого заложения
(ФМЗ)



$$d = 5-6 \text{ м};$$

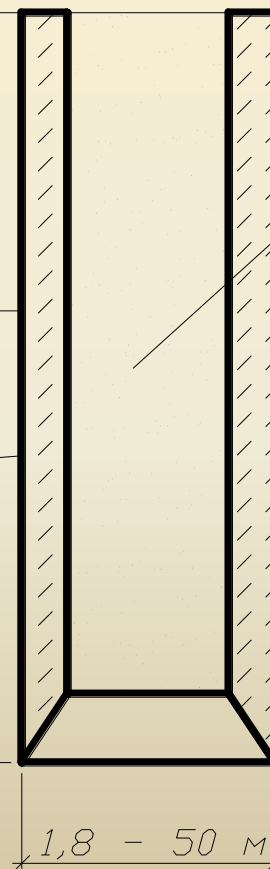
$$d/b < 1,5-2$$

Свайные
фундаменты
(СФ)



до 120 м

Фундаменты
глубокого заложения
(ФГЗ)



возможно
заполнение
бетонной
смесью

70 - 120 м

1,8 - 50 м

***Основные положения
по расчету оснований и фундаментов***

Расчет оснований и фундаментов выполняется по двум группам предельных состояний:

I предельное состояние (I ПС) –

*обеспечение условий невозможности
потери несущей способности, устойчи-
вости или формы.*

II предельное состояние (II ПС) –

обеспечение пригодности к нормальной эксплуатации зданий или сооружений при недопущении сверхнормативных деформаций (потери устойчивости не происходит).

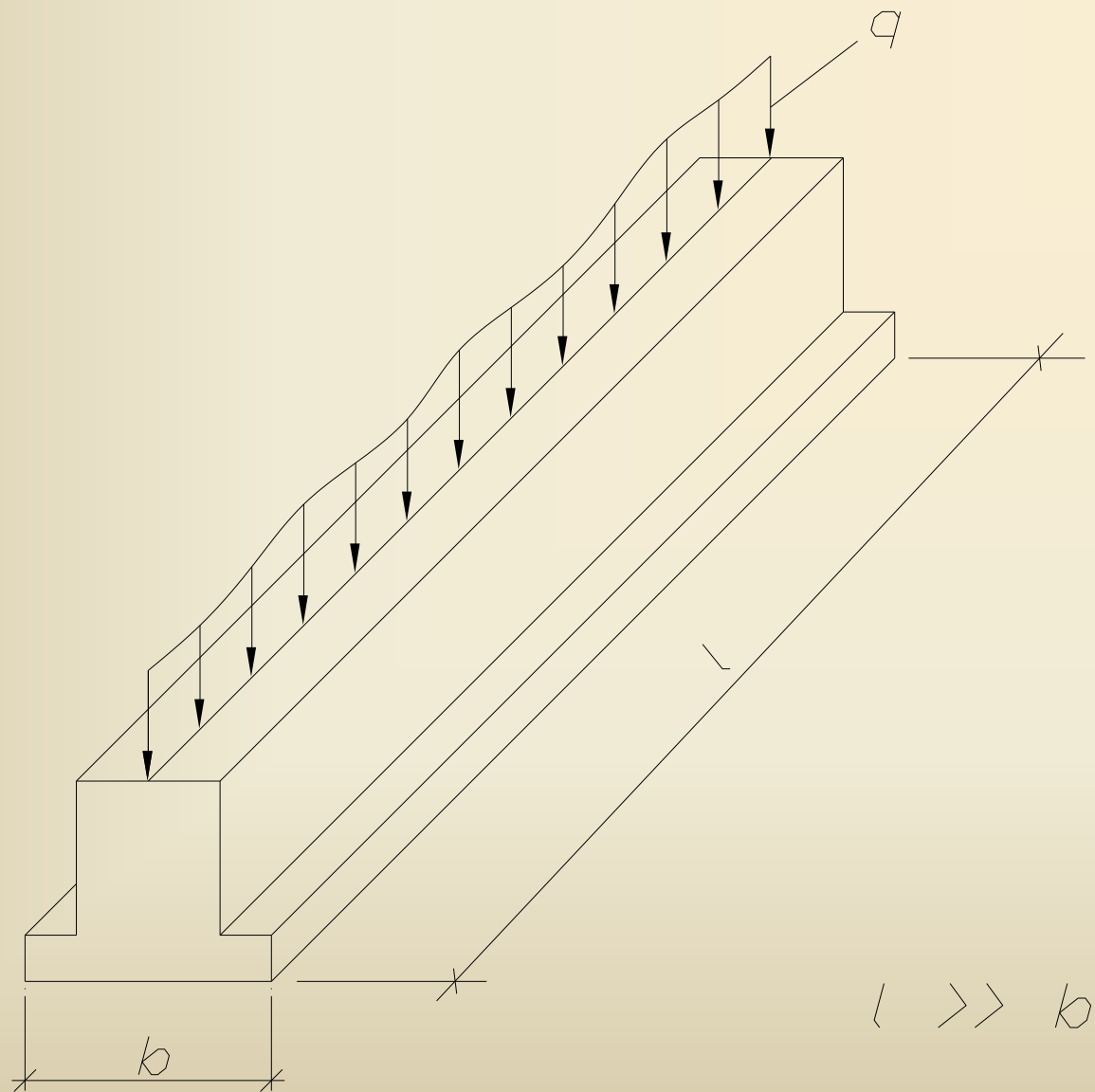
І. Фундамент

По І ПС (по прочности) –

расчет ведется всегда.

По ІІ ПС (по деформациям – трещиностойкости) –

расчет ведется только для гибких фундаментов (ленточные, плитные).



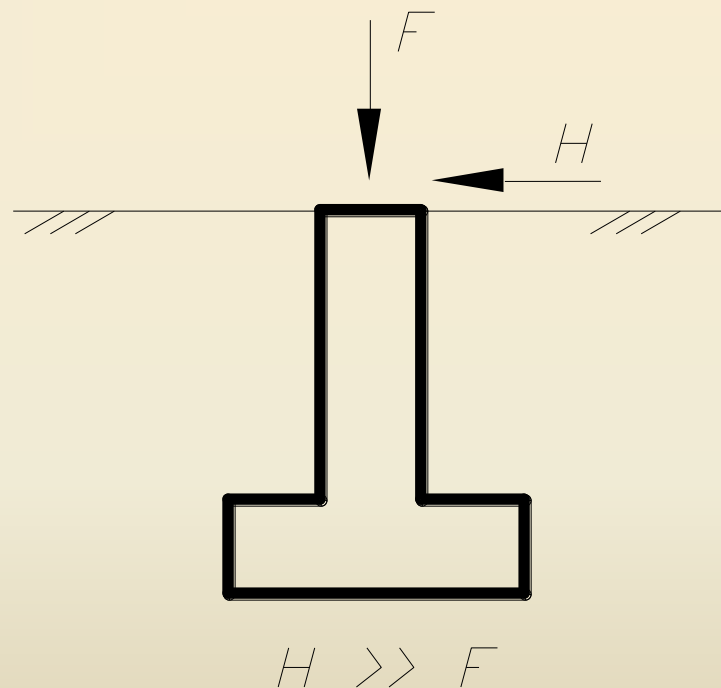
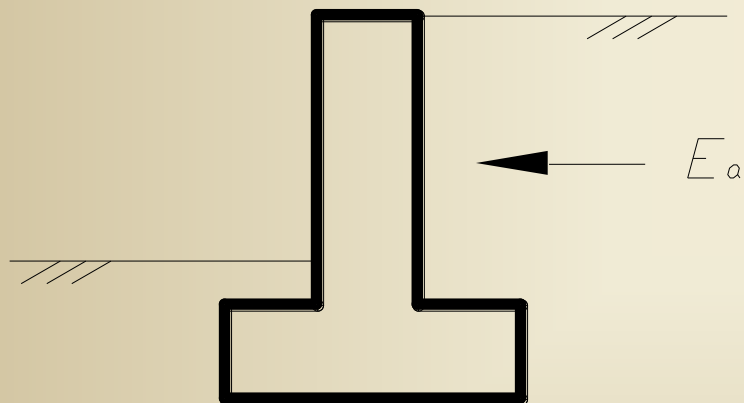
$$l \gg b$$

II. Основание

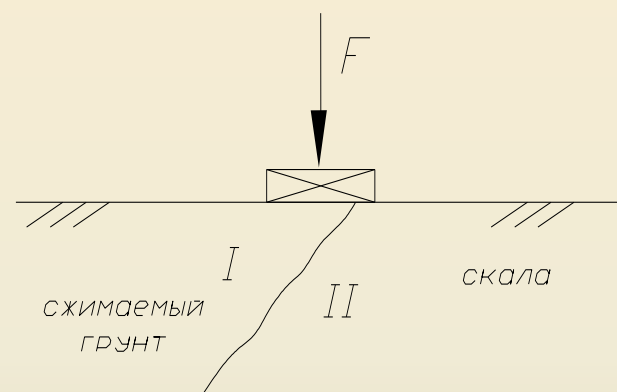
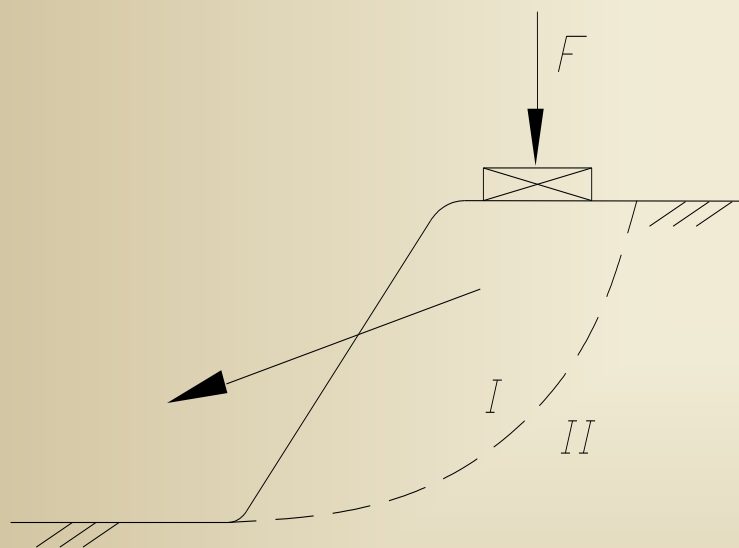
По I ПС (по несущей способности) –

*расчет ведется только в нескольких случаях
(определены СП):*

1) *На основание передаются значительные горизонтальные нагрузки*

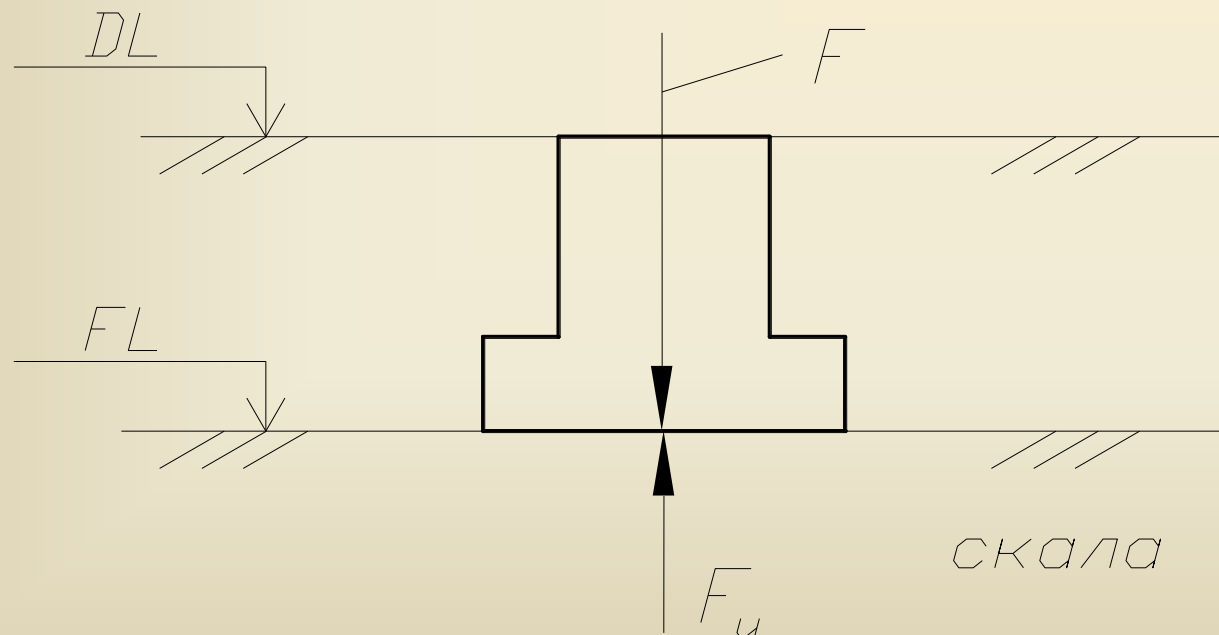


2) Фундамент расположен на откосе или вблизи него (в том числе, вблизи котлована или подземной выработки), или основание сложено крутопадающими пластами грунта



3) Основание сложено медленноуплотняющимися водонасыщенными пылевато-глинистыми грунтами с показателем водонасыщения $S_r \geq 0,8$ и коэффициентом консолидации $c_v \leq 10^7$ см²/год.

4) Основание сложено скальными (очень прочными) грунтами



5) Сооружение относится к геотехнической категории 3-сложная [для повышенного уровня ответственности сооружения (КС-3) при любой сложности грунтов: простая (I), средняя (II), сложная (III); для нормального уровня ответственности (КС-2) – только для категории грунтов III (сложная)]

6) Увеличивается нагрузка на основание при реконструкции сооружений

Расчетным условием является:

$$F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_u,$$

где F – расчетная нагрузка на основание;

F_u – сила предельного сопротивления основания;

γ_c – коэффициент условия работы грунтового основания (0,8 ÷ 1,0);

γ_n – коэффициент надежности, зависит от геотехнической категории (1,1 ÷ 1,2).

По II ПС (по деформациям) –

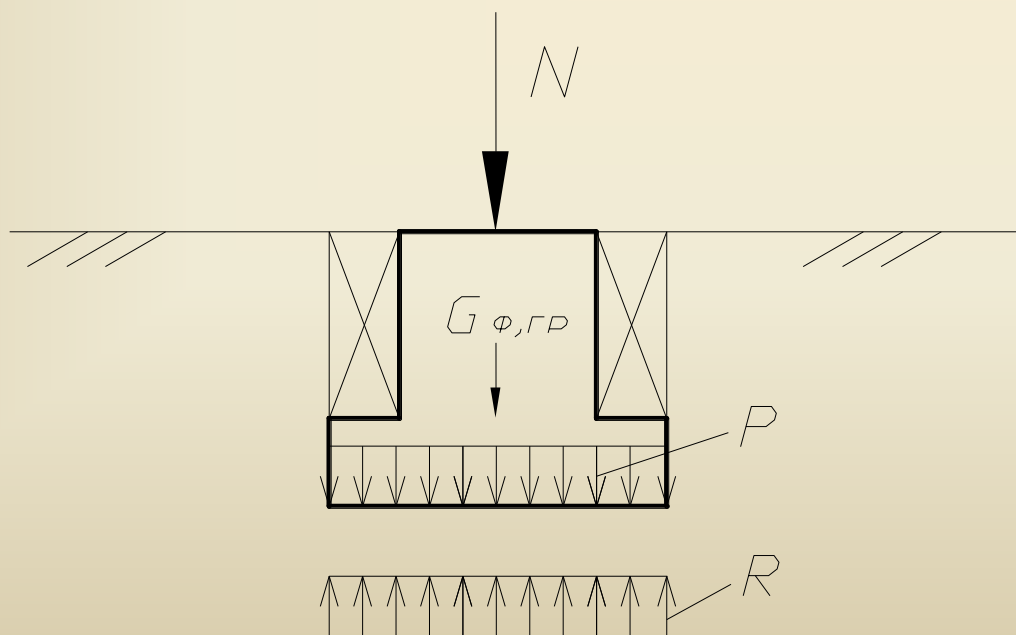
расчет ведется всегда.

$$S \leq S_u$$

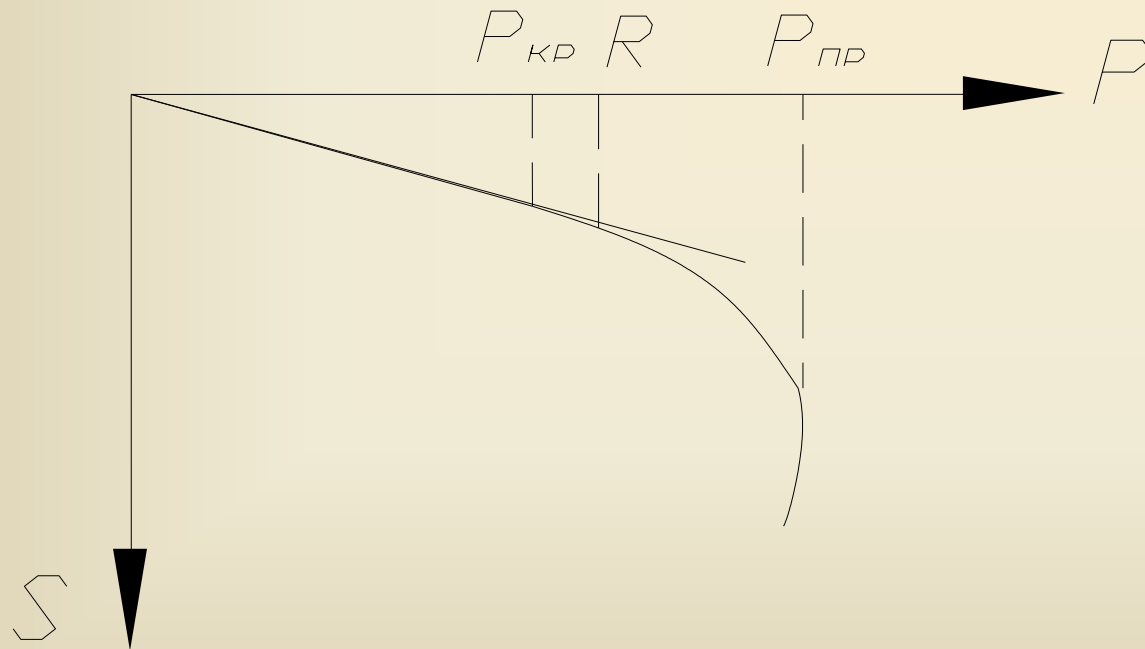
(при $P \leq R$)

где P – давление под подошвой фундамента

$$P = \frac{N + G_{\text{ф,гр}}}{A}$$



R – расчетное сопротивление грунта.



S – расчетные совместные деформации основания и сооружения;

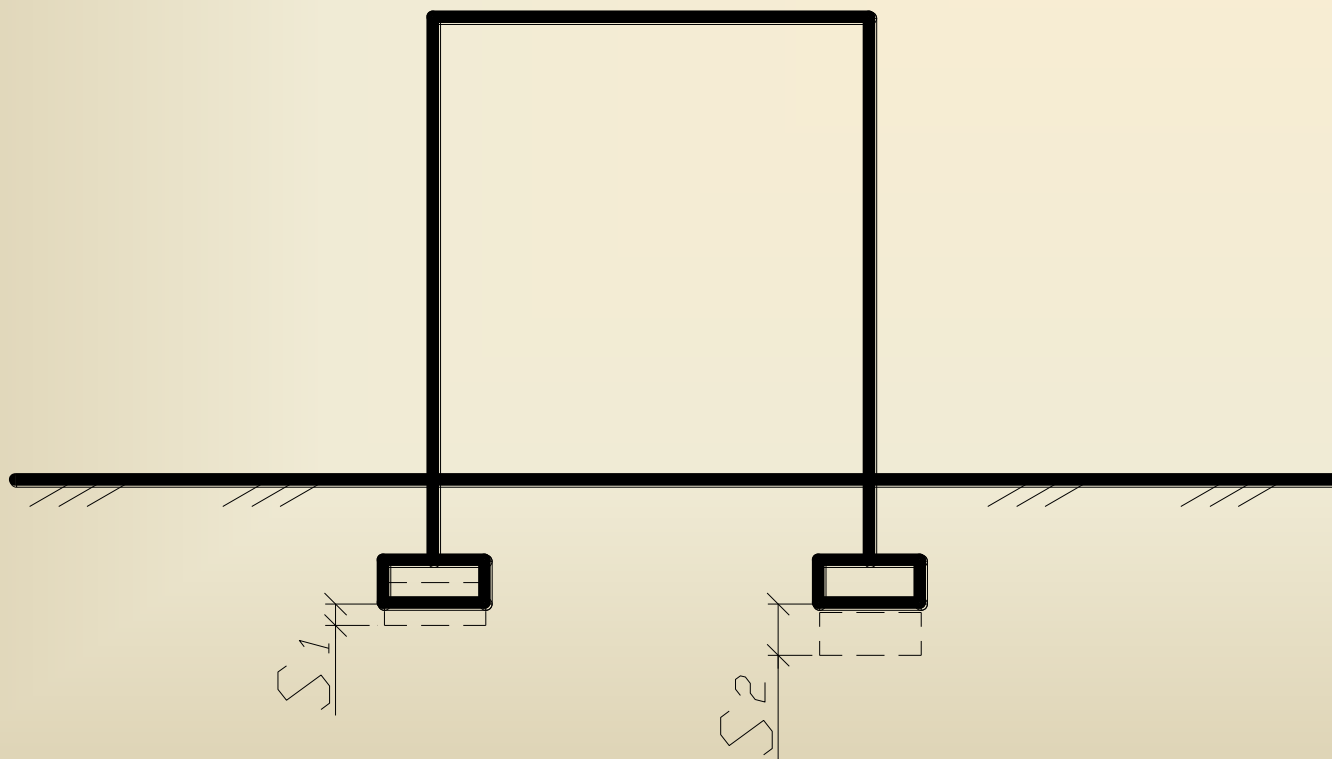
S_u – предельно допустимые совместные деформации основания и сооружения.

Виды совместных деформаций

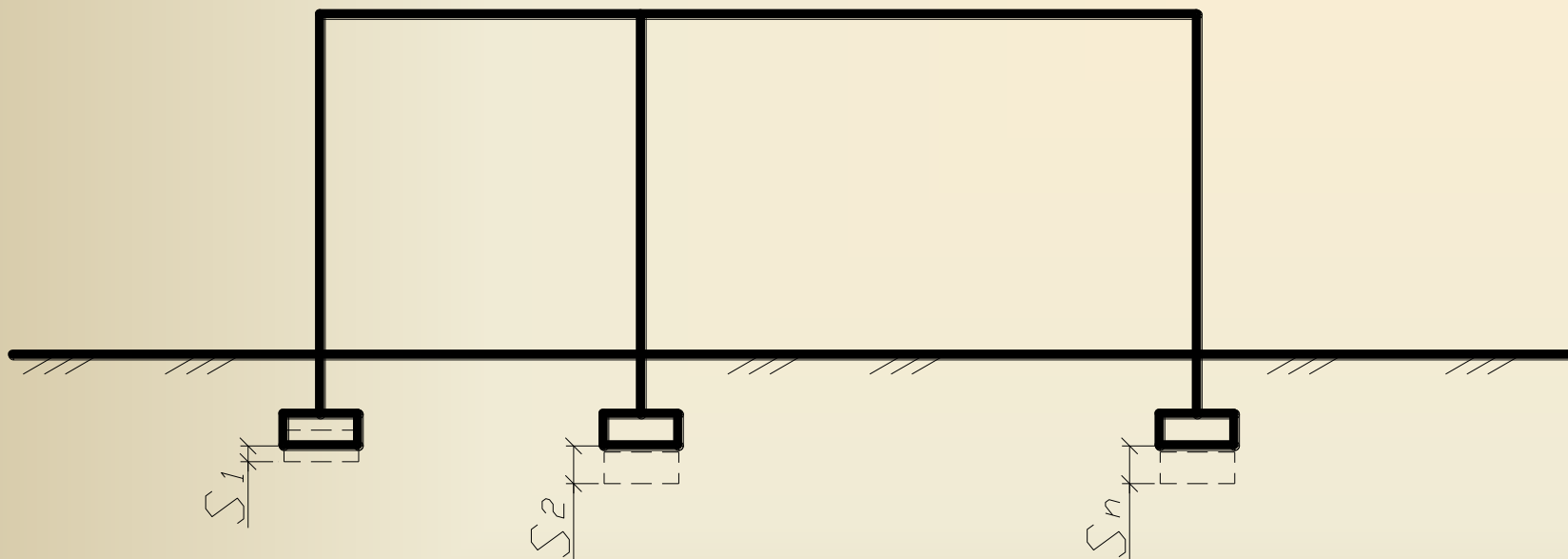
основания и сооружения

(расчетные деформации)

1. Абсолютная осадка (подъем) основания отдельного фундамента, S , см.

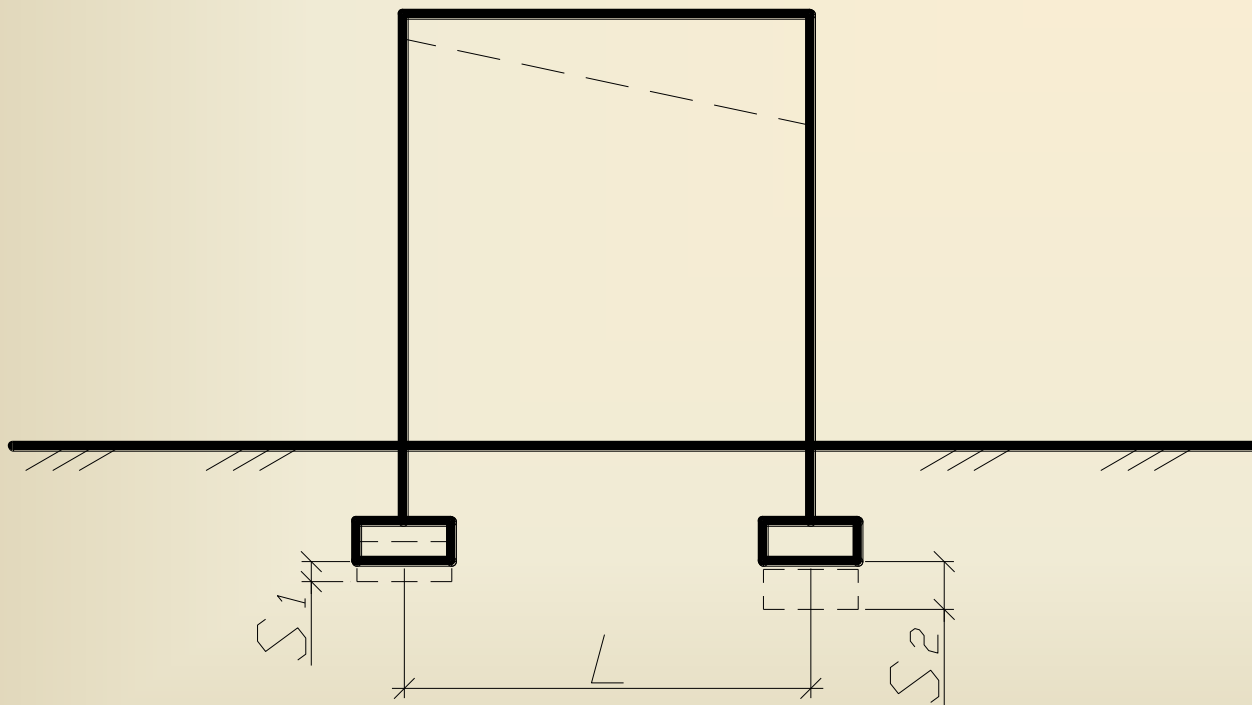


2. Средняя осадка основания сооружения.



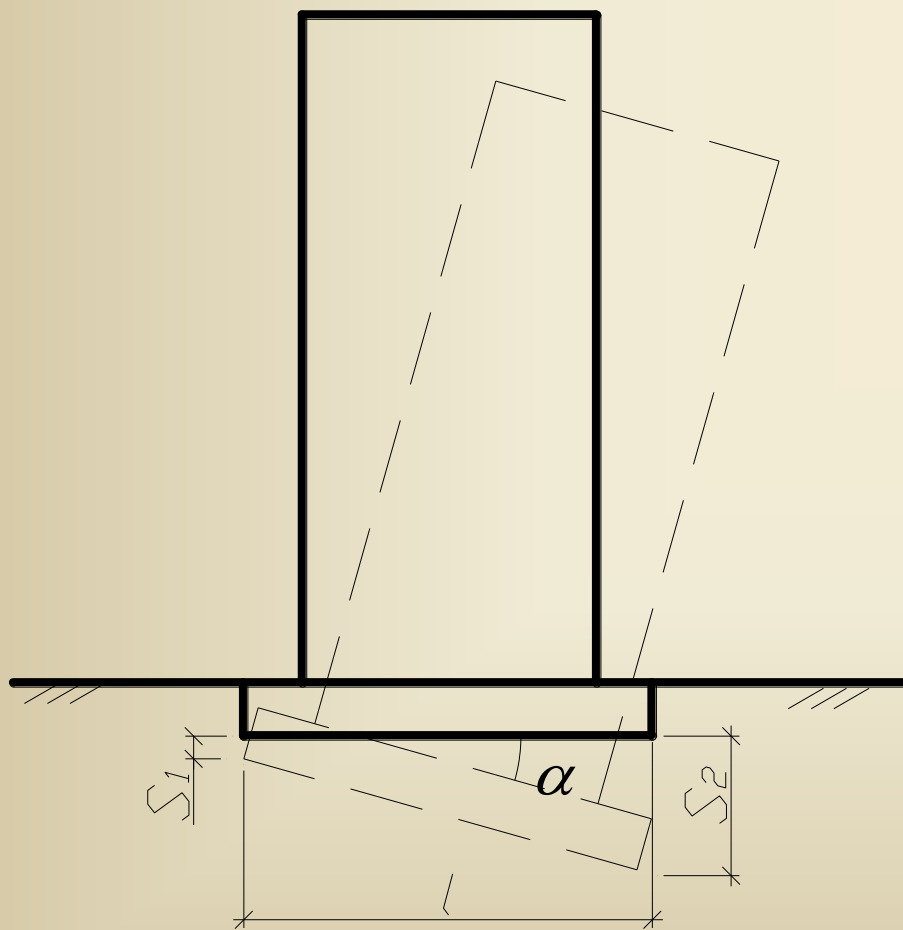
$$\bar{S} = \frac{S_1 \cdot A_1 + S_2 \cdot A_2 + \dots + S_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

3. Относительная разность осадок (подъемов) двух фундаментов.



$$\frac{\Delta S}{l} = \frac{|S_i| - |S_{i-1}|}{L}$$

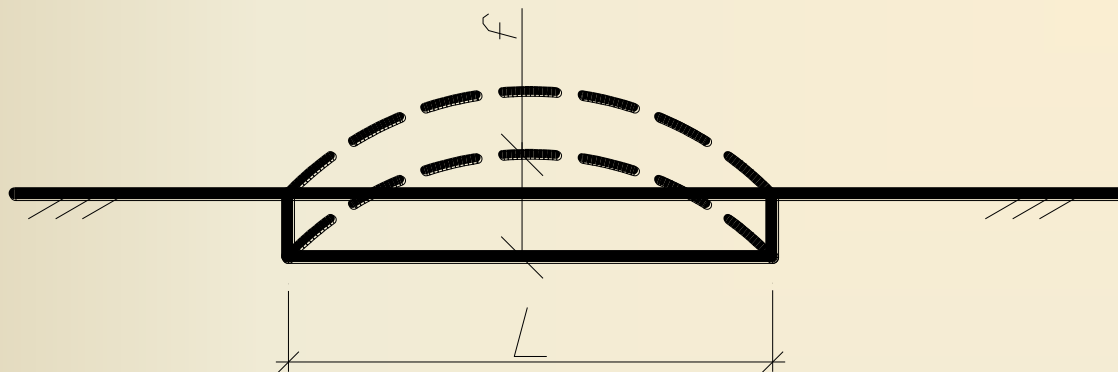
4. Крен фундамента (сооружения).



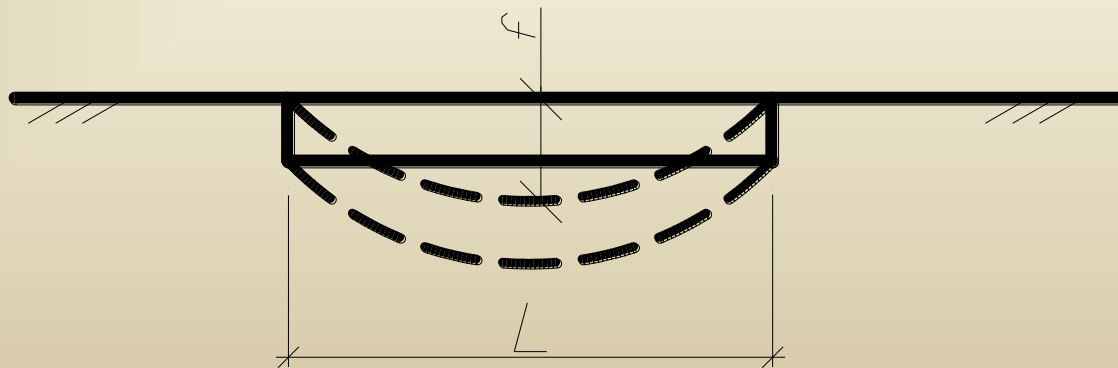
$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{|S_1 - S_2|}{l}$$

5. Относительный прогиб или выгиб (f/l).

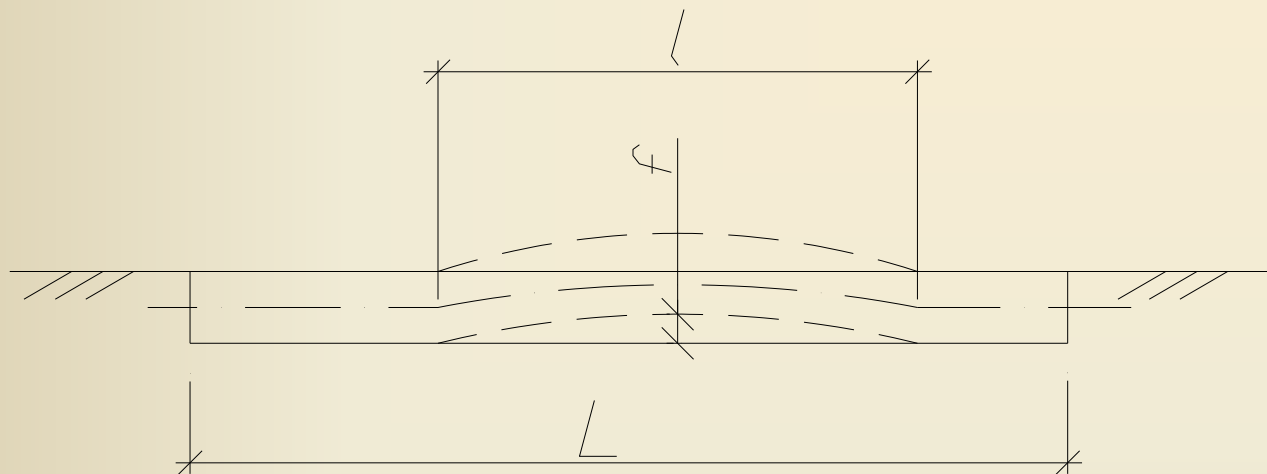
выгиб



прогиб

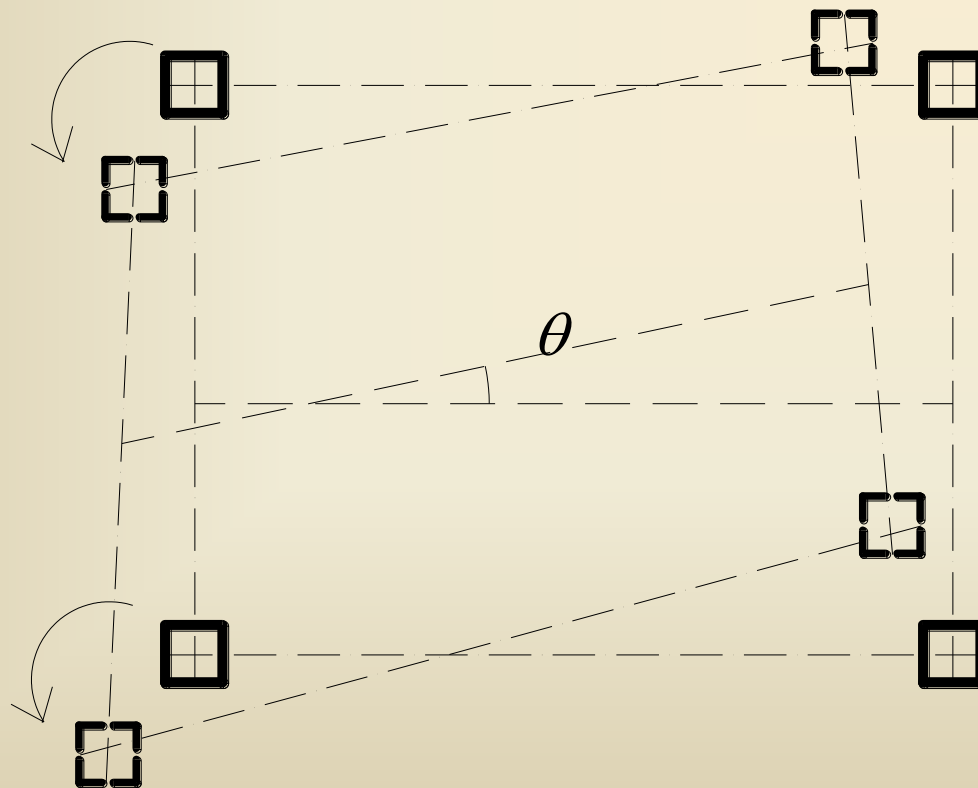


6. Кривизна изгибаемого участка (ρ).

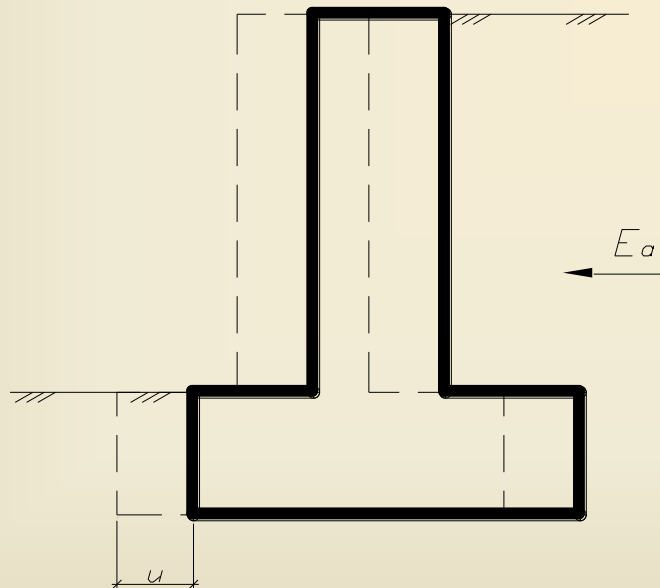


$$\rho = \frac{f}{l}$$

7. Относительный угол закручивания сооружения (θ).

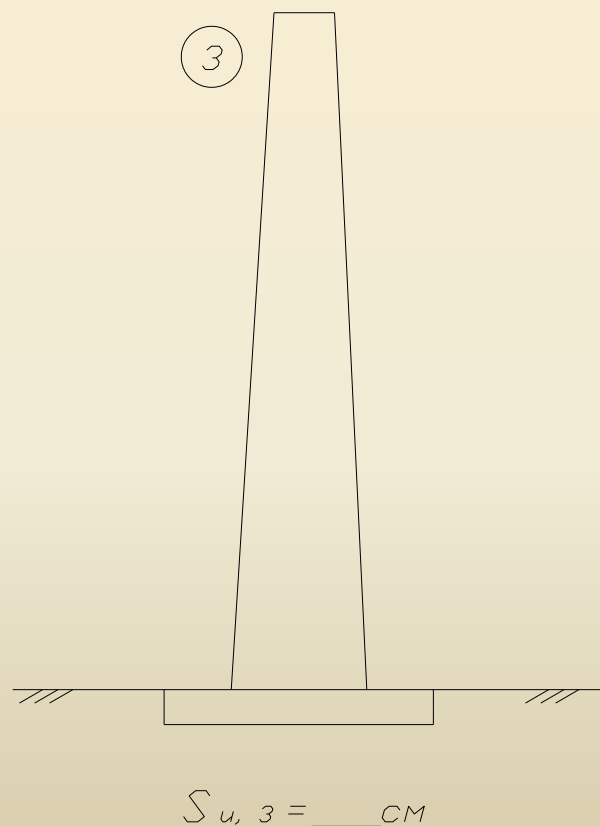
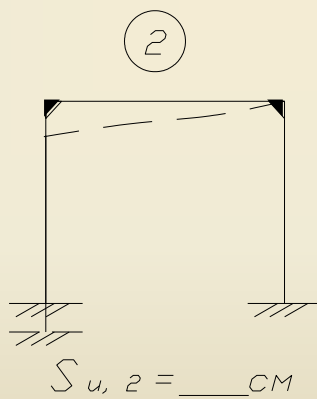
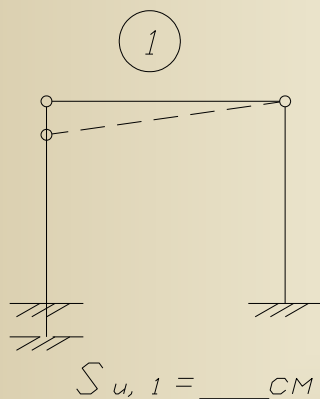


8. Горизонтальное смещение (u).



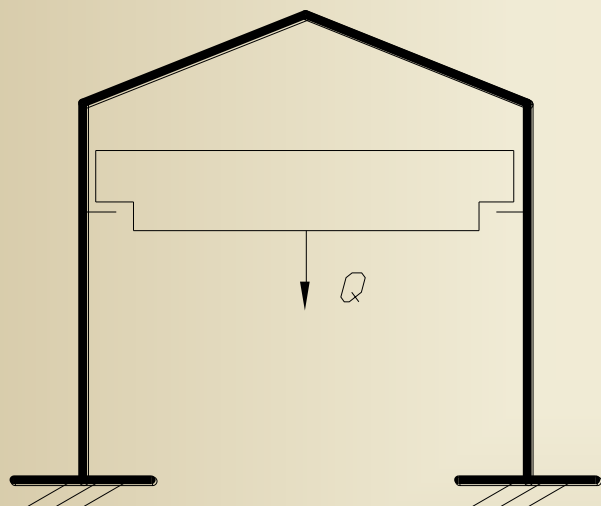
S_u устанавливается для зданий и сооружений в зависимости от:

— чувствительности конструкций здания или сооружения к неравномерным деформациям



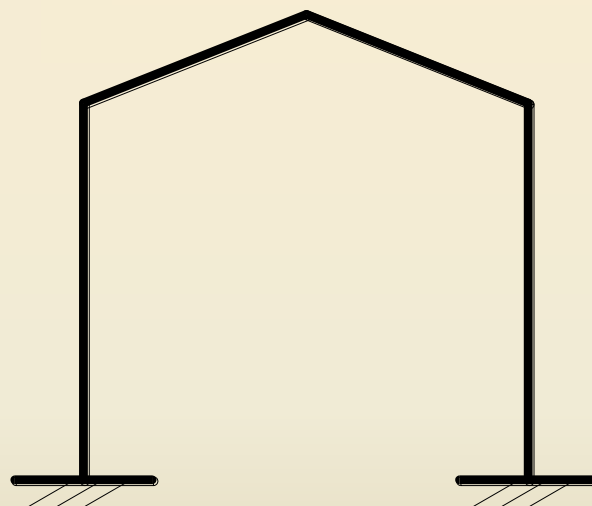
$S_{u, i} = 10; 15; 40 \text{ (см)}$

— *технологических процессов внутри здания или сооружения*



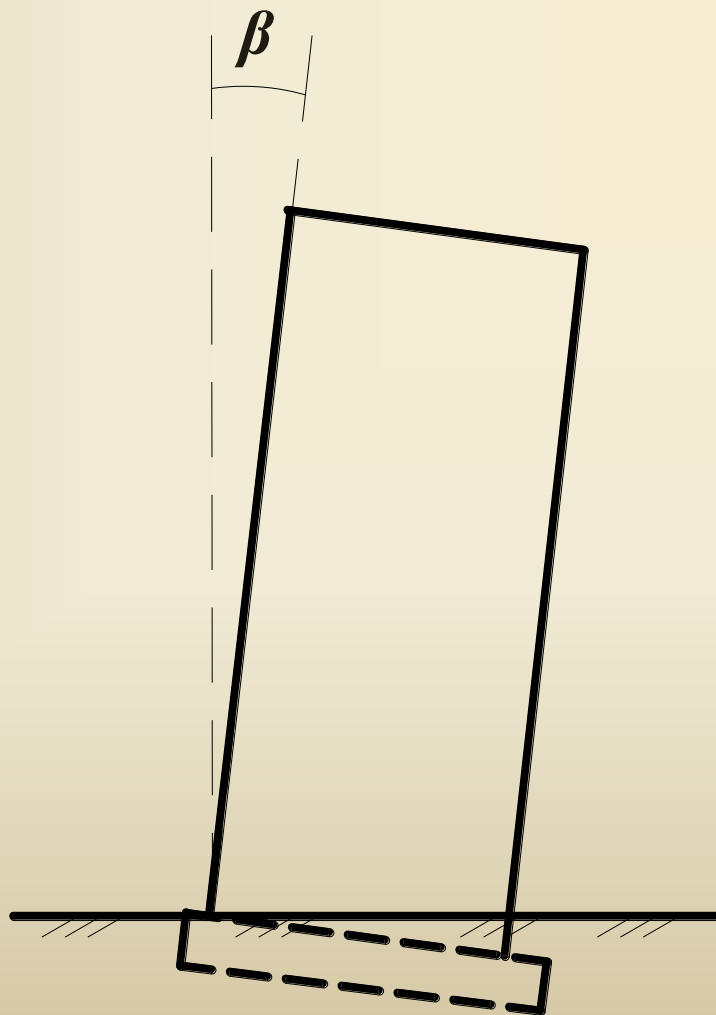
$\sum u_1$

<



$\sum u_2$

— *архитектурных требований к зданиям или сооружениям*



***III. Материалы, используемые
при устройстве фундаментов (СП 63.13330.2018)***

- бетон (класс от B10 до B35; марка по морозостойкости от F25 до F300; марка по водопроницаемости от W2 до W6);***
- раствор (марка от M10 до M50);***
- арматура (класс от A300 (AII) до A400 (AIII));***
- кирпич (марка от M100 до M150).***

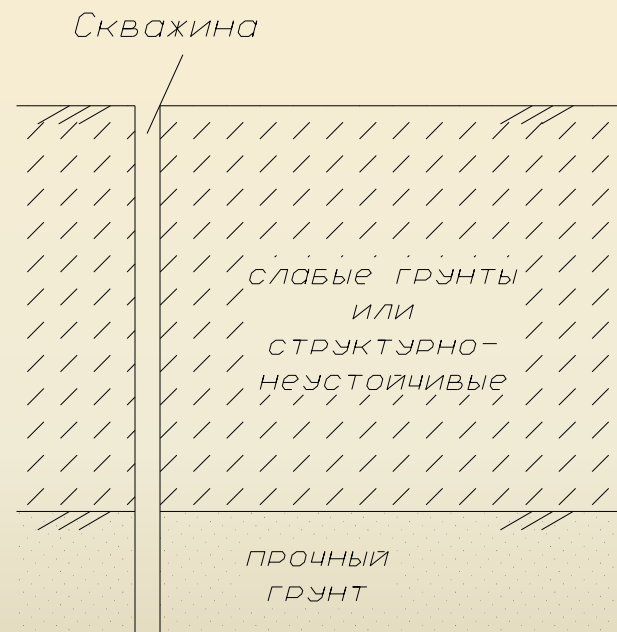
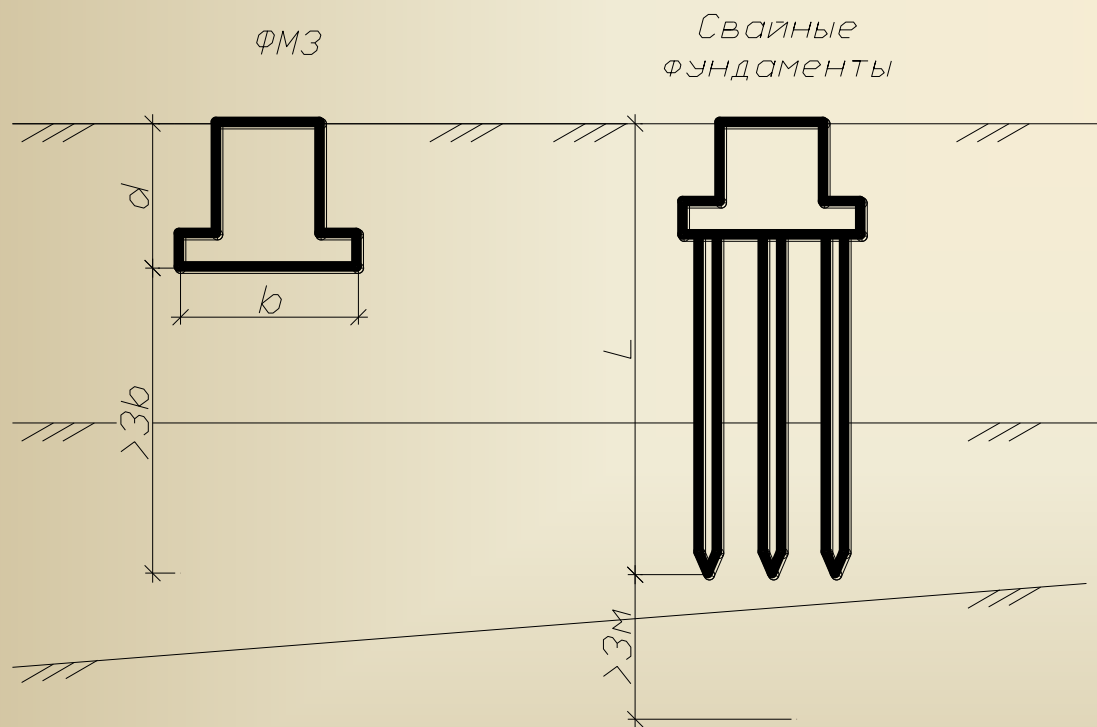
*IV. Исходные данные,
необходимые для проектирования
оснований и фундаментов*

1. Инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительной площадки

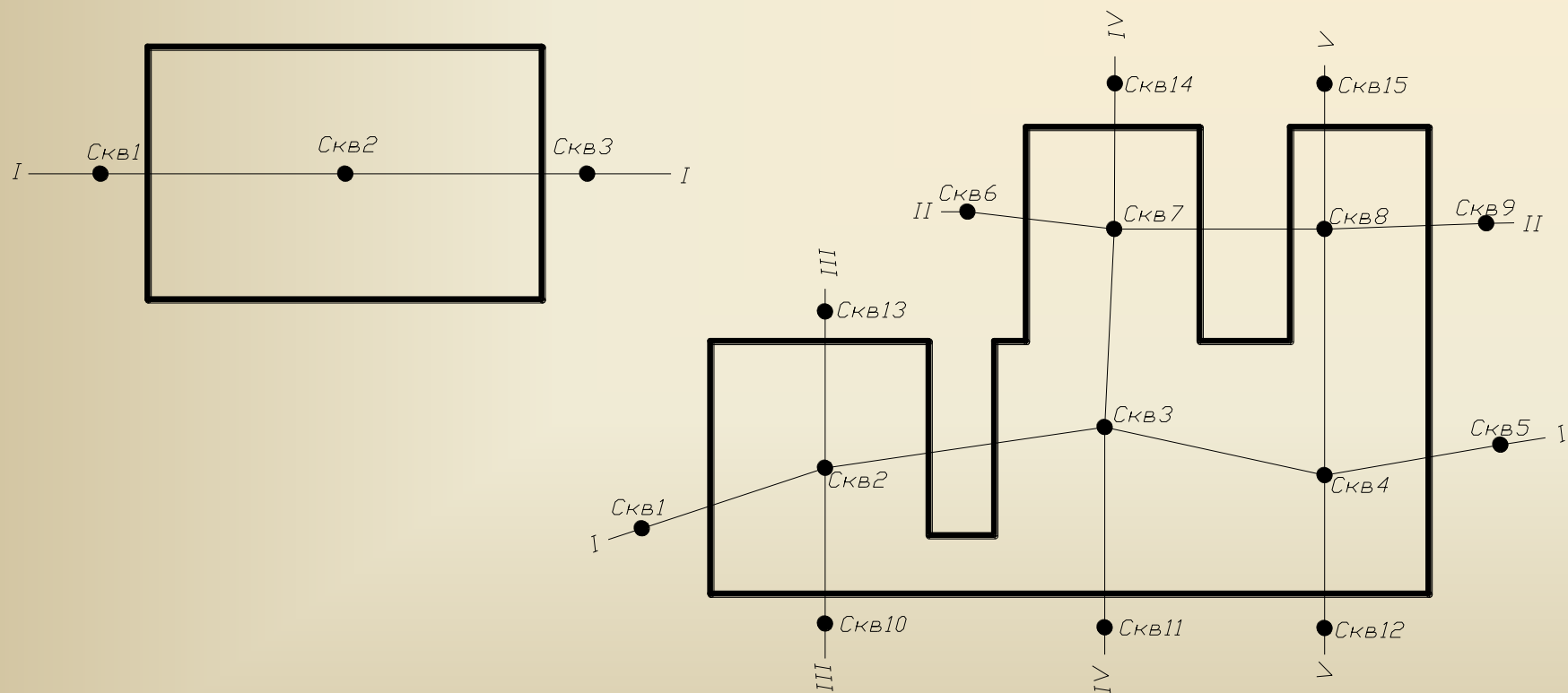
Устанавливаются с различной степенью детализации на стадиях технического проекта и рабочих чертежей.

Выполняется комплекс инженерно-геологических исследований строительной площадки с учетом следующего:

***- глубина изысканий (скважин) зависит от вида фунда-
ментов, от наличия слабых или структурно неус-
тойчивых грунтов***



- количество выработок (скважин) зависит от сложности инженерно-геологических условий и размеров здания или сооружения в плане



- количество проб, отбираемых из каждого инженерно-геологического элемента (ИГЭ) – не менее 6;

- определяется положение грунтовых вод (на момент исследований, прогноз возможности колебания этого уровня); анализируется химический состав грунтовых вод (агрессивность к строительным материалам);

- устанавливается глубина сезонного промерзания грунта.

По результатам разведывательных работ строятся инженерно-геологические разрезы.

I - I



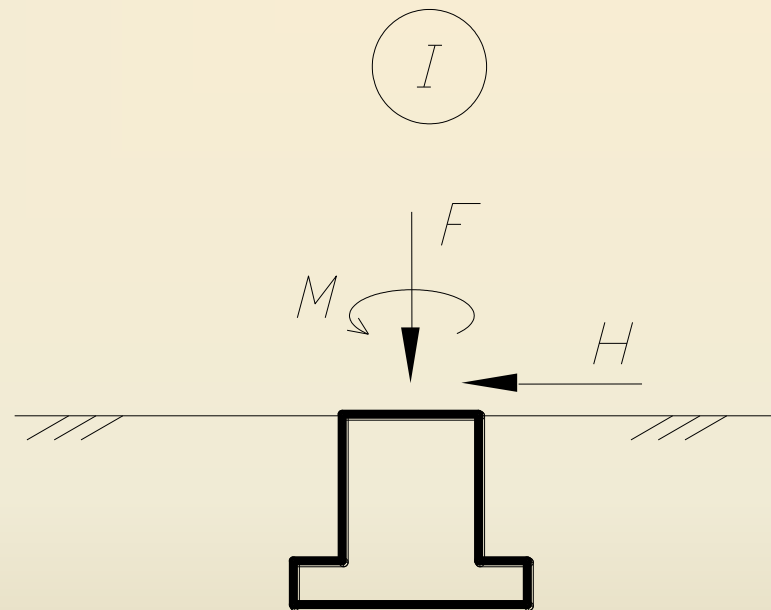
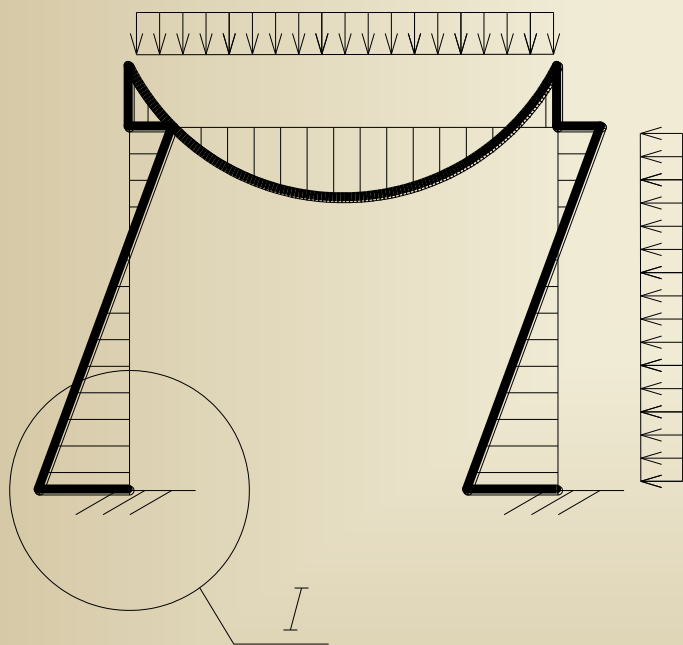
Выполненные изыскания утрачивают свою силу через 5 лет и для выполнения каких-либо работ с основаниями и фундаментами должны повторяться и уточняться.

2. Физические и механические характеристики грунтов (определяются в лабораторных или полевых условиях): ρ , ρ_s , W , φ , c , E и другие (курс «Механика грунтов»).

3. Данные о здании или сооружении:

- высотные положения (нулевая отметка, посадка на инженерно-геологический разрез);***
- наличие подвала, технического подполья;***
- конструктивная схема здания или сооружения, материал несущих конструкций;***
- этажность здания или сооружения;***
- класс ответственности и чувствительность здания или сооружения к неравномерным осадкам;***
- предельно допустимые деформации здания или сооружения.***

4. Нагрузки, действующие на фундамент (определяются по общим правилам строительной механики).



Нагрузки подразделяются на:

а) постоянные (собственный вес конструкций; вес от грунта; взвешивающее действие воды);

б) временные:

- ***длительные*** (вес складировемого материала, оборудования; люди; давление жидкости в резервуарах);
- ***кратковременные*** (ветровые, снеговые, крановые, гололедные, давление от волн в водоемах, температурные);
- ***особые*** (сейсмические, технологические, бомбовые).

При расчетах используются следующие сочетания нагрузок:

а) основное (постоянные + все временные длительные + кратковременные возможные);

б) особое (основное + временные особые).

Расчет оснований и фундаментов выполняется:

*- по I ПС на основное и особое сочетания нагрузок
(используют расчетные нагрузки);*

*- по II ПС только на основное сочетание нагрузок
(используют нормативные нагрузки).*

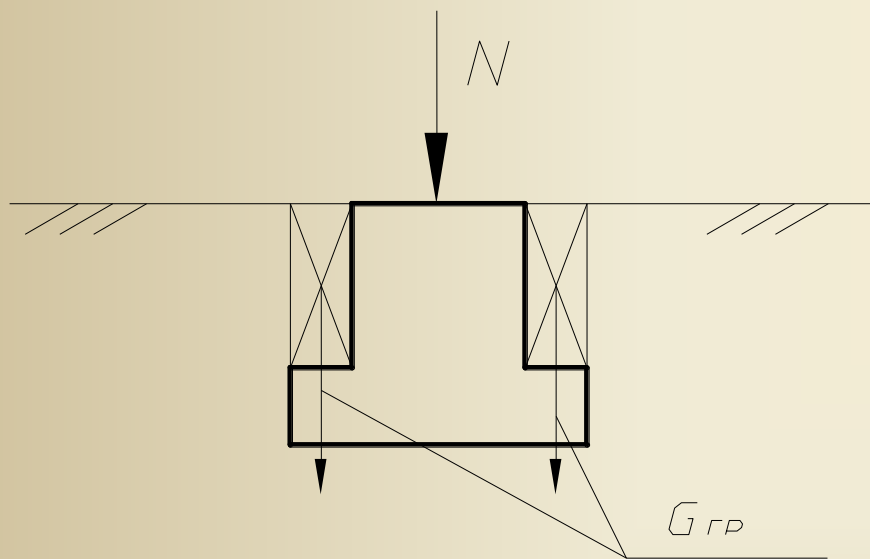
Нормативные нагрузки определяются без учета коэффициента запаса по нагрузке (q_n).

Расчетные нагрузки определяются с учетом коэффициента запаса по нагрузке (q_p).

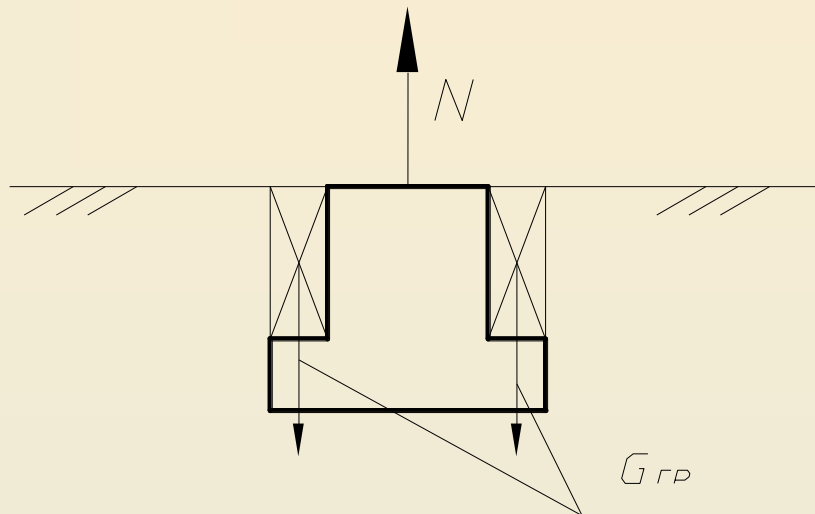
$$q^p = q^n \cdot \gamma_f ,$$

γ_f — коэффициент запаса по нагрузке.

Например,



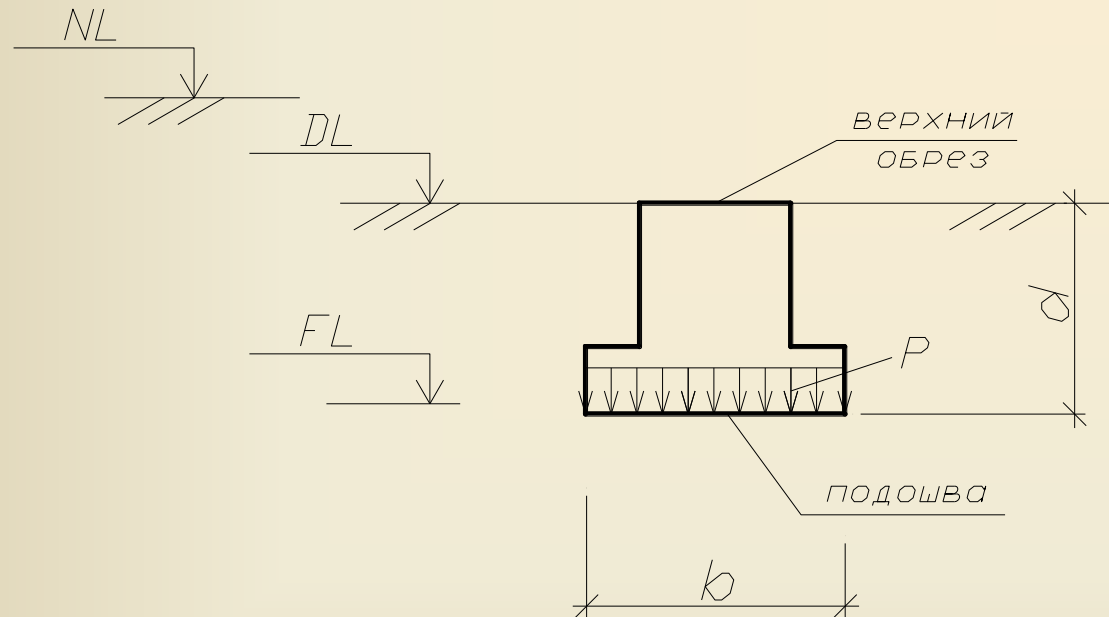
$$\gamma_f = 1,4$$



$$\gamma_f = 0,9$$

**Фундаменты
мелкого
заложения
(ФМЗ)**

Фундаменты мелкого заложения передают нагрузку на основание через подошву. К ним относятся фундаменты, для которых $d \leq 2b$.



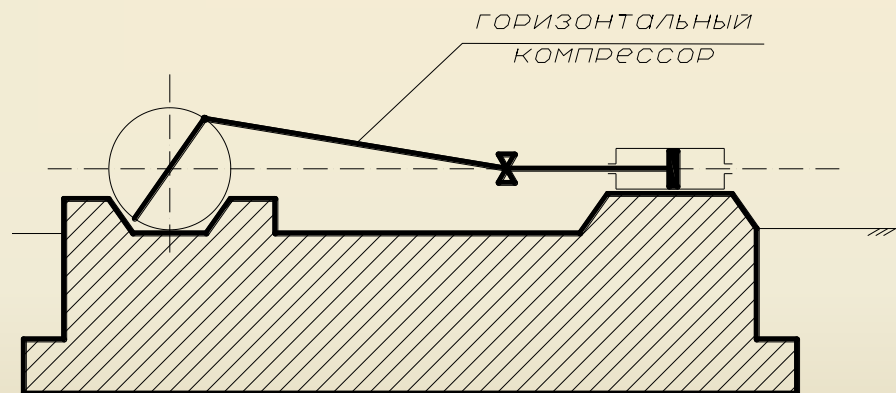
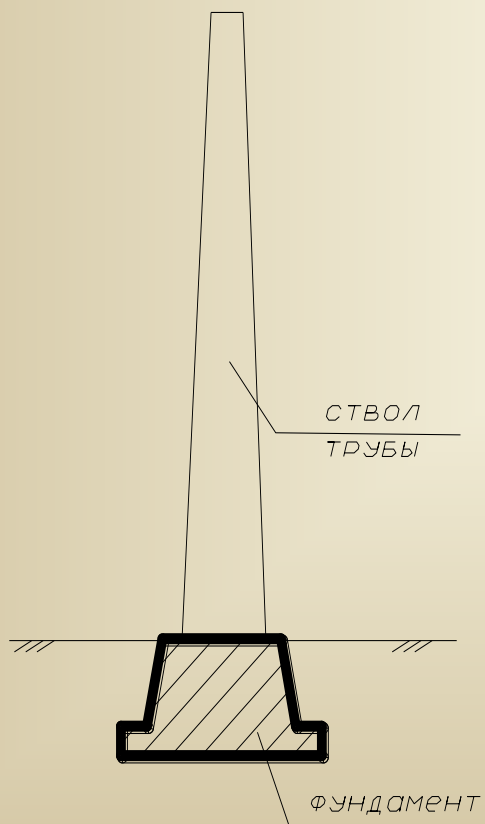
NL – отметка природного рельефа;

DL – отметка планировки;

FL – отметка подошвы фундамента (дна котлована).

Типы конструктивных схем ФМЗ

1. Массивные фундаменты

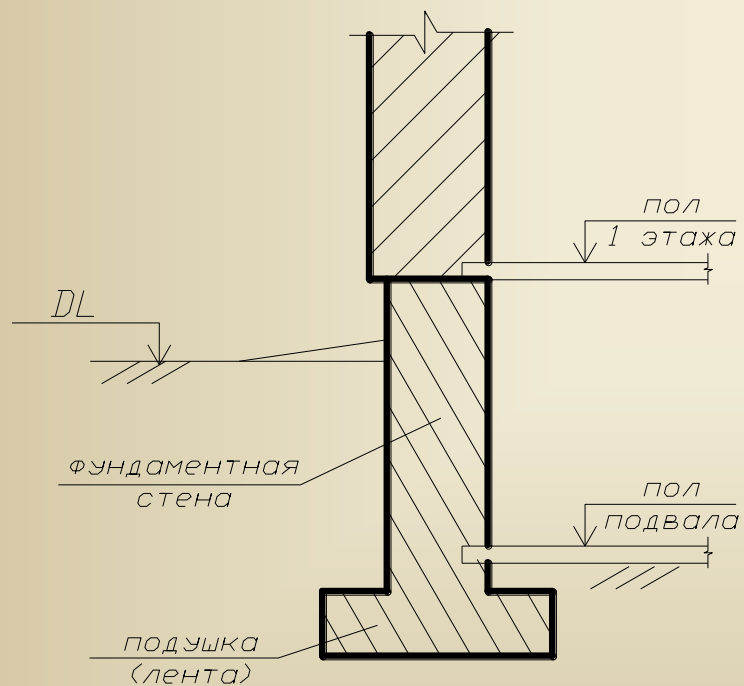


2. Ленточные фундаменты

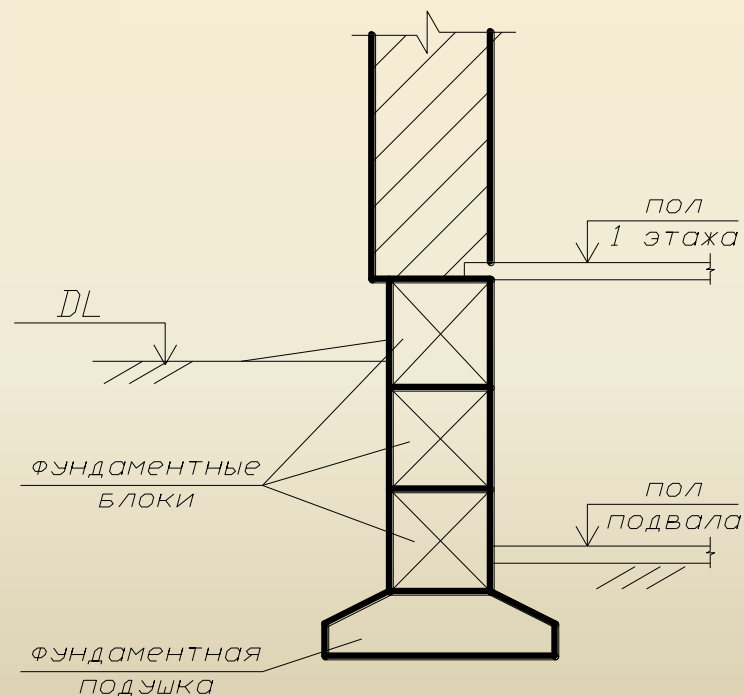
(для бескаркасных зданий)

- с подушкой

*монолитный
вариант*

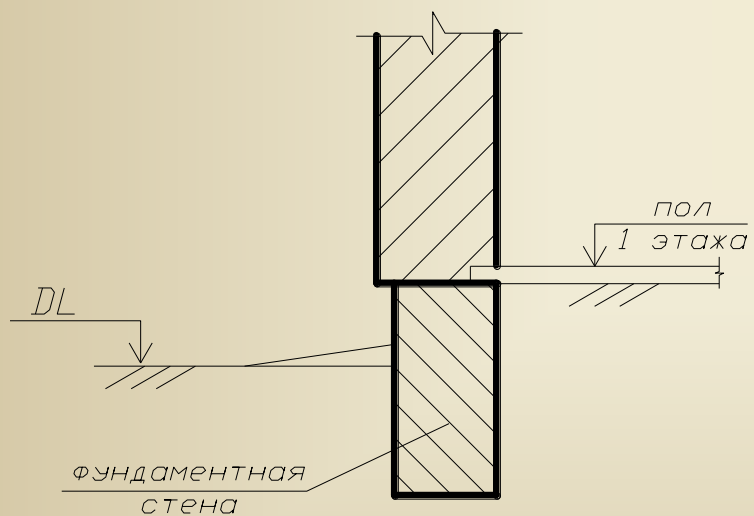


*сборный
вариант*

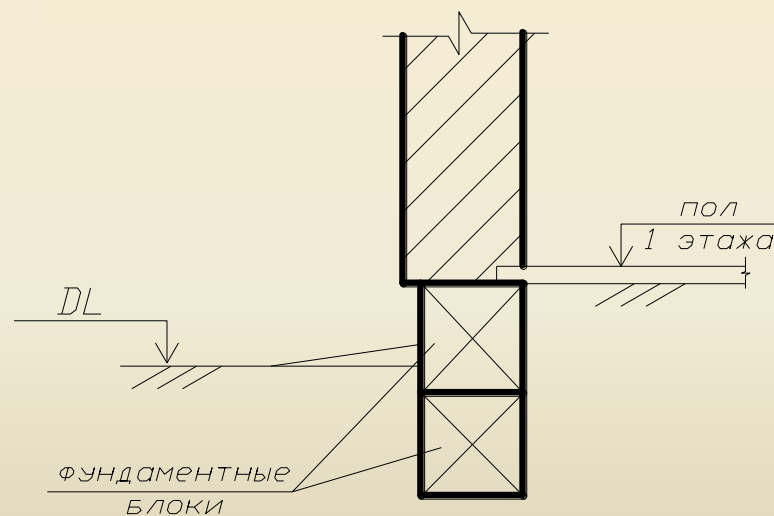


– без подушки (под легкие здания)

*монолитный
вариант*

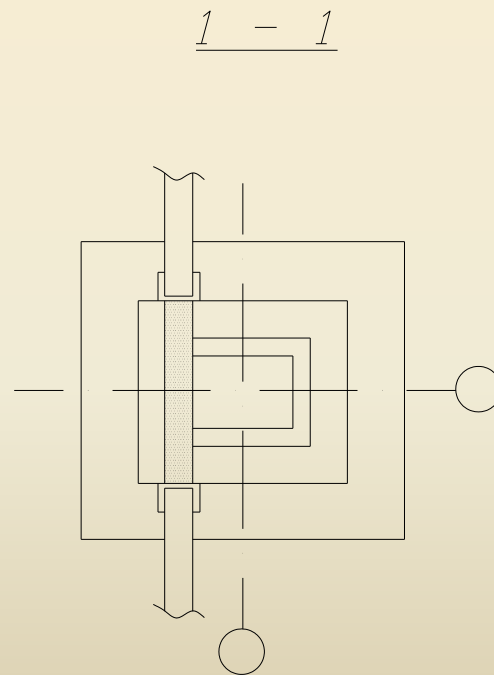
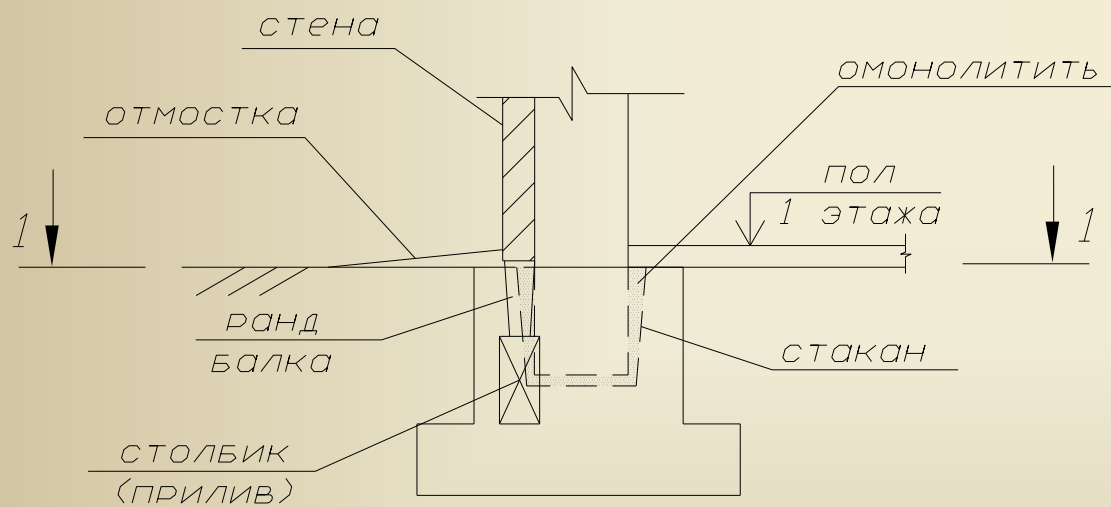


*сборный
вариант*

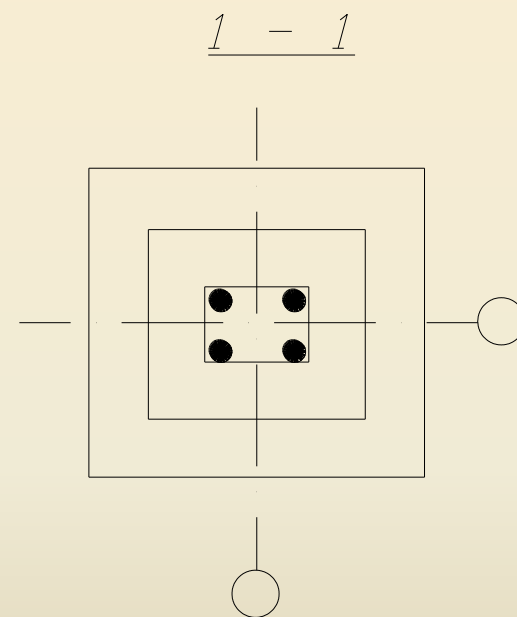
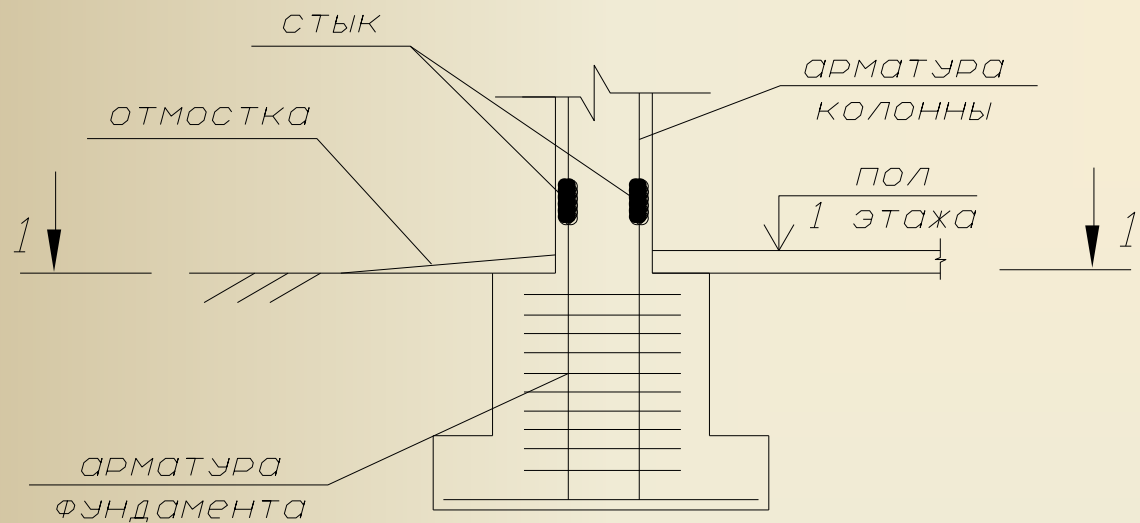


3. Столбчатые фундаменты (для каркасных зданий)

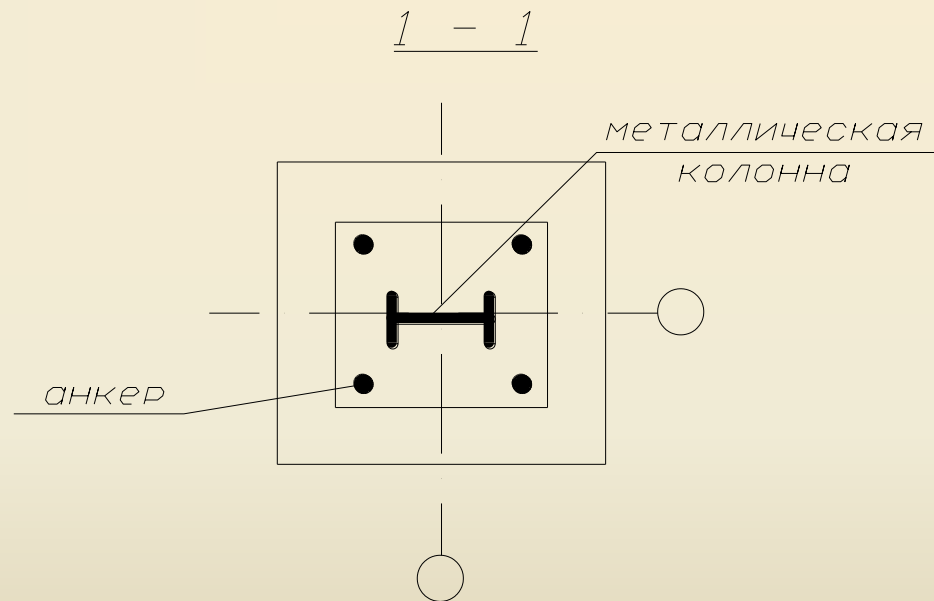
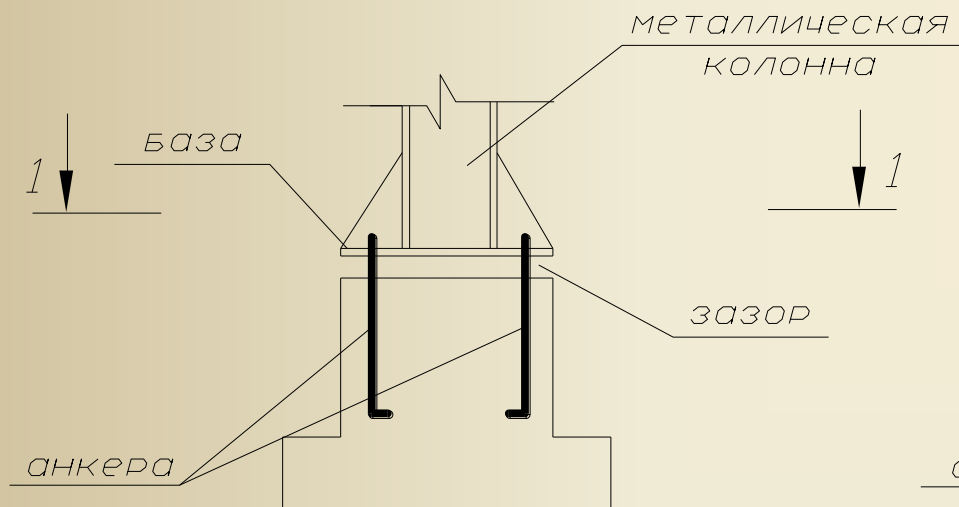
а) под сборную железобетонную колонну



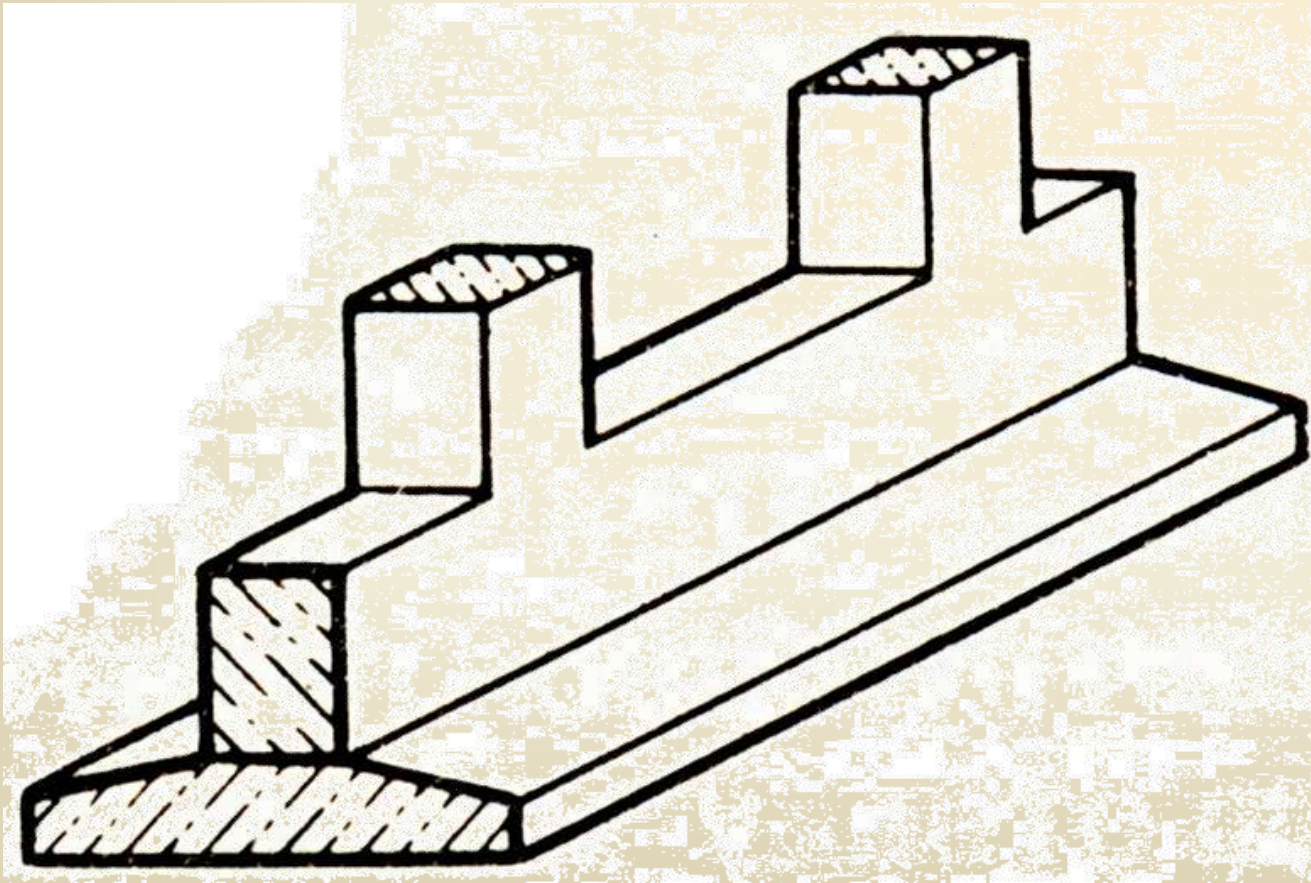
б) под монолитную железобетонную колонну



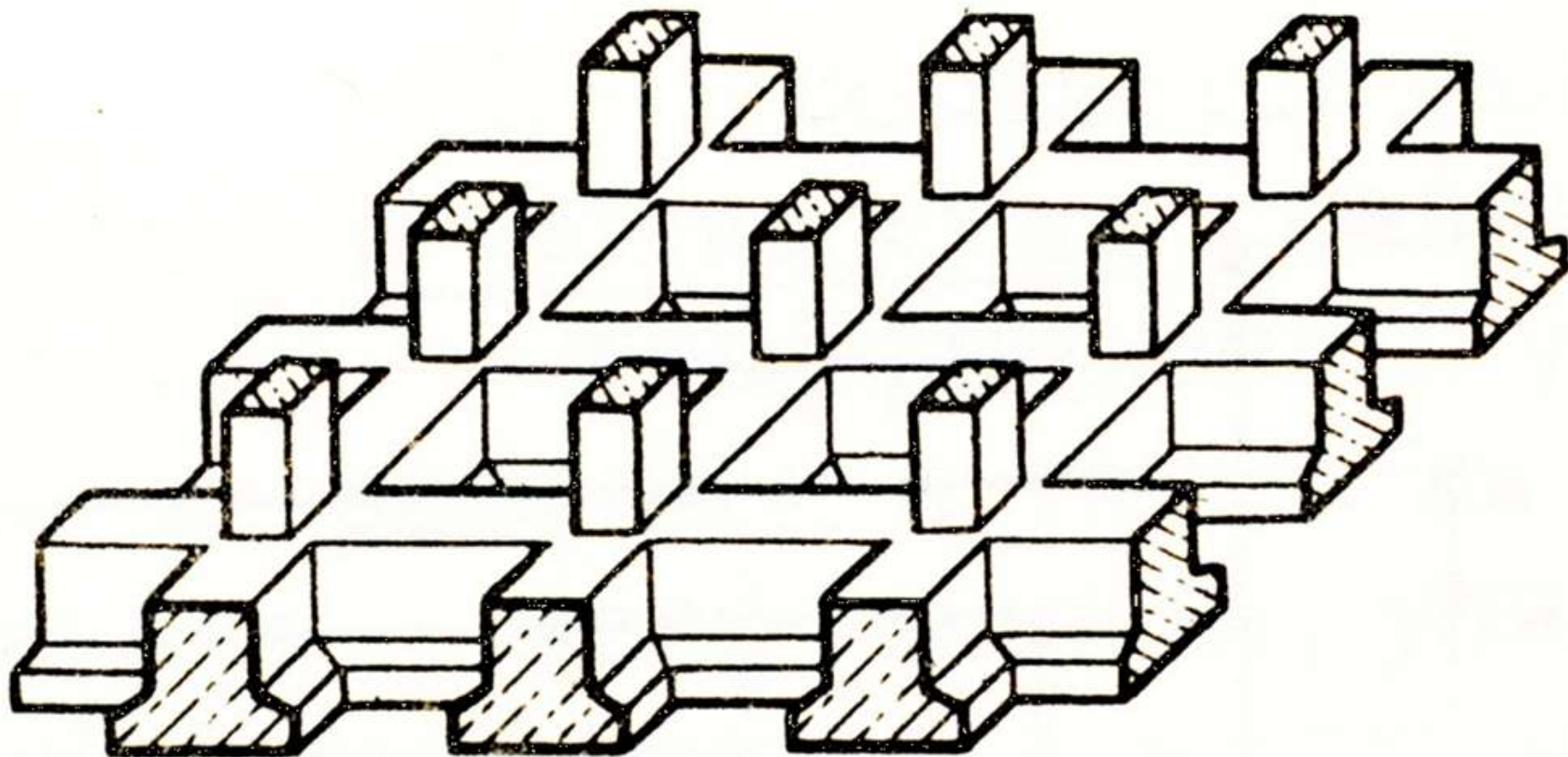
в) под металлическую колонну



4. Фундаменты – ленты (под колонны)

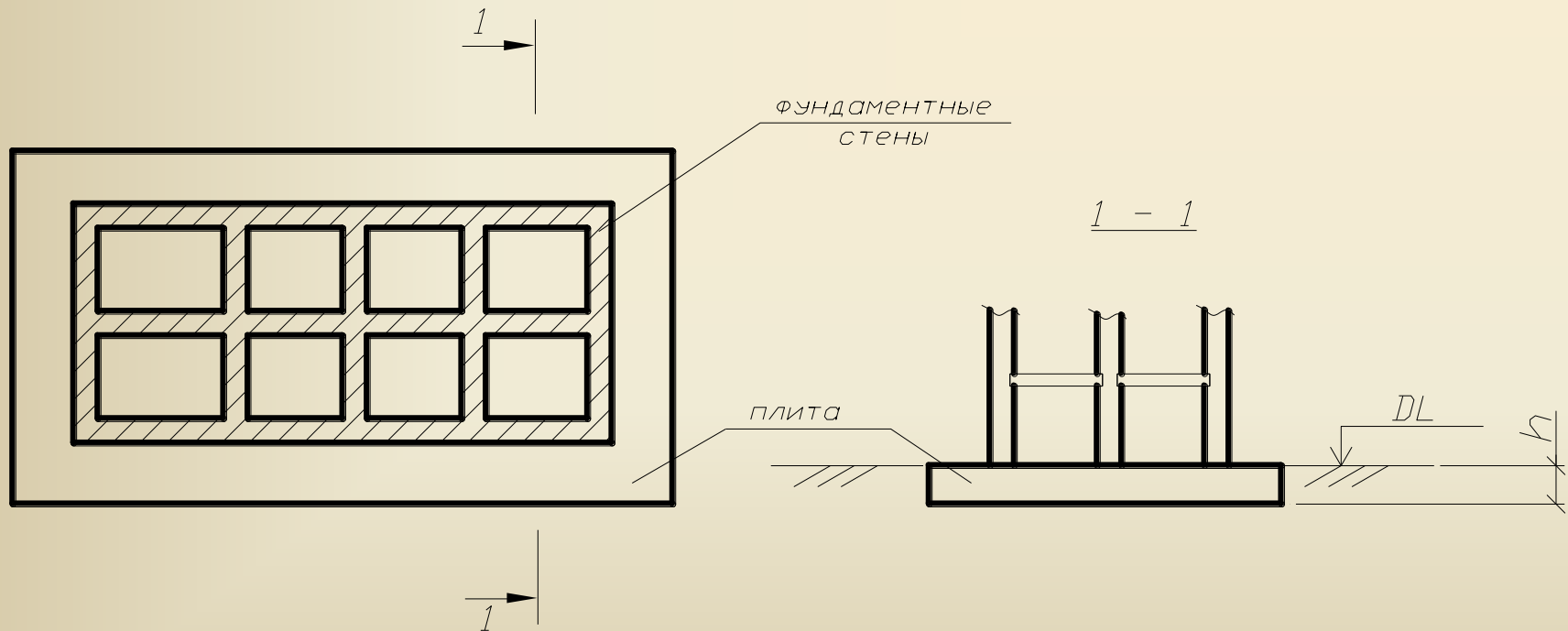


5. *Фундаменты перекрестной ленты*

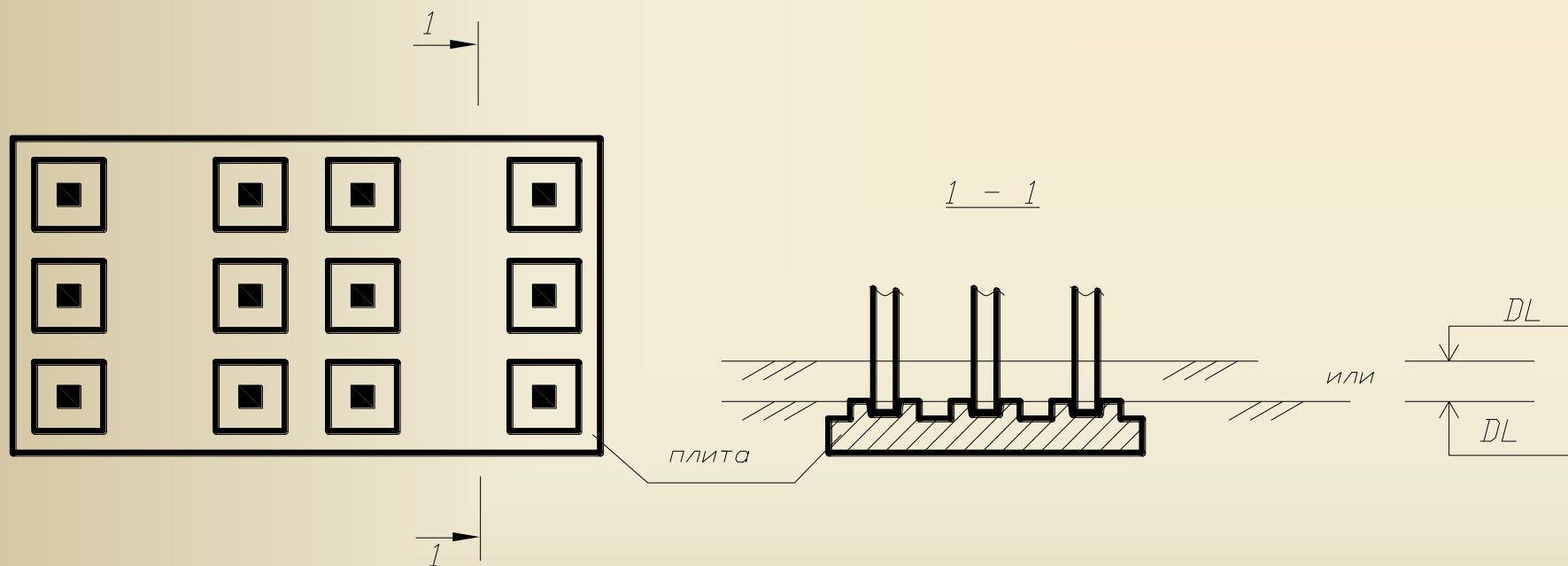


6. Сплошная фундаментная плита

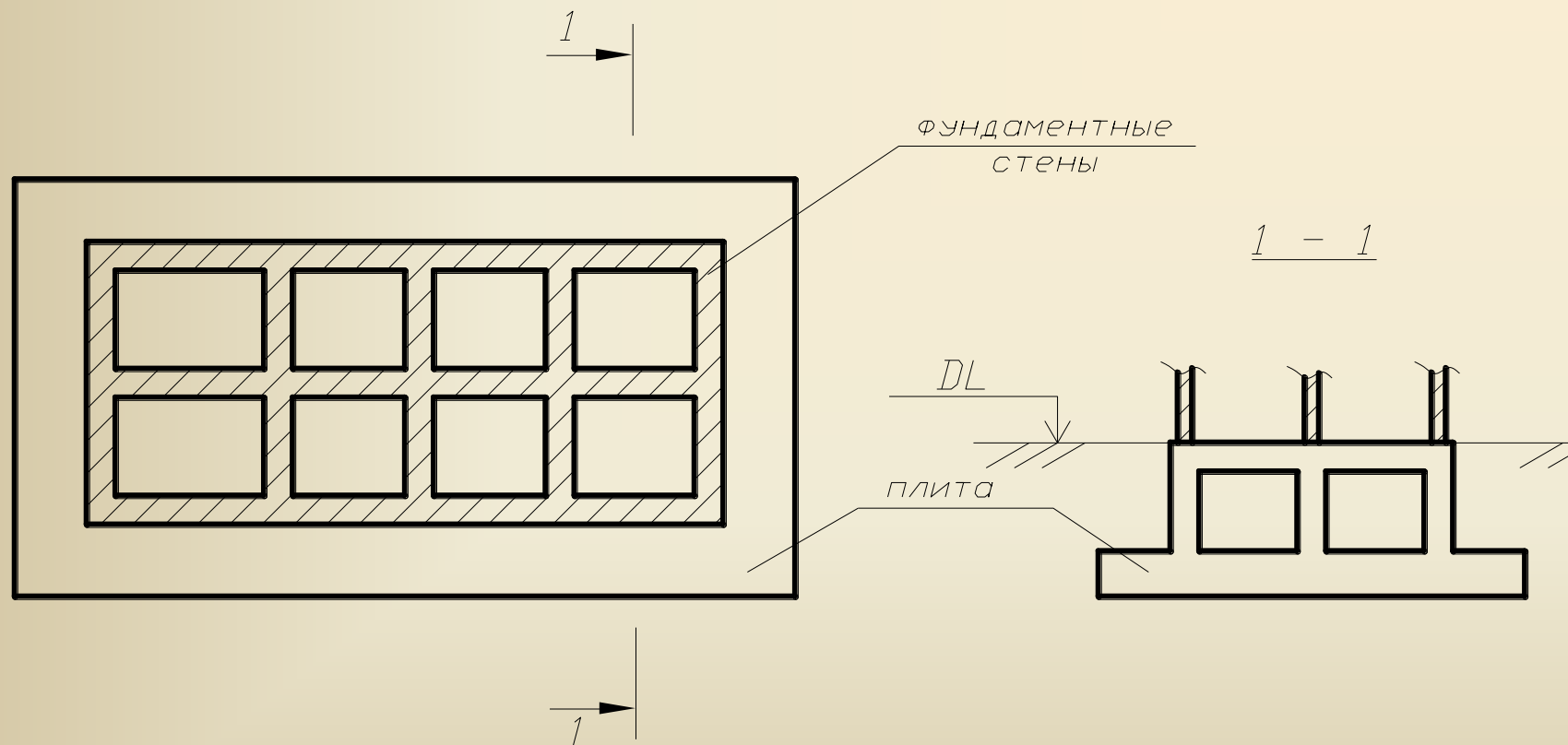
а) для бескаркасных зданий



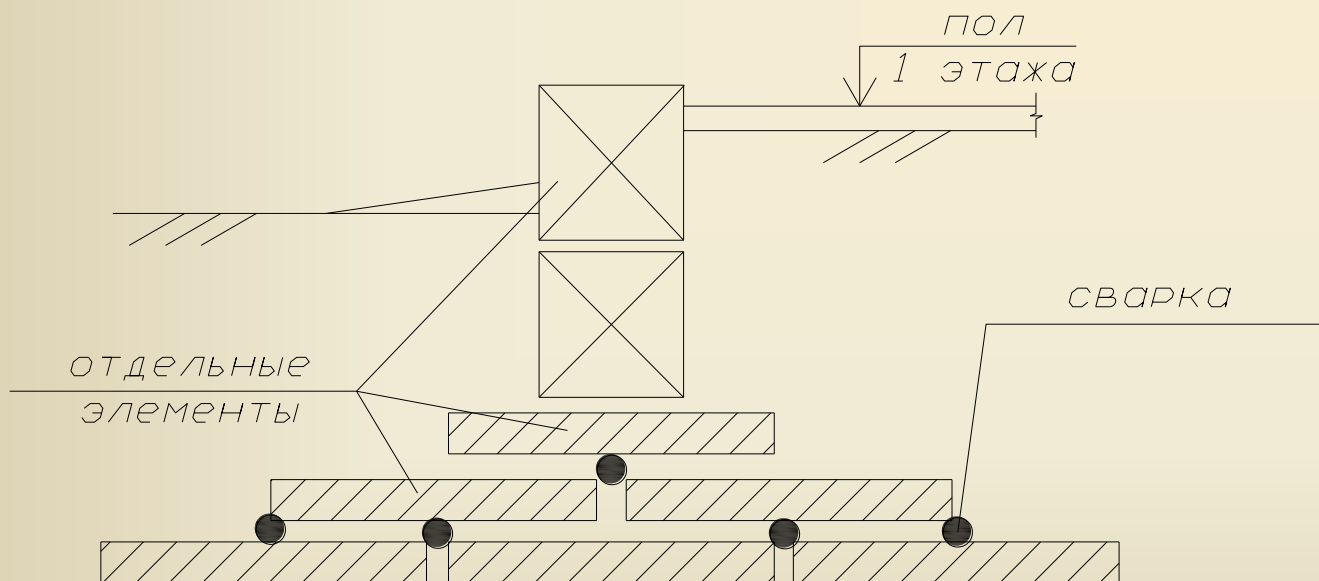
б) для каркасных зданий



7. Коробчатая фундаментная плита (стеновые)

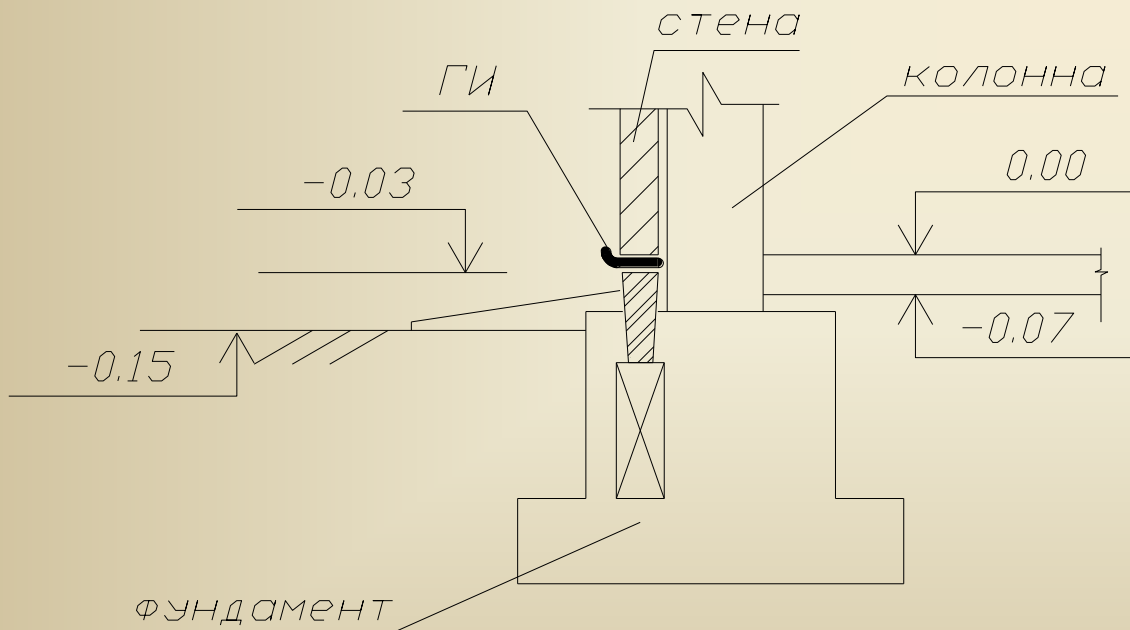


8. Составные (из отдельных элементов)



Гидроизоляция ФМЗ

1. Гидроизоляция фундаментов промышленных зданий

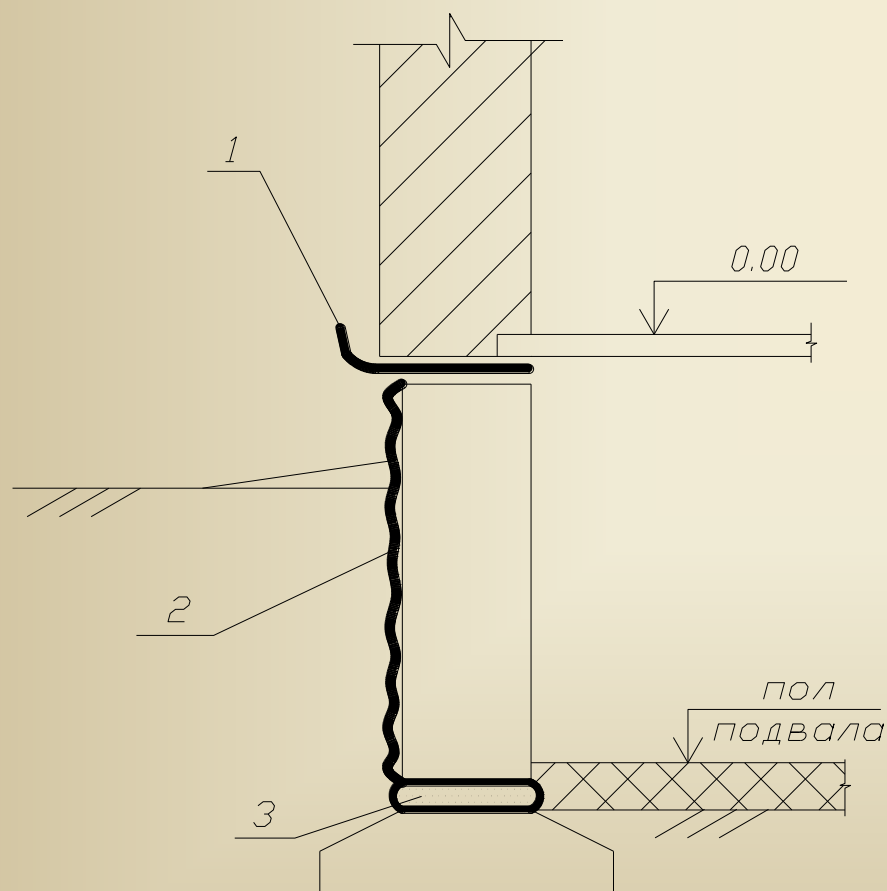


*ГИ – оклеичная
(не менее двух
слоев рубероида
или иного листо-
вого материала
на битумной
мастике или
клеях)*

подвала



3. Гидроизоляция фундаментов зданий с подвалом - при отсутствии уровня грунтовых вод



1 – оклеичная ГИ (≥ 2 слоя)

***2 – обмазочная ГИ
(битумная мастика)***

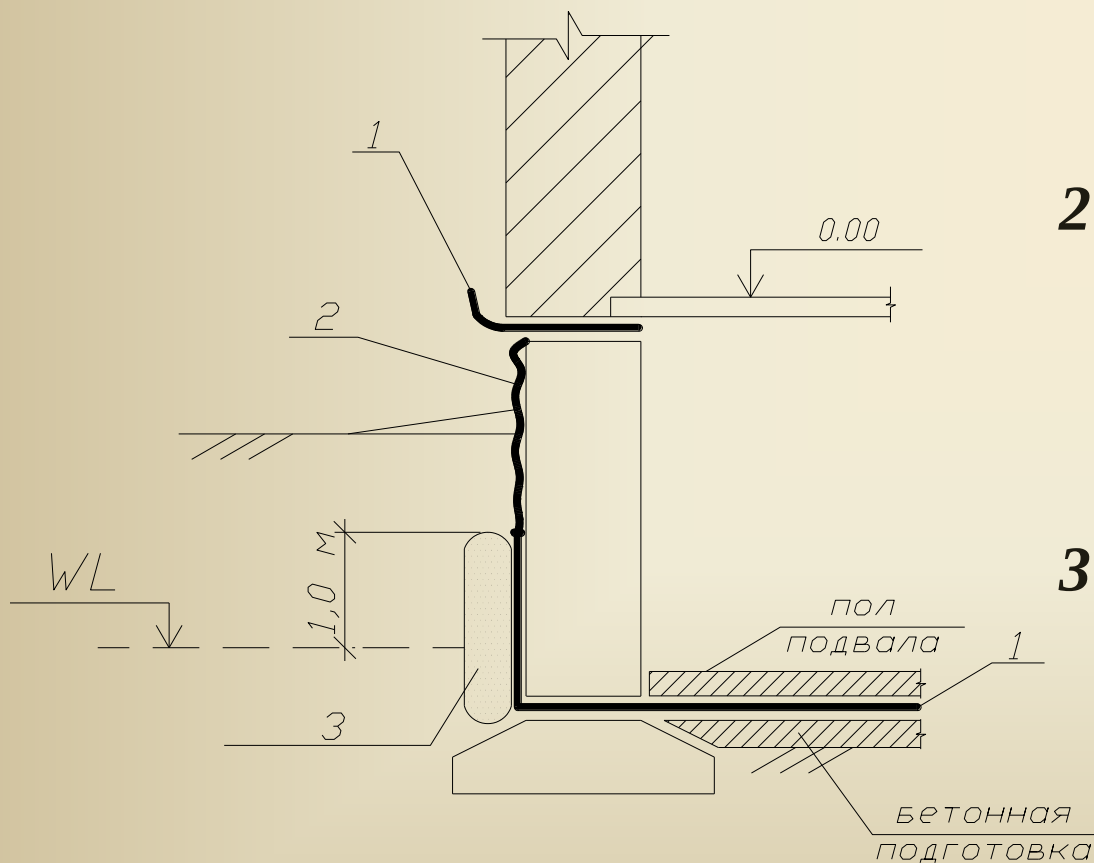
3 – цементно-песчаная ГИ

- при наличии уровня грунтовых вод

1 – оклеичная ГИ (≥ 2 слоя)

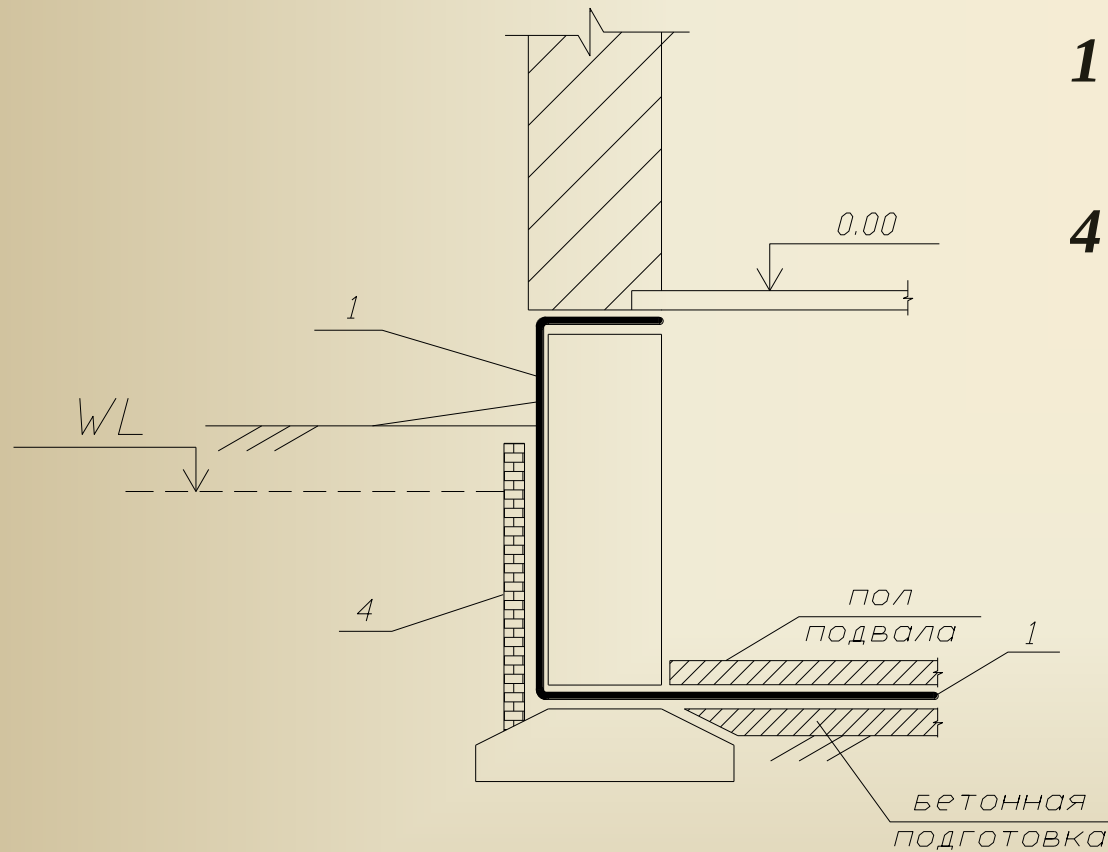
**2 – обмазочная ГИ
(битумная мастика)**

3 – глиняный замок



1 – оклеичная ГИ (≥ 2 слоя)

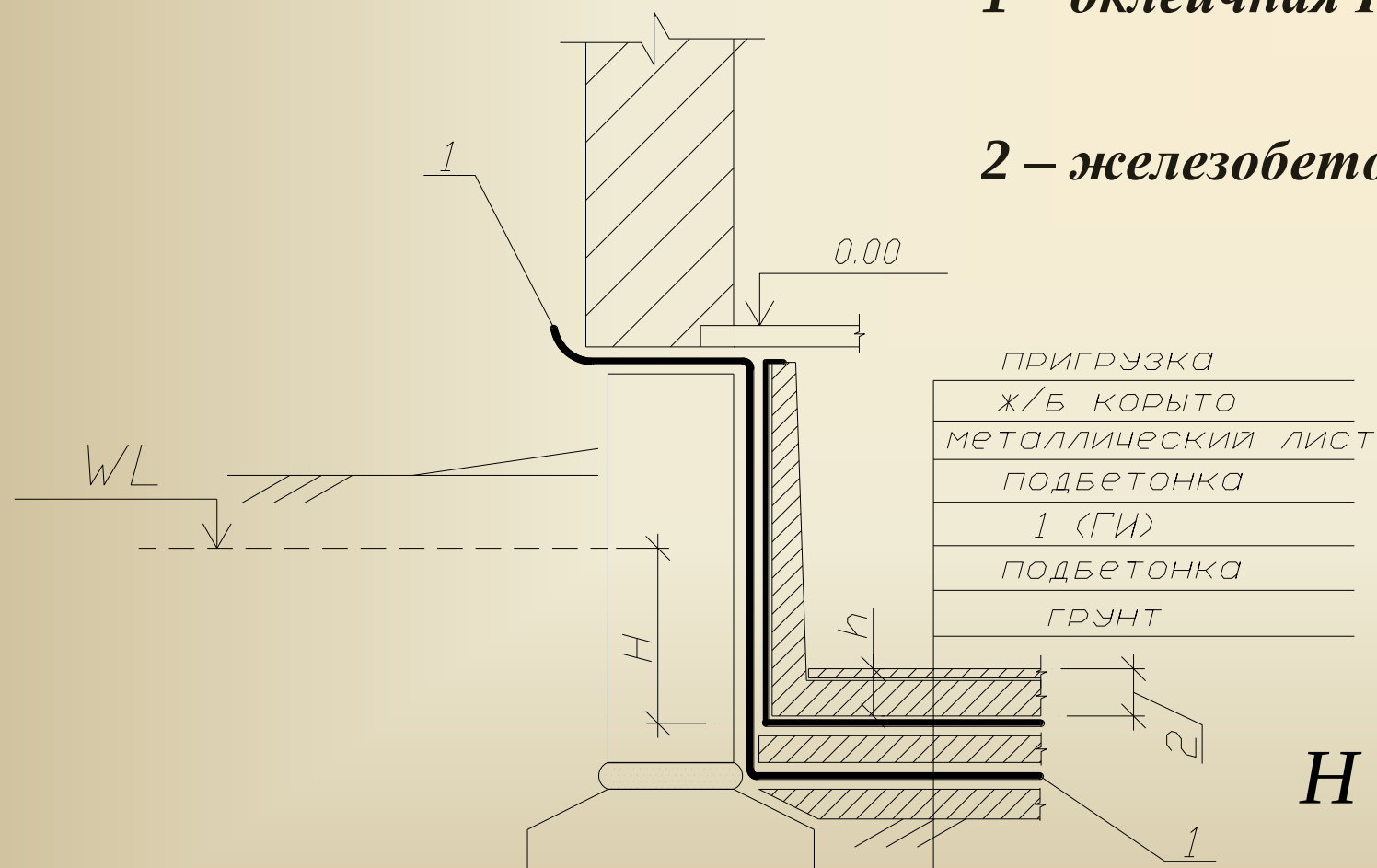
4 – кирпичная кладка



- при больших напорах грунтовых вод с глубиной подвала $> 8 \div 10$ м

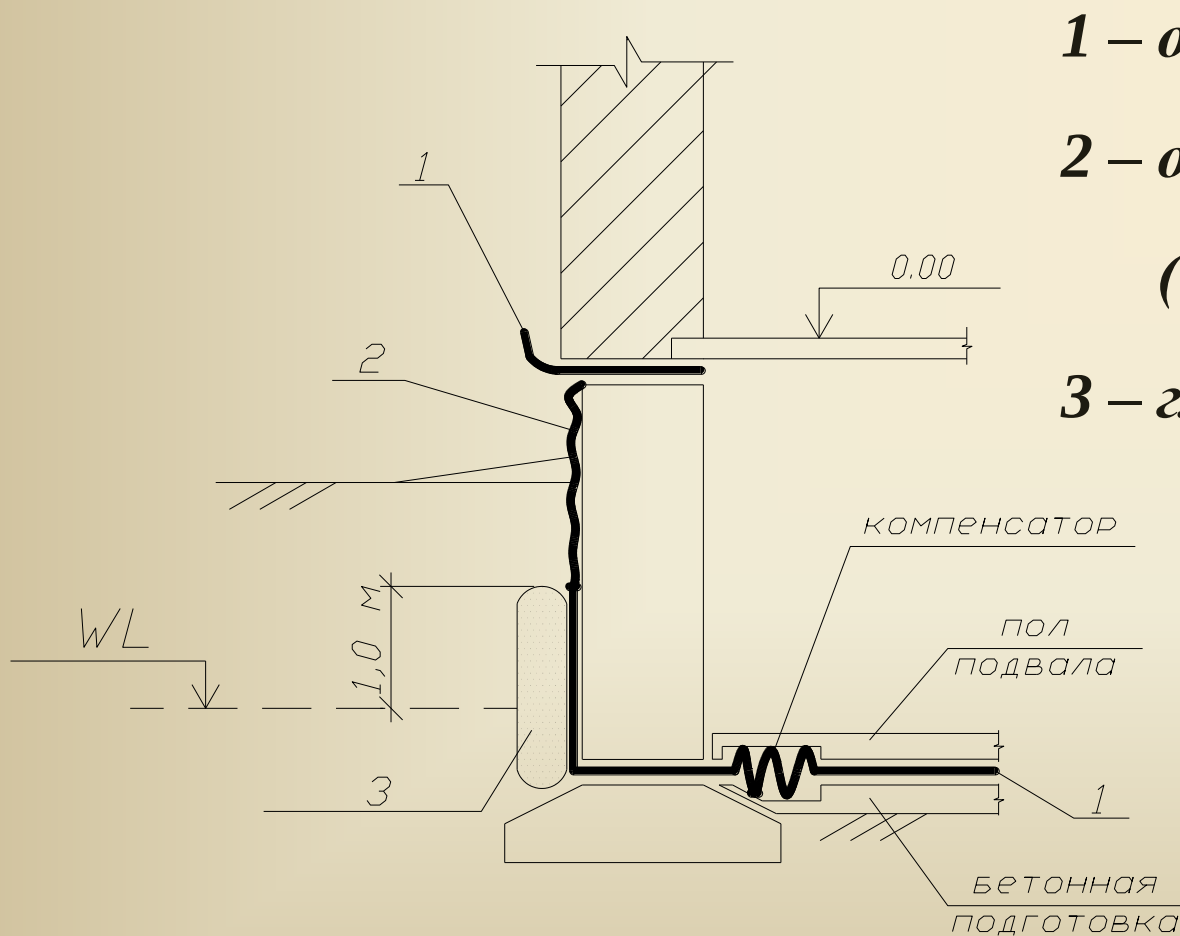
1 – оклеичная ГИ (≥ 2 слоя)

2 – железобетонная ванна



$$H \cdot \gamma_w \leq h \cdot \gamma_b$$

- при наличии в основании сильносжимаемых грунтов



1 – оклеичная ГИ (≥ 2 слоя)

2 – обмазочная ГИ

(битумная мастика)

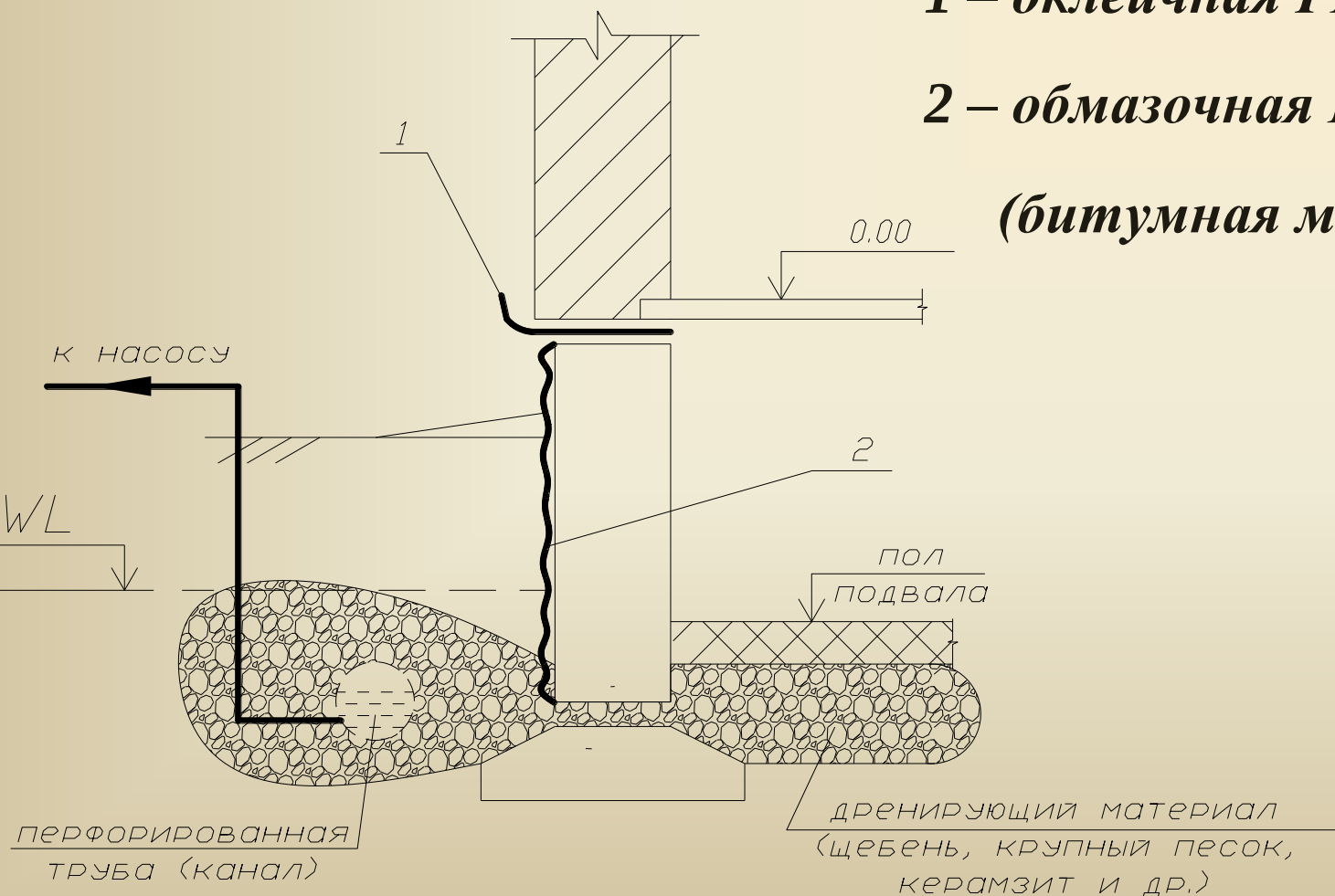
3 – глиняный замок

Для предотвращения поступления воды во внутренние помещения может устраиваться пристенный дренаж:

1 – оклеичная ГИ (≥ 2 слоя)

2 – обмазочная ГИ

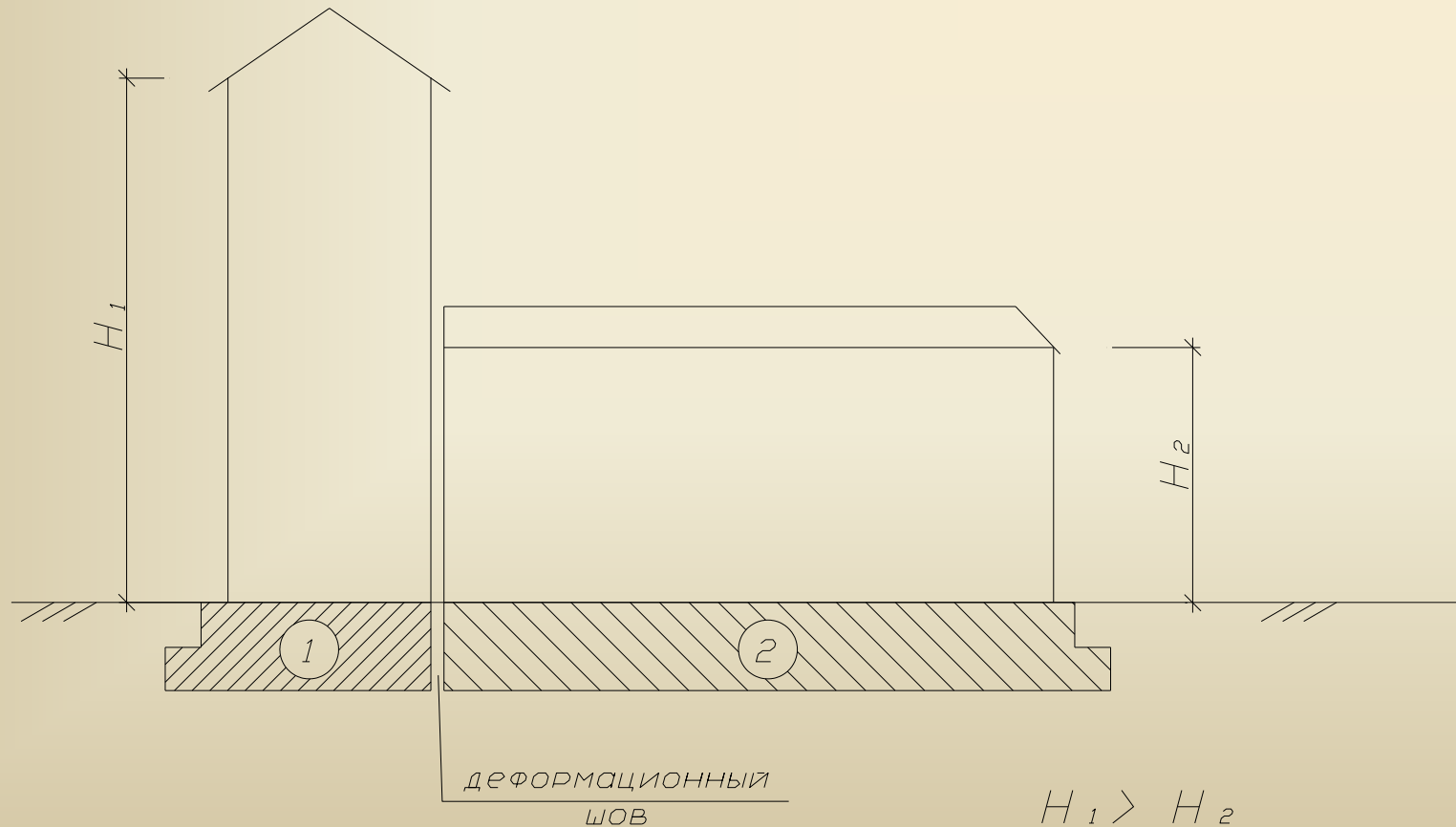
(битумная мастика)



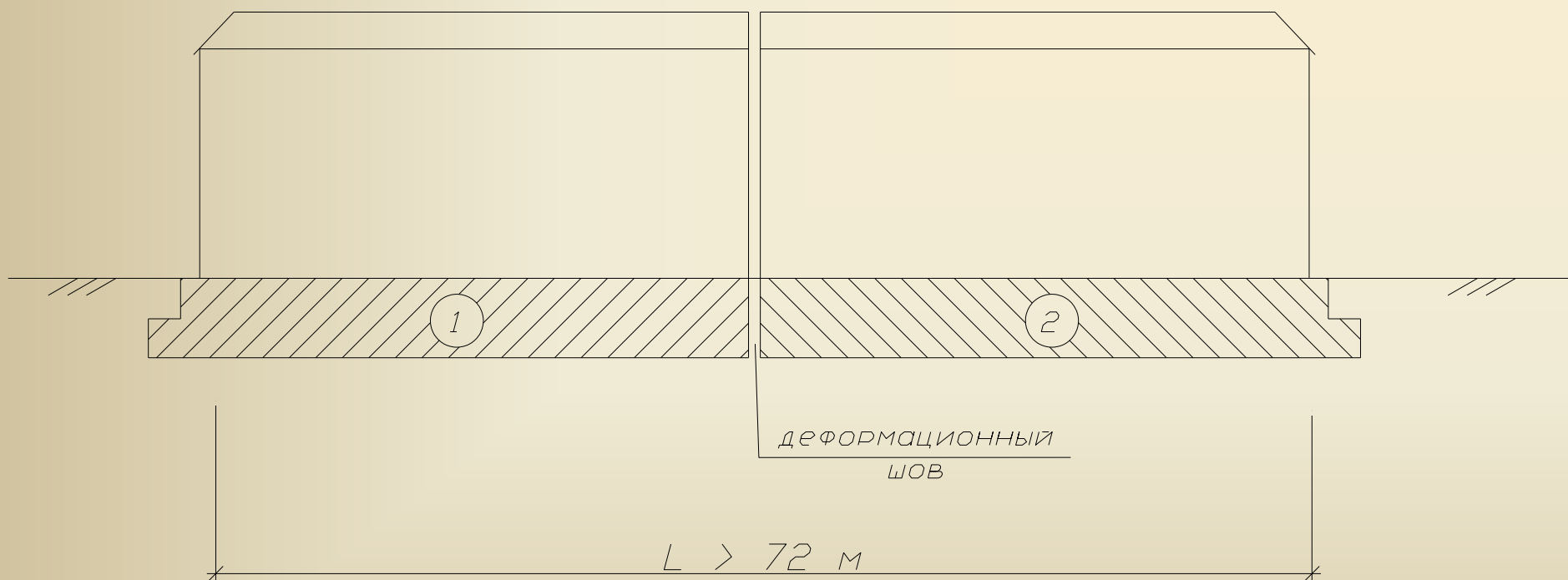
Деформационные швы
и уступы

Деформационные швы

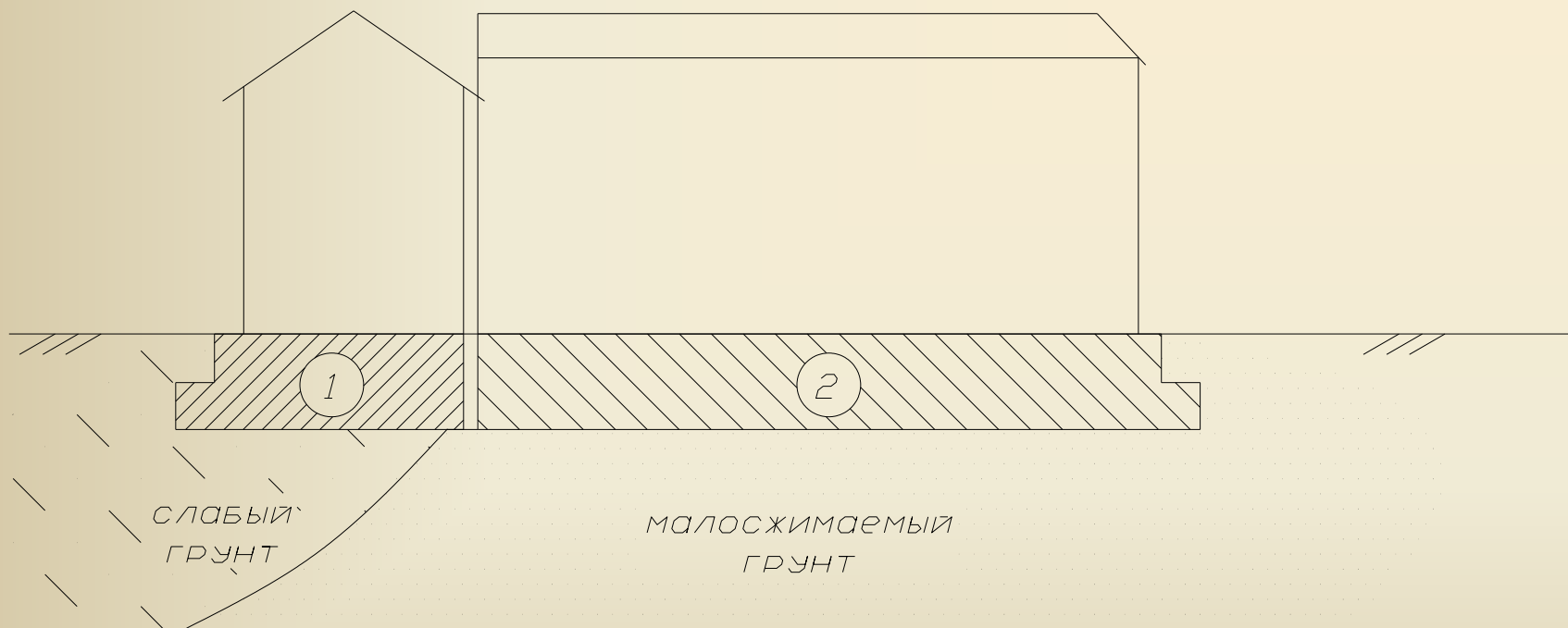
1) в местах перепада высот здания или примыкания вновь возводимого здания к существующему



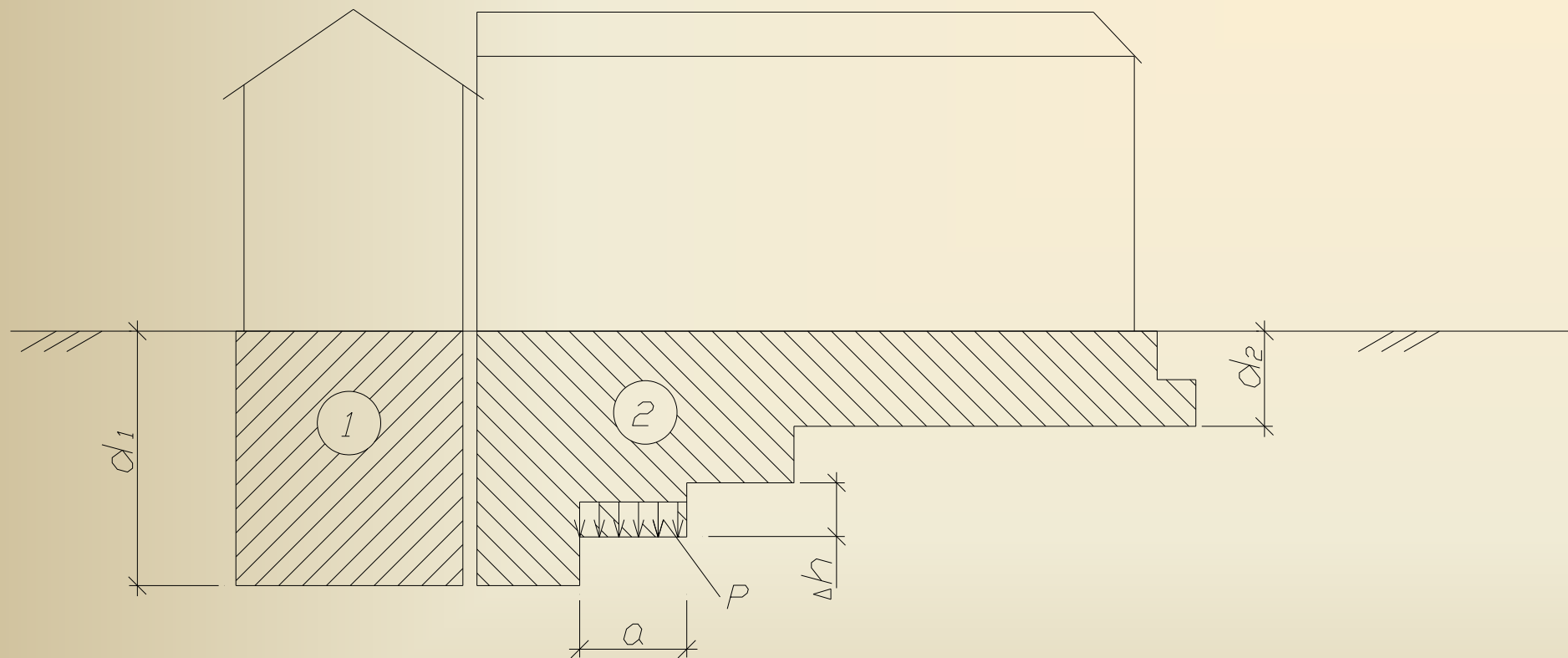
2) для протяженных зданий



3) для зданий, возводимых на неравномерных по сжимаемости грунтах



Уступы



$$\frac{\Delta h}{a} \leq \left(\operatorname{tg} \varphi_I + \frac{c_I}{P} \right)$$

Определение основных размеров ФМЗ

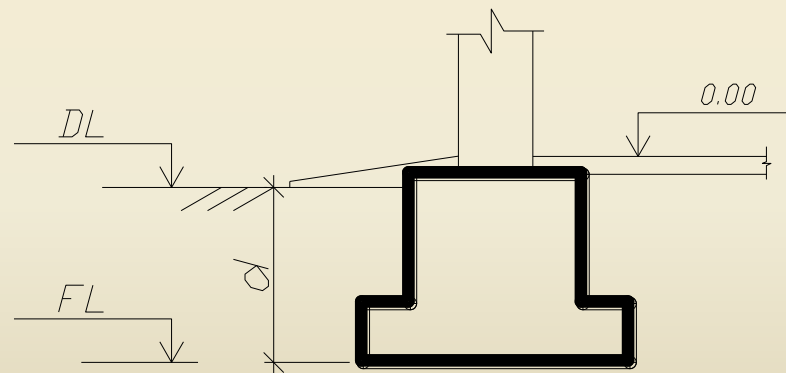
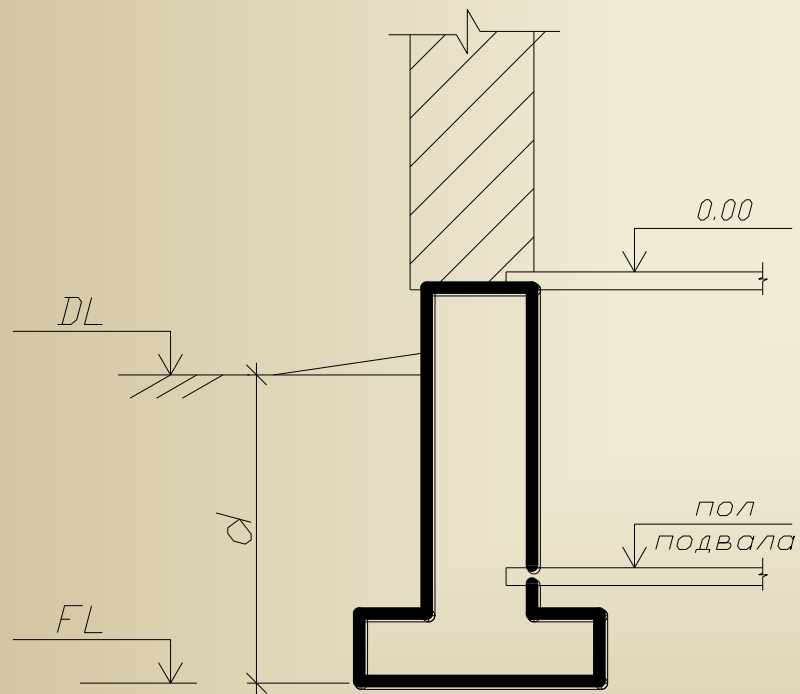
К основным размерам относят:

d – глубина заложения подошвы фундамента;

b – ширина подошвы фундамента (меньший размер);

l – длина подошвы фундамента (большой размер).

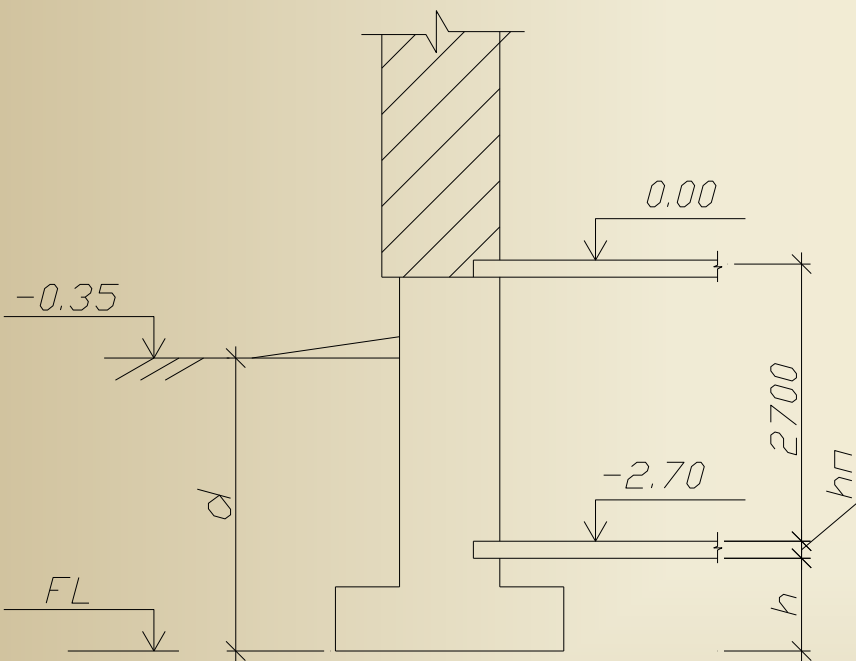
I. Выбор глубины заложения подошвы фундамента



Глубина заложения подошвы фундамента зависит:

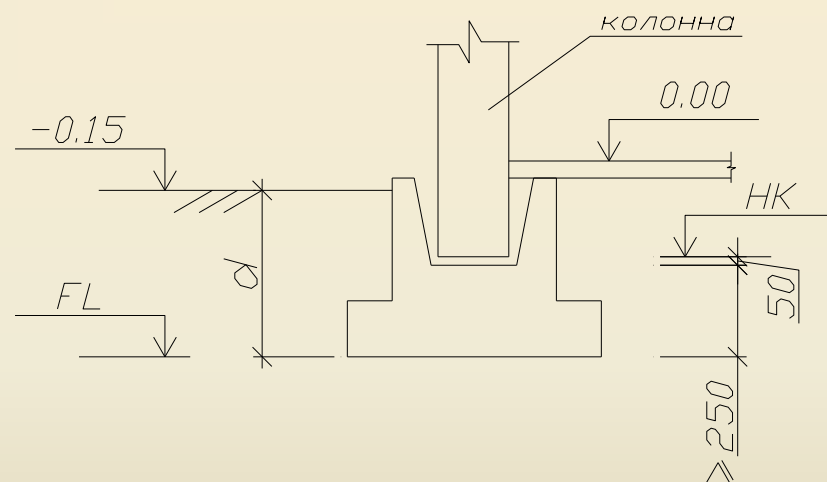
1) от конструктивных особенностей здания (наличие подвалов, технических этажей, подполья, приямков, каналов и т.п.)

**для зданий
с подвалом**



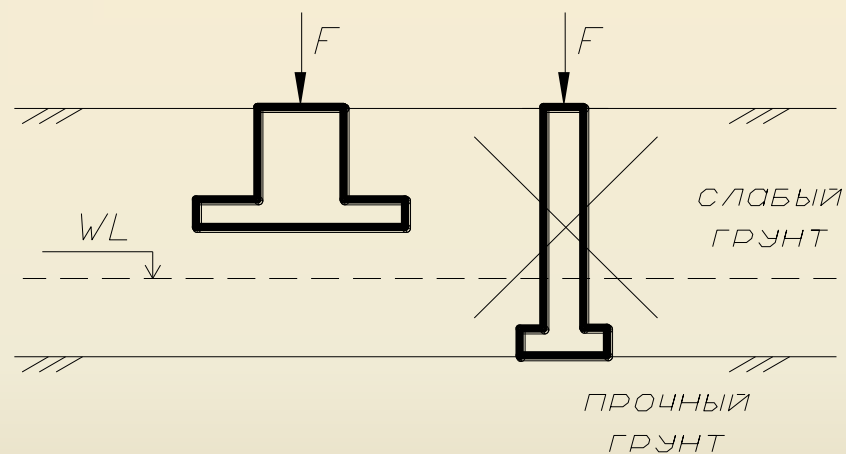
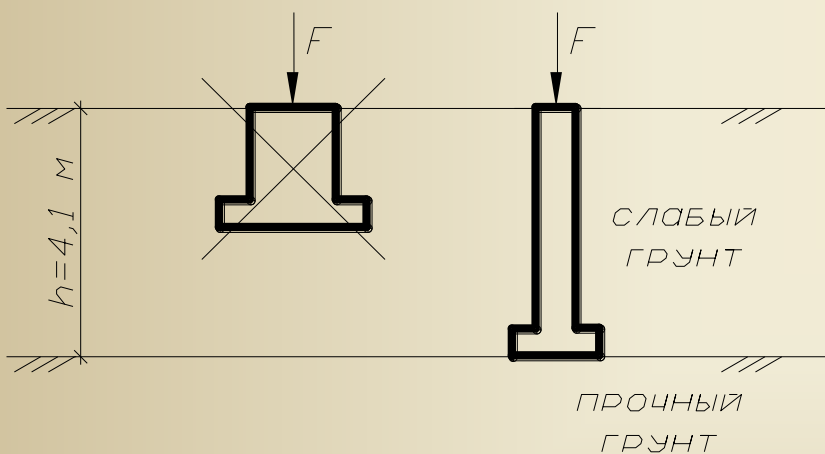
$$d \geq (2,7 - 0,35) + h_n + h$$

**для фундаментов
под колонны**

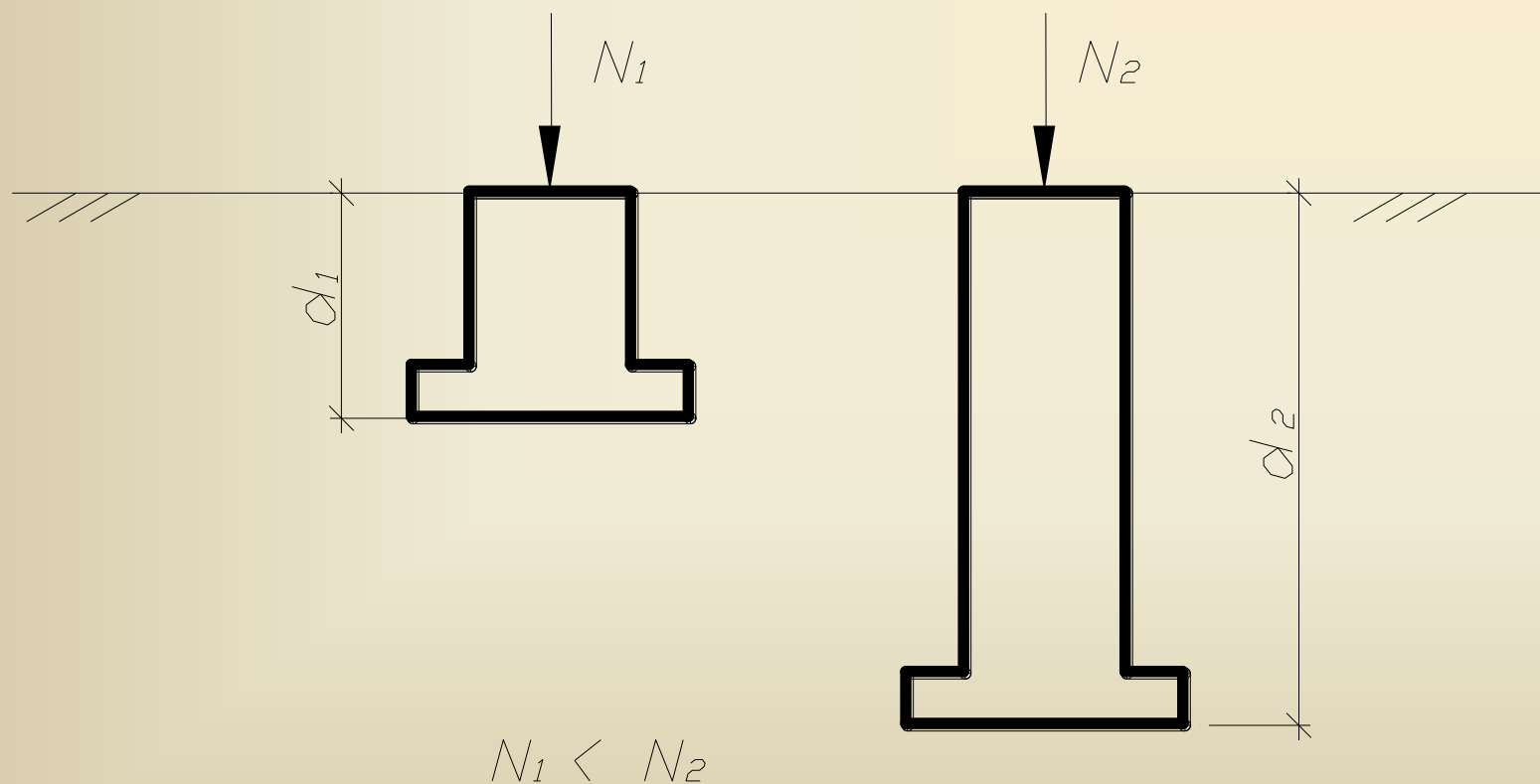


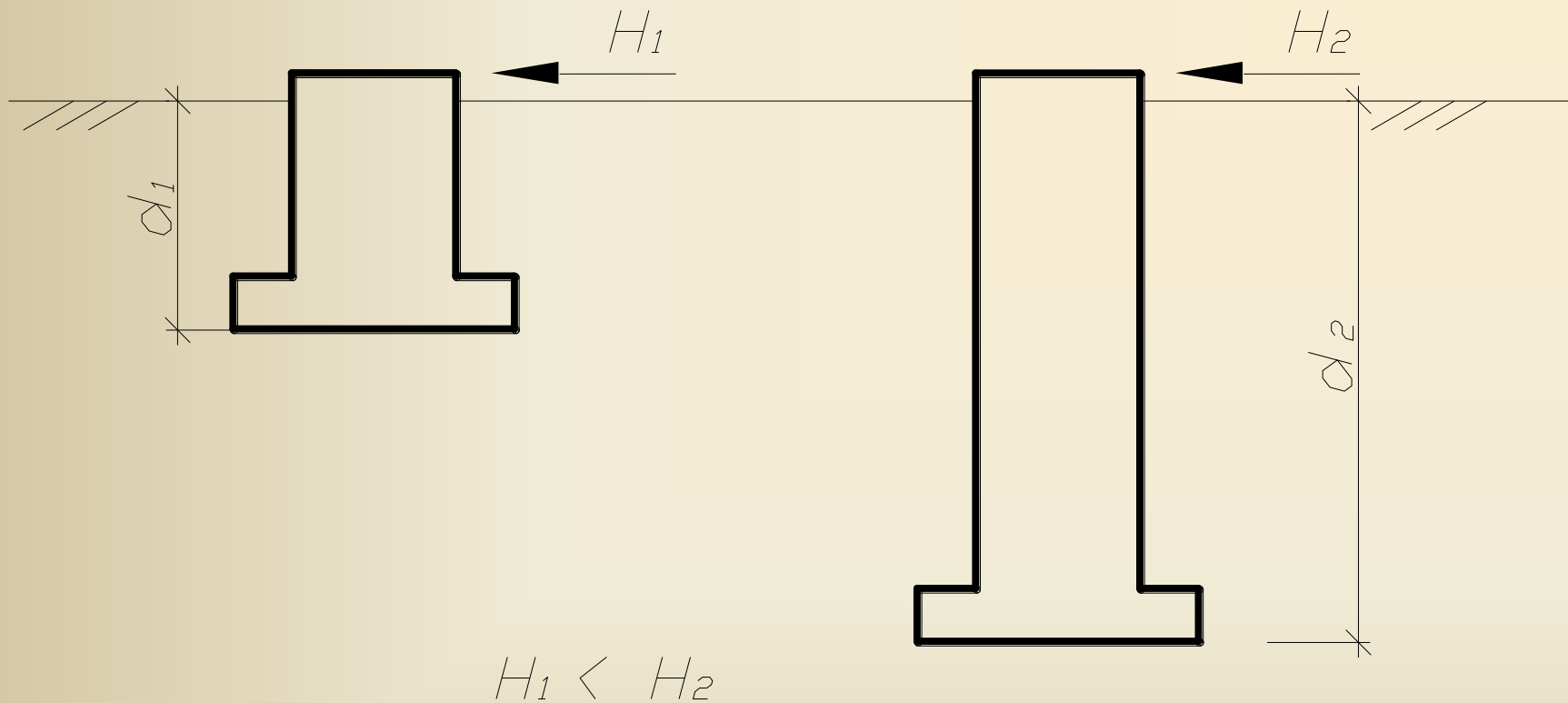
$$d \geq (HK - 0,15) + 0,05 + 0,25$$

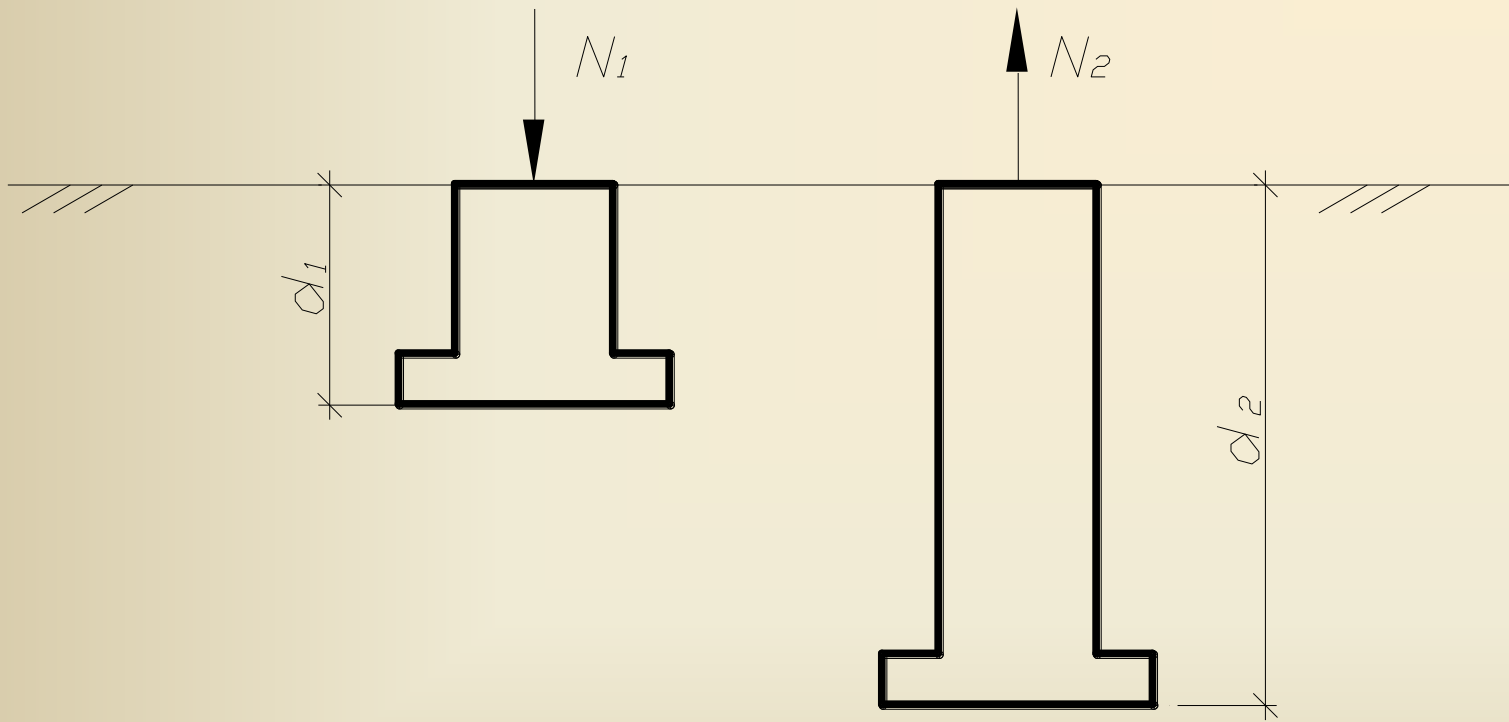
***2) от инженерно-геологических и гидрогеологических
условий строительной площадки***



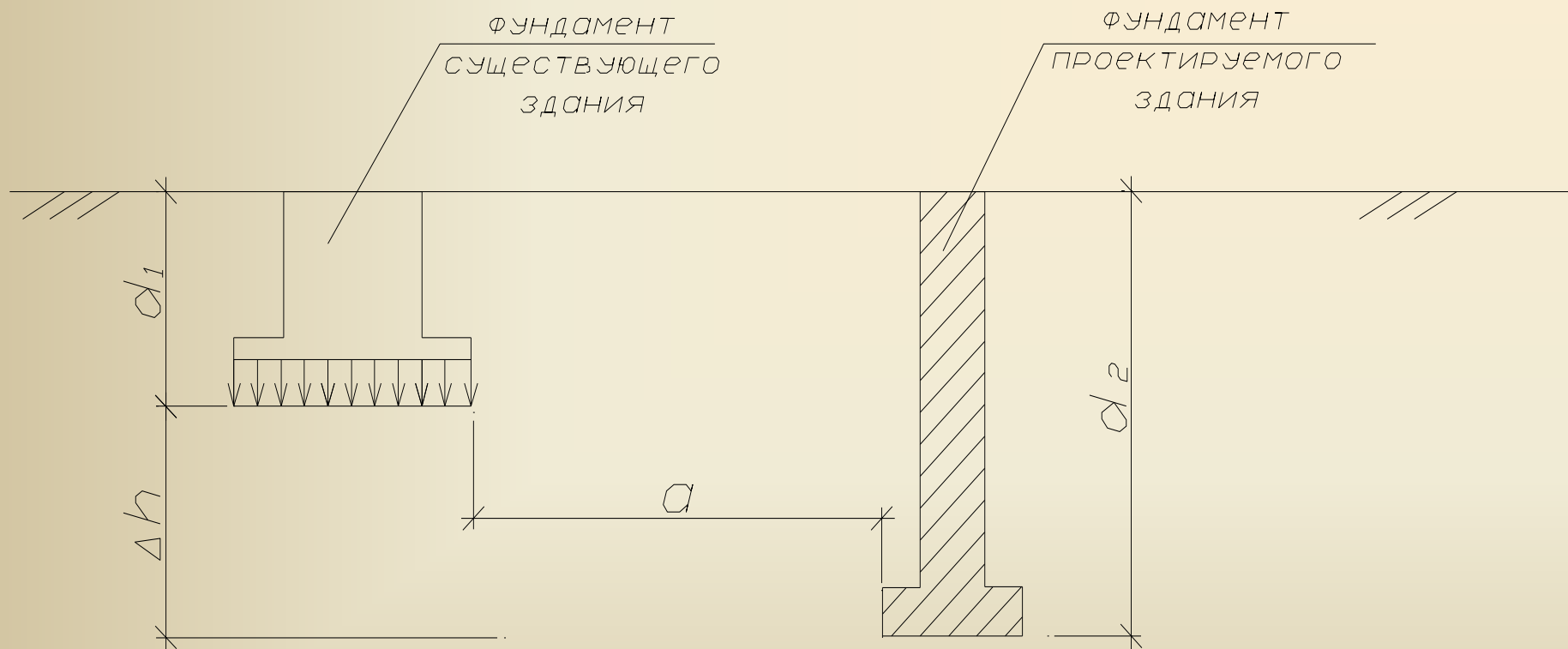
*3) от величины и характера действующих на фунда-
мент нагрузок*







4) от глубины заложения фундамента существующего здания



$$\Delta h \leq a \cdot \left(\operatorname{tg} \varphi_I + \frac{c_I}{P} \right),$$

где P – давление под подошвой фундамента существующего здания;

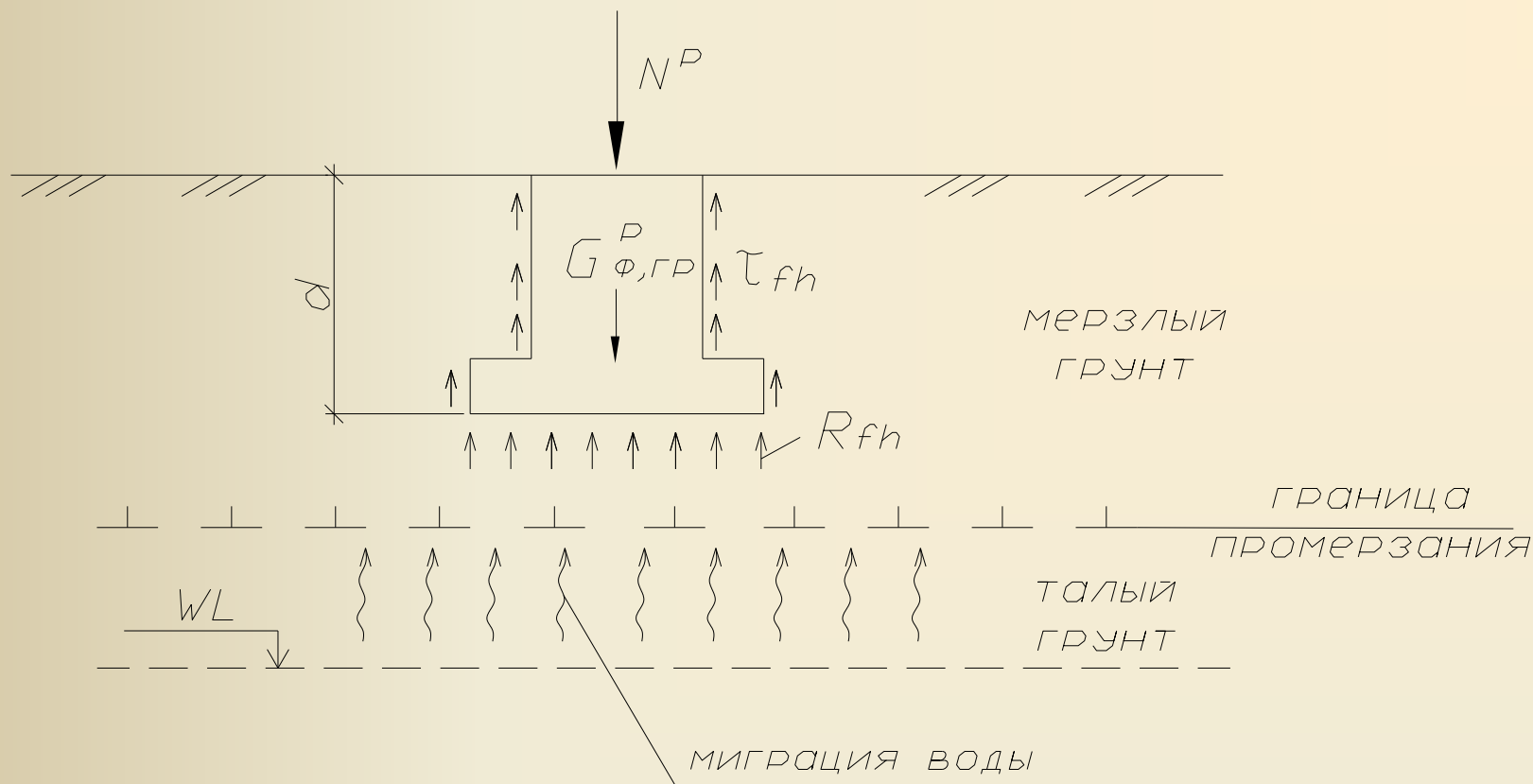
φ_I – угол внутреннего трения грунта;

c_I – удельная сила сцепления.

*5) от глубины сезонного промерзания и оттаивания
грунта*

*Существует категория грунтов, которые при обвод-
нении и промерзании проявляют свойства морозного
пучения*

(супеси, суглинки, глины, реже пески пылеватые)



R_{fh} – лобовые силы морозного пучения (80 %);

τ_{fh} – касательные силы морозного пучения (20 %).

$$N^p + G_{\phi, \text{гп}}^p < R_{fh} \cdot A_1 + \tau_{fh} \cdot A_{\sigma}$$

При смерзании грунта с телом фундамента и увеличением объема воды при замерзании по боковой поверхности фундамента и под его подошвой реализуются силы морозного пучения, которые могут привести фундамент в неустойчивое положение.

Различают две глубины сезонного промерзания грунтов:

- нормативная глубина сезонного промерзания грунтов (d_{fn});

- расчетная глубина сезонного промерзания грунтов (d_f).

Нормативную глубину сезонного промерзания грунтов (d_{fn}) определяют:

а) по данным многолетних натурных наблюдений на специально отведенных площадках в различных грунтовых условиях (составляются карты промерзания);

б) теплотехническим расчетом с использованием сведений о температуре воздуха и характеристик теплотехнических свойств грунта;

в) по формуле СП 22.13330.2011 «Основания и фундаменты»:

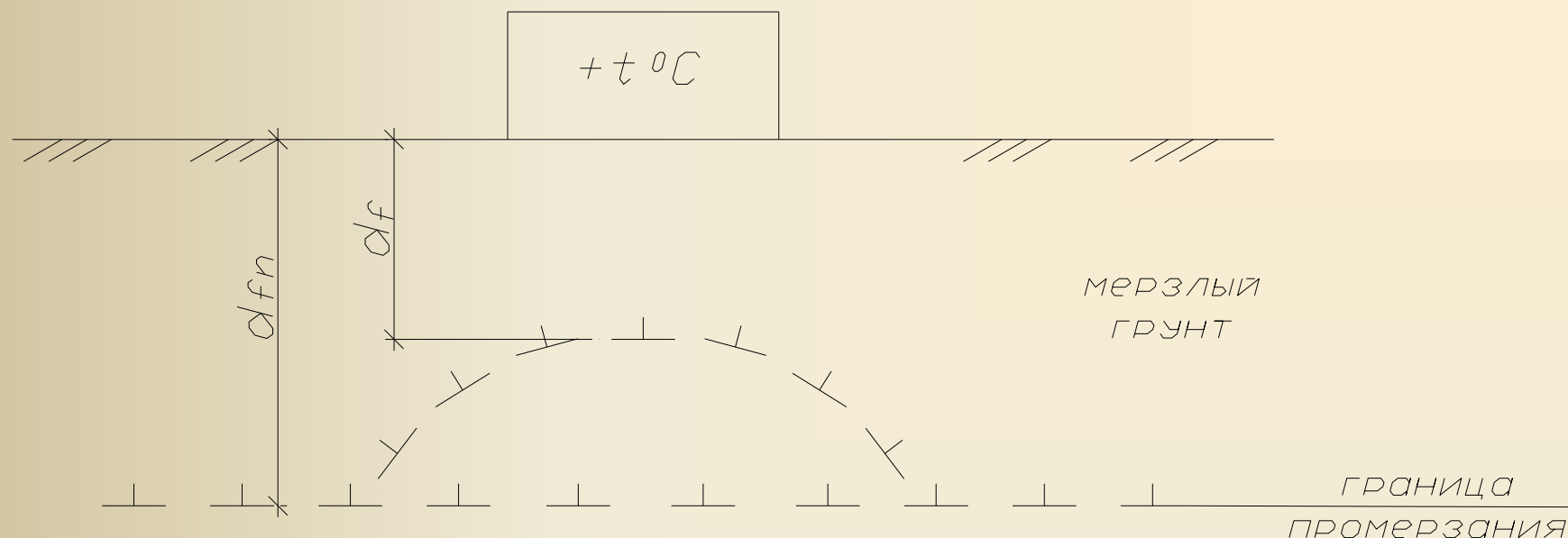
$$d_{fn} = d_0 \cdot \sqrt{M_t},$$

d_0 – коэффициент, зависящий от вида грунта

$(0,23 \div 0,34);$

M_t – сумма абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за год.

Расчетная глубина сезонного промерзания грунта (d_f)



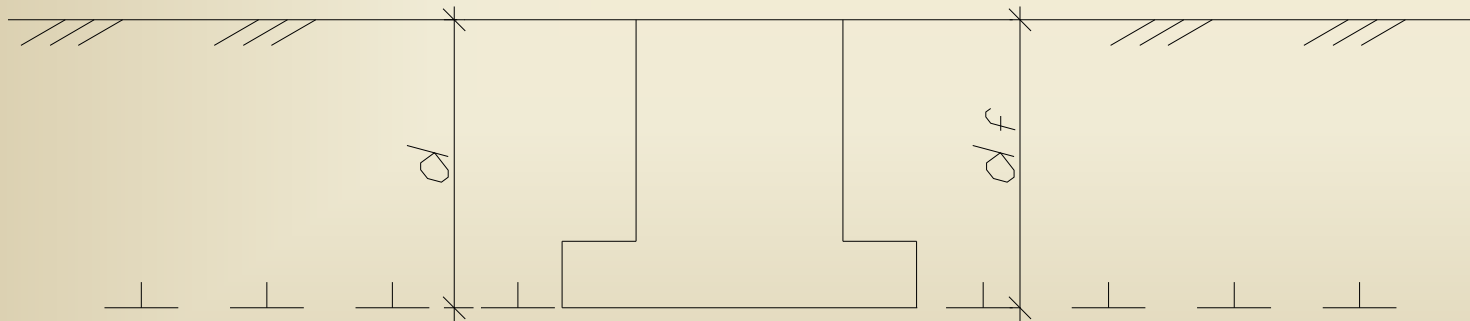
$$d_f = k_h \cdot d_{fn},$$

k_h – коэффициент температурного влияния здания

(зависит от температуры внутри здания и конструкции пола)

Если грунт обладает пучинистыми свойствами, то глубина заложения подошвы фундамента должна быть не менее расчетной глубины промерзания грунта.

$$d \geq d_f$$



Если грунт не обладает пучинистыми свойствами, то глубина заложения подошвы фундамента не зависит от глубины промерзания грунта.

Окончательно, выбирается наибольшая глубина заложения подошвы фундамента, определенная по перечисленным выше требованиям.

II. Определение размеров подошвы фундамента (l и b)

Основание рассчитывается по II ПС

(в некоторых случаях – по I ПС).

$$S \leq S_u$$

(при $P \leq R$)

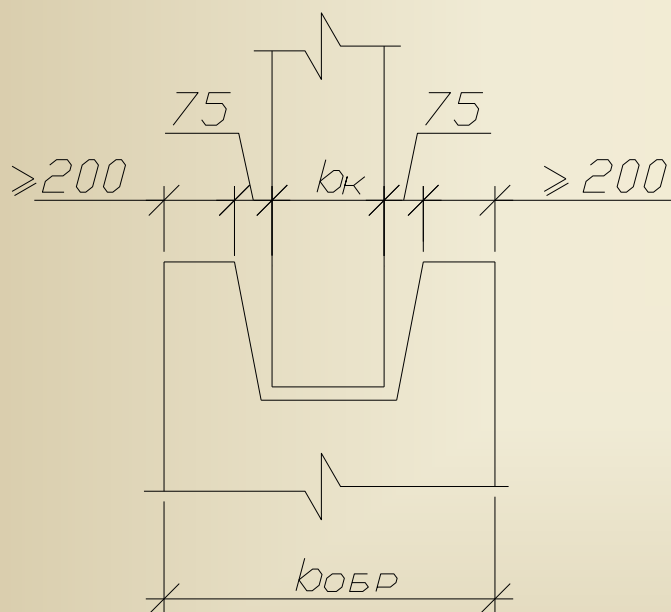
Прежде, чем приступить к проверке выполнения условия $S \leq S_u$, необходимо добиться условия, при котором давления под подошвой фундамента не будут превышать расчетного сопротивления грунта ($P \leq R$).

1) Определение минимальных размеров подошвы фундамента (размеров обреза фундамента).

Обрез фундамента – плоскость верхней грани фундамента, расположена в месте соединения с надземной частью здания.

Например,

для столбчатого фундамента под каркас здания



$$b_{обр} = b_k + 2 \cdot 0,075 + 2 \cdot 0,2;$$

$$l_{обр} = l_k + 2 \cdot 0,075 + 2 \cdot 0,2.$$

**2) Определение расчетного условного сопротивления
грунта $R_{усл}$ (кПа)**

$$R_{усл} = \frac{\gamma_{с1} \cdot \gamma_{с2}}{k} \cdot \left[M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II} \right]$$

3) Определение требуемой площади подошвы фундамента

$$A_{тр} = \frac{N^H}{R_{усл} - d \cdot \gamma_{ср}},$$

где N^H – сумма вертикальных нормативных нагрузок, действующих на фундамент;

$R_{усл}$ – расчетное условное сопротивление грунта;

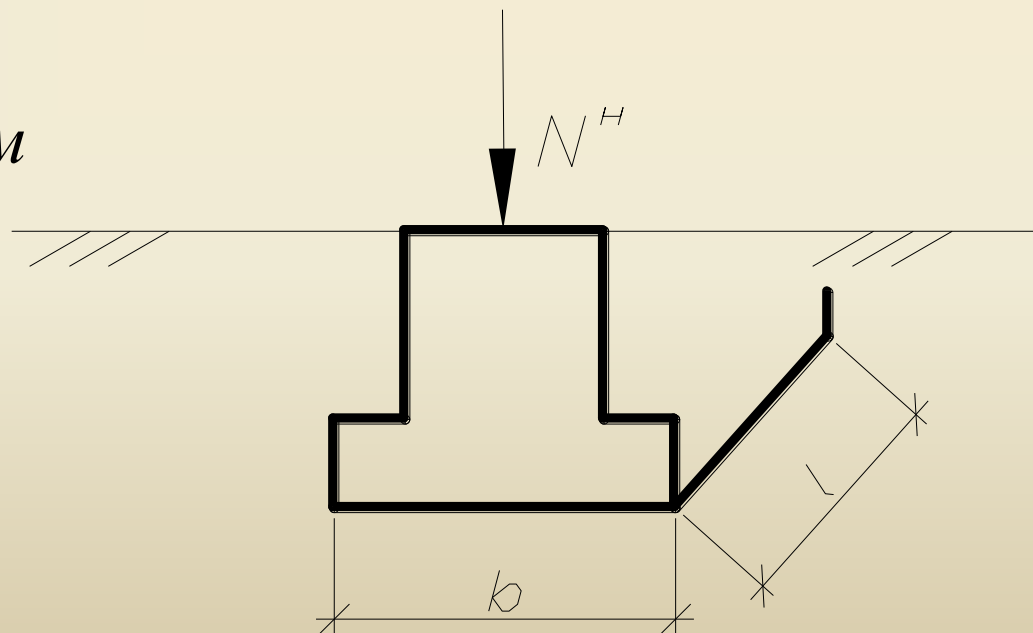
$\gamma_{ср}$ – осредненный удельный вес фундамента и грунта:

$$\begin{aligned} \gamma_{ж/б} &= 24 \div 25 \text{ кН/м}^3 \\ \gamma_{гр} &= 16 \div 20 \text{ кН/м}^3 \end{aligned} \rightarrow \gamma_{ср} = 20 \div 22 \text{ кН/м}^3.$$

4) Определение размеров подошвы фундамента (b и l)
– для центрально-загруженных фундаментов

$$b = l = \sqrt{A_{mp}},$$

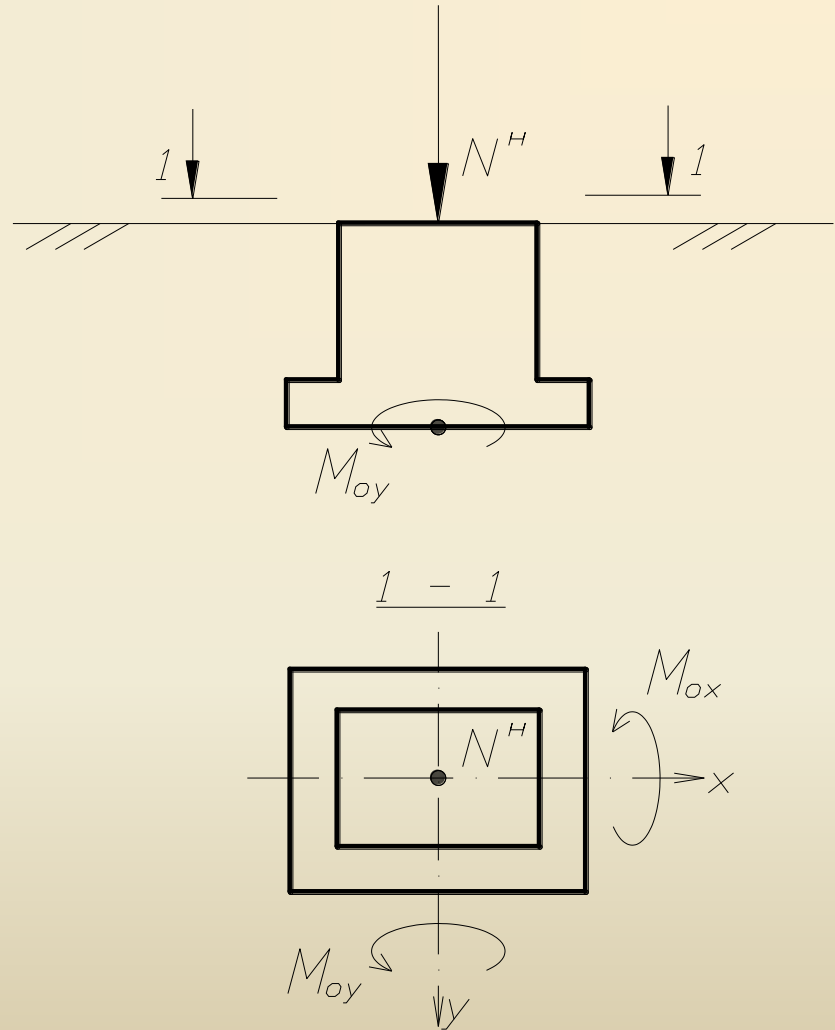
$b = l \rightarrow \text{кратно } 300 \text{ мм}$



– для внецентренно-загруженных фундаментов

$$\begin{cases} \frac{b}{l} = 0,6 \div 0,8; \\ A_{mp} = b \cdot l; \end{cases}$$

b и $l \rightarrow$ кратно 300 мм



5) Определение (уточнение) расчетного сопротивления грунта

(с учетом полученной в п.4 ширины подошвы фундамента b)

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} \cdot \left[M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1) \cdot d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot c_{II} \right]$$

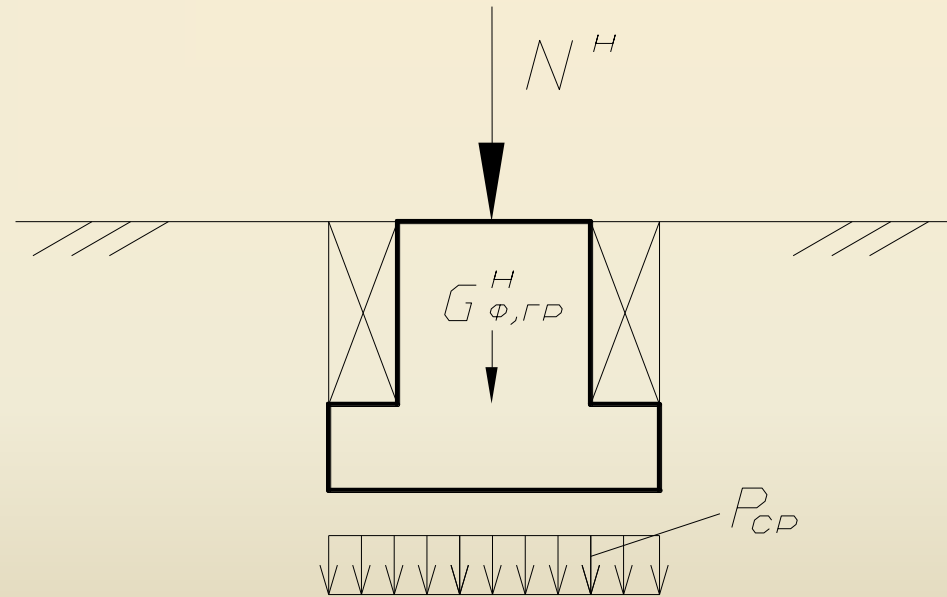
6) Определение фактических давлений под подошвой фундамента:

– для центрально-загруженных фундаментов

(изгибающие моменты $M_{ox} = M_{oy} = 0$)

$$P_{cp}^H = \frac{N^H + G_{\phi, \gamma p}^H}{A},$$

$$G_{\phi, \gamma p}^H = b \cdot l \cdot d \cdot \gamma_{cp},$$



где $G_{\phi, \gamma p}^H$ – нормативная нагрузка от веса фундамента и грунта.

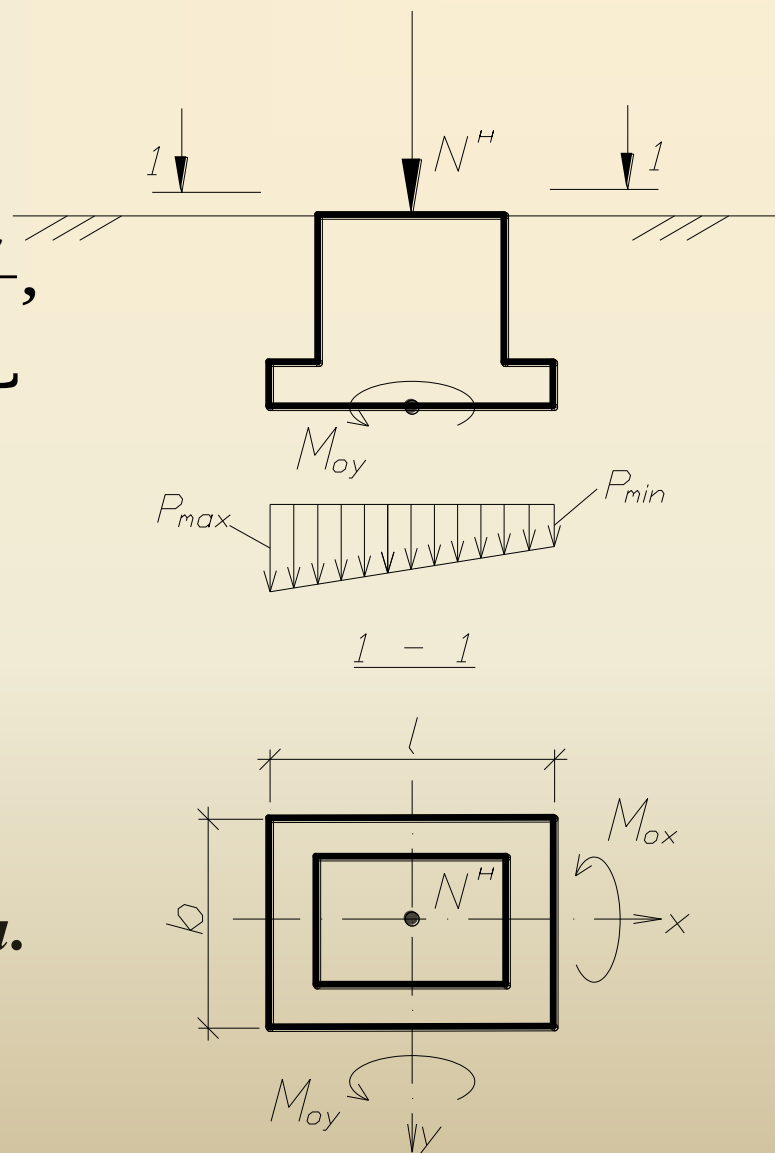
– для внецентренно-загруженных фундаментов

(изгибающие моменты $M_{ox} \neq 0, M_{oy} \neq 0$)

$$P_{\max}^H = \underbrace{\frac{N^H + G_{\phi, \text{зр}}^H}{A}}_I \pm \underbrace{\frac{M_{ox}^H}{W_y}}_{II} \pm \underbrace{\frac{M_{oy}^H}{W_x}}_{III},$$

$$W_y = \frac{b^2 \cdot l}{6}, \quad W_x = \frac{b \cdot l^2}{6},$$

где W_x, W_y – моменты сопротивления.



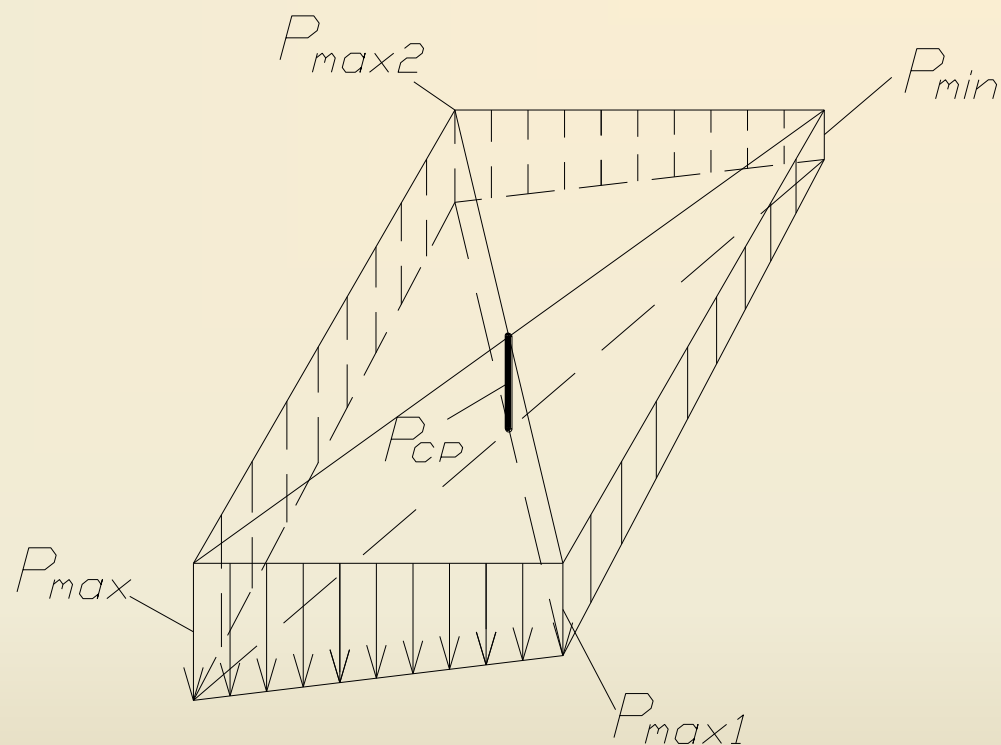
$$P_{\max}^H = I + II + III,$$

$$P_{\max1}^H = I + II - III,$$

$$P_{\max2}^H = I - II + III,$$

$$P_{\min}^H = I - II - III,$$

$$P_{cp}^H = \frac{P_{\max}^H + P_{\min}^H}{2}.$$



– для внецентренно-загруженных фундаментов

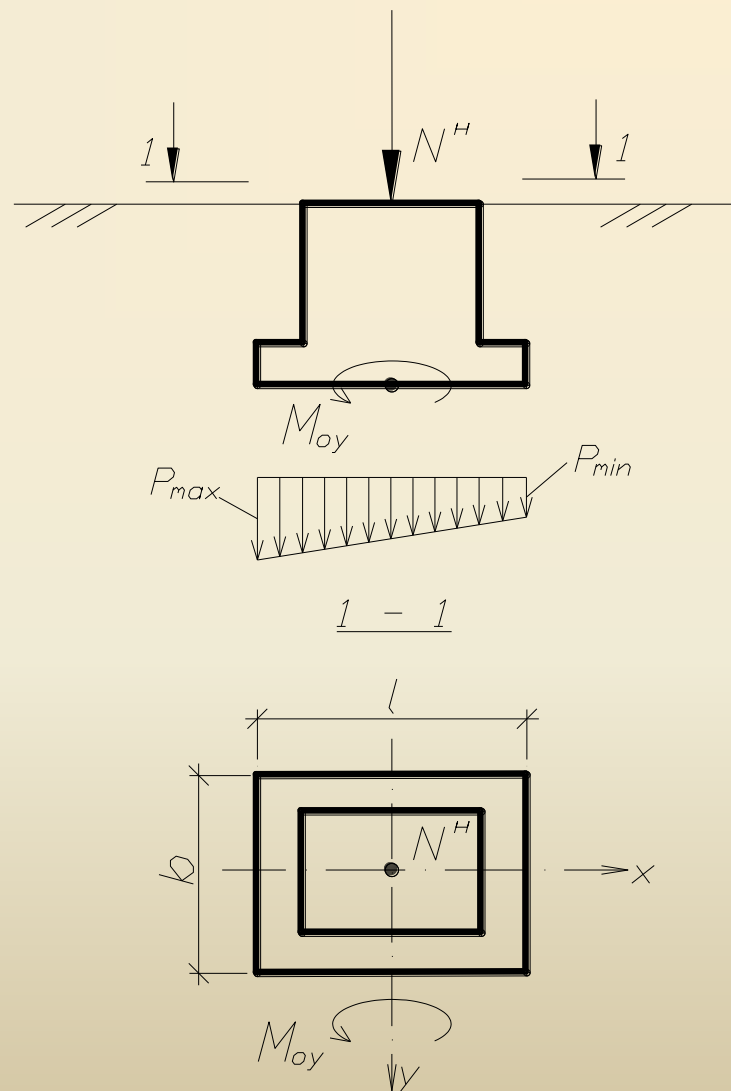
(изгибающие моменты: $M_{ox} = 0$, $M_{oy} \neq 0$)

$$P_{\max}^H = \underbrace{\frac{N^H + G_{\phi, zp}^H}{A}}_I \pm \underbrace{\frac{M_{oy}^H}{W_x}}_{II},$$

$$P_{\max}^H = I + II,$$

$$P_{\min}^H = I - II,$$

$$P_{cp}^H = I.$$



7) Проверка выполнения условий:

– для центрально-загруженных фундаментов

$$P_{cp}^n \leq R;$$

– для внецентренно-загруженных фундаментов

(изгибающие моменты $M_{ox} \neq 0$, $M_{oy} \neq 0$)

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{cp}^H \leq R, \\ P_{max}^H \leq 1,5 \cdot R, \\ P_{max1,2}^H \leq 1,2 \cdot R, \\ P_{min}^H \geq 0; \end{array} \right.$$

– для внецентренно-загруженных фундаментов

(изгибающие моменты: $M_{ox} = 0$, $M_{oy} \neq 0$)

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{cp}^H \leq R, \\ P_{max}^H \leq 1,2 \cdot R, \\ P_{min}^H \geq 0. \end{array} \right.$$

При выполнении условий (всех) выполняется расчет осадки фундамента и проверка условия $S \leq S_u$.

При невыполнении хотя бы одного из условий необходимо увеличить размеры подошвы фундамента и повторить расчет (с п. 5.). При этом следует добиваться выполнения условий $P_i \leq R$ с запасом не более 20 %.

8. Расчет осадки фундамента.

8.1. Методы определения осадок (СП 22.13330.2011)

1. Метод послойного суммирования (основной метод расчета).

2. Метод линейно-деформируемого слоя конечной толщины (для определения средней осадки основания фундамента).

Метод послойного суммирования

Метод основан на предположении, что общая осадка основания фундамента равна сумме осадок отдельных слоев, на которые разбивается грунтовое основание в пределах сжимаемой толщи.

Нижняя граница сжимаемой толщи (ВС) определяется:

$$\sigma_{zp} \leq 0,5 \cdot \sigma_{zg}$$

При этом $H_c \geq H_{min}$:

- при $b \leq 10$ м $H_{min}=b/2$;*
- при $10 < b \leq 60$ м $H_{min}=(4+0,1b)$;*
- при $b > 60$ м $H_{min}=10$ м.*

Если в пределах H_c залегает грунт с $E \geq 100$ МПа, то нижняя граница сжимаемой толщи (ВС) принимается на кровле данного слоя.

Если в пределах H_c залегает грунт с $E \leq 7$ МПа или такой слой залегает ниже H_c , то этот слой включается в сжимаемую толщу, а за нижнюю границу сжимаемой толщи принимается минимальное из двух значений, соответствующих подошве данного слоя или глубине, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp} \leq 0,2 \cdot \sigma_{zg}$$

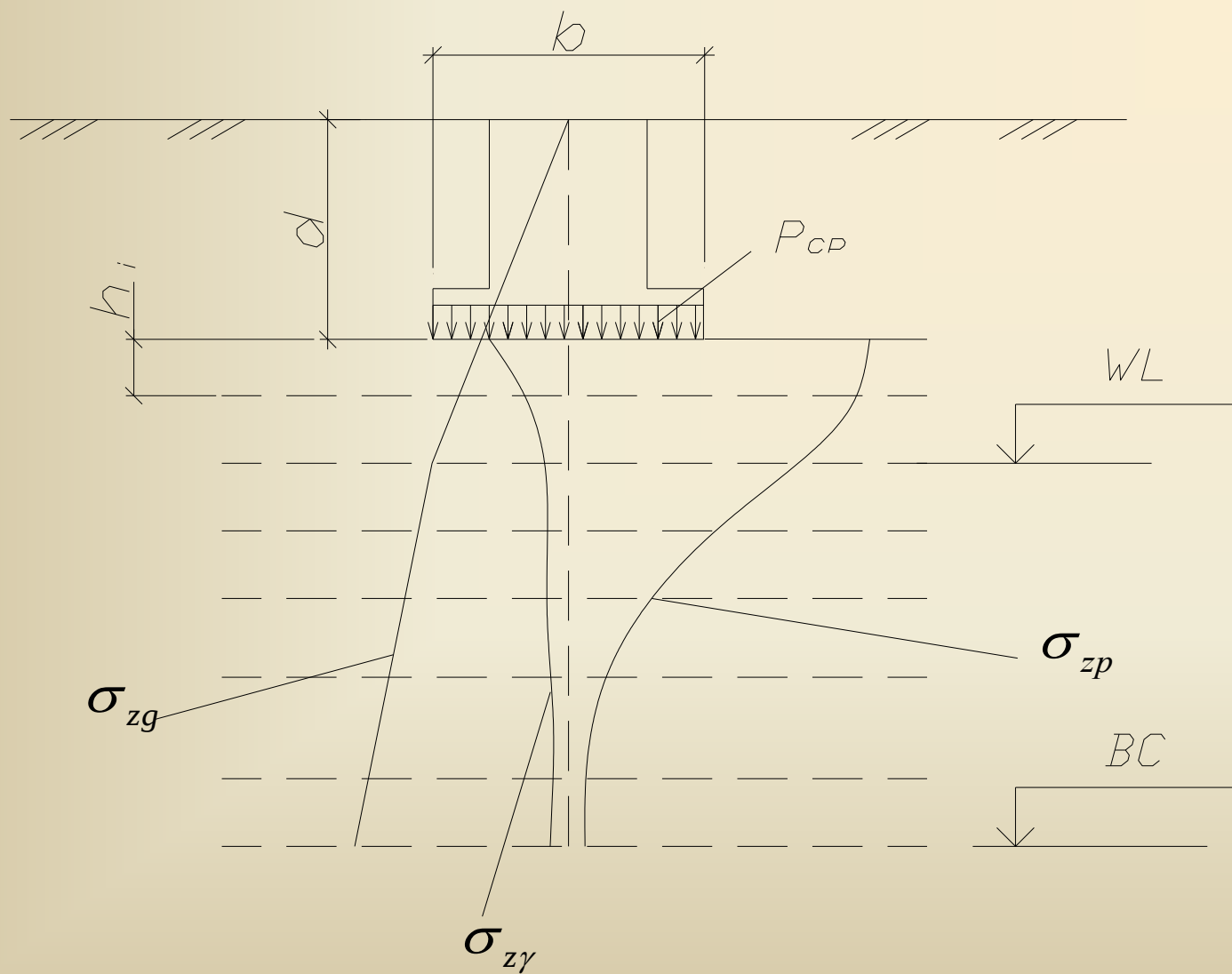
$$\Delta h_i \leq 0,4 \cdot b,$$

$$\sigma_{zg,i} = \sum_{i=1}^n (\gamma_{II,i} \cdot h_i),$$

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot P,$$

$$\sigma_{zg,0} = \gamma_{II} \cdot d,$$

$$\sigma_{z\gamma,i} = \alpha \cdot \sigma_{zg,0}.$$

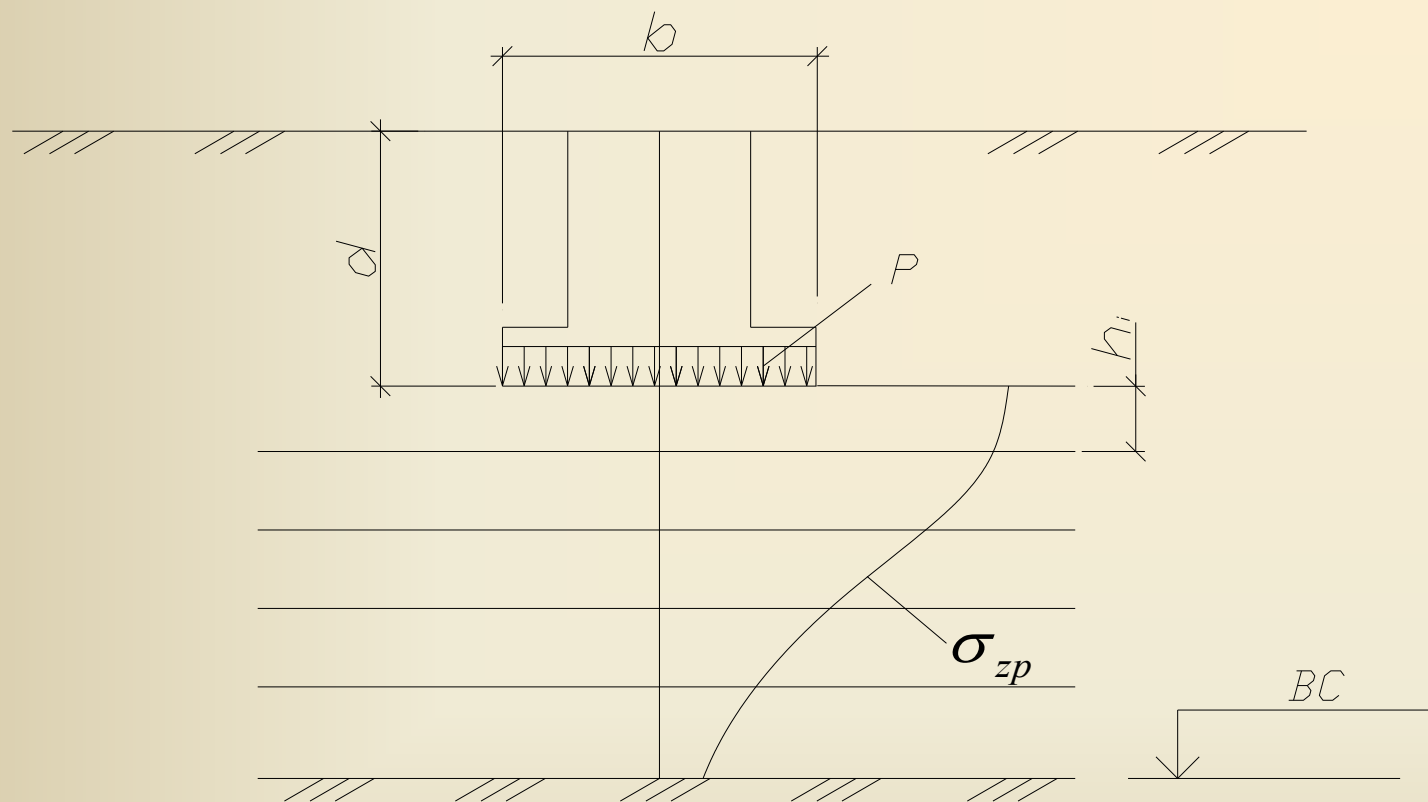


$$S = \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}$$

Метод линейно-деформируемого
слоя конечной толщины

Метод применяется для определения средней осадки фундамента, а также для предварительных расчетов деформаций оснований фундаментов сооружений II и III уровней ответственности при:

- если ширина подошвы (диаметр) фундамента ≥ 10 м и $E \geq 10$ МПа;*
- если $150 \leq P_{cp} \leq 500$ кПа;*
- $d \leq 5$ м.*



$$\overline{S} = \frac{P \cdot b \cdot k_c}{k_m} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i - k_{i-1}}{E_i}$$

k_c, k_m – коэффициенты, зависящие от толщины сжимаемого слоя, ширины подошвы фундамента, модуля деформации;

k_i, k_{i-1} – коэффициенты, зависящие от формы и соотношения размеров подошвы фундамента, относительной глубины.

8.2. Проверка выполнения условия

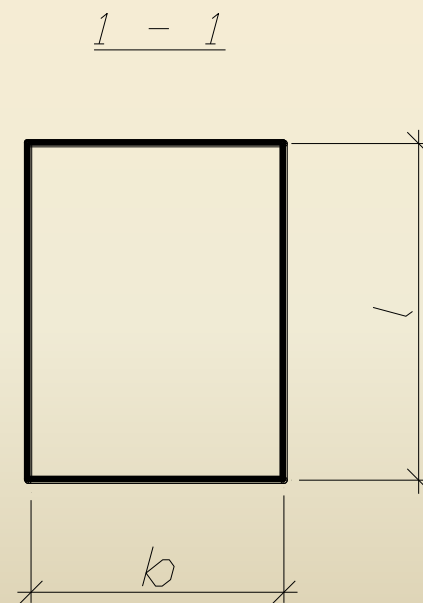
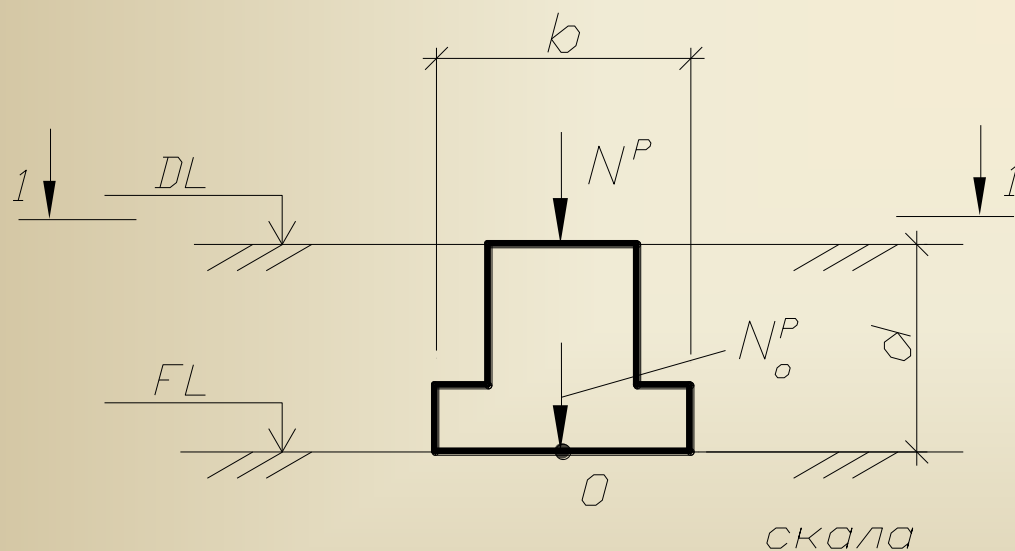
$$S \leq S_u$$

При невыполнении условия необходимо увеличить размеры подошвы фундамента и расчет повторить (до выполнения условия $S \leq S_u$), либо: улучшить строительные свойства грунта, применить другой тип фундаментов и др.

Определение размеров подошвы ФМЗ по I ПС

(по несущей способности)

Грунт в основании фундамента, например, скала.



Последовательность расчета:

- 1) определение глубины заложения подошвы фундамента (d), как было показано ранее;***
- 2) определение минимально возможных размеров подошвы фундамента (конструктивно; b_{min} , l_{min}), как было показано ранее;***

3) проверка выполнения условия

$$F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_u,$$

где F – расчетная нагрузка на основание (в точке O);

$$F = N_0^p = N^p + G_{\phi, zp}^p,$$

N^p – расчетная нагрузка на основание;

$G^p_{\phi, \text{гр}}$ – расчетное значение веса фундамента и грунтях на его уступах;

$$G^p_{\phi, \text{гр}} = b \cdot l \cdot d \cdot \gamma_{I, \text{mt}},$$

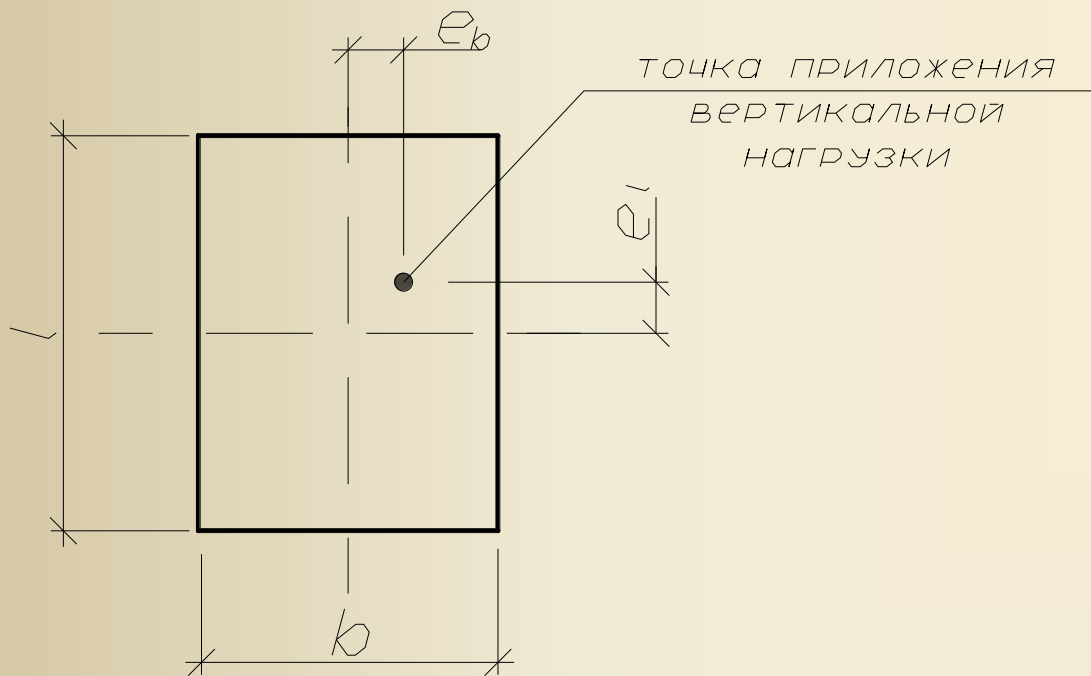
$\gamma_{I, \text{mt}}$ – осредненный удельный вес материала фундамента и грунтя на его уступах (с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,4$ для грунтя и $\gamma_f = 1,2$ для фундамента);

F_u – сила предельного сопротивления основания;

$$F_u = N_u = R_c \cdot b' \cdot l',$$

R_c – расчетное сопротивление грунта одноос-
ному сжатию под водой;

b' и l' – приведенные размеры подошвы фундамен-
та;



$$b' = b - 2 \cdot e_b,$$

$$l' = l - 2 \cdot e_l,$$

$$e = \frac{M}{N},$$

γ_c – коэффициент условия работы грунтового основания ($0,8 \div 1,0$);

γ_n – коэффициент надежности ($1,1 \div 1,2$).

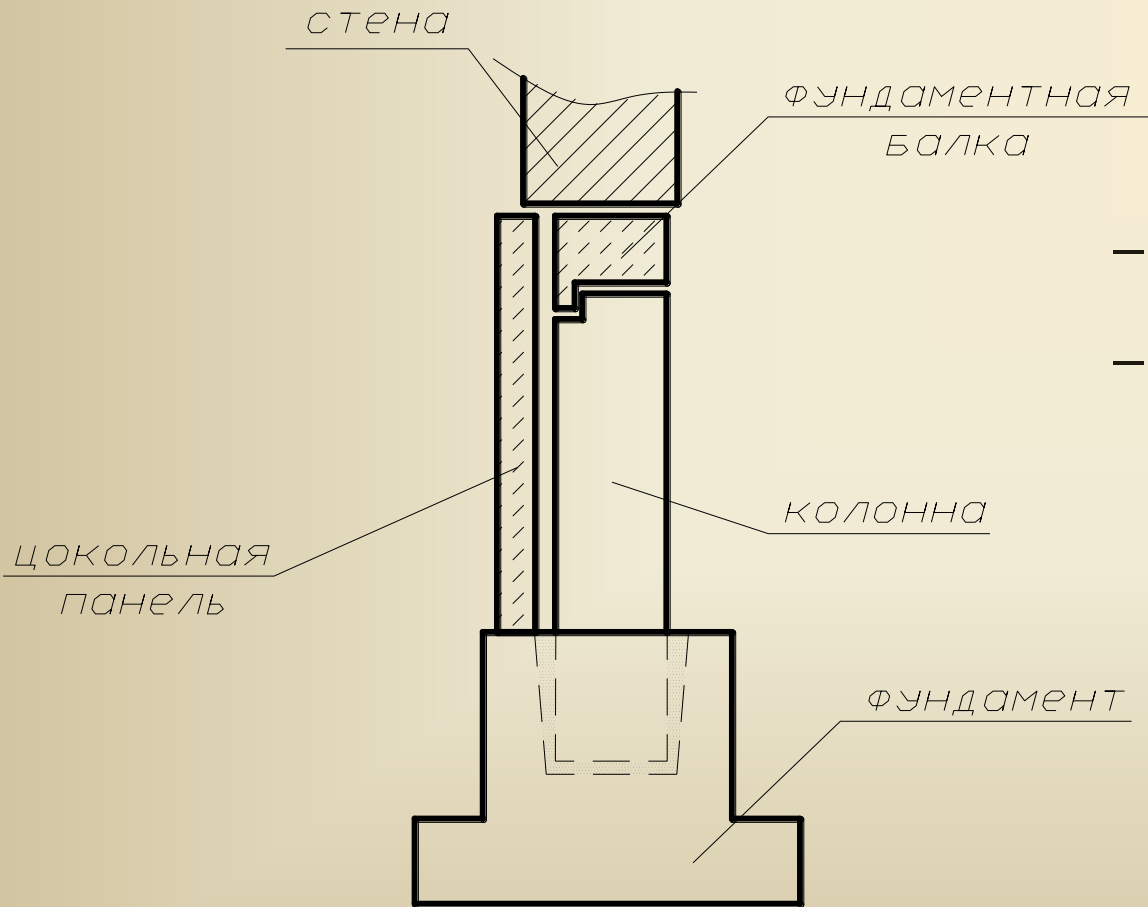
При невыполнении условия (п.3) размеры подошвы фундамента увеличиваются.

При выполнении данного условия более, чем на 20 %, размеры подошвы фундамента могут уменьшаться (при наличии такой возможности).

**Современные
(рациональные)
конструкции
фундаментов мелкого заложения**

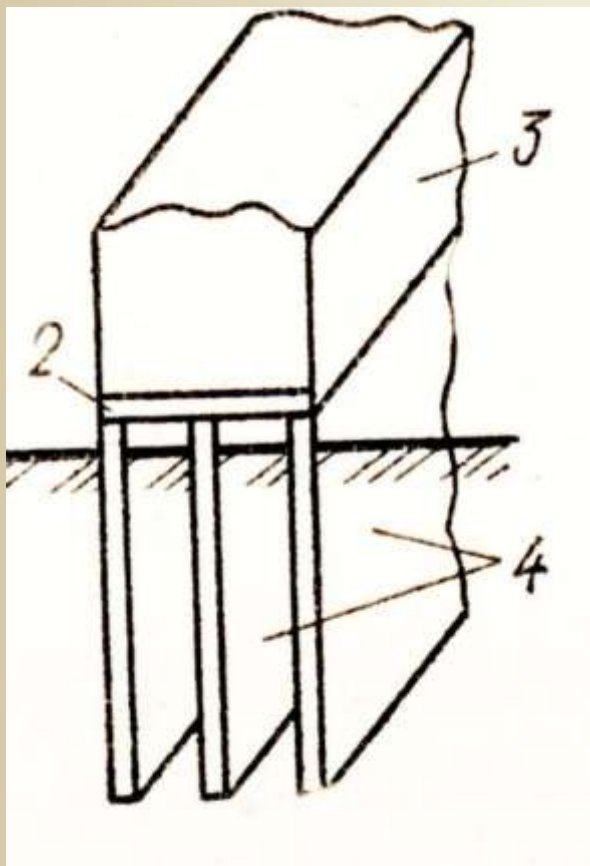
1. Столбчатые фундаменты под стену

(альтернатива ленточным)



- экономия материала;***
- технологичность выполнения (монтаж при отсутствии «мокрых» процессов).***

2. Ленточные щелевые фундаменты



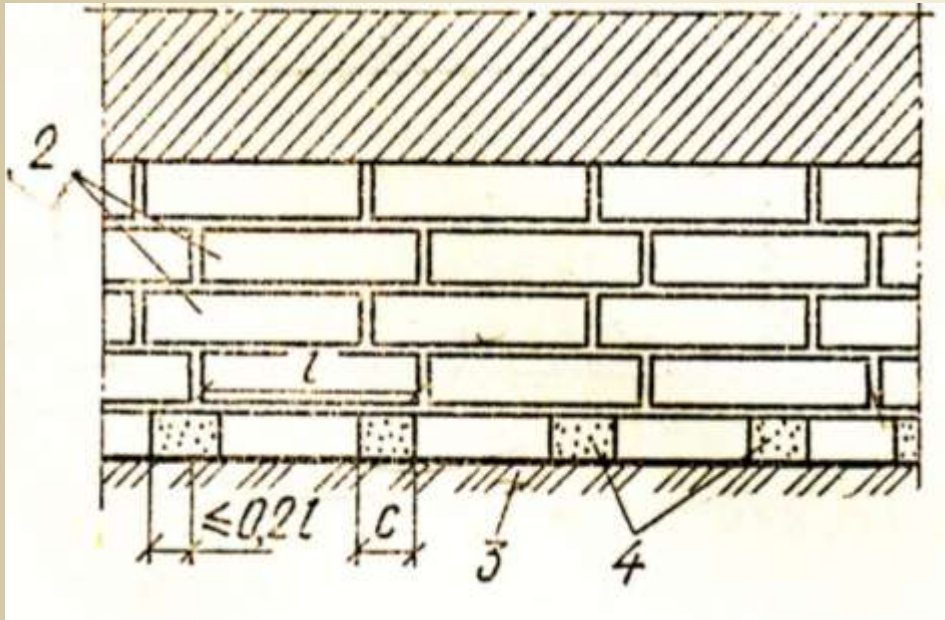
2 – распределительная плита;

3 – стена;

4 – бетонные пластины.

*– экономия материала за
счет включения в работу
грунта между пласти-
нами.*

3. Прерывистые ленточные фундаменты



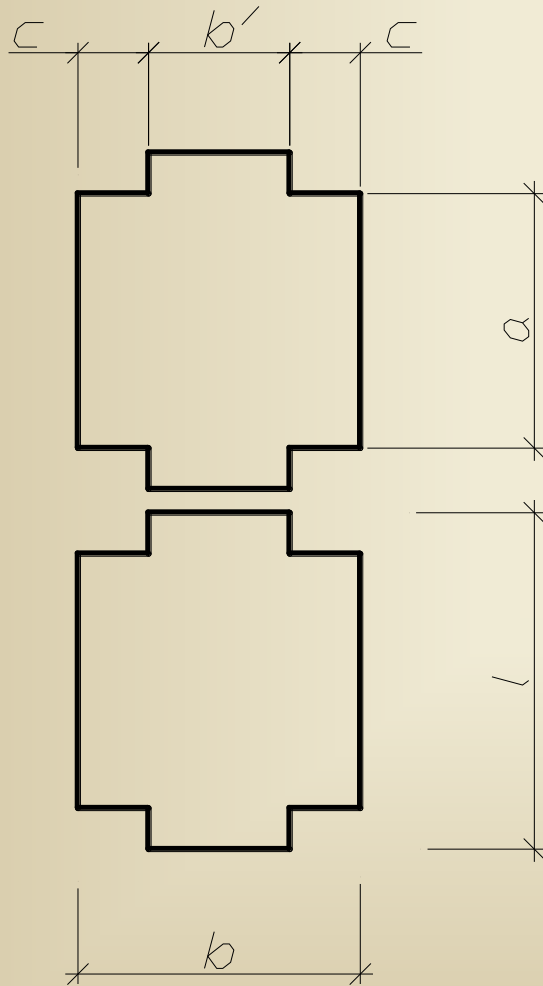
2 – стеновые блоки;

*3 – фундаментные
подушки;*

*4 – промежутки между
плитами, заполненные
грунтом.*

*– экономия материала за счет включения в работу
грунта между блоками.*

4. Фундаменты с угловыми вырезами



$$l = 2380 \text{ мм};$$

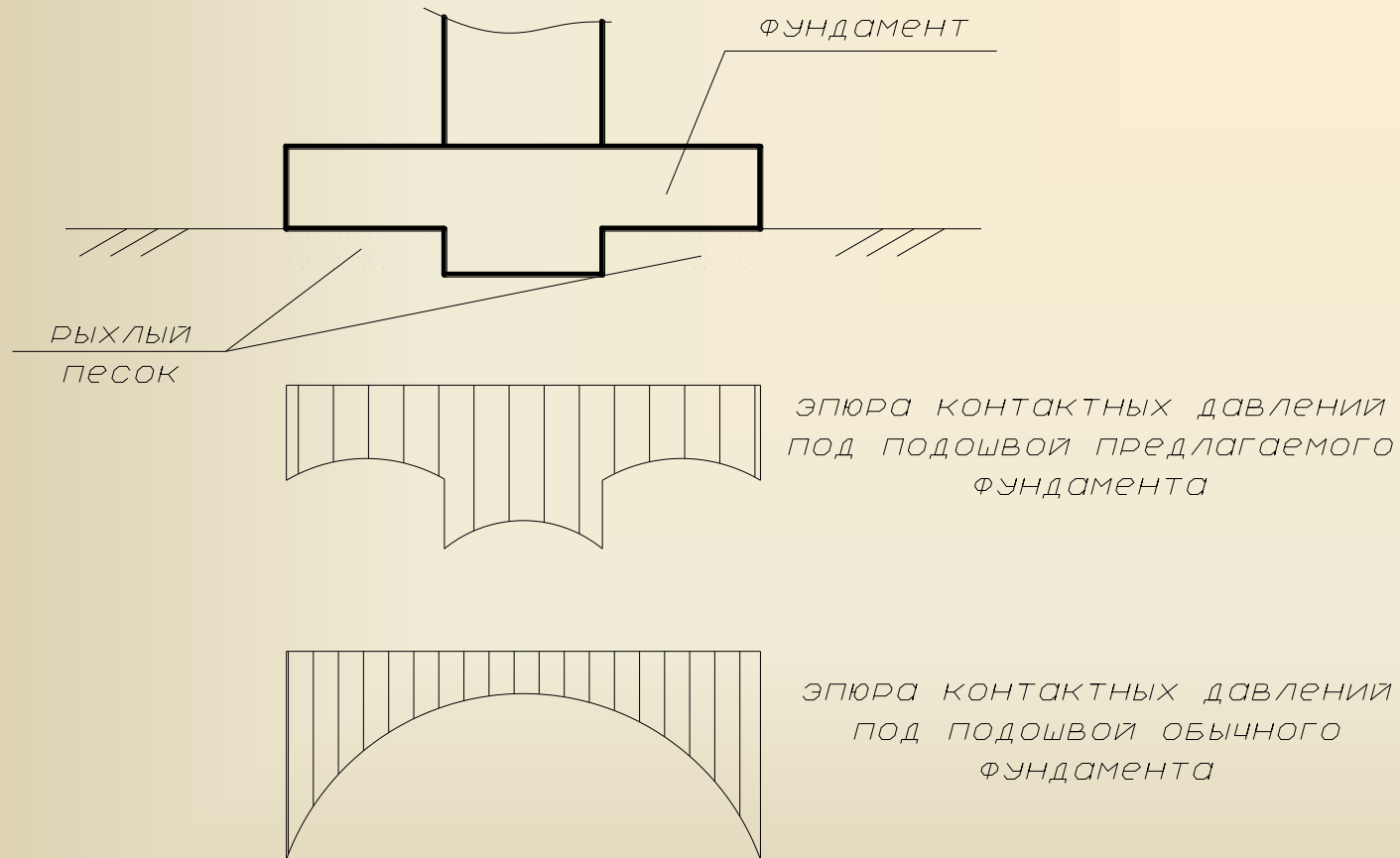
$$b = 2000 \text{ мм}, 2400 \text{ мм}, \\ 2800 \text{ мм}, 3200 \text{ мм};$$

$$c = 500 \text{ мм}, 700 \text{ мм};$$

$$a = 1800 \text{ мм}.$$

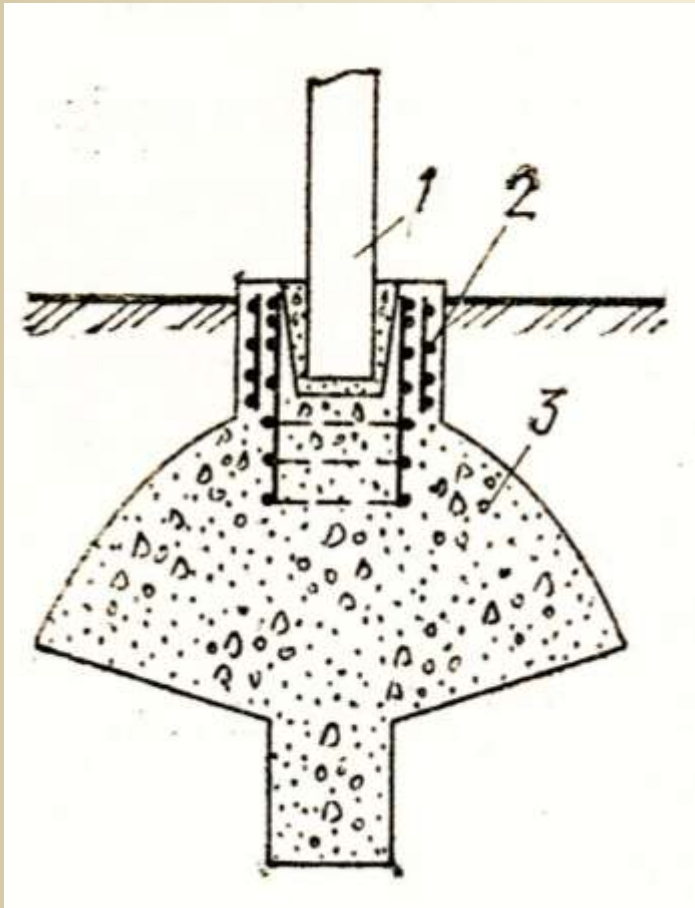
- экономия материала за счет включения в работу грунта между элементами.

5. *Фундаменты на промежуточной подготовке*



– *уменьшение давлений (следовательно, и размеров) под подошвой фундамента.*

6. Буробетонный фундамент



1 – колонна;

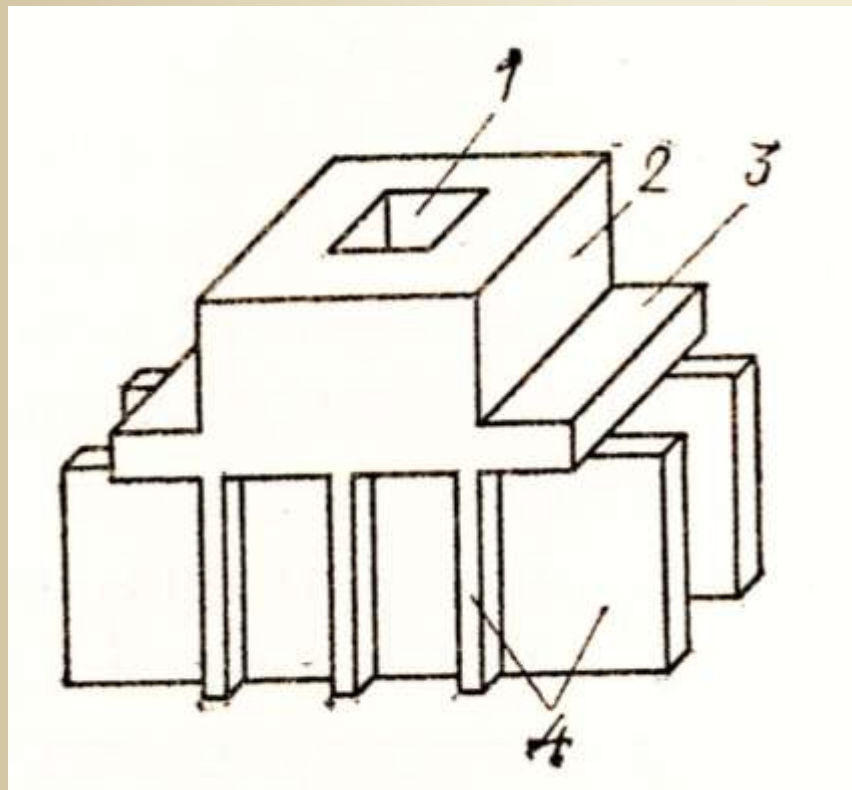
2 – арматурный каркас;

3 – фундамент.

– изготовление «на месте»;

– большая несущая способность.

7. Щелевой столбчатый фундамент



1 – стакан;

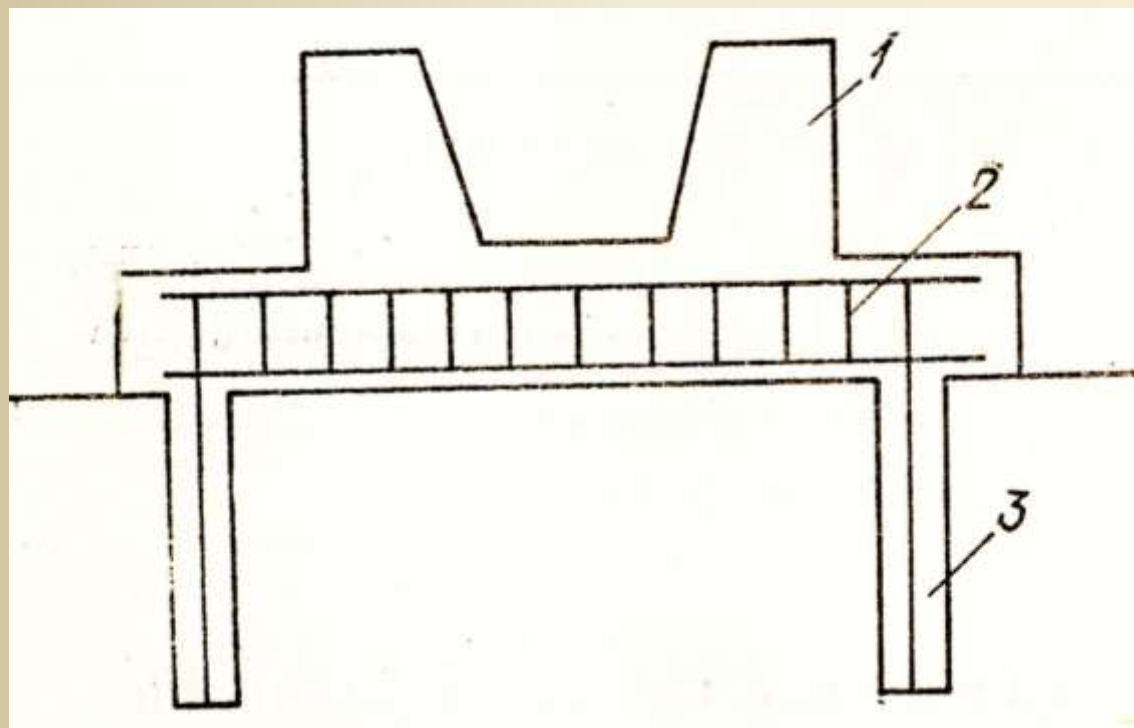
2 – подколонник;

3 – плитная часть;

4 – бетонные пластины.

*– экономия материала за счет включения в работу
грунта между пластинами.*

8. *Фундамент с анкерами*



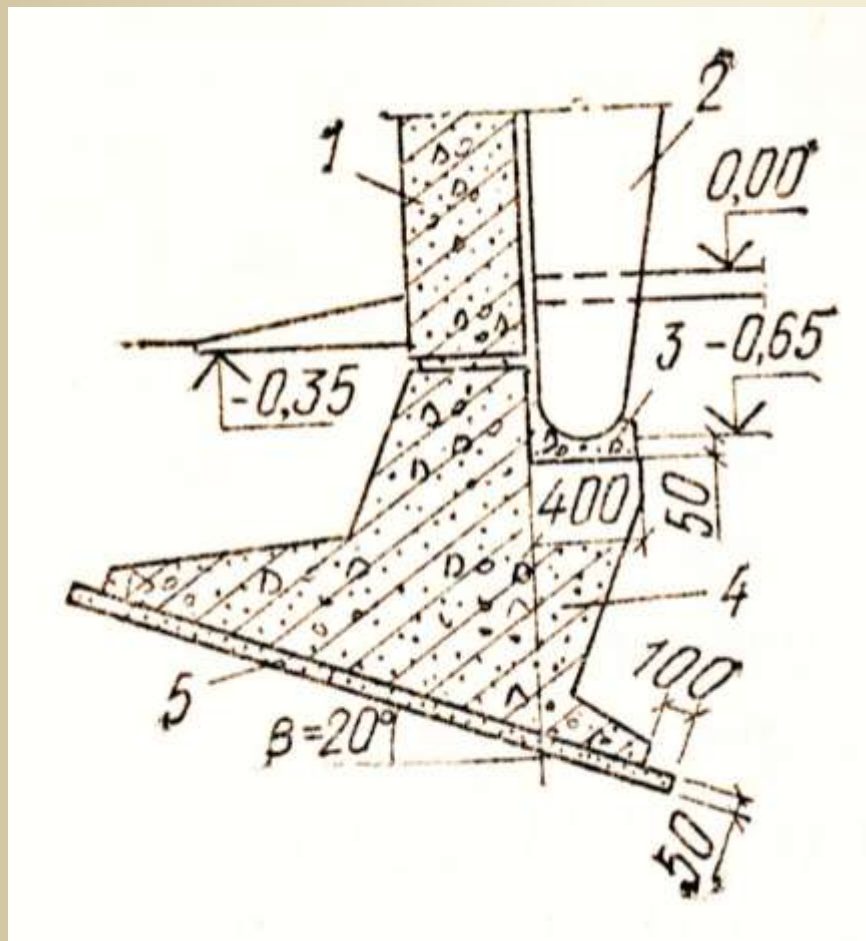
1 – фундамент;

2 – арматурный каркас;

3 – анкер.

– возможность воспринимать большие моменты.

9. *Фундамент с наклонной подошвой*



1 – цокольная панель;

2 – полурама;

3 – подбетонка;

4 – фундамент;

5 – подготовка.

– рациональное использование несущей способности
грунтового основания (следовательно, уменьшение
размеров подошвы фундамента).

10. Фундамент в вытрамбованных котлованах

Рекомендуется применять в слабых, в том числе просадочных, грунтах.

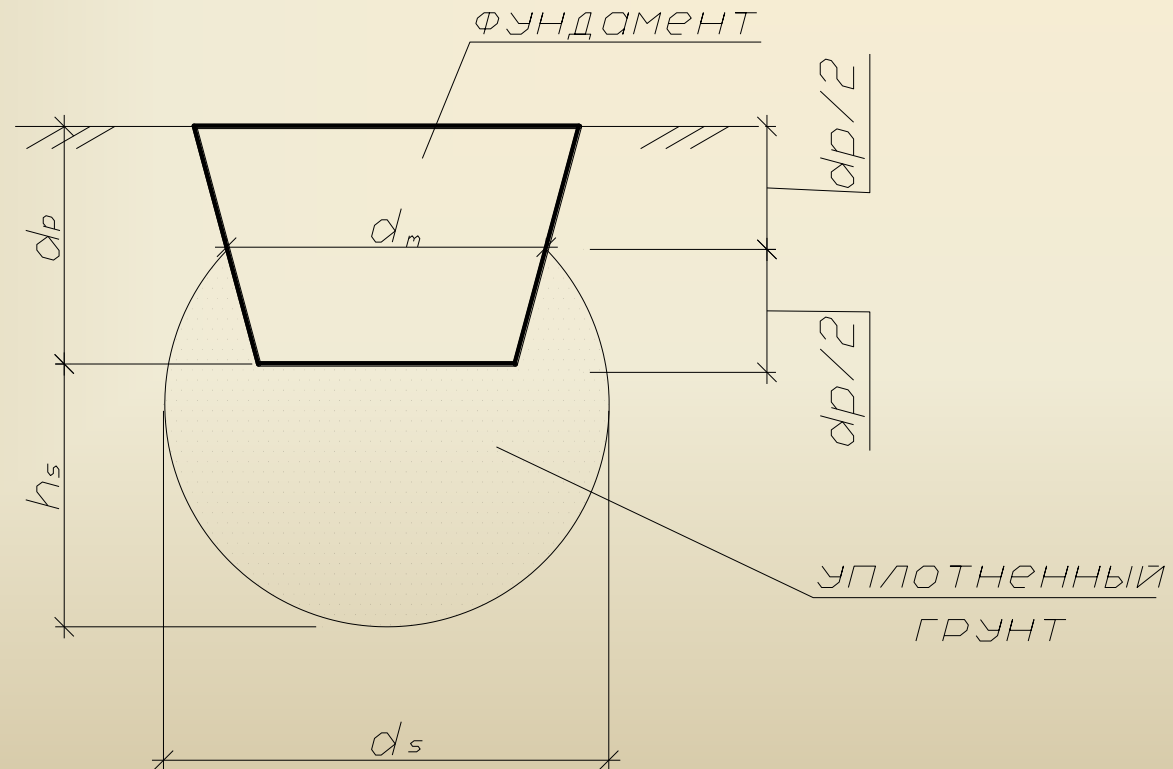
Достоинства:

- уплотнение грунта;*
- устранение просадочных свойств;*
- уменьшение объема земляных работ;*
- отсутствие опалубки.*

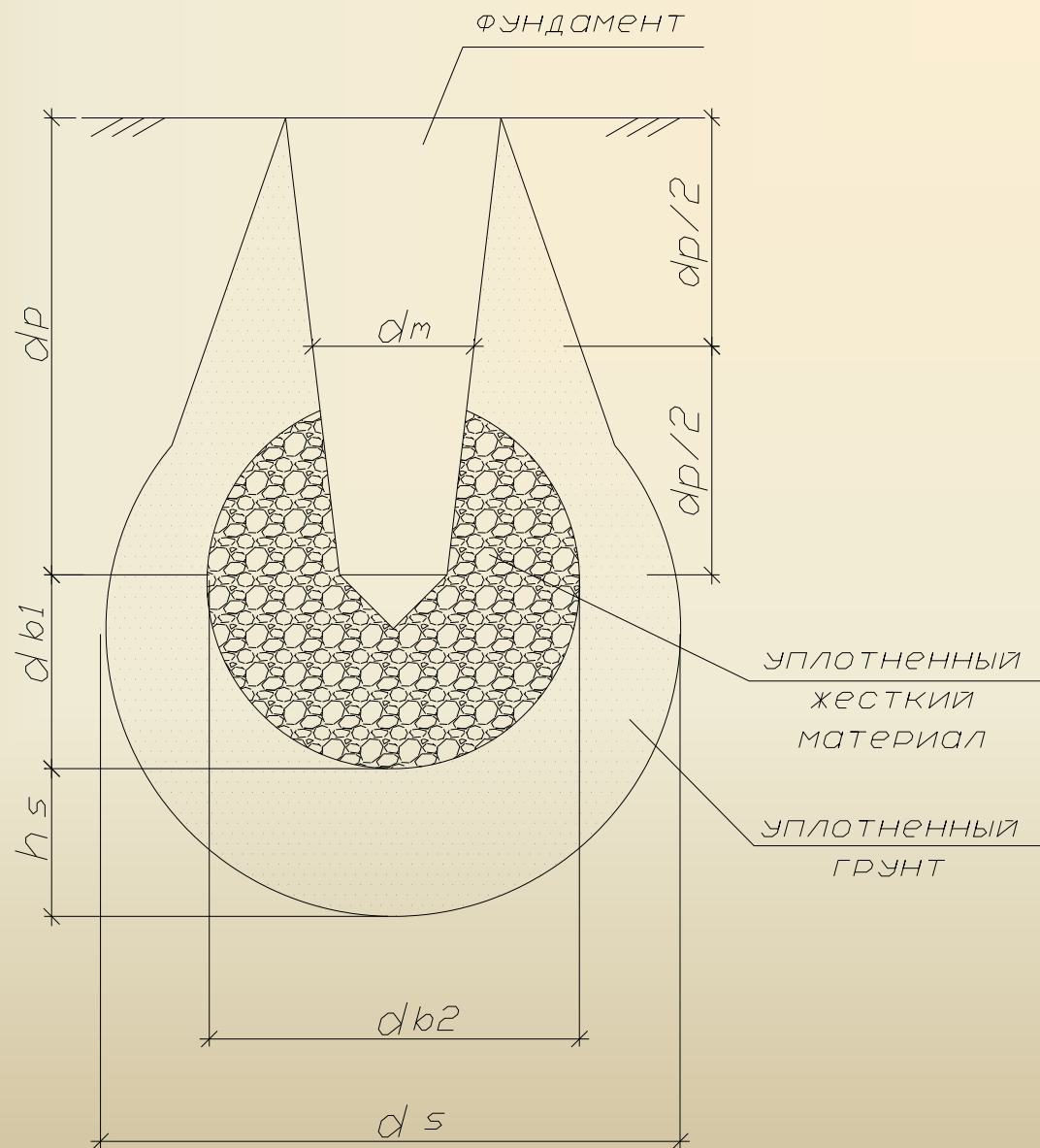
Фундаменты в вытрамбованных котлованах различают:

1) по глубине заложения:

– мелкого заложения ($d_p/d_m \leq 1,5$)

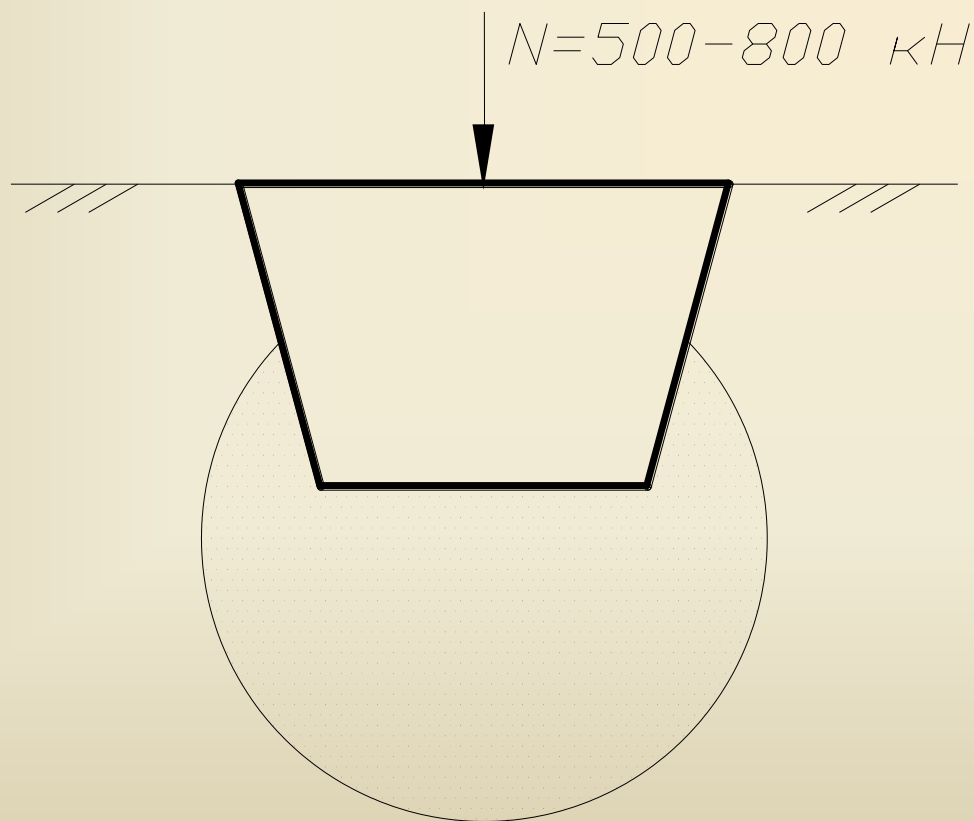


– удлинённые ($d_p/d_m \geq 1,5$)

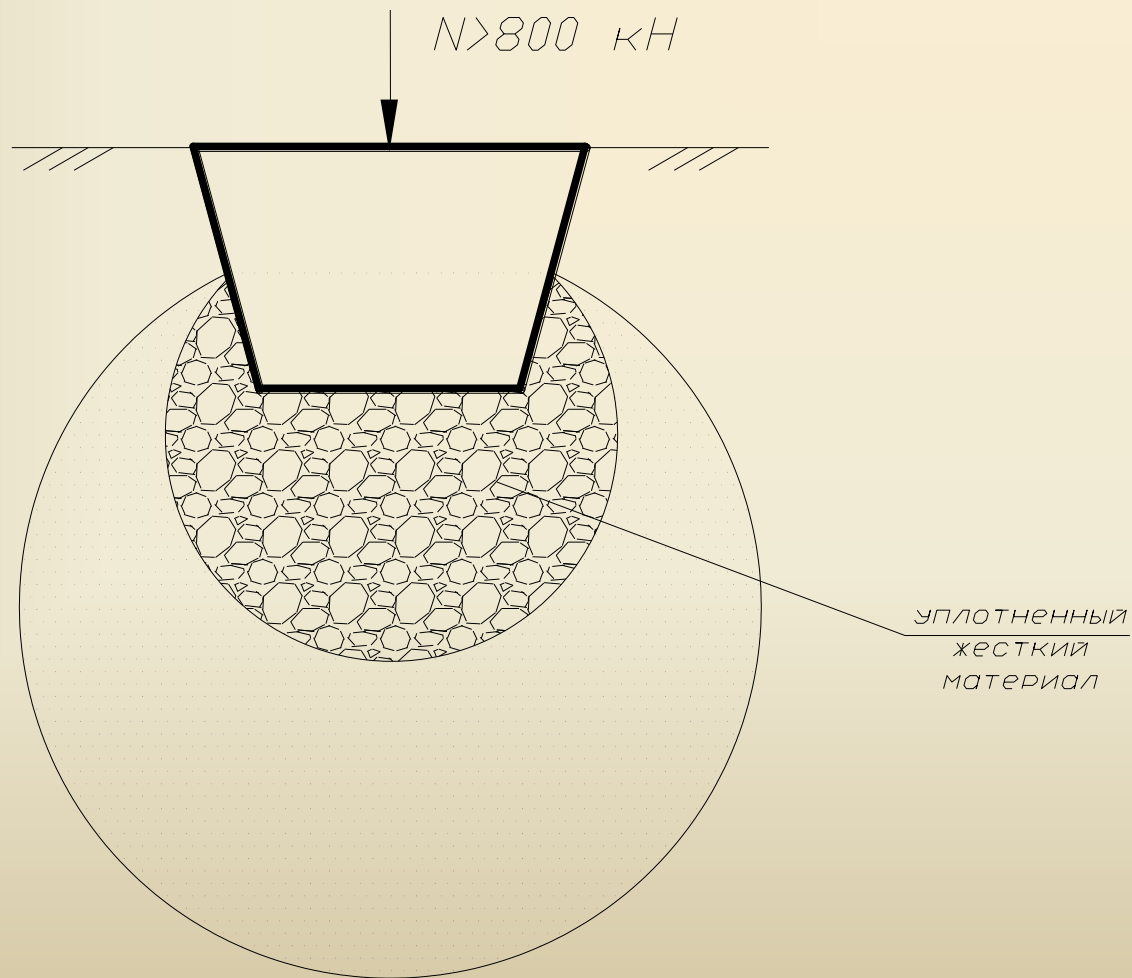


2) по способу устройства:

– без уширения основания



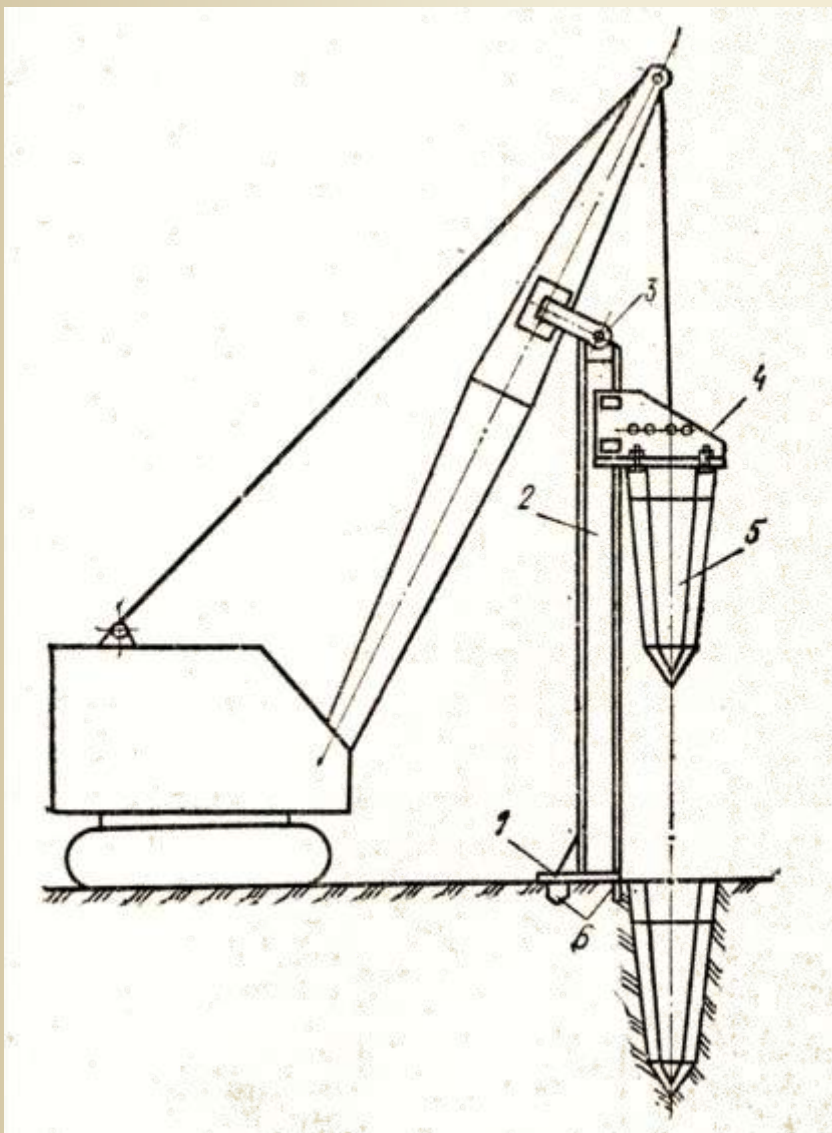
– с уширением основания (с жестким материа-
лом)



Технология возведения

Устраиваются с помощью трамбовки, имеющей форму фундамента, сбрасыванием с высоты 4 – 8 м. Глубина вытрамбовывания – от 0,6 до 3,0 м.

В вытрамбованном котловане в распор бетонируется фундамент (при необходимости с армированием) или устанавливается сборный фундамент.



1 – опорная плита;

2 – направляющая стойка;

3 – шарнир;

4 – сбросная каретка;

5 – трамбовка;

6 – зубья.

*Величина погружения от одного удара (сбрасывания),
S, см*

при $A < 1 \text{ м}^2$ — $S = 10 \text{ см};$

при $A = 1 \div 2 \text{ м}^2$ — $S = 8 \text{ см};$

при $A = 2 \div 3 \text{ м}^2$ — $S = 6 \text{ см};$

для фундаментов с заостренным концом

— $S = 15 \text{ см}.$

$$n = \frac{d_p}{\eta_w \cdot S},$$

где n – число ударов;

η_w – коэффициент, равный $0,7 \div 1,0$;

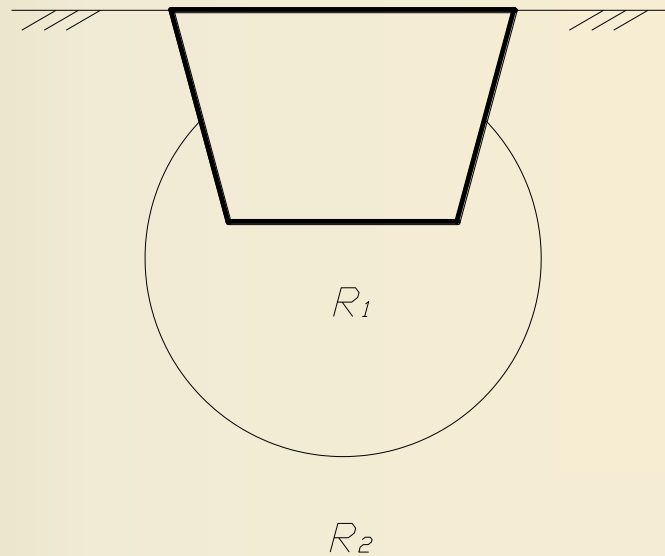
d_p – глубина заложения подошвы фундамента;

S – величина погружения от одного удара.

Основы расчета фундаментов
в вытрамбованных котлованах

Для мелкого заложения расчеты выполняются аналогичные обычным ФМЗ с некоторыми особенностями.

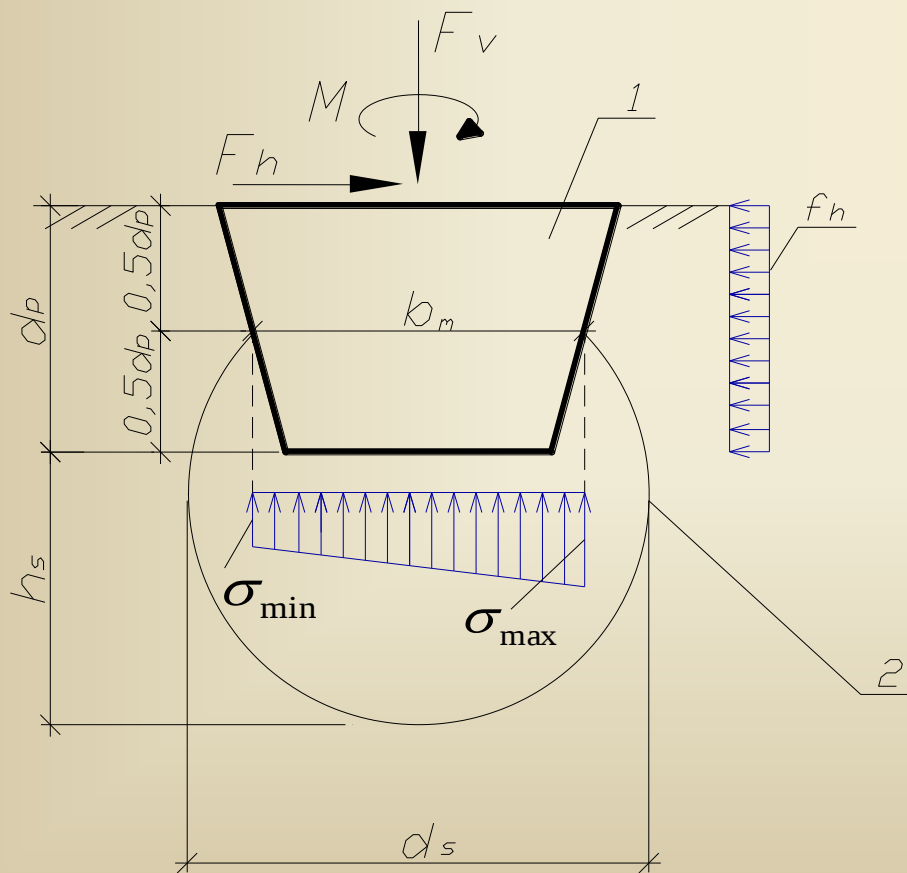
а) расчетное сопротивление грунта основания R принимается минимальным из двух определений.



R_1 – расчетное сопротивление основания, полученное с использованием прочностных характеристик уплотненного грунта в водонасыщенном состоянии;

R_2 – расчетное сопротивление для грунтового основания природного сложения, подстилающего уплотненную зону.

б) краевые давления определяются с учетом реактивного отпора грунта (при наличии изгибающих моментов для отдельно стоящих фундаментов)



1 – фундамент;

***2 – граница уплотнительно
зоны грунта.***

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{F_v + G_{\phi, \text{зр}}}{A_m} \pm \frac{\sum M - 0,5 \cdot f_h \cdot b_m \cdot d_p^2}{W},$$

$$A_m = b_m^2,$$

$$f_h = a + b \cdot \sigma_m,$$

$$P = \frac{F_v + 0,5 \cdot G_{\phi, \text{зр}}}{A_m},$$

где F_v — вертикальная нагрузка;

$G_{\phi, \text{зр}}$ — собственный вес фундамента (если есть,
то и грунта);

A_m – площадь фундамента на глубине $0,5d_p$;

f_h – реактивный отпор грунта;

W – момент сопротивления сечения на глубине $0,5d_p$;

M – суммарный момент всех сил относительно подошвы фундамента;

a, b_p – коэффициенты, $a = 60$ кПа, $b = 0,4$;

σ_m – среднее вертикальное давление в сечении фундамента на глубине $0,5d_m$

$$(\sigma_m = \frac{\sigma_{\min} + \sigma_{\max}}{2}).$$

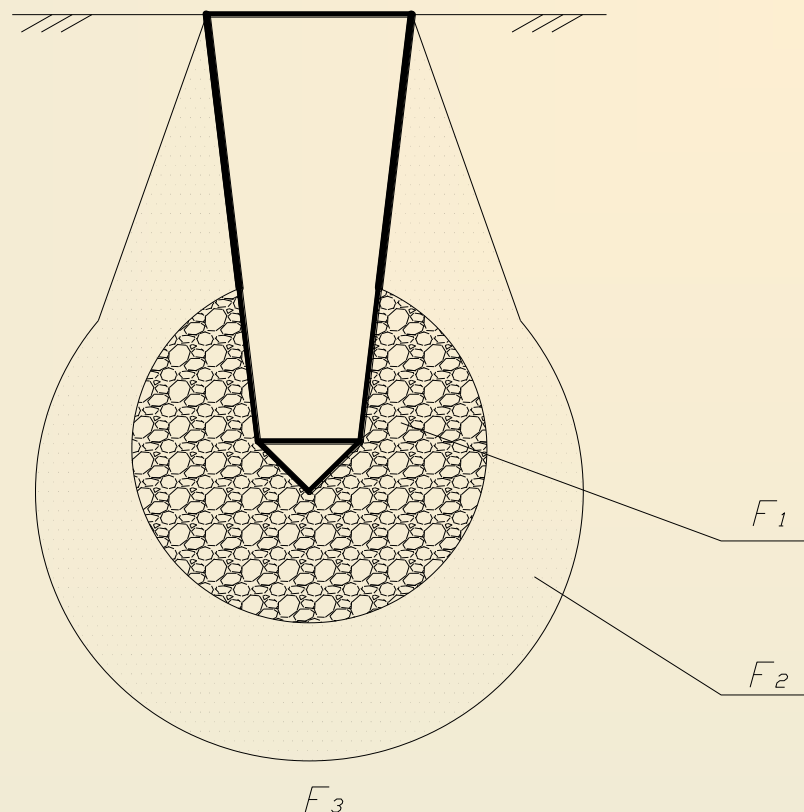
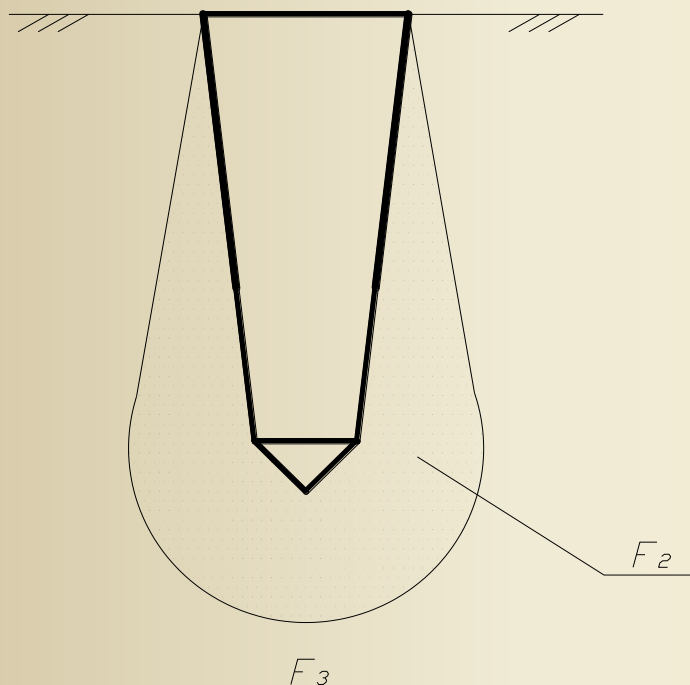
Фундаменты в вытрамбованных котлованах удлиненной формы рассчитываются по несущей способности:

$$N \leq \frac{F_f}{\gamma_n},$$

где N — вертикальная расчетная нагрузка на фундамент;

F_f — несущая способность, соответствующая расчетному сопротивлению грунта основания;

γ_n — коэффициент надежности (1,4 или 1,0).



F_1 – несущая способность по жесткому материалу, втрамбованному в дно котлована;

F_2 – несущая способность по уплотненному грунту в пределах зоны уплотнения;

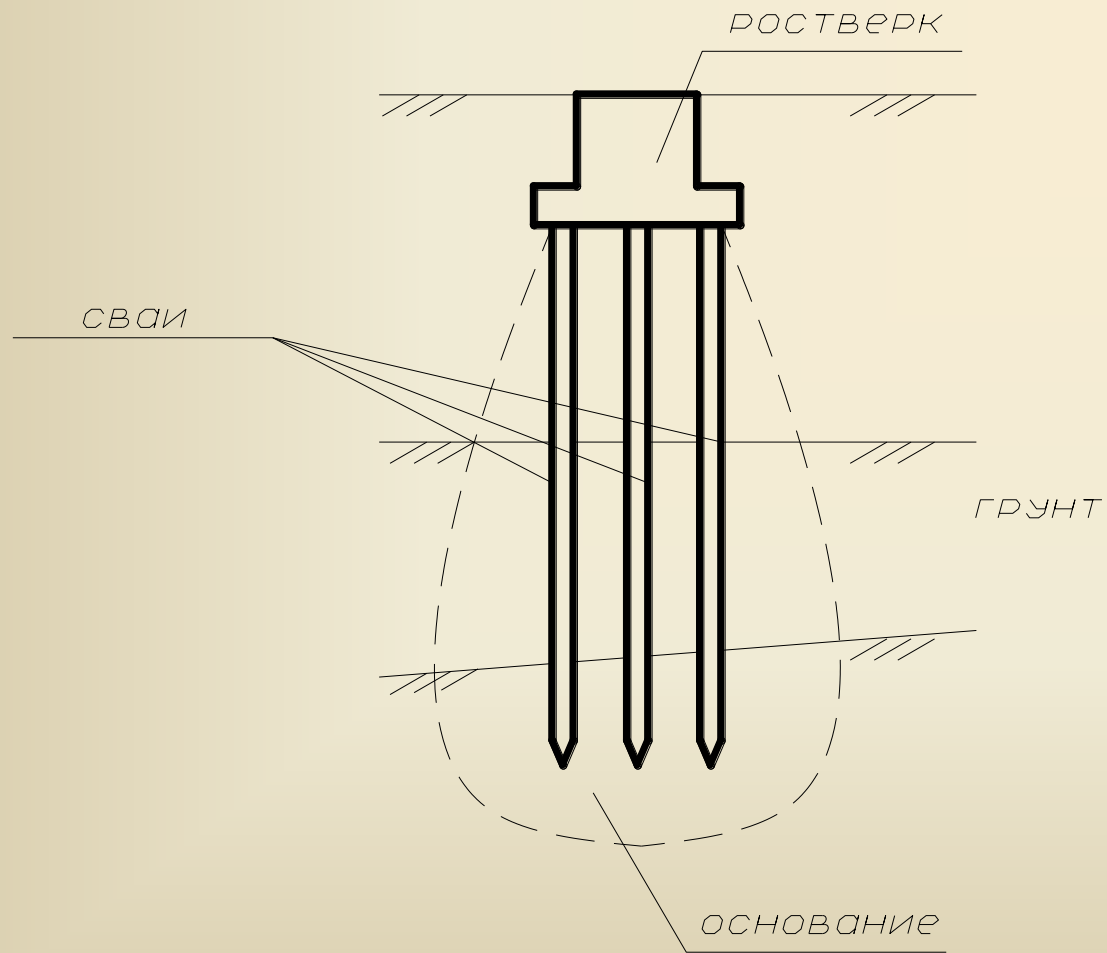
F_3 – несущая способность по грунту природной влажности и плотности, подстилающему уплотненную зону.

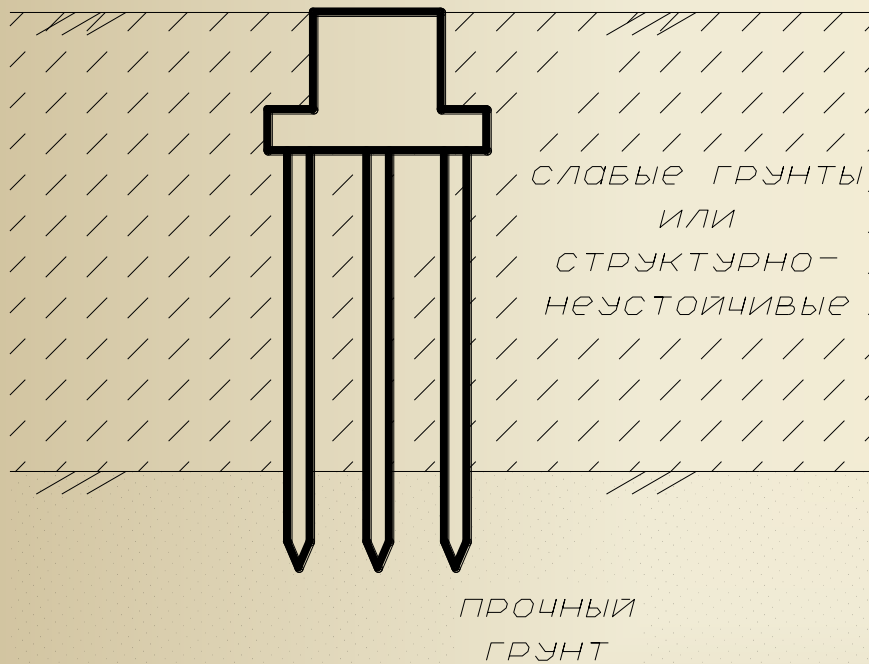
Осадки основания определяются обычным способом по схеме двухслойного основания из уплотненного грунта (мощностью $1,5 b_m$) и подстилающего слоя грунта природного сложения.

Свайные фундаменты

Свая – это вертикальный или наклонный стержень, погруженный в грунт и служащий для передачи нагрузки от здания или сооружения на грунт.

Ростверк – это конструкция, служащая для передачи нагрузки от здания или сооружения на сваи.





Основное назначение свай
– это прорезка слабых грунтов верхней части инженерно-геологического разреза и передача нагрузки на более прочные слои грунта.

Длина сваи зависит от:

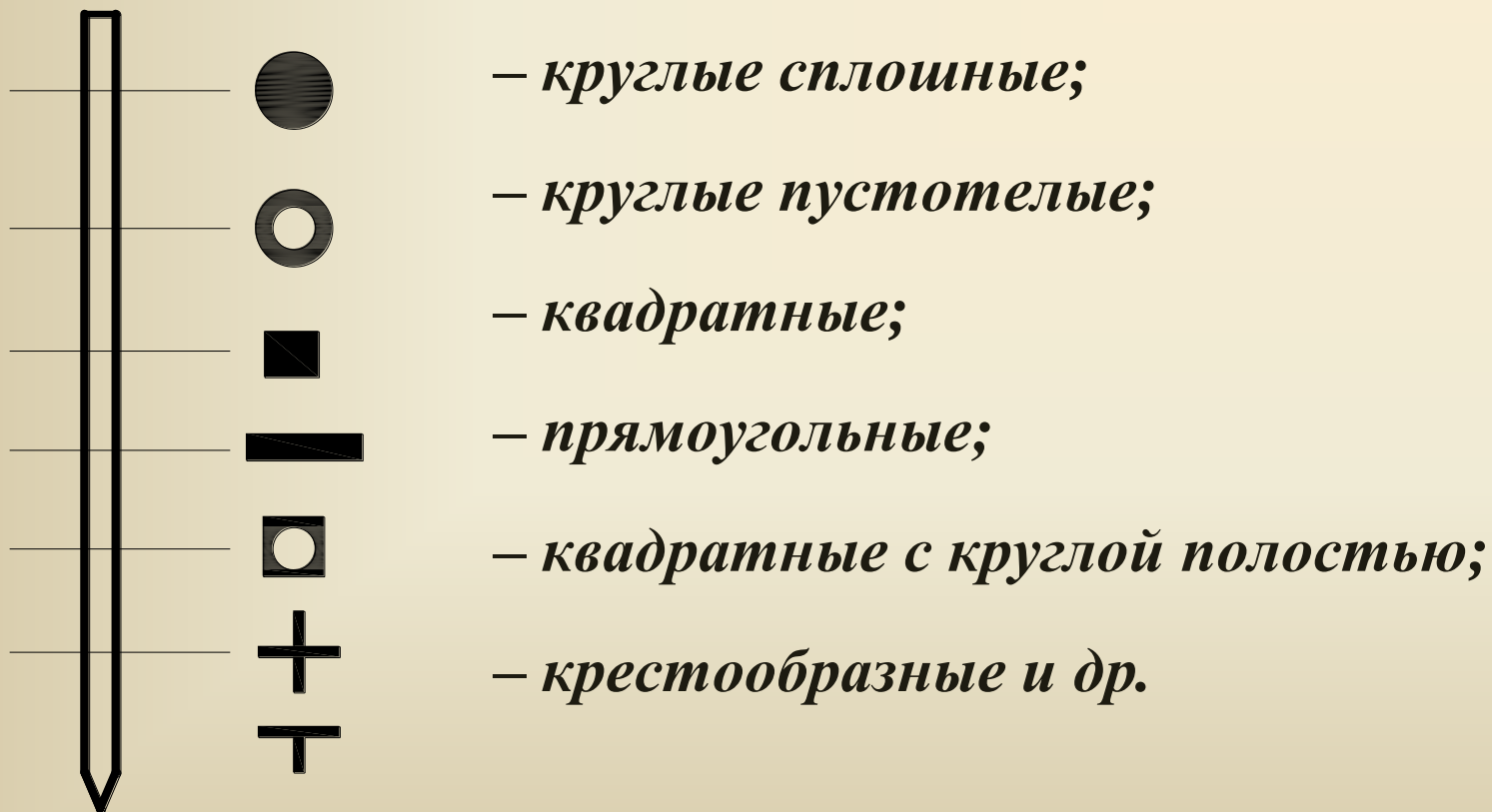
- инженерно – геологических условий строительной площадки (глубина заложения несущего пласта грунта);*
- нагрузок, передаваемых на сваю от здания или сооружения;*
- возможностей строительной индустрии.*

Классификация свай

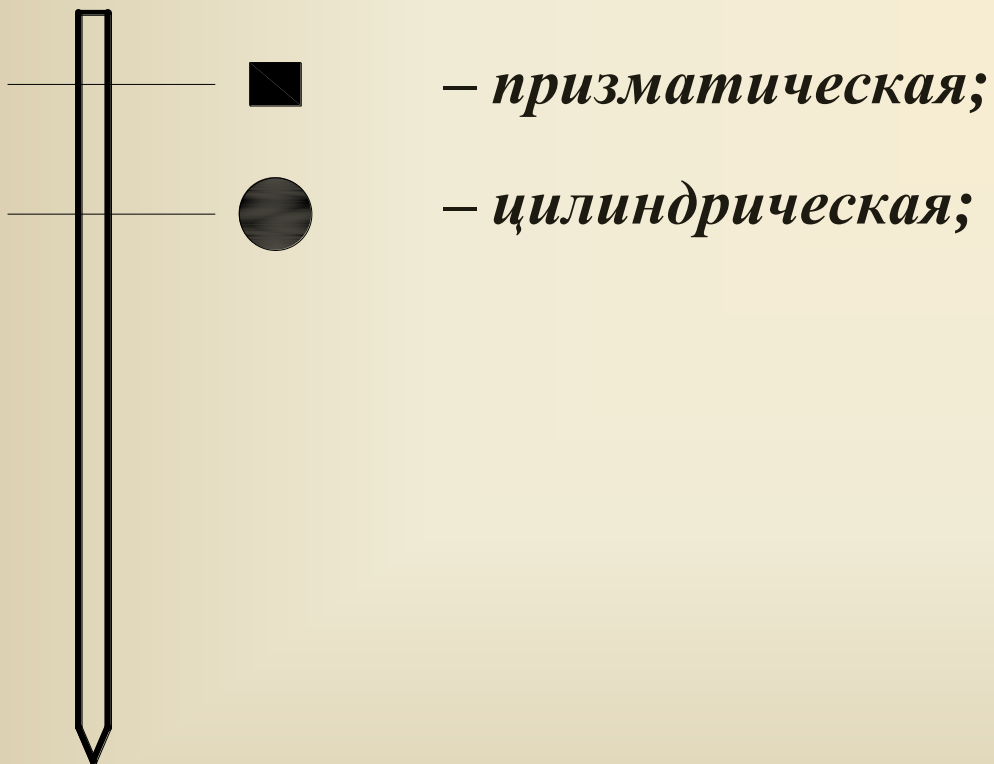
1. По материалу:

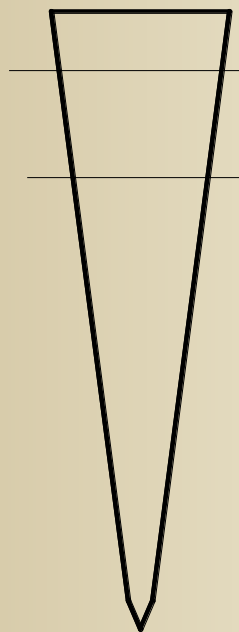
- железобетонные;*
- металлические;*
- деревянные;*
- комбинированные.*

2. По форме поперечного сечения:



3. По форме продольного сечения (профиль):





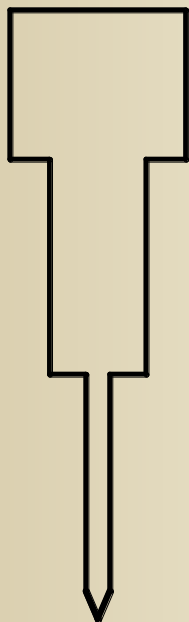
– *пирамидальная;*



– *конусоидальная;*

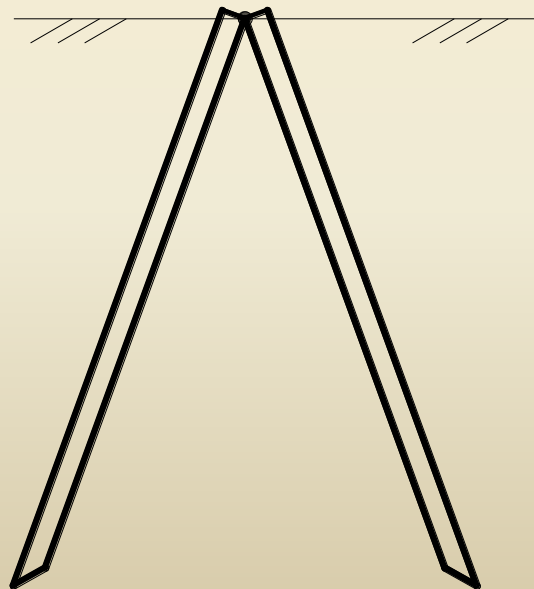


– *ромбовидная;*



– *многопрофильная;*

– *продольнорасчлененная.*



4) По способу погружения в грунт:

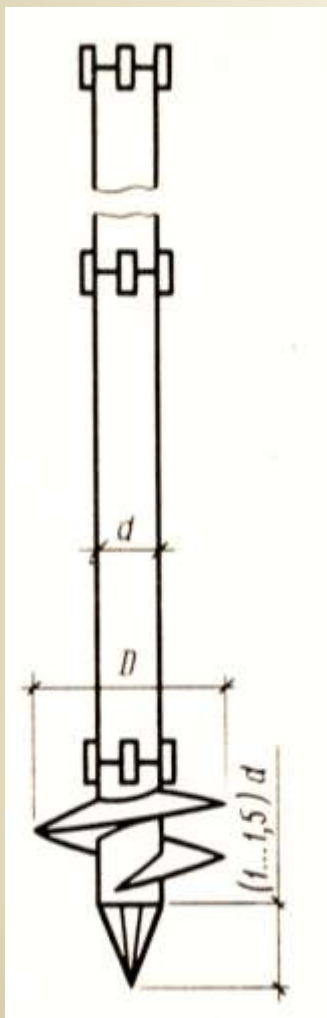
– забивные

(погружаемые в грунт посредством энергии удара дизель-молота, гидро-молота, паровоздушного молота и ковров);

– вдавливаемые

(погружаемые в грунт посредством приложения к верхнему концу сваи нагрузки с помощью гидравлических домкратов или полиспастов);

– *завинчиваемые (металлические винтовые сваи);*



d – диаметр ствола;

D – диаметр лопасти;

L – длина сваи;

$$d = 0,3 \div 0,45 D;$$

$$D = 0,4 \div 1,2 \text{ м};$$

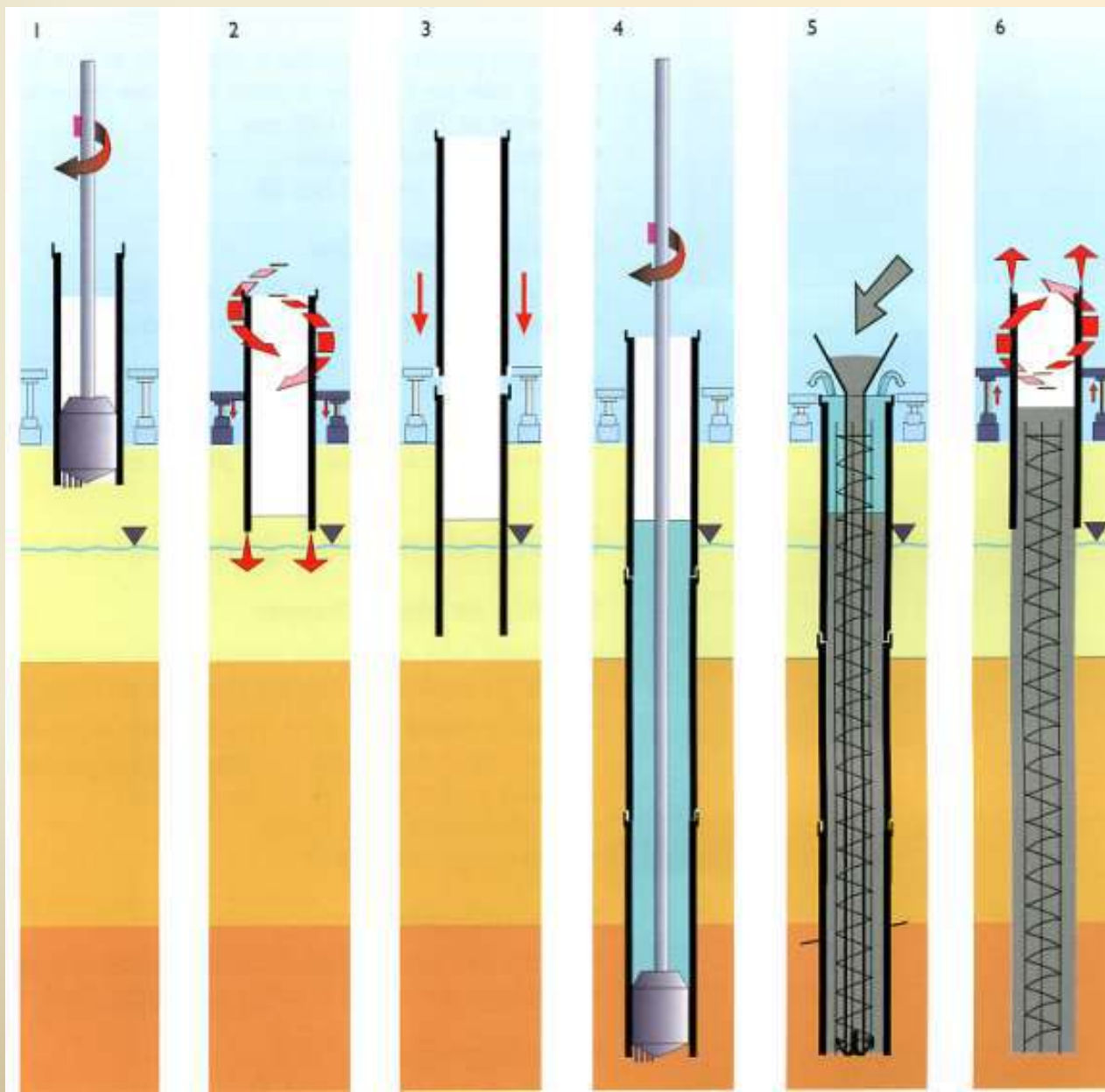
$$L \text{ до } 8 \text{ м.}$$

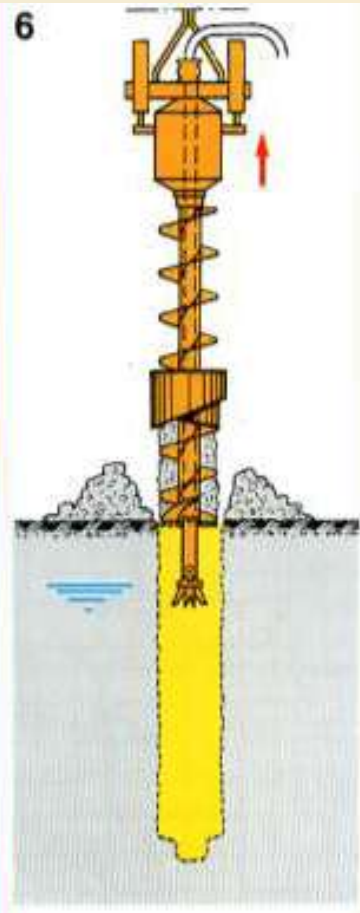
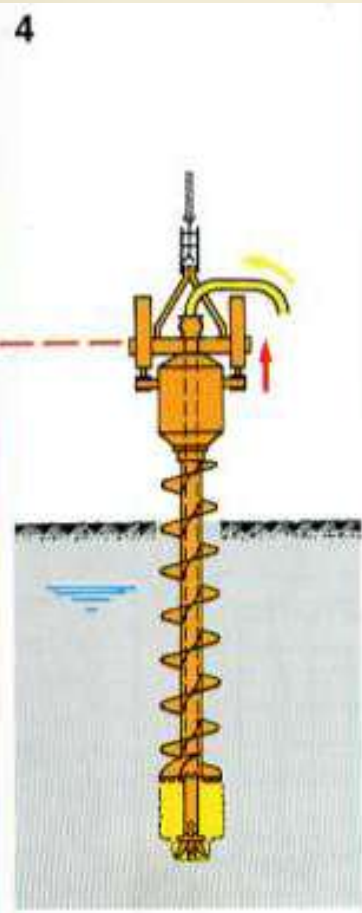
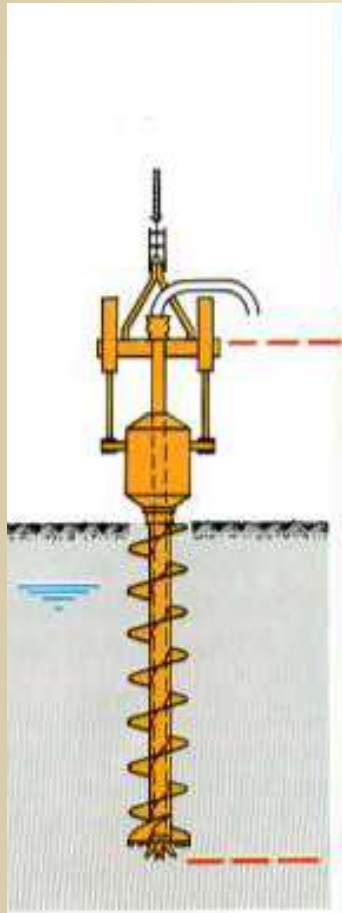
– вибропогружные

(погружаются в грунт посредством динамических усилий или динамические усилия + вдавливающие усилия; применимо в песках);

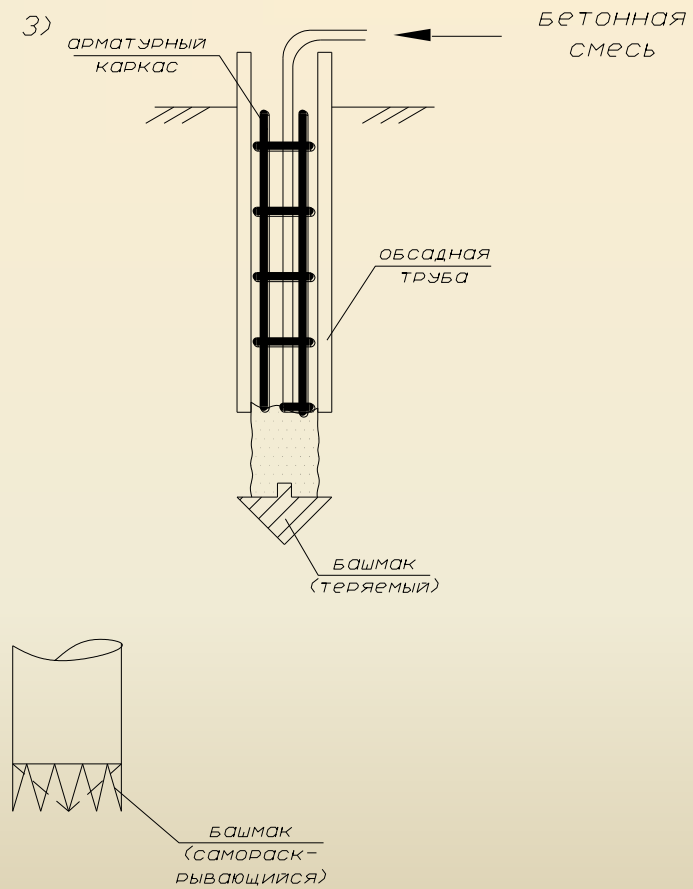
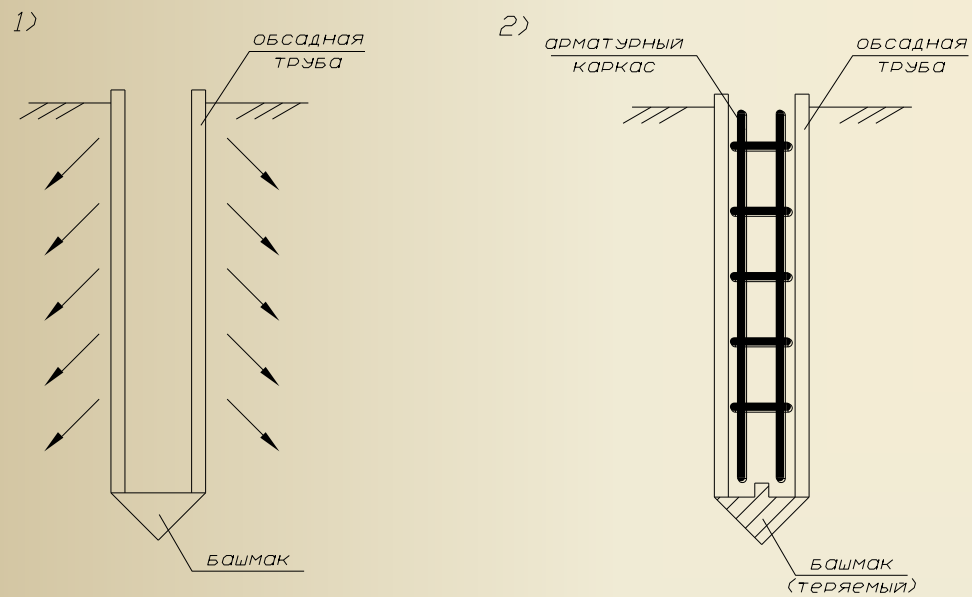
– буронабивные сваи

а) буровые



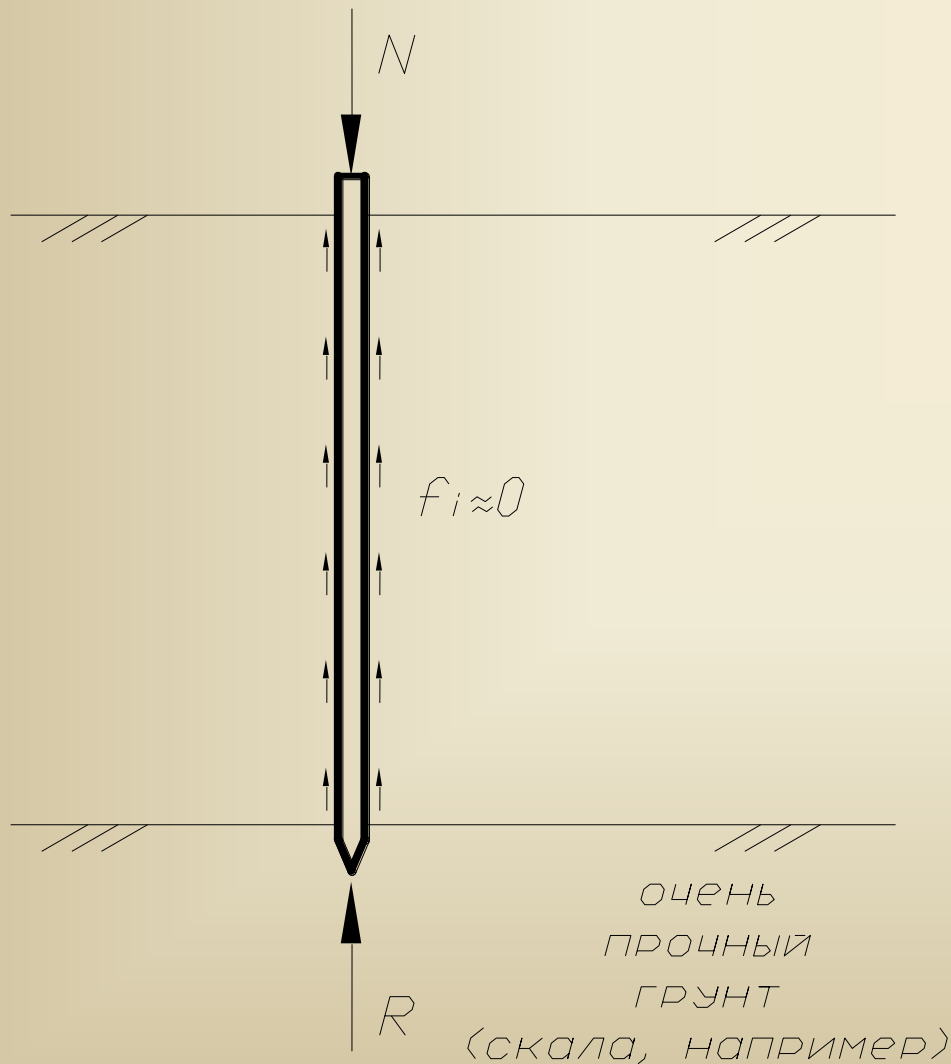


б) набивные



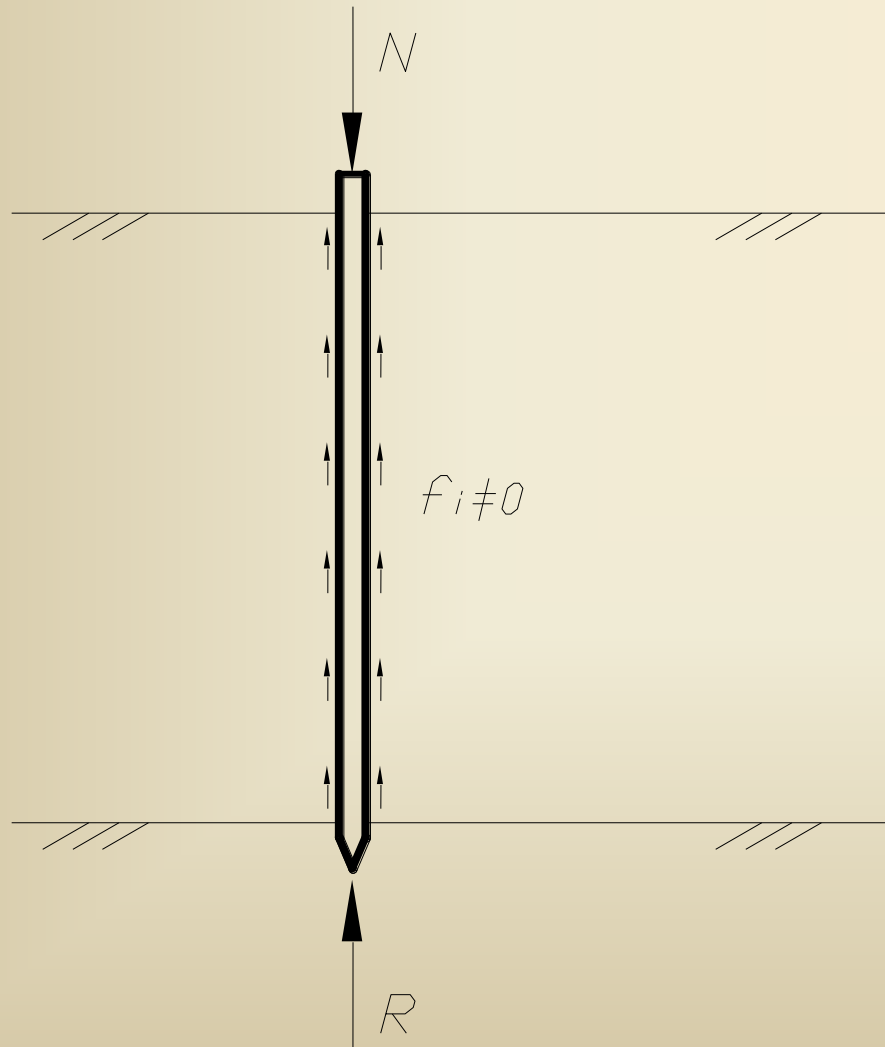
5) По характеру работе в грунте:

– сваи – стойки



(нижний конец сваи опирается в практически несжимаемый грунт, нагрузка воспринимается сопротивлением грунта под нижним концом сваи);

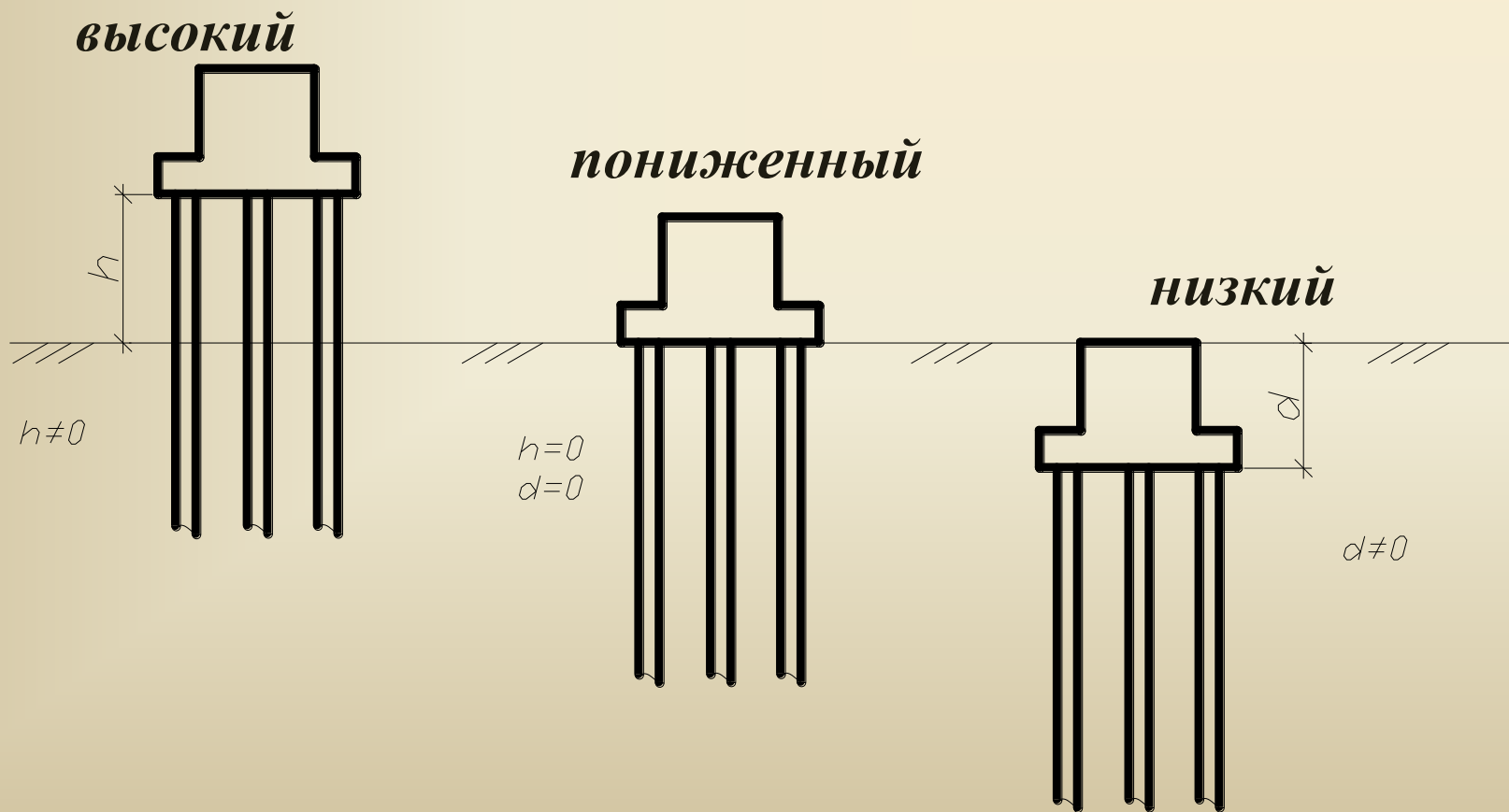
— сваи висячие



(нагрузка воспринимается сопротивлением грунта под нижним концом (лобовые) и силами трения по боковой поверхности (боковые сваи));

Классификация ростверков

1) По расположению, относительно поверхности грунта:



2) По материалу и изготовлению:

– железобетонные;

– монолитные;

– металлические;

– сборные;

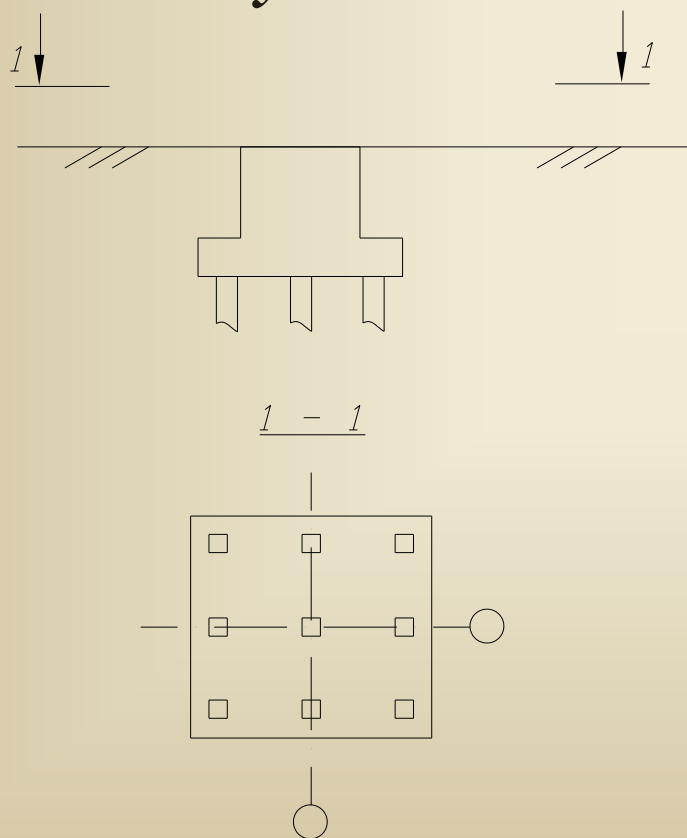
– бетонные;

– сборно-монолитные.

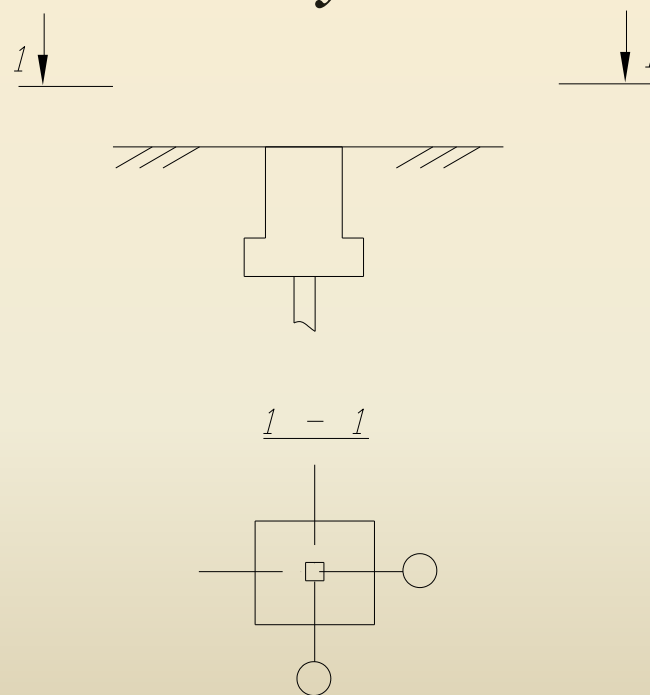
3) По расположению свай в ростверке:

— *отдельно-стоящие*

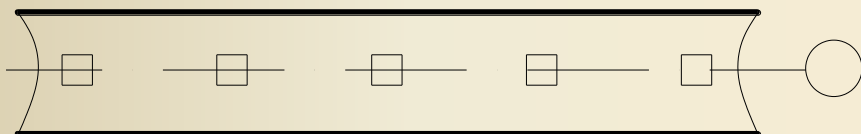
на куст свай



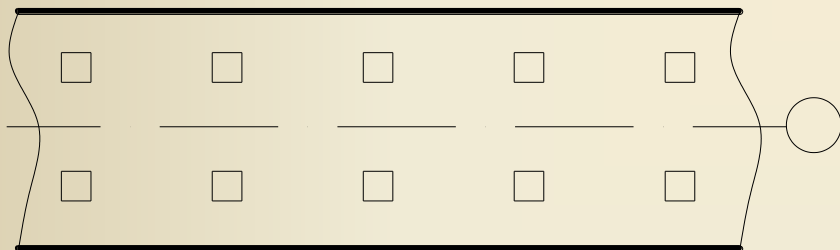
на одну сваю



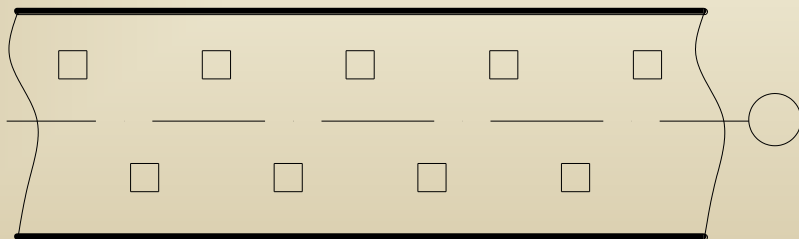
— ленточные



*однорядное
расположение*



*двухрядное
расположение*



*шахматное
расположение*

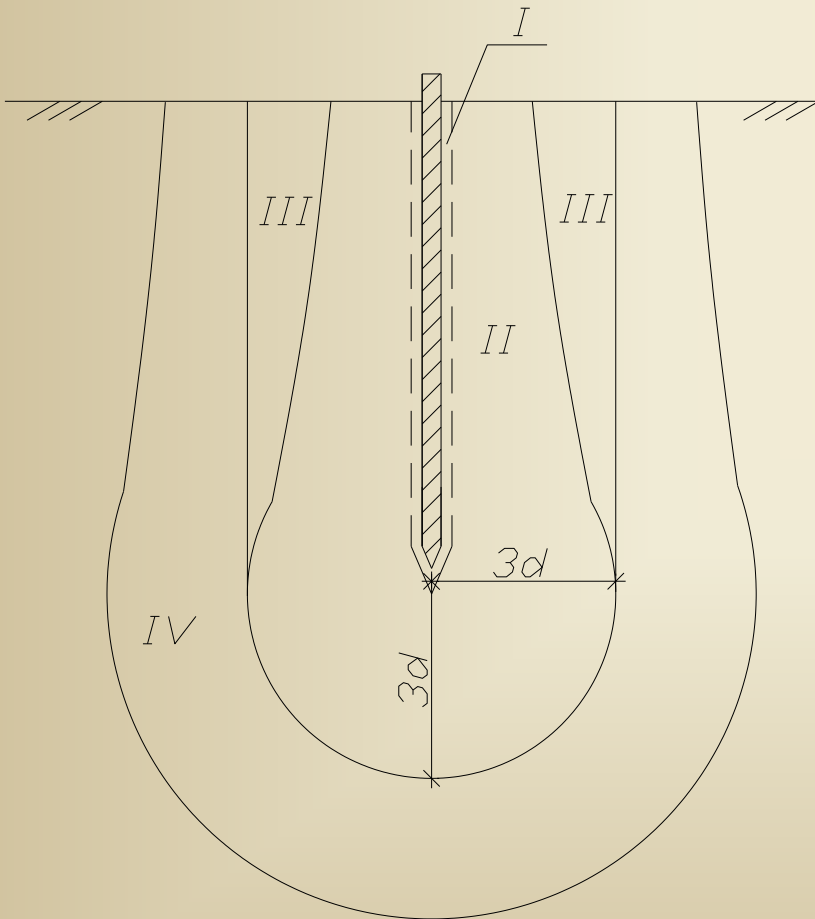
Сопряжение надземных конструкций (колонн, стен) с ростверками аналогично фундамента мелкого заложения.

Несущая способность сваи (F_d) – это предельная нагрузка, которую может воспринимать свая, погруженная в грунтовое основание.

Различают две несущих способности:

- по грунту (потеря устойчивости сваи происходит из-за разрушения грунта, контактирующего со сваем);
- по материалу (потеря устойчивости сваи происходит из-за разрушения тела сваи).

***Процессы,
протекающие в грунтовом массиве при забивке сваи***



***I – сильноперетертый грунт
с нарушенной структурой ($10 \div 20$ мм);***

***II – зона хорошо уплотненного
грунта ($3d$);***

***III – зона разуплотненного
грунта;***

***IV – зона грунта ненарушен-
ной структуры, подвер-
гается незначительным
изменениям.***

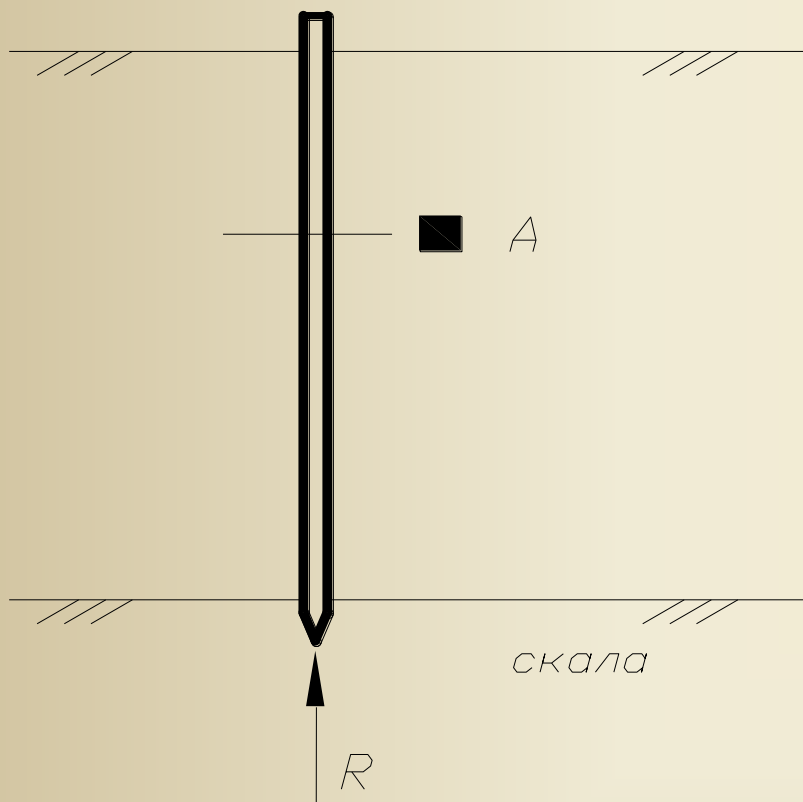
Отказ сваи – это погружение сваи от одного удара дизель-молота или за определенное время (1 минута) работы вибромолота.

Отдых сваи – это время, необходимое для стабилизации процессов, вызванных воздействием погружения сваи на грунтовый массив, окружающий сваю.

Методы определения несущей способности свай

1. Определение несущей способности сваи расчетным методом (по формулам СП 24.13330.2011).

– для свай-стоек (определяется по грунту и материалу, для дальнейших расчетов принимается минимальная)



$$F_d^{mat} = \gamma \cdot R_m \cdot A,$$

где γ — коэффициент условия работы материала;

A — площадь поперечного сечения сваи;

R_m — расчетное сопротивление материала сваи.

Например, для железобетонной сваи:

$$F_d^{mat} = \gamma \cdot (R_b \cdot A_b + R_s \cdot A_s) \cdot \varphi,$$

где φ — коэффициент продольного изгиба.

$$F_d^{zp} = \gamma_c \cdot R \cdot A,$$

где γ_c – коэффициент условия работы грунтового основания;

A – площадь поперечного сечения сваи;

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи.

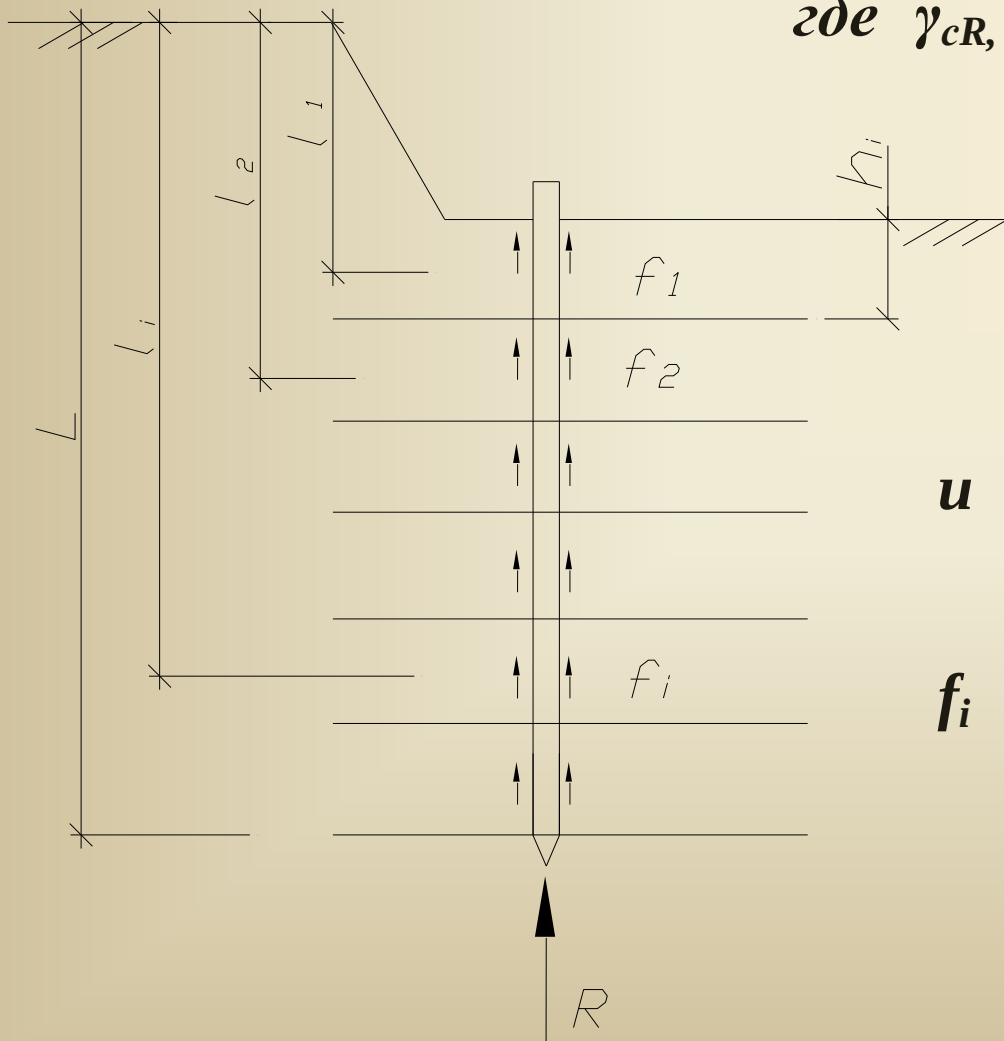
– для висячих свай (определяется по грунту)

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

где γ_{cR} , γ_{cf} – коэффициент условия работы грунтового основания под нижним концом и по боковой поверхности сваи;

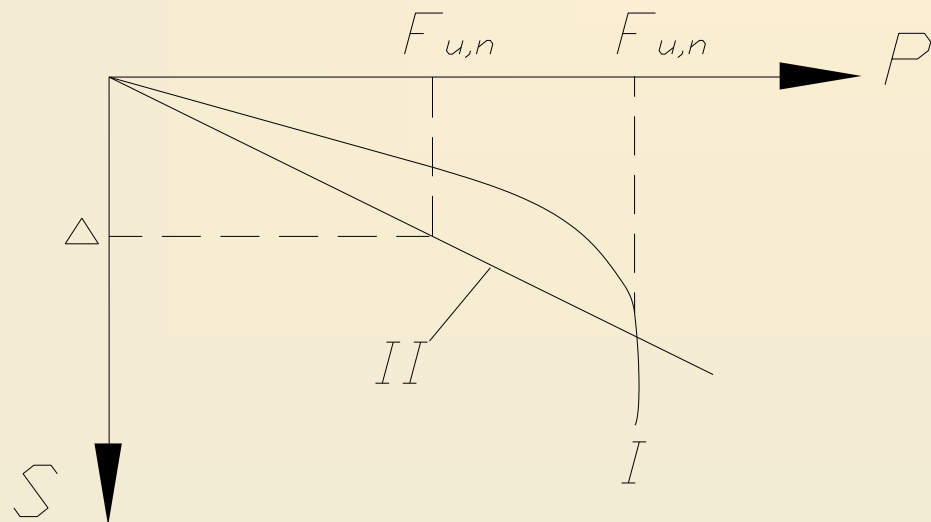
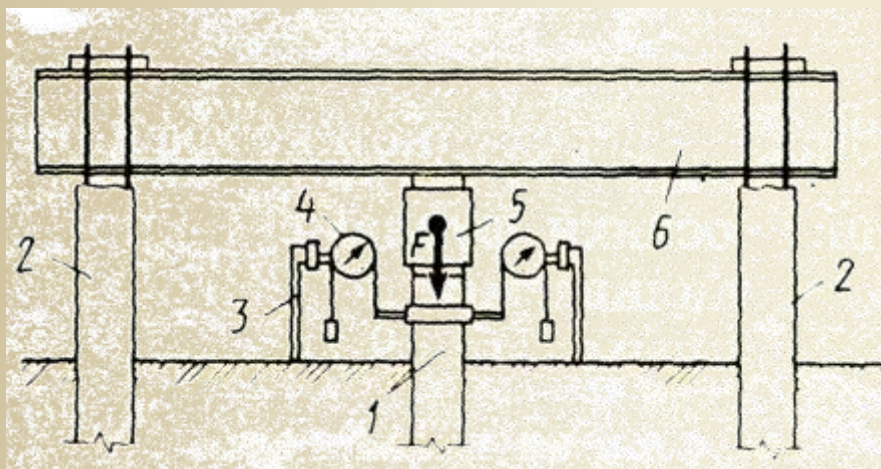
u – периметр поперечного сечения сваи;

f_i – расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи.



Расчетный метод определения несущей способности сваи является наименее точным, служит для предварительной оценки несущей способности сваи. Как правило, должен подтверждаться другими (полевыми) методами.

2) Метод пробных статических нагрузок



1 – испытываемая свая;

3 – реперная система;

5 – домкрат;

2 – анкерные сваи;

4 – прогибомеры;

6 – упорная балка

$$F_d = \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_{u,n},$$

где γ_c — коэффициент, зависящий от характера нагрузки;

γ_n — коэффициент надежности по грунту;

$F_{u,n}$ — предельное нормальное сопротивление сваи.

$$\Delta = \xi \cdot S_{u,mt},$$

где Δ – предельно допустимая осадка сваи;

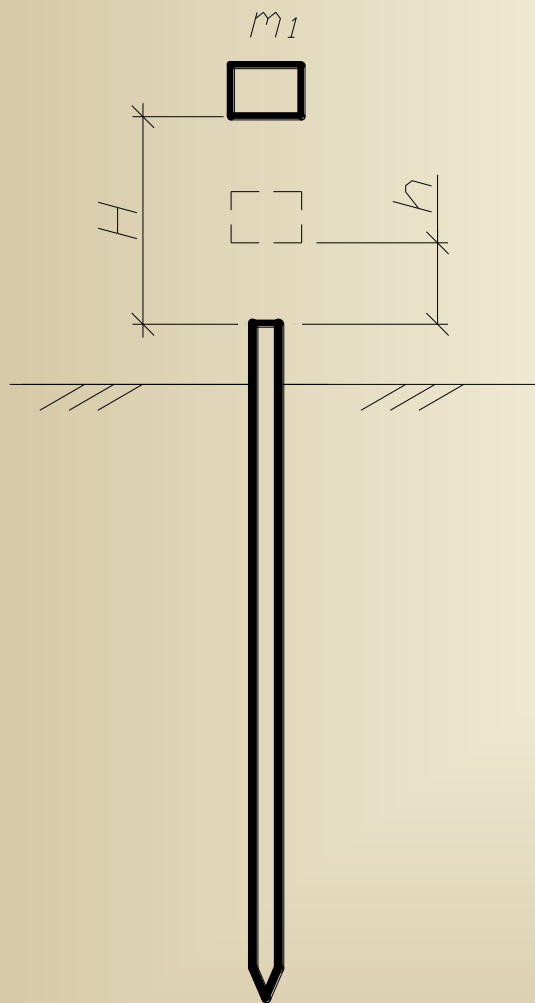
ξ – коэффициент перехода от предельно допустимой осадки здания или сооружения к осадке сваи (0,2);

$S_{u,mt}$ – предельно допустимая осадка здания или сооружения.

Является самым точным методом.

Недостаток: длительность проведения и высокая стоимость работ.

3) Динамический метод



$$m_1 \cdot H = F_{u,n} \cdot S_a + m_1 \cdot h + m_1 \cdot H \cdot \alpha,$$

где $m_1 \cdot H$ — полная энергия от удара;

$F_{u,n} \cdot S_a$ — потеря энергии на погружение сваи;

$m_1 \cdot h$ — потеря энергии на упругие деформации (отскок);

$m_1 \cdot H \cdot \alpha$ — потеря энергии на неупругие деформации (трещины, обмятие подкладки и т.п.).

Формула Н.М.Герсеванова

$$F_{u,n} = \frac{\eta \cdot A \cdot M}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + \frac{4 \cdot E_d}{\eta \cdot A \cdot S_a} \cdot \frac{m_1 + \varepsilon^2(m_2 + m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}} - 1 \right],$$

где $F_{u,n}$ – предельное нормальное сопротивление сваи;

S_a – фактический «отказ» сваи;

E_d – расчетная энергия удара молота;

m_1 — *полный вес молота;*

m_2 — *вес сваи с наголовником;*

m_3 — *вес подбавка;*

η — *коэффициент, зависящий от упругих свойств сваи;*

A — *площадь поперечного сечения сваи;*

M — *коэффициент, зависящий от способа погружения сваи;*

ε — *коэффициент восстановления удара.*

$$F_d = \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_{u,n},$$

где γ_c — коэффициент, зависящий от характера нагрузки;

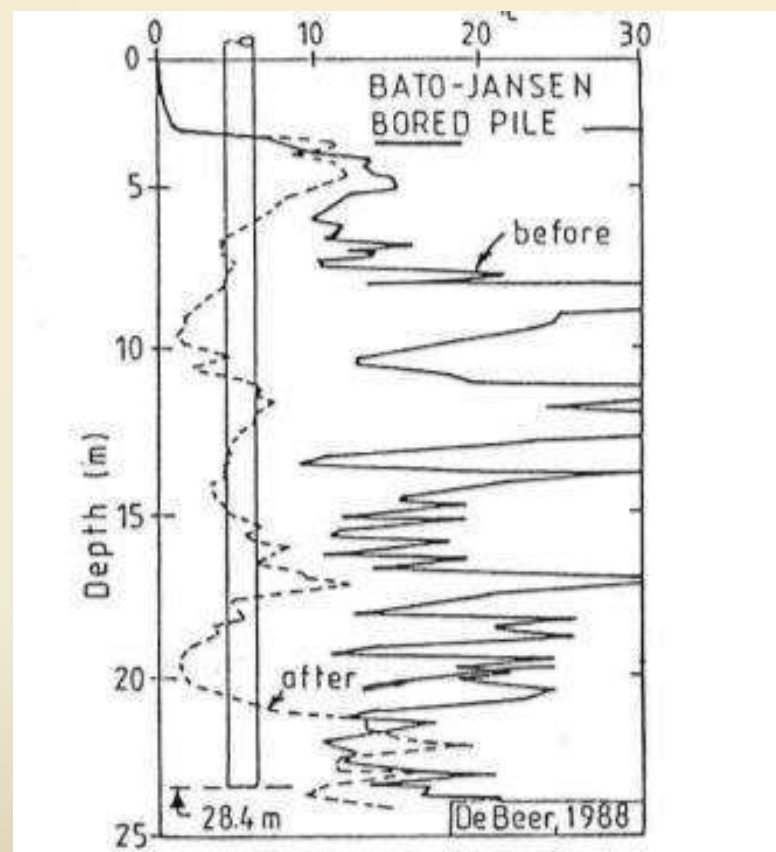
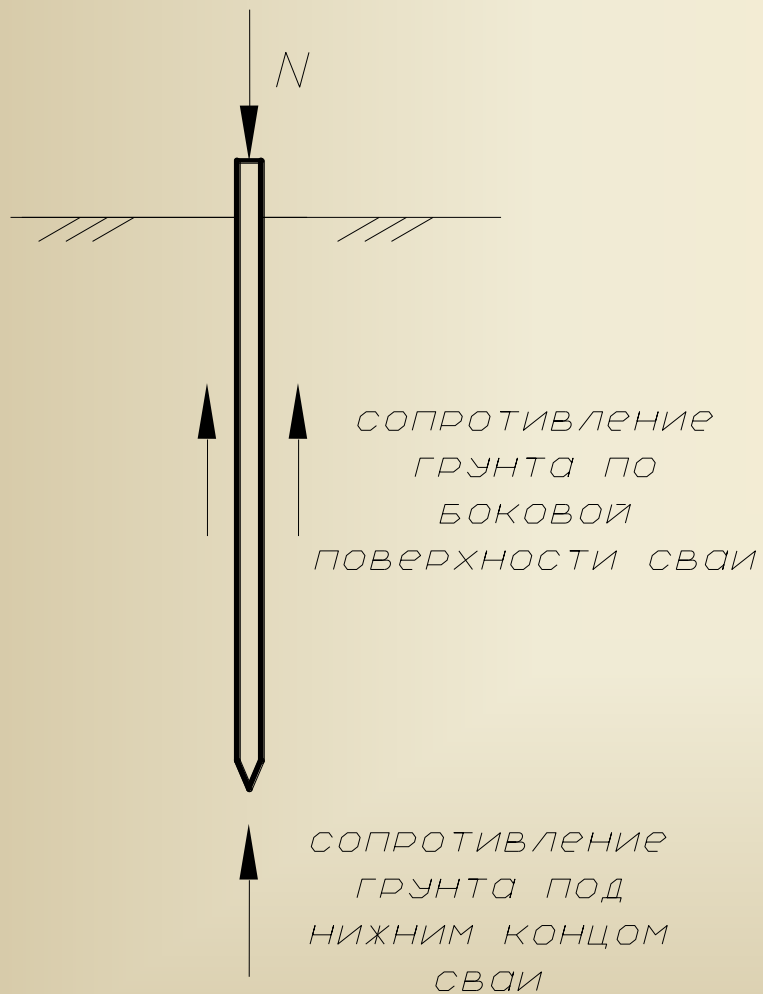
γ_n — коэффициент надежности по грунту;

$F_{u,n}$ — предельное нормальное сопротивление сваи.

Недостаток: отличается не очень высокой точностью.

Достоинство: оперативность, возможность определения F_d в процессе забивки свай.

4) Метод статического и динамического зондирования



Недостаток: отличается не очень высокой точностью.

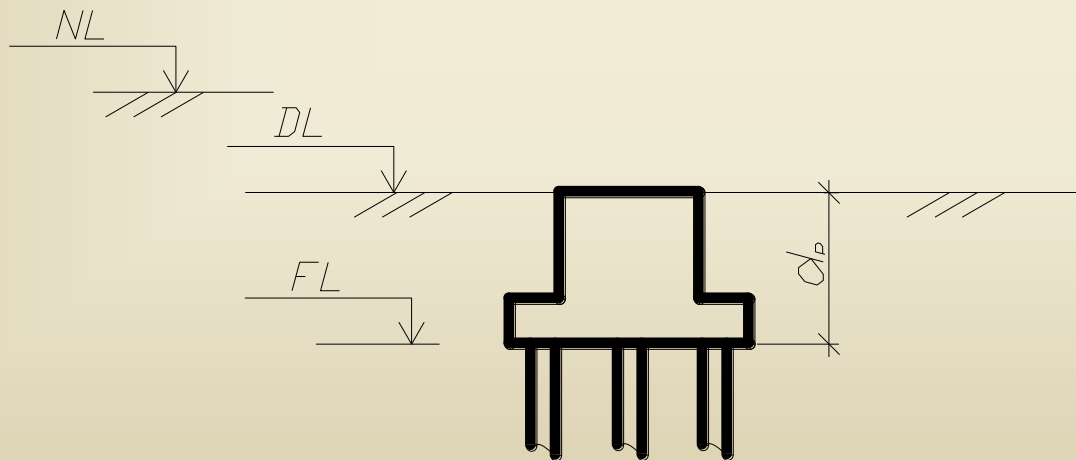
Достоинство: быстрота.

Последовательность
проектирования
свайного фундамента

I. Расчет по несущей способности

(на расчетные нагрузки)

1) определение глубины заложения подошвы ростверка (аналогично ФМЗ)



2) выбор типа, длины и марки сваи

(в зависимости от инженерно — геологических условий строительной площадки, нагрузок, передаваемых на сваю от здания или сооружения и возможностей строительной индустрии)

3) определение несущей способности сваи

(одним из рассмотренных ранее методов)

4) определение количества свай в кусте (n)

$$n = \frac{N^p}{\gamma_0 \cdot F_d / \gamma_n \cdot \gamma_k},$$

где N^p – расчетная нагрузка, передаваемая на сваи,

F_d – несущая способность сваи;

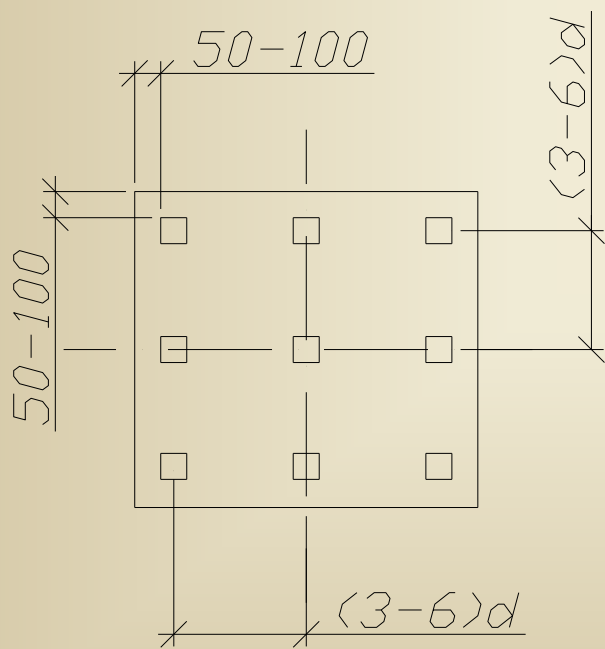
γ_k – коэффициент надежности (зависит от метода определения несущей способности сваи);

γ_n – коэффициент надежности по назначению;

γ_0 – коэффициент условия работы.

5) компоновка свайных кустов

– *рядовое*



– *шахматное*

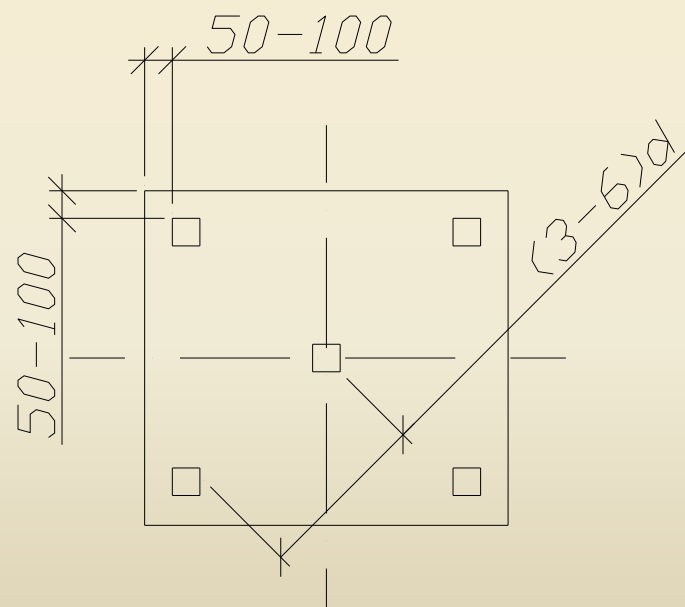
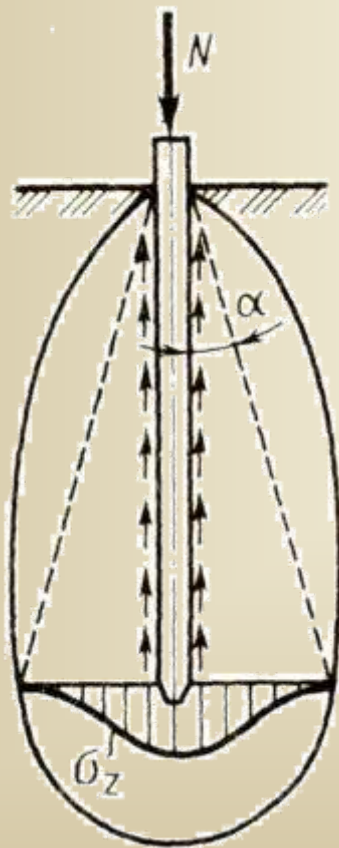
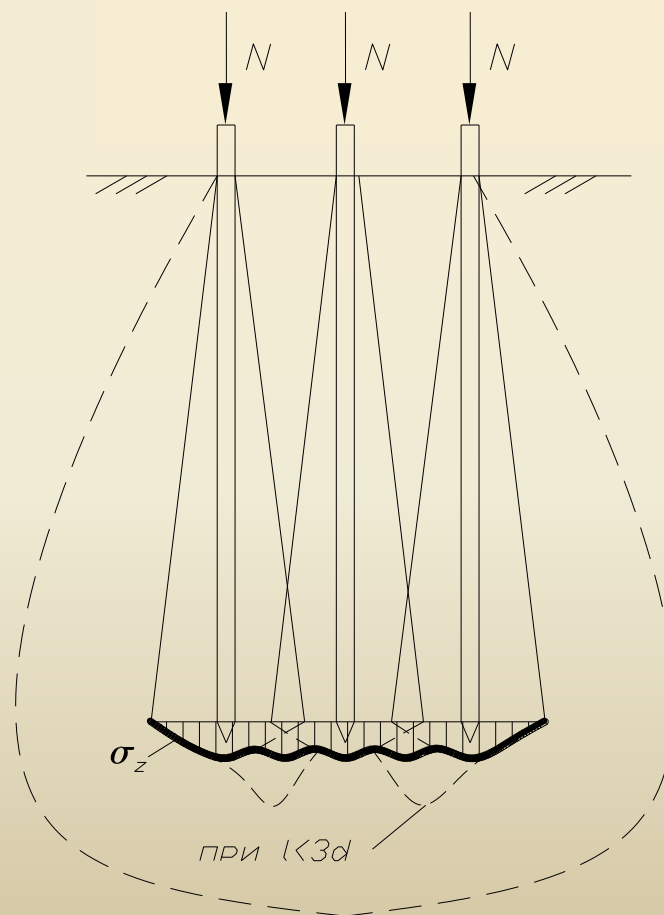


Схема передачи нагрузки на грунтовое основание

одинокая
свая

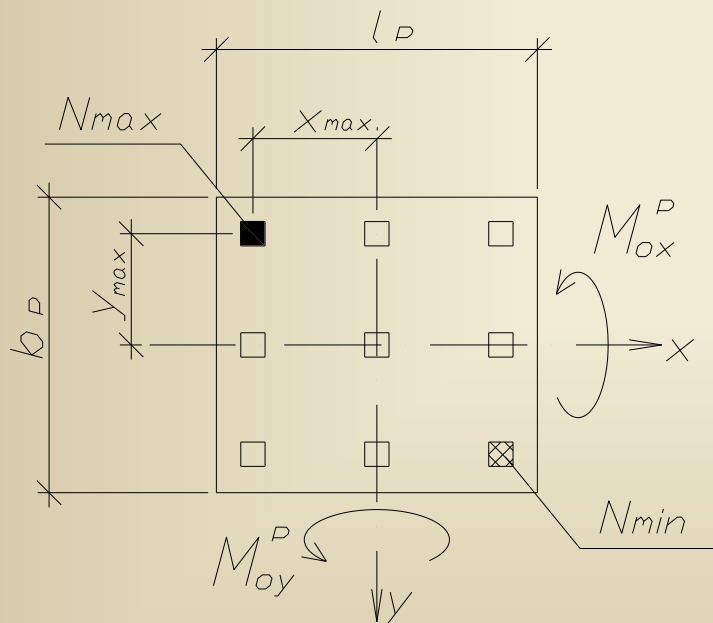


куст
свай



6) определение нагрузки на наиболее и наименее нагруженные сваи

$$N_{\max \min}^p = \frac{N^p + G_{p,zp}^p}{n} \pm \frac{M_{oy}^p \cdot x_{\max}}{\sum (x_i^2)} \pm \frac{M_{ox}^p \cdot y_{\max}}{\sum (y_i^2)},$$



где $G_{p,zp}^p$ — расчетная нагрузка от веса ростверка и грунта на его уступах;

$x_{\max}, y_{\max}$ — *расстояние от главных осей до осей наиболее (наименее) нагруженной сваи;*

x_i, y_i — *расстояние от главных осей до оси каждой сваи.*

$$G_{p,sp}^p = b_p \cdot l_p \cdot d_p \cdot \gamma_{sp} \cdot \gamma_f$$

7) проверка выполнения условий

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\max} \leq \frac{\gamma_0 \cdot F_d}{\gamma_n \cdot \gamma_k}, \\ N_{\min} \geq 0. \end{array} \right.$$

Если проверки выполняются, то свайный фундамент подобран верно. Иначе, необходимо увеличить, хотя бы один из геометрических параметров свай (длину, сечение) или увеличить их количество. Проверку повторить.

II. Расчет по деформациям

(на нормативные нагрузки)

– осадка одиночной висячей сваи:

$$S = \beta \frac{N^H}{G_1 \cdot l},$$

где G_1 – осредненный модуль сдвига грунтов в пределах глубины погружения сваи;

l – длина сваи, м;

β – коэффициент, зависящий от жесткости ствола сваи и ее геометрических размеров, определяется по формуле СП 24.13330.2011.

– осадка свайного куста ($n \leq 25$):

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

где $S(N_i)$ – осадка сваи, к которой приложена нагрузка;

$\sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_j^H}{G_1 \cdot l}$ – осадка этой же сваи за счет воздействия всех свай в кусте;

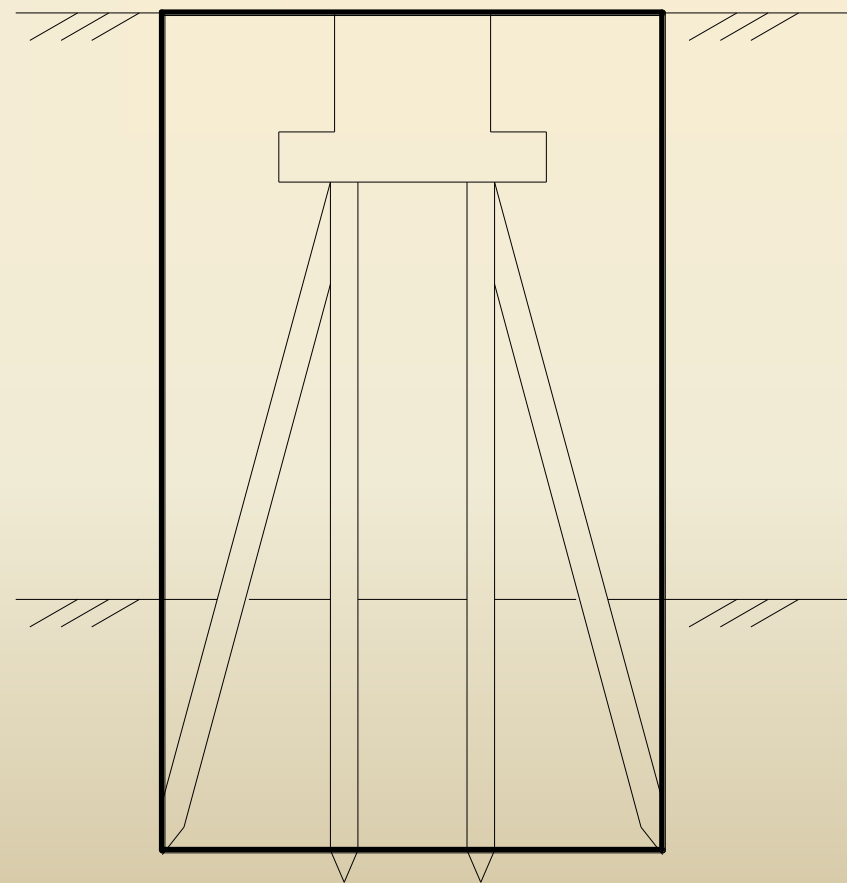
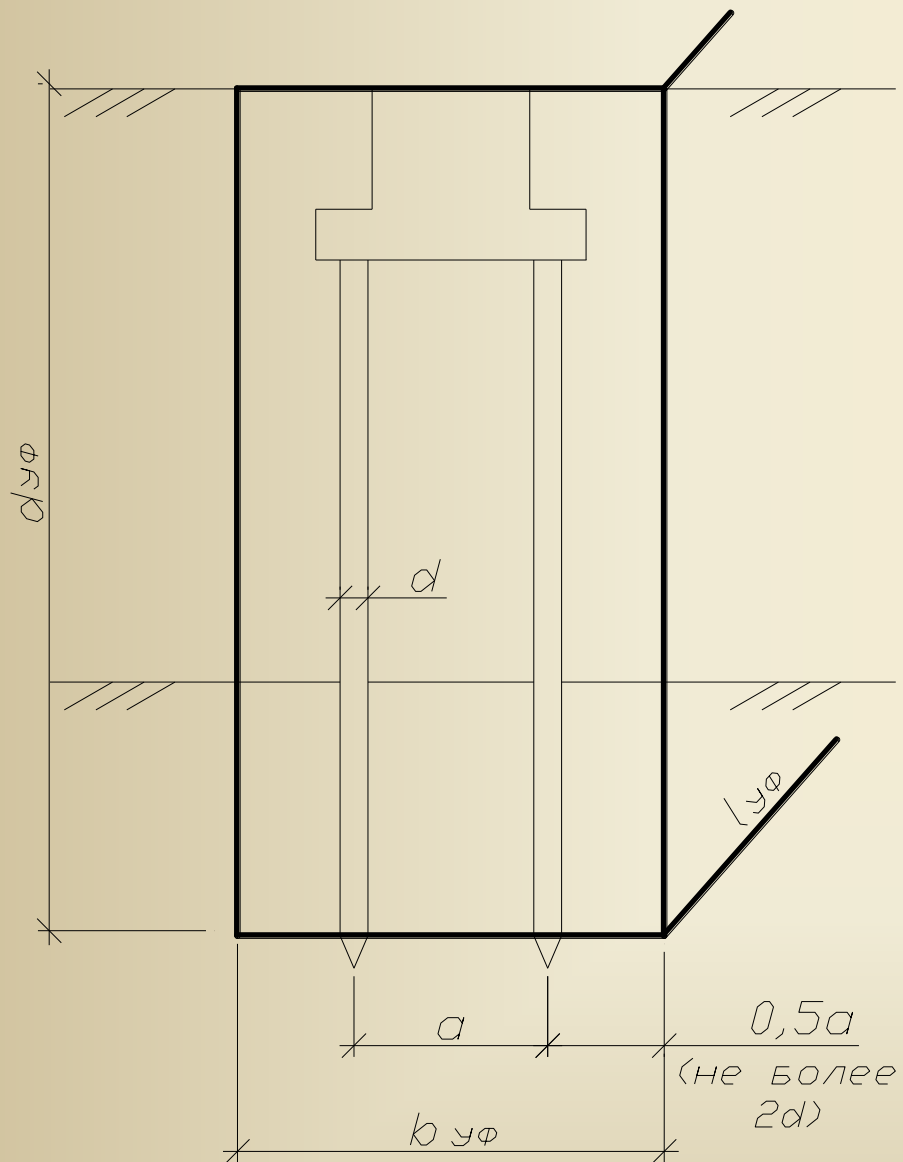
δ – коэффициент, зависящий от расстояния между сваями, длины сваи, характеристик грунта в пределах глубины погружения сваи и под ее нижним концом (определяется по формуле СП 24.13330.2011).

– осадка свайного поля ($n > 25$):

$$S = S_{ef} + \Delta S_p + \Delta S_c,$$

где S_{ef} – осадка условного фундамента (определяется аналогично ФМЗ для условного фундамента);

*Границы условного
фундамента
(для определения S_{ef})*



ΔS_p – дополнительная осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента (определяется по СП 24.13330.2011 для отдельной ячейки в составе куста свай);

ΔS_c – дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай (по СП 24.13330.2011

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

P – нагрузка на сваю; a – расстояние между осями свай;

l – длина сваи; A – площадь поперечного сечения сваи;

E – модуль упругости материала сваи).

$$S \leq S_u$$

При невыполнении условия – изменить геометрические размеры условного фундамента (увеличить количество свай, расстояние между сваями или их длину). Расчет повторить.

При выполнении условия расчет свайного фундамента считается завершённым.