

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №24



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

Лекция №24 – Основания и фундаменты

- Основания и фундаменты зданий и сооружений
- Железобетонные фундаменты
- Расчет грунтовых оснований по деформациям
- Расчет грунтовых оснований по несущей способности
- Несущая способность свай-стоек
- Несущая способность висячих свай без выемки грунта
- Несущая способность висячих свай с выемкой грунта
- Расчет осадки одиночной сваи

Основания и фундаменты зданий и сооружений

Грунтовое основание – область грунта, воспринимающая давление от здания или сооружения, при этом:

- Слой грунта непосредственно под подошвой фундамента называется **несущим**
- Остальные слои – **подстилающие**

Фундамент – это подземная несущая конструкция, перераспределяющая вертикальные и горизонтальные нагрузки от здания или сооружения на грунтовое основание, не допуская в нем сверхнормативных деформаций

Проектирование **оснований** и **фундаментов** включает в себя выбор:

- Типа основания (естественное или искусственное)
- Типа конструкции, материала и размеров фундаментов (глубина заложения, размеры, площади подошвы и т. д.)
- Мероприятий для уменьшения влияния деформаций основания на эксплуатационную пригодность и долговечность здания (при необходимости)

Порядок проектирования фундаментов:

- 1) Анализ материалов инженерно-геологических, гидрогеологических и геодезических изысканий на площадке будущего строительства
- 2) Анализ проектируемого здания с точки зрения оценки его чувствительности к неравномерным осадкам соседних фундаментов
- 3) Определение нагрузок на фундаменты
- 4) Выбор несущего слоя грунта
- 5) Расчет предложенных вариантов фундаментов и оснований по двум предельным состояниям (прочность и деформации)
- 6) Проведение экономического сравнения вариантов и выбор наиболее эффективного (в зависимости от стоимости, сроков, ...)
- 7) Проведение полного расчета и конструирования выбранного варианта фундамента

Классификация фундаментов:

Мелкого заложения – фундаменты, передающие нагрузку на грунты основания преимущественно через подошву:

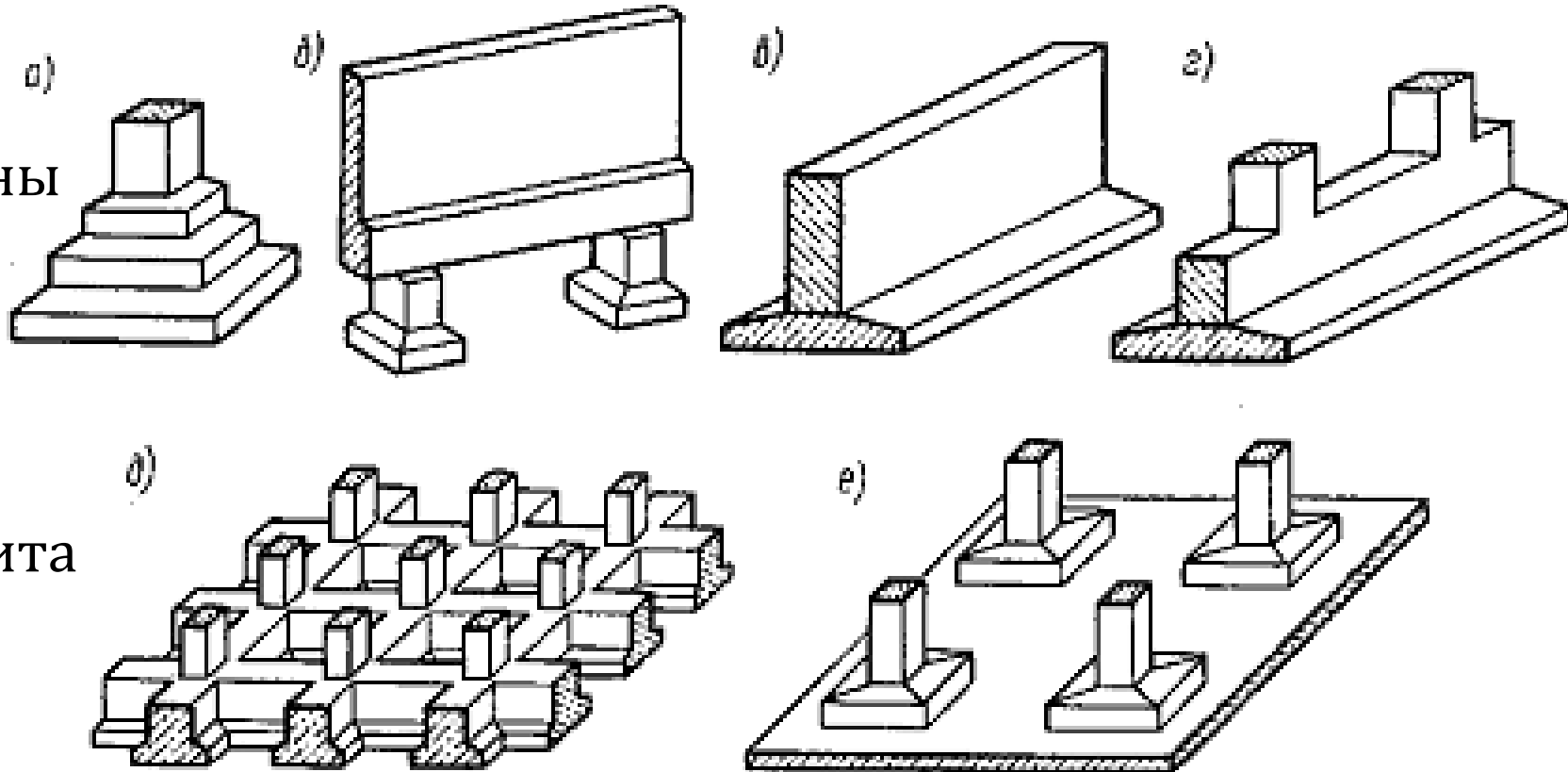
- **Столбчатые** – отдельно стоящие фундаменты для колонн/стен
- **Ленточные** – протяженные фундаменты в виде полос для стен/колонн
- **Плитные** – фундаменты в виде сплошной железобетонной плиты, как правило, под тяжелые здания или сооружения
- **Массивные** – в виде жесткого компактного железобетонного массива под небольшие в плане тяжелые сооружения, такие как башни, мачты, дымовые трубы, устои мостов и т. д.

Глубокого заложения – фундаменты, передающие нагрузку на грунты основания через боковую поверхность и подошву:

- **Свайные** – фундаменты, состоящие из стержней (свай) и объединенные поверху распределительной конструкцией (ростверком)
- Различные типы: опускные колодцы, «стены в грунте», ...

Фундаменты мелкого заложения (ФМЗ):

- а) – отдельный (столбчатый) под колонну
- б) – отдельные (столбчатые) фундаменты под стену
- в) – ленточный фундамент под стену
- г) – ленточный фундамент под колонны
- д) – ленточный фундамент под сетку колонн (перекрестная лента)
- е) – фундаментная плита с подколонниками

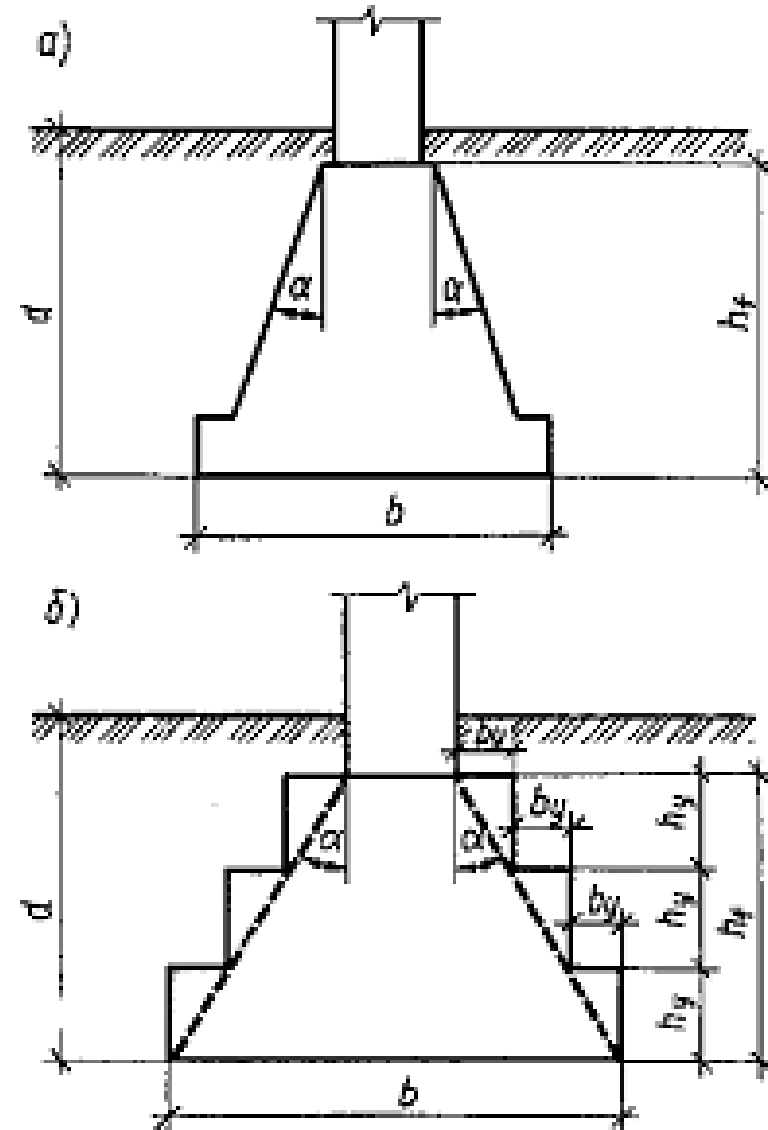


Материалы для ФМЗ:

- 1) Железобетон
- 2) Бетон
- 3) Бутобетон
- 4) Каменные материалы (кирпич, бут, пиленные блоки из природных камней)
- 5) В отдельных случаях (временные здания) допускается применение дерева или металла

На рисунке показана конструкция жесткого столбчатого фундамента:

- а) – с наклонными боковыми гранями
- б) – уширяющийся к подошве уступами



Столбчатый фундамент из сборного железобетона:

- а) – общий вид
- б) – стык колонны с пирамидальным фундаментом
- в) – сечение по фундаменту на виде а)

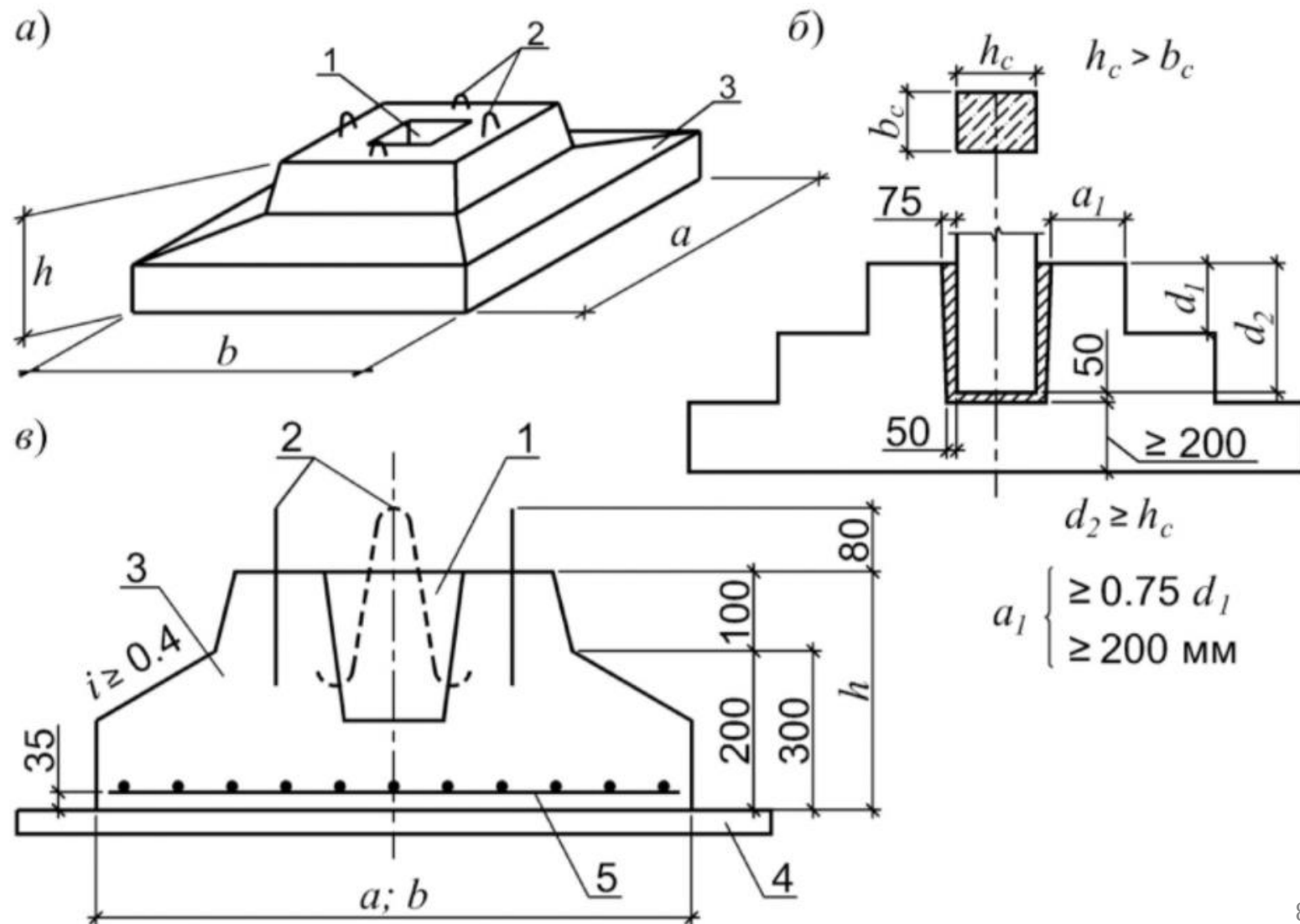
1 – гнездо колонны

2 – петли

3 – фундамент

4 – бетонная подготовка

5 – сварная сетка



Расчет конструкции столбчатого фундамента

Из железобетона выполняется на продавливание, на действие изгибающих моментов M_{I-I} и M_{II-II} по нормальным сечениям I-I и II-II и по наклонному сечению на действие поперечной силы Q_{II-II} согласно расчетных схем на рисунке (при центральном нагружении):

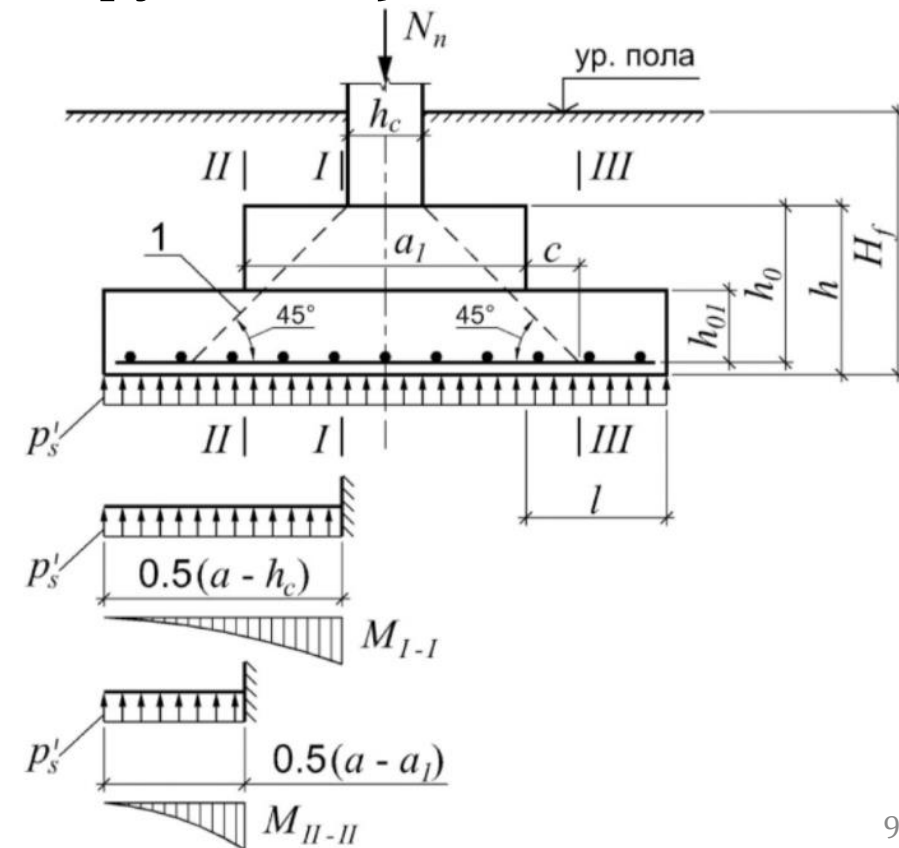
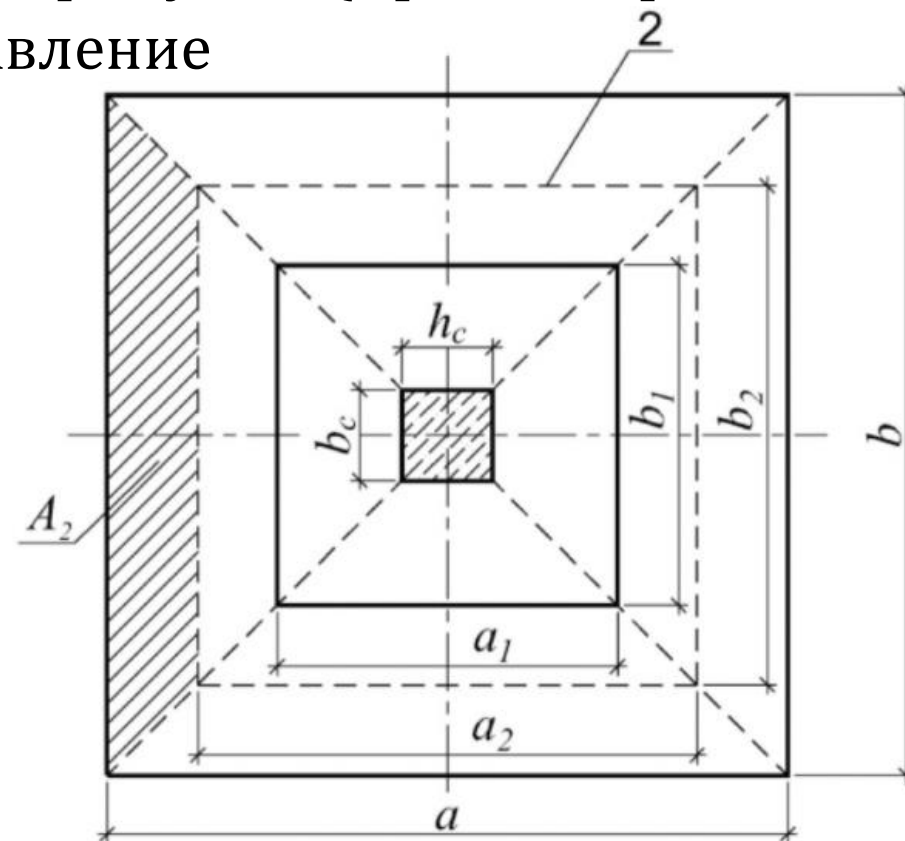
$p'_s = N_n / (a \cdot b)$ – давление под подошвой фундамента

N_n – нагрузка на фундамент

a и b – габариты фундамента

1 – пирамида продавливания

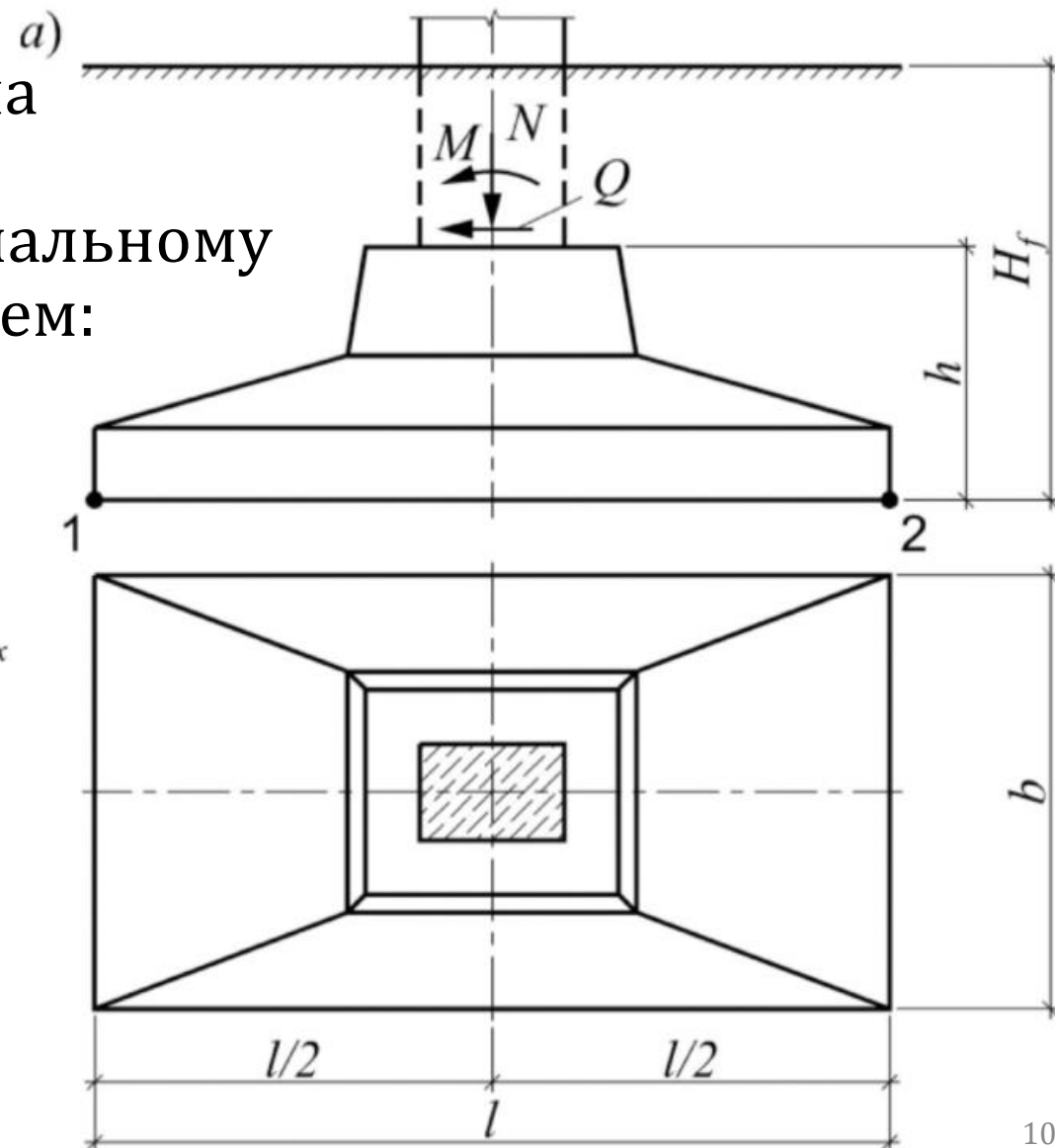
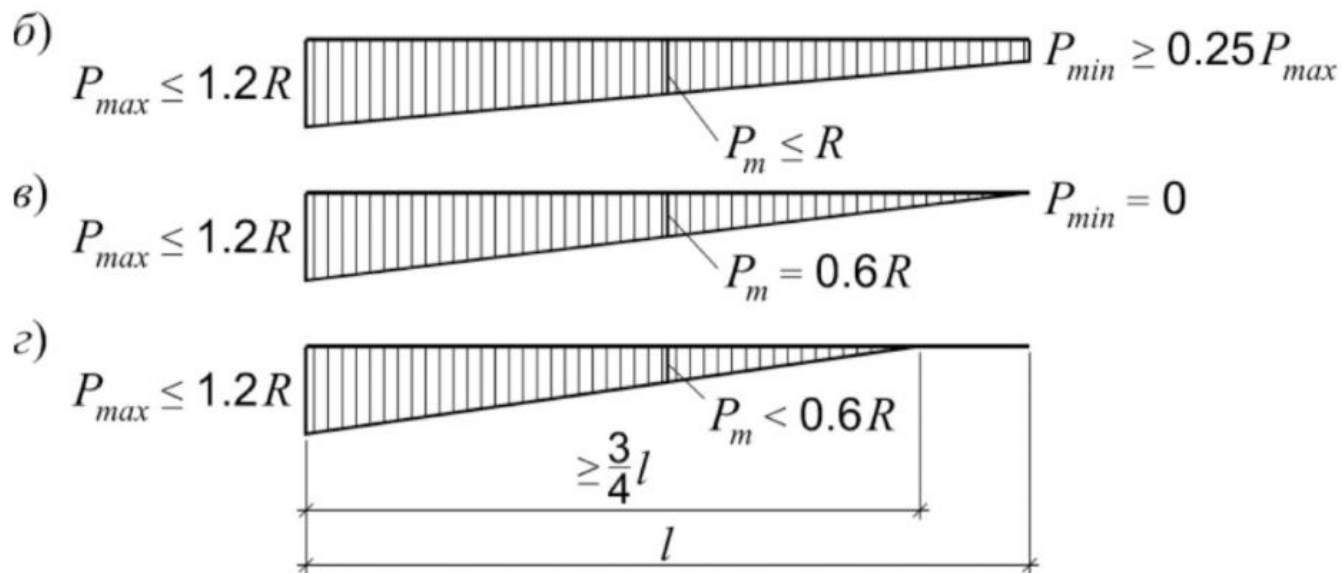
2 – основание пирамиды продавливания



Расчет при внецентренном нагружении

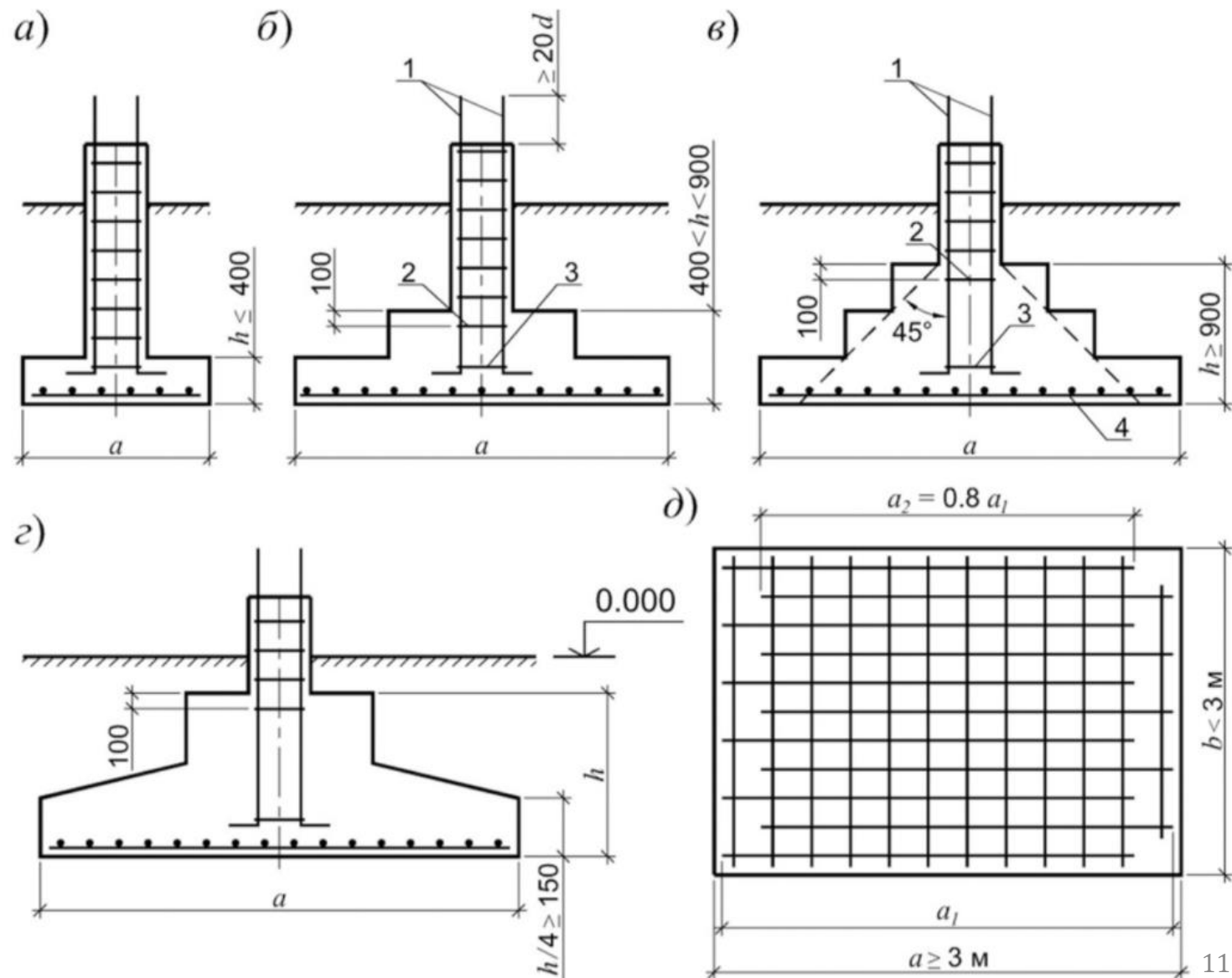
Столбчатого фундамента из железобетона выполняется по аналогии, но с учетом дополнительных ограничений по максимальному давлению P_{max} под подошвой согласно схем:

- а) – расчетная схема
- б), в), г) – эпюры давления под подошвой



Армирование столбчатых фундаментов:

- а) – одноступенчатый
 - б) – двухступенчатый
 - в) – трехступенчатый
 - г) – пирамидальный
 - б) – армирование подошвы
- 1 – выпуски арматуры
2 – второй хомут каркаса
3 – первый хомут каркаса
4 – сварная сетка или отдельные арматурные стержни



Ленточные фундаменты из железобетона:

- **а)** – монолитный (больше преимуществ, чем в сборном варианте)
- **б)** – сборный сплошной (для ускорения строительно-монтажных работ)
- **в)** – сборный прерывистый (при наличии резервов по грунту)

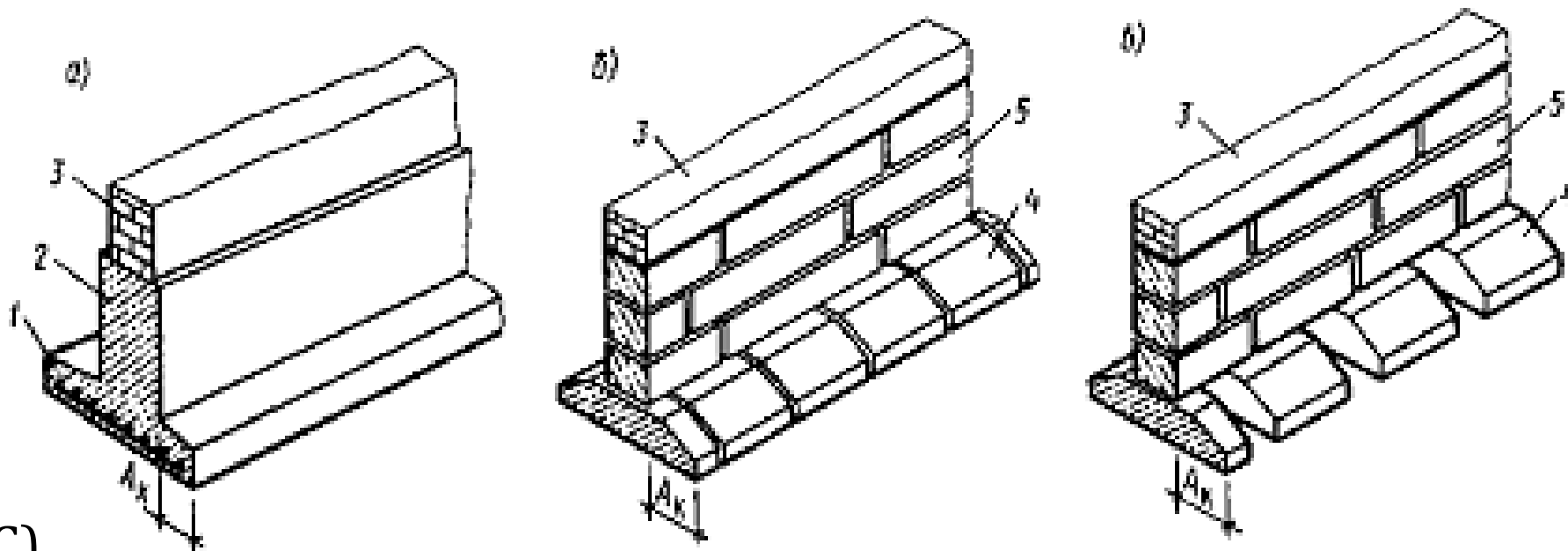
1 – армированная лента

2 – стена фундамента

3 – стена здания

4 – фундаментная подушка

5 – фундаментный блок стеновой (ФБС)



Расчет конструкции ленточного фундамента

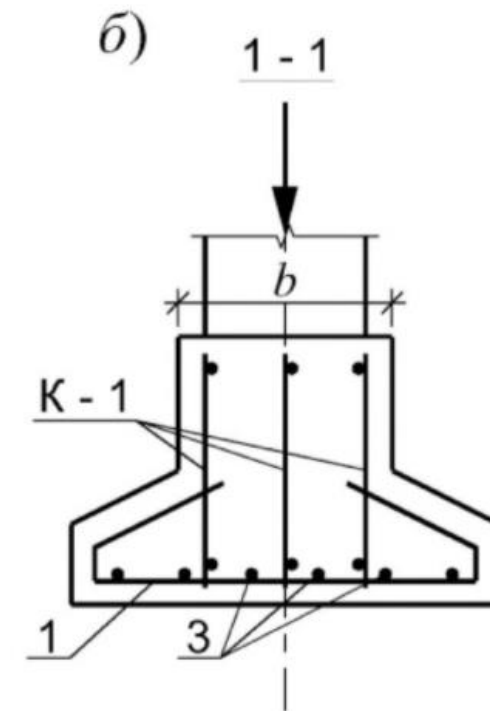
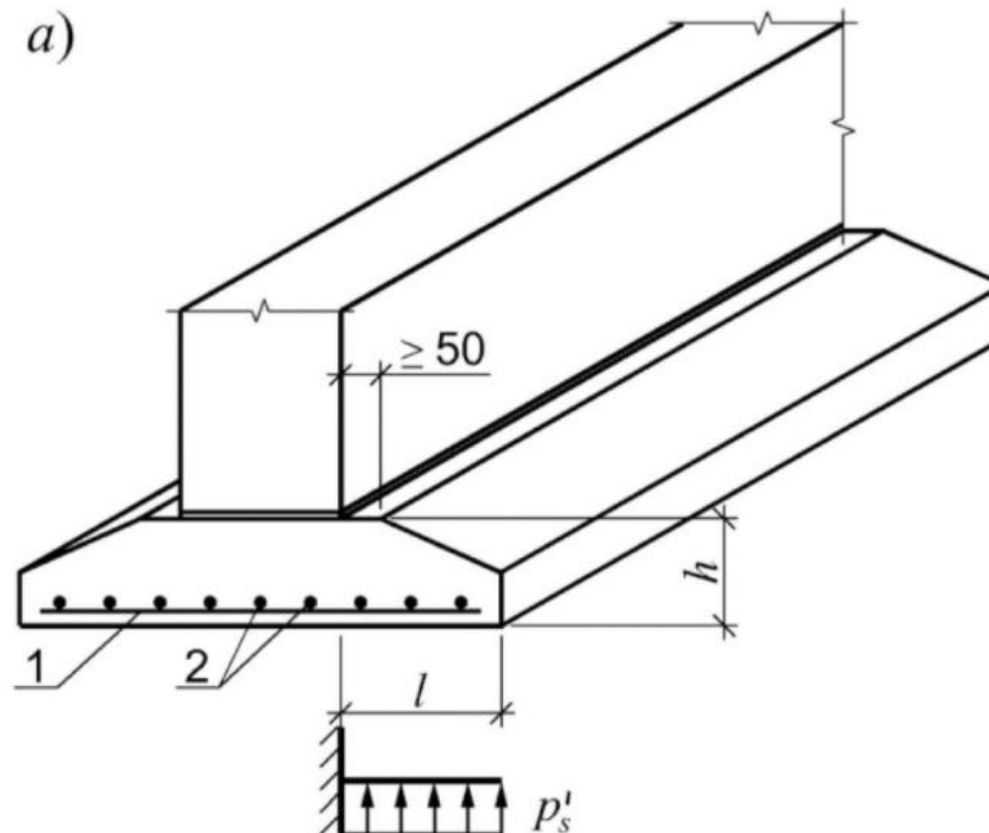
Из железобетона выполняется по аналогии со столбчатыми фундаментами в случае опирания сплошных стен – рис. а) или как многопролетных неразрезных балок при опирании рядов или сетки колонн – рис. б):

1 – рабочая (определяемая по расчету) арматура

2 – распределительная (конструктивная) арматура

3 – рабочая продольная арматура

К-1 – плоские каркасы



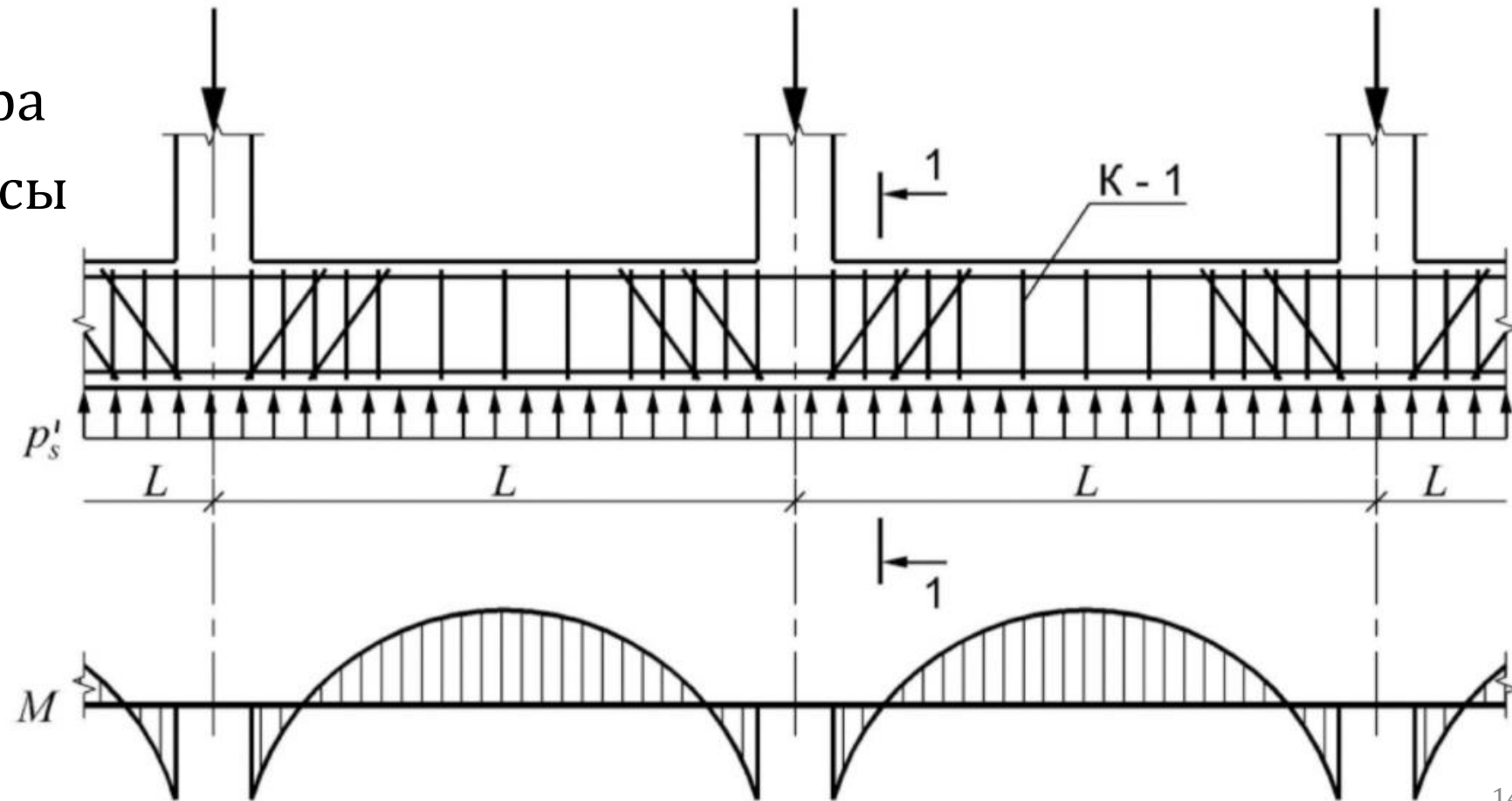
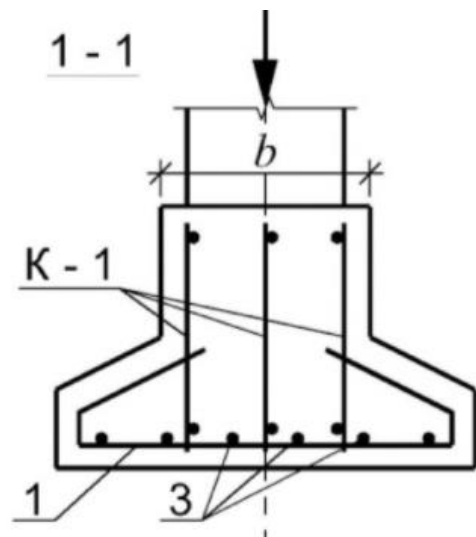
Расчет и армирование ленточных фундаментов:

1 – рабочая (определяемая по расчету) арматура

2 – распределительная (конструктивная) арматура

3 – рабочая продольная арматура

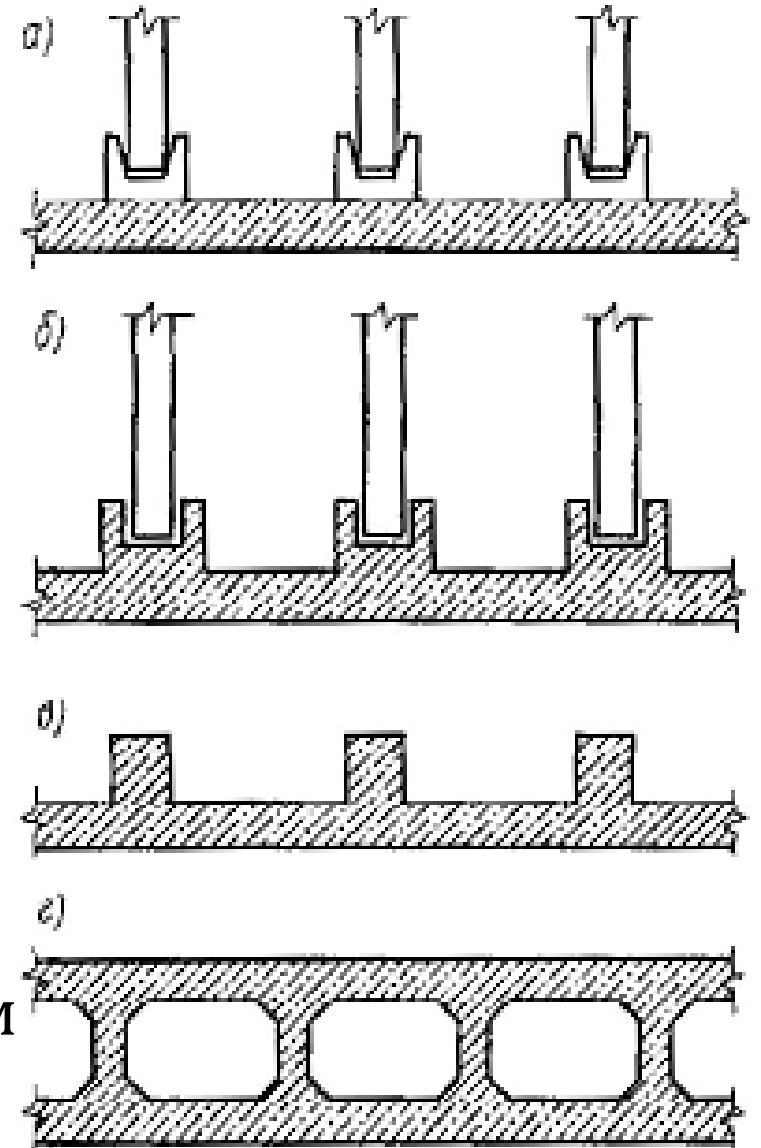
К-1 – плоские каркасы



Фундаментные плиты из железобетона:

- а) – плоская плита со сборными стаканами
- б) – плоская плита с монолитными стаканами
- в) – ребристая плита
- г) – плита коробчатого сечения

Расчет конструкций фундаментных плит выполняется по аналогии с безбалочными перекрытиями – рис. а) и б), ребристыми перекрытиями – рис. в) и/или с помощью программных комплексов на основе метода конечных элементов – рис. а) ,..., г): на продавливание, по нормальным и наклонным сечениям, по трещиностойкости и деформациям



Глубина заложения фундамента

Определяется с учетом:

- 1) Геологического строения участка и его гидрогеологии (наличие водоносных горизонтов и их высоту залегания)
- 2) Глубины сезонного промерзания грунта (которая должна быть меньше глубины заложения фундамента)
- 3) Конструктивных особенностей здания, включая наличие подвала (зависит от объемно-планировочных решений)
- 4) Глубины прокладки подземных коммуникаций, наличия и глубины заложения соседних фундаментов и ряда других факторов

Тип и глубина заложения фундамента

Назначаются с учетом следующих общих правил:

- Минимальная глубина заложения фундамента принимается не менее 0,5 м от планировочной отметки
- Глубина заложения фундамента в несущий слой грунта должна быть не менее 10-15 см
- По возможности подошву фундаментов закладывают выше уровня грунтовых вод (УГВ) для исключения необходимости применения водопонижения при производстве работ
- В слоистых основаниях все фундаменты предпочтительно возводить на одном грунте или на грунтах с близкой прочностью и сжимаемостью (если это условие невыполнимо, то размеры фундаментов выбираются главным образом из условия выравнивания осадок соседних фундаментов)

Примеры столбчатых, ленточных, плитных ФМЗ:



Примеры:

- Ограждения котлована глубиной более 15 м и периметром более 1 км
- Фундаментной плиты переменной толщины от 1 до 2,5 м



Расчет оснований по деформациям

Выполняется с целью ограничения абсолютных или относительных перемещений такими пределами, при которых гарантируется нормальная эксплуатация сооружения и не снижается его долговечность вследствие появления недопустимых:

- Общих и неравномерных осадок
- Подъемов, кренов
- Изменений проектных уровней и положения конструкций, нарушения их соединений и т. п.

При этом прочность и трещиностойкость фундаментов и надфундаментных конструкций должны быть проверены расчетом, учитывающим усилия, которые возникают при взаимодействии сооружения с основанием

Деформации основания

В зависимости от причин возникновения подразделяют на два вида:

- 1) Деформации от внешней нагрузки на основание (осадки, просадки, горизонтальные перемещения)
- 2) Деформации, не связанные с внешней нагрузкой на основание и проявляющиеся в виде вертикальных и горизонтальных перемещений поверхности основания (оседания, просадки грунтов от собственного веса, подъемы и т. п.)

Расчет по деформациям проводится исходя из условия совместной работы сооружения и основания. Допускается ее не учитывать в случаях расчета:

- Оснований сооружений геотехнической категории 1
- Общей устойчивости массива грунта основания совместно с сооружением
- Средних значений осадок основания фундаментов
- Деформаций основания при привязке типового проекта к местным грунтовым условиям

Совместная деформация основания и сооружения

Может характеризоваться:

- Осадкой (подъемом) основания фундамента – s
- Средней осадкой основания фундамента – \bar{s}
- Относительной разностью осадок (подъемов) основания двух фундамента – $\Delta s/L$, где L – расстояние между фундаментами
- Креном фундамента (сооружения) – i
- Относительным прогибом или выгибом – f/L , где L – длина однозначно изгибаемого участка сооружения
- Кривизной изгибаемого участка сооружения
- Относительным углом закручивания сооружения
- Горизонтальным перемещением фундамента (сооружения) – u_h

Расчет оснований по деформациям (п. 5.6.5 СП 22)

Проводят исходя из условия:

$$s \leq s_u$$

где s – осадка основания фундамента (совместная деформация основания и сооружения)

s_u – предельное значение осадки основания фундамента (совместной деформации основания и сооружения), устанавливаемое в соответствии с требованиями п. 5.6.46-5.6.50 СП 22.13330

Расчет деформаций основания фундамента при среднем давлении под подошвой фундамента p , не превышающем расчетное сопротивление грунта R , следует выполнять, применяя расчетную схему в виде линейно деформируемого полупространства (см. 5.6.31 СП 22.13330) с условным ограничением глубины сжимаемой толщи H_c (см. 5.6.41 СП 22.13330)

Расчетное сопротивление грунта R (5.6.7 СП 22)

При расчете деформаций основания фундаментов определяется по формуле:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_\gamma \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1)d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot C_{II}] \geq p$$

где γ_{c1} и γ_{c2} – коэффициенты условий работы по табл. 5.4

$k = 1$ или $1,1$ – коэффициент, учитывающий способ определения прочностных характеристик: испытания или таблицы приложения А соответственно

b – ширина подошвы фундамента, м

M_γ, M_q, M_c – коэффициенты условий работы по табл. 5.5

$k_z = 1$ или $8/b + 0,2$ – коэффициент, учитывающий ширину фундаментов: при $b < 10$ м или при $b \geq 10$ м соответственно

d_1 – глубина заложения фундаментов, м

d_b – глубина подвала, расстояние от уровня планировки до пола подвала, м

γ_{II} и γ'_{II} – осредненный удельный вес грунтов ниже и выше подошвы, кН/м³

C_{II} – удельного сцепления грунта непосредственно под подошвой, кПа

Осадка s основания ФМЗ (5.6.31 СП 22)

Определяется методом послойного суммирования с учетом расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства по формуле:

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

где $\beta = 0,8$ – безразмерный коэффициент

$\sigma_{zp,i}$ и $\sigma_{z\gamma,i}$ – средние значения вертикальных нормальных напряжений в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от **внешней нагрузки** и от **собственного веса грунта**, извлеченного при отрывке котлована, соответственно (см. 5.6.32 и 5.6.33 СП 22.13330)

h_i – толщина i -го слоя грунта, принимаемая не более 0,4 ширины фундамента

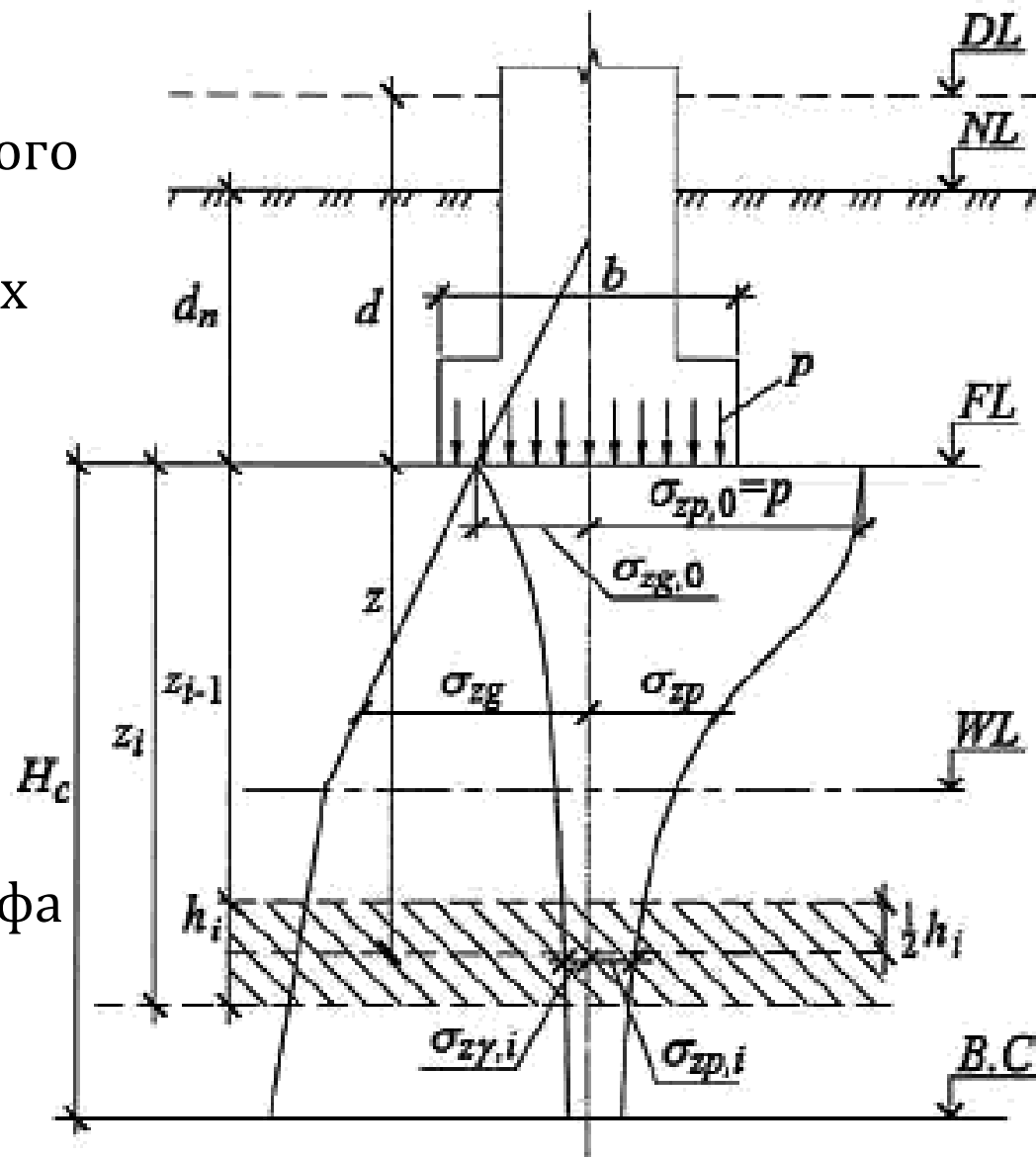
E_i и $E_{e,i} \cong 5E_i$ – модули деформаций i -го слоя грунта по ветви **первичного** и **вторичного** нагружения соответственно

n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания

Схема к определению осадок ФМЗ

Методом послойного суммирования с учетом расчетной схемы в виде линейно деформируемого полупространства:

- $\sigma_{zp,0}$ и $\sigma_{zg,0}$ – средние значения вертикальных нормальных напряжений, проходящих через центр и в уровне подошвы фундамента, от **внешней нагрузки** (дополнительное давление) и от **собственного веса грунта** (природное давление)
- H_c (B.C) – глубина (нижняя граница) сжимаемой толщи на основе: $\sigma_{zp} = 0,5\sigma_{zg}$
- DL – отметка планировки
- NL – отметка поверхности природного рельефа
- FL – отметка подошвы фундамента
- WL – уровень подземных вод



Фазы НДС грунта основания:

0 – фаза **упругой** работы грунта

I – фаза уплотнения; **II** – фаза сдвигов; **III** – фаза выпора грунта

$R_{стр}$ и R – структурная прочность и расчетное сопротивление грунта

$R_{кр}^{нач}$ и $R_{кр}^{пред}$ – начальное и предельное критическое давление на грунт

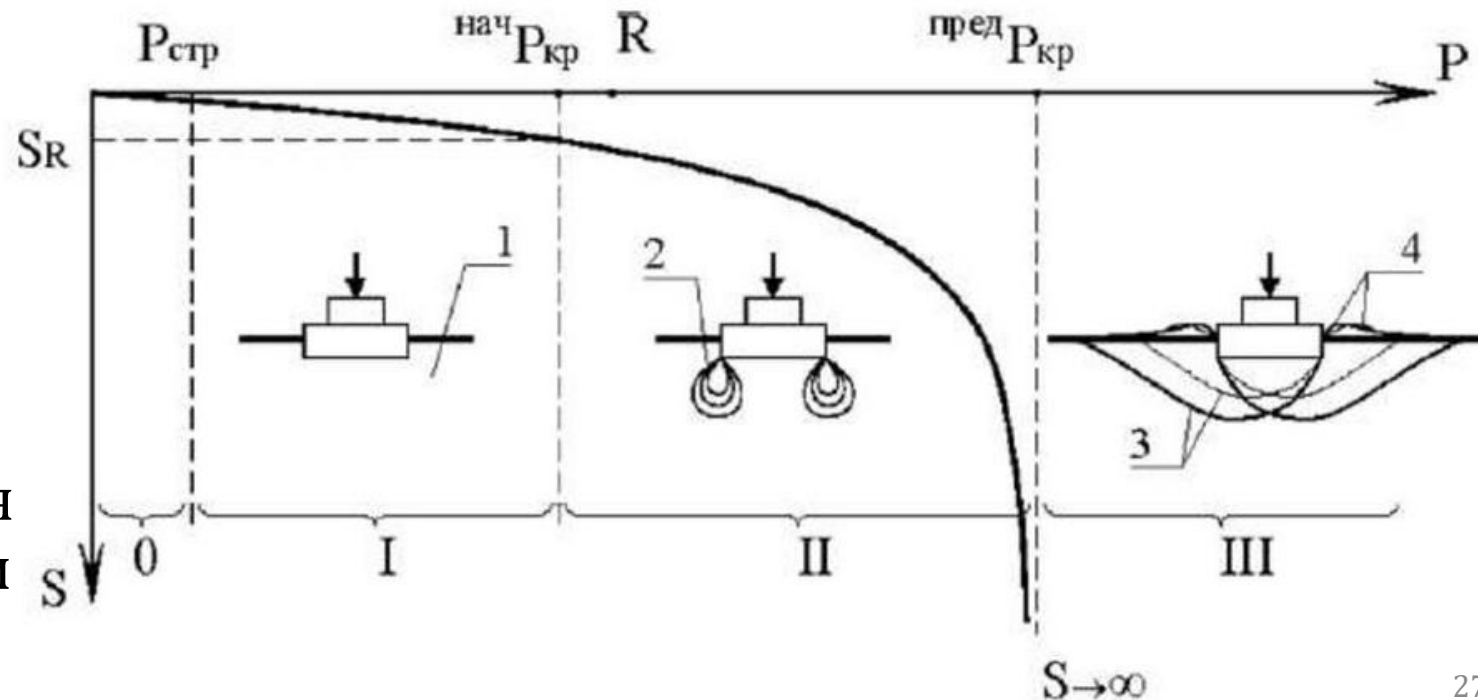
1 – основание в допредельном состоянии

2 – зоны сдвигов

3 – линии скольжения

4 – зоны выпора грунта

При $P > R$ расчет выполняется на основе **нелинейной** теории механики грунта



Расчет оснований (р. 5.7 СП 22)

По несущей способности выполняется с целью обеспечения прочности и устойчивости оснований, а также недопущение сдвига фундамента по подошве и его опрокидывания, из условия:

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

где F – расчетная нагрузка на основание;

F_u – сила предельного сопротивления основания

γ_c и γ_n – коэффициенты условий работы и надежности по ответственности

В общем случае расчет выполняется методами теории предельного равновесия, основанными на поиске наиболее опасной поверхности скольжения и обеспечивающими равенство сдвигающих и удерживающих сил. Поверхности скольжения могут быть приняты цилиндрическими, ломаными, в виде логарифмической спирали или другой формы

Проверку оснований по несущей способности

Следует проводить в случаях, если:

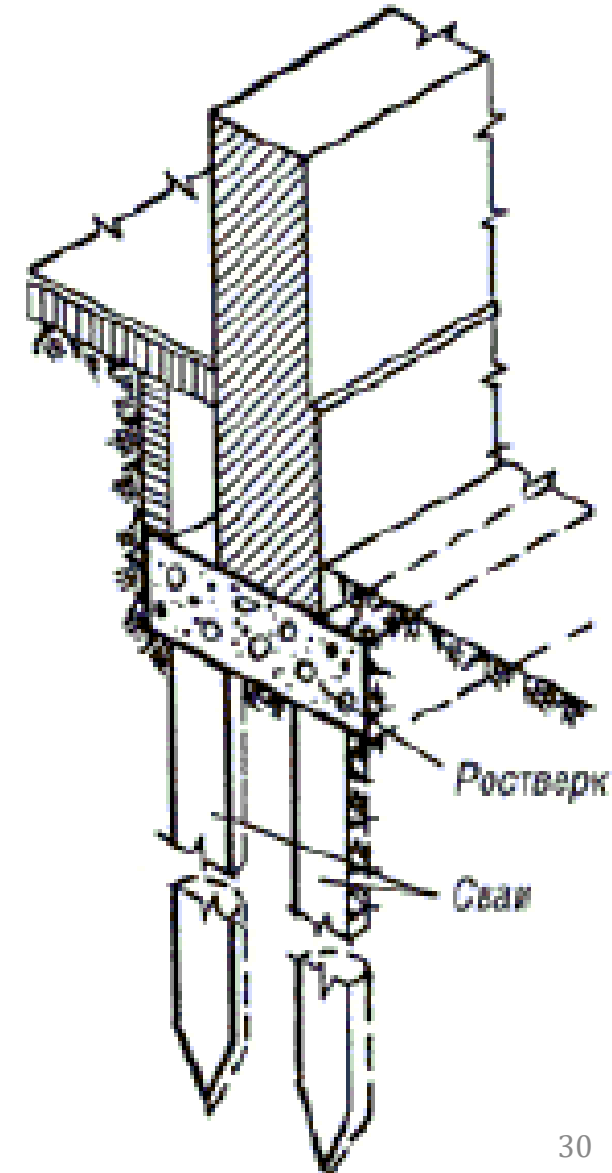
- На основание передаются значительные горизонтальные нагрузки (подпорные стены, фундаменты распорных конструкций, углубление подвалов реконструируемых зданий и т. п.), в том числе сейсмические
- Сооружение расположено на откосе или вблизи откоса
- Сооружение расположено вблизи котлована или подземной выработки
- Основание сложено дисперсными грунтами, указанными в п. 5.7.5 СП 22
- Основание сложено скальными грунтами
- Сооружение относится к геотехнической категории 3
- Увеличивается нагрузка на основание при реконструкции сооружений

Свайные фундаменты

Свай называют погруженный в готовом виде или изготовленный в грунте стержень, предназначенный для передачи нагрузки от сооружения на грунт основания

Отдельные сваи или группы свай, объединенные сверху распределительной плитой или балкой, образуют **свайный фундамент**

Распределительная плита или балка, объединяющая головы свай, распределяющая и передающая на сваи нагрузку от расположенного выше сооружения, называется **ростверком**

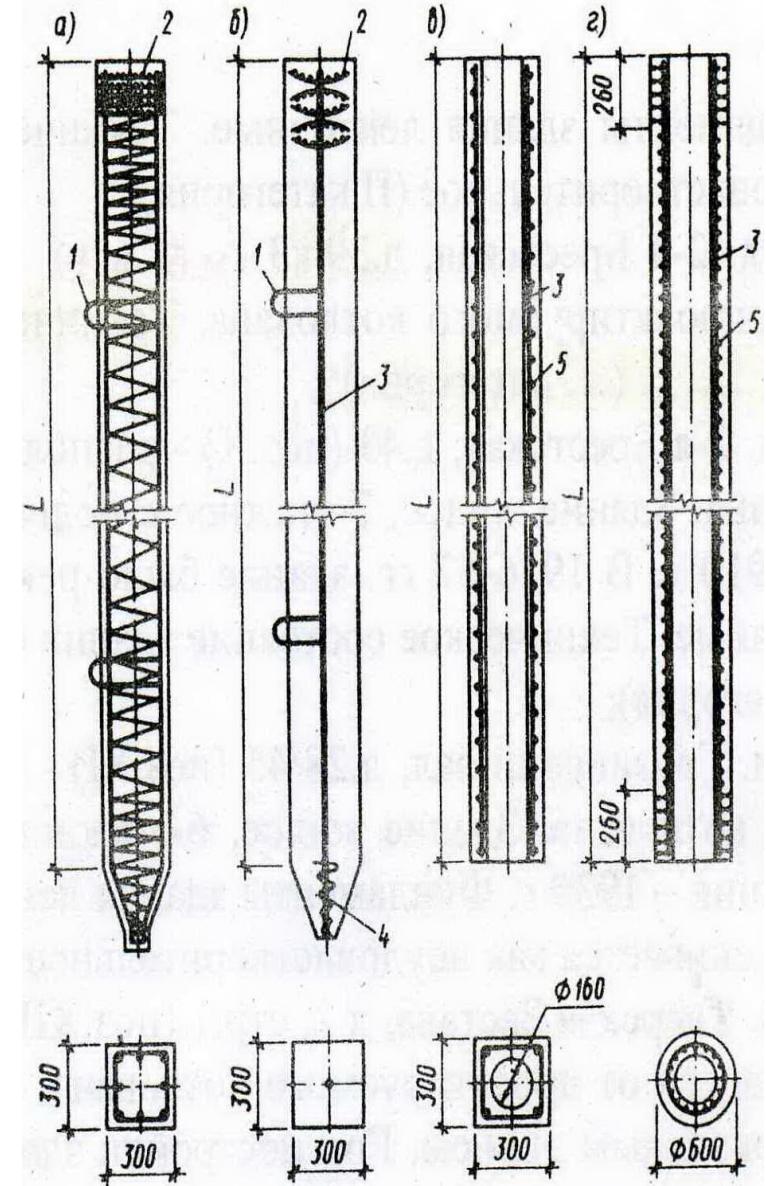


Свайные фундаменты выполняются из:

- Железобетонных свай
- Деревянных свай
- Стальных свай

Конструкция сборных железобетонных свай:

- **а)** – призматическая с поперечным армированием ствола
 - **б)** – то же, без поперечного армирования ствола
 - **в)** – то же, с круглой полостью
 - **г)** – полая круглая с поперечным армированием ствола
- 1** – петли; **2** – сетки косвенного армирования
3 и **5** – продольная и поперечная арматура; **4** – анкер



Типы свай по характеру взаимодействия с грунтом:

- **Висячие сваи (сваи трения)** – рис. б)

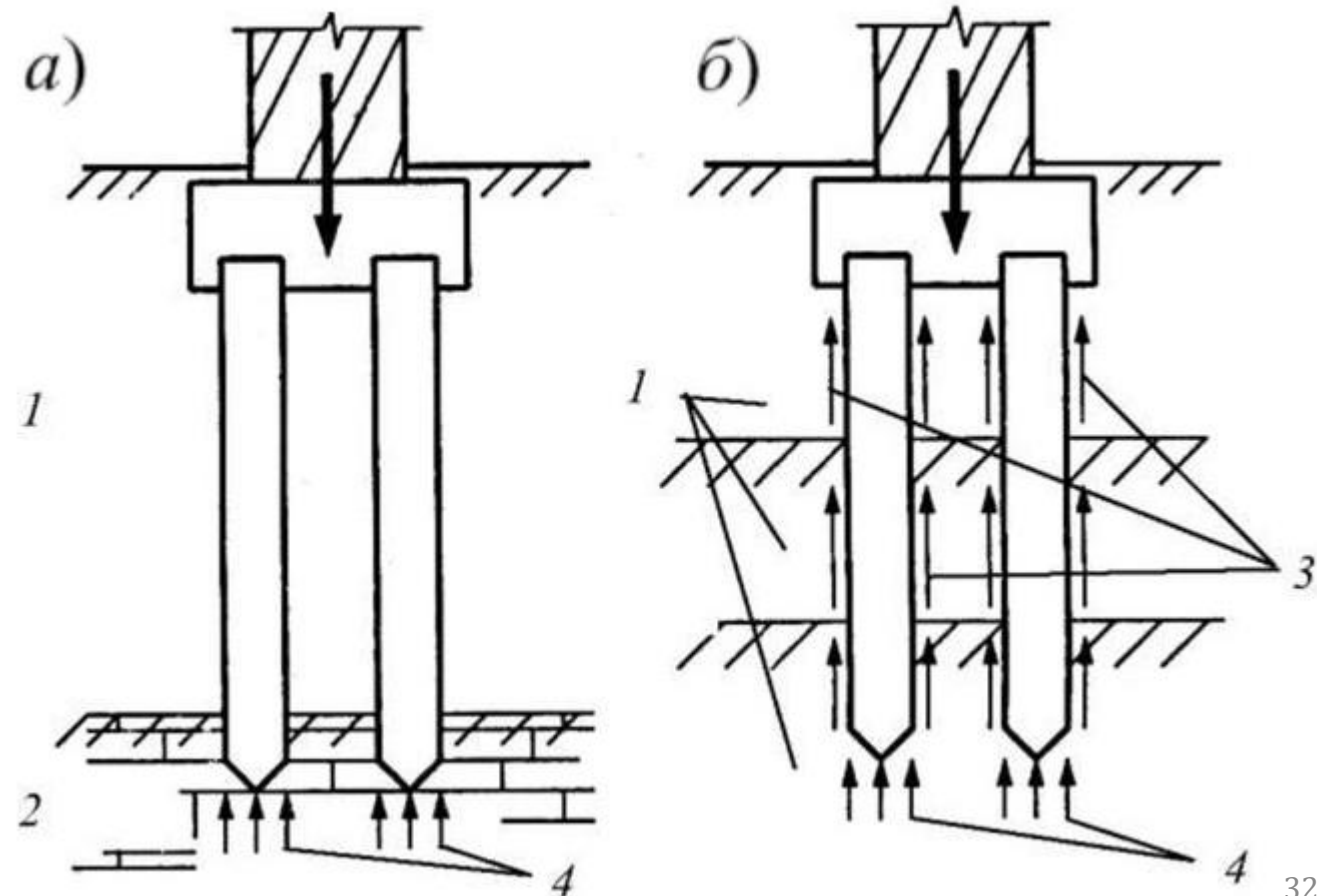
- **Сваи-стойки** – рис. а)

1 – сжимаемый грунт основания

2 – несжимаемый (скальный) или малосжимаемый грунт основания

3 – силы сопротивления грунта по боковой поверхности сваи

4 – силы сопротивления грунта под острием сваи

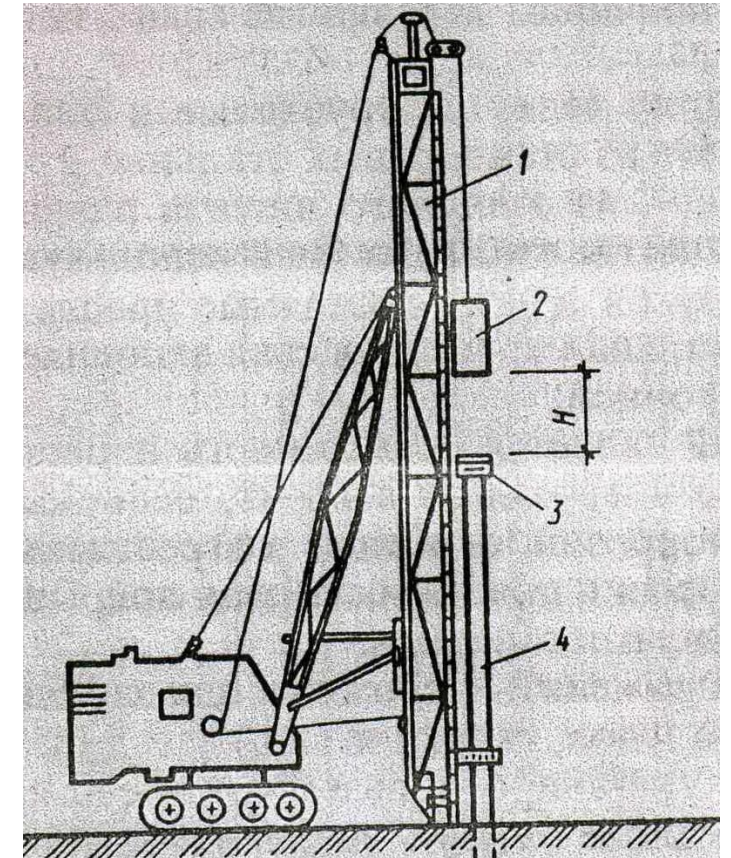


Методы погружения свай в грунт:

- Забивка
- Вибропогружение
- Задавливание
- Ввинчивание (стальные сваи)
- Погружение в лидерные скважины

Забивка свай механическим молотом:

- 1 – мачта копра
- 2 – подвесной молот
- 3 – металлический наголовник
- 4 – сборная железобетонная свая



Несущая способность F_d свай-стоек (п. 7.2.1 СП 24)

Опирающихся на скальный (несжимаемый) или слабodeформируемый грунт, принимается равной несущей способности основания под нижним концом сваи F_{db} и определяется по формуле:

$$F_d = F_{db} = \gamma_c \cdot R \cdot A$$

где F_d – несущая способность сваи-стойки

F_{db} – несущая способность основания под нижним концом сваи

R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки

A – площадь опирания сваи на грунт, принимаемая в зависимости от острия сваи

$\gamma_c = 1$ – коэффициент условий работы сваи в грунте

Литература:

- СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений
- СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты
- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции
- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия
- Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
- Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. 5-е издание, перер. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
- Кумпяк О. Г., Самсонов В. С., Галяутдинов З. Р., Пахмурин О. Р. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 672 с.

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №24



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.