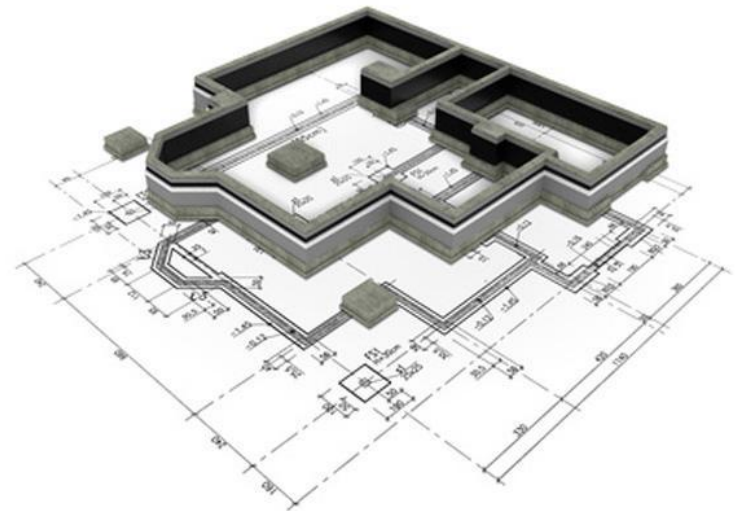


# Лекция 4

## Фундаменты, возводимые в открытых котлованах



# Классификация фундаментов

## По виду заложения :

1. мелкого заложения;
2. глубокого заложения (в виде оболочек, опускных колодцев, кессонов);
3. свайные.

## По материалу:

1. бутовые;
2. бутобетонные;
3. бетонные;
4. железобетонные.



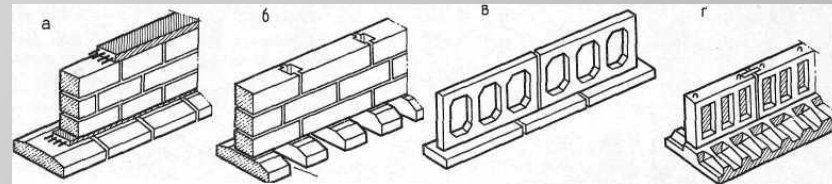
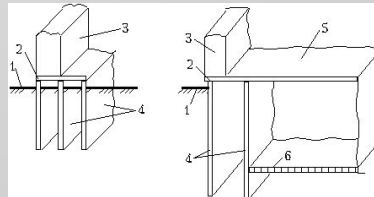
## По способу изготовления:

1. монолитные;
2. сборные.



## По конструктивному решению:

1. столбчатые (отдельностоящие);
2. ленточные (сплошные и прерывистые);
3. плитные;
4. коробчатые;
5. щелевые.



## По характеру работы под нагрузкой:

1. жесткие (работающие на сжатие);
2. гибкие (работающие на растяжение и скалывание).

## По характеру нагружения:

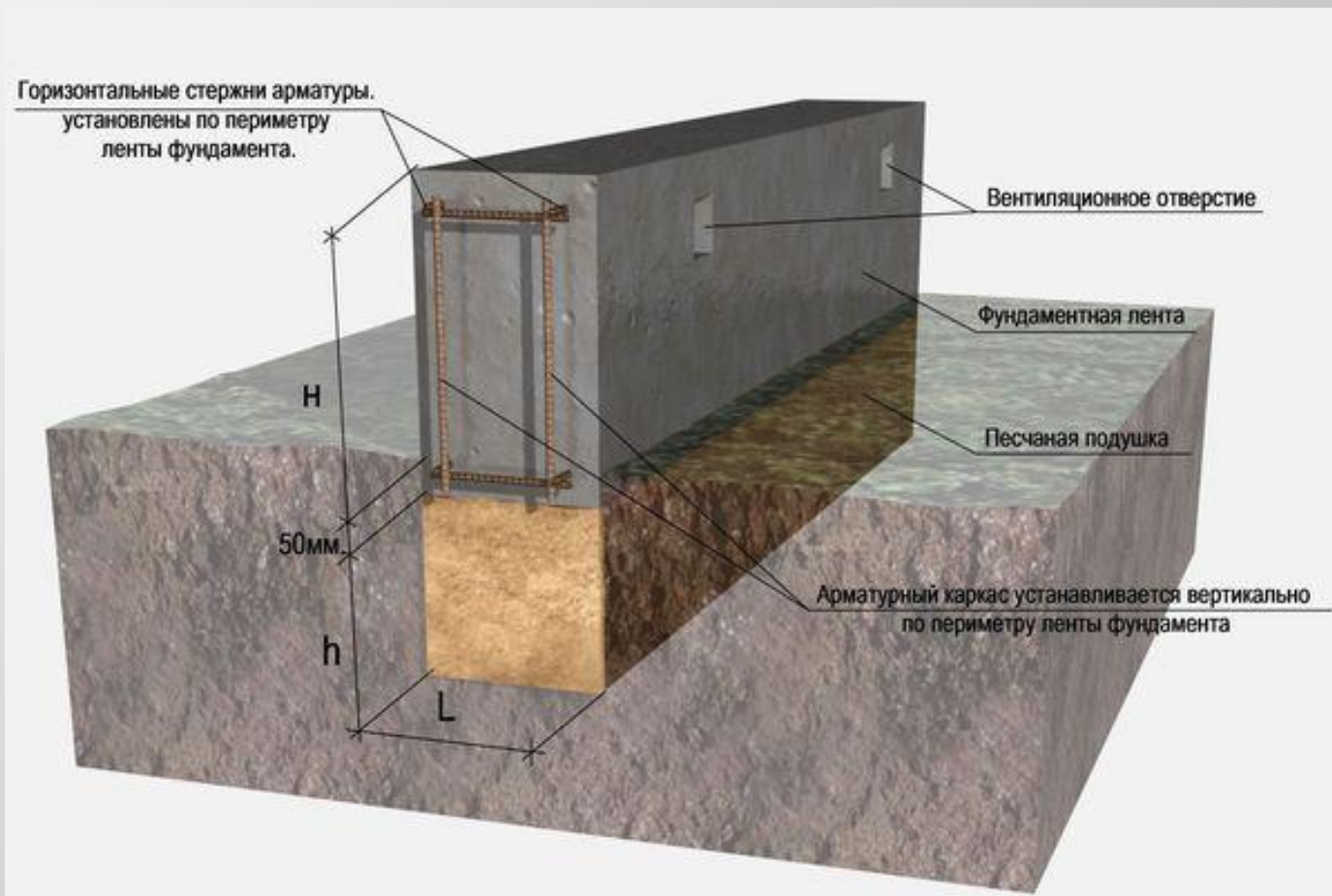
1. центрально нагруженные;
2. внецентренно нагруженные.

## По способу опирания на грунт :

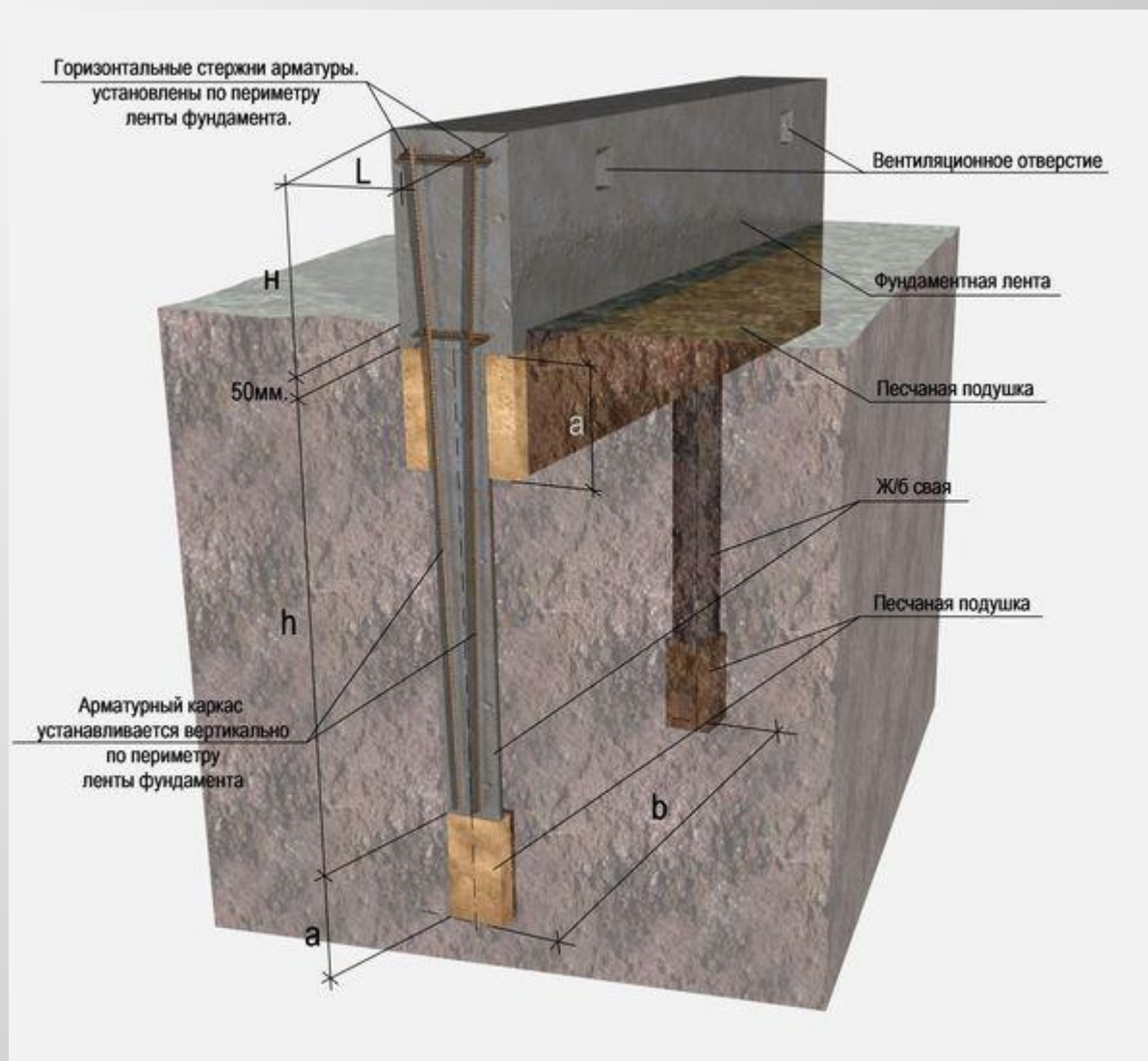
1. на естественном основании;
2. на искусственном основании.

# Новые виды фундаментов

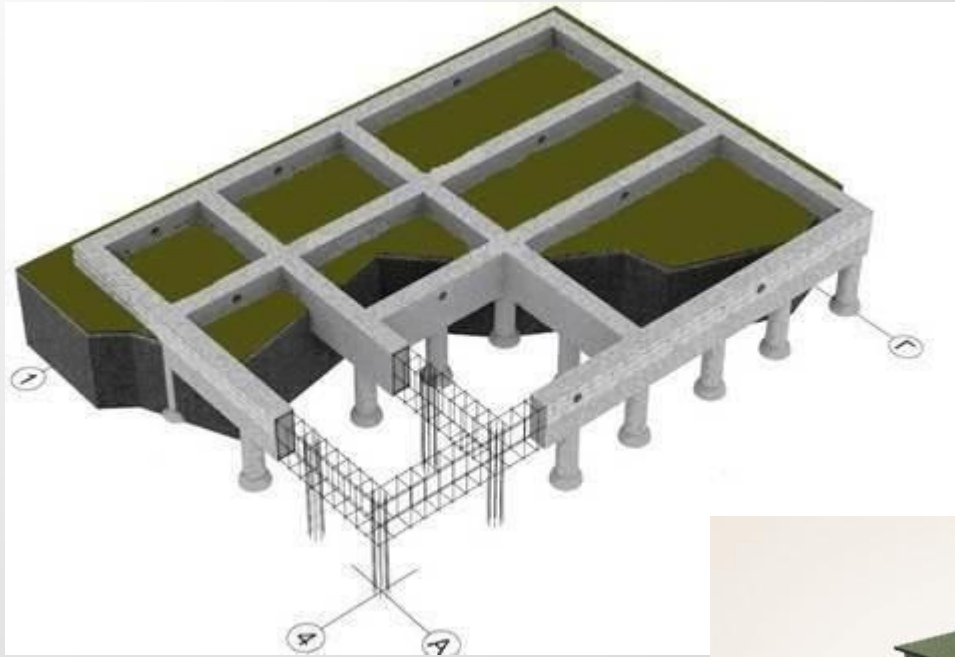
## МАЛОЗАГЛУБЛЕННЫЙ МОНОЛИТНЫЙ ФУНДАМЕНТ («плавающий фундамент» на грунте)



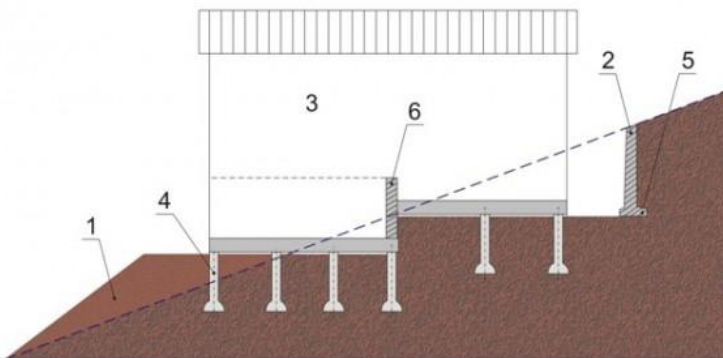
# СВАЙНО - РОСТВЕРКОВЫЙ ФУНДАМЕНТ



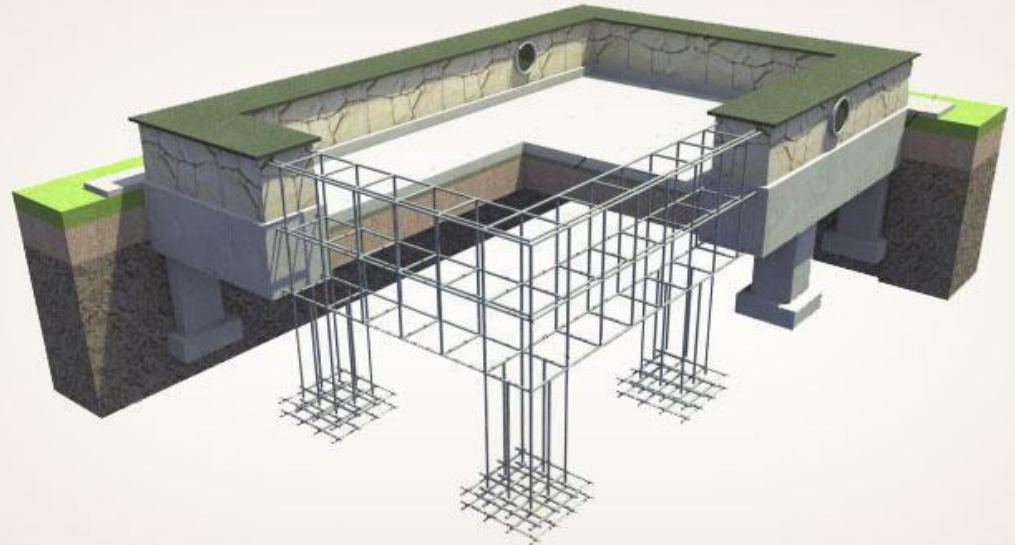
# КОМБИНИРОВАННЫЙ ФУНДАМЕНТ



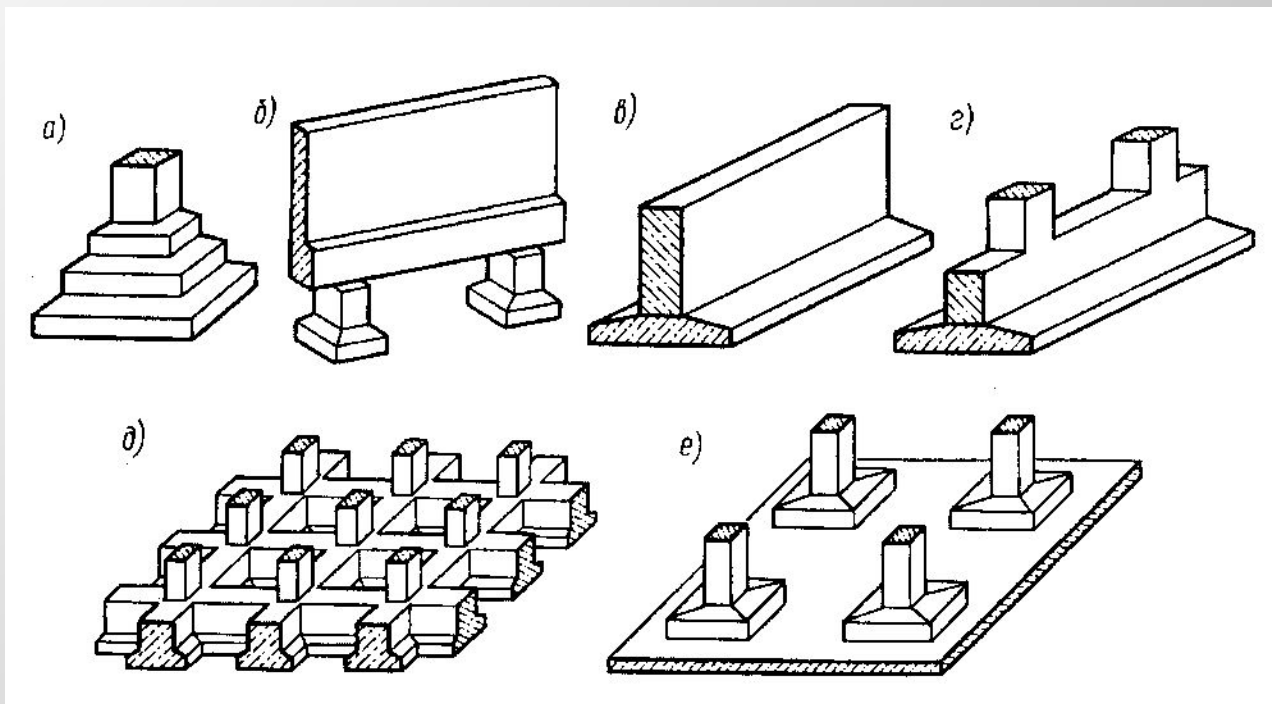
Устройство двухуровневой строительной площадки на склоне



1 - насыпной грунт; 2 - подпорная стенка; 3 - строение;  
4 - опоры фундамента; 5 - замок; 6 - внутренняя подпорная стенка.



# Основные типы фундаментов мелкого заложения



*а – отдельный фундамент под колонну; б – отдельные фундаменты под стену; в – ленточный фундамент под стену; г – то же, под колонны; д – то же, под сетку колонн; е – сплошной (плитный) фундамент.*

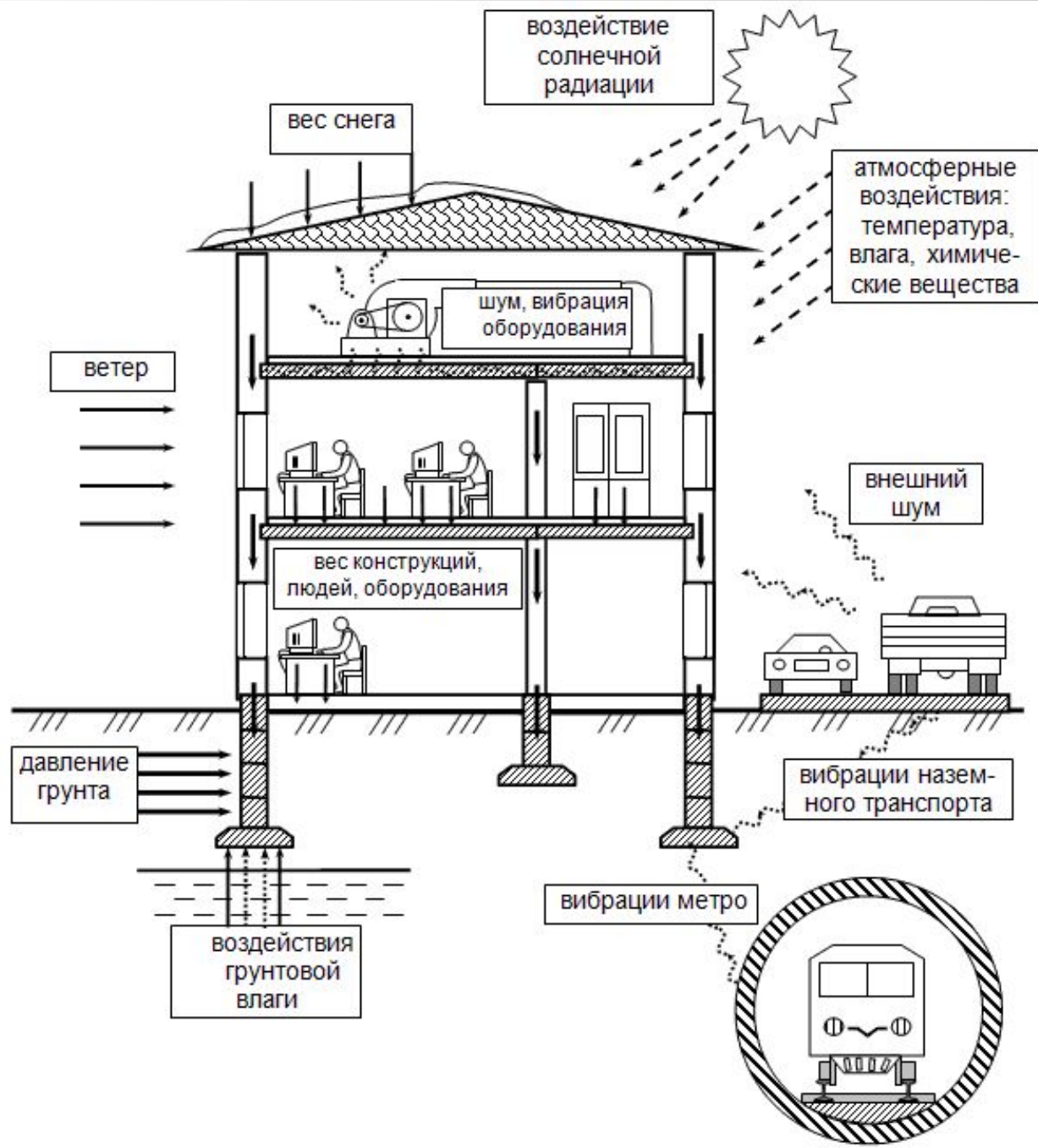
# **На выбор типа фундамента влияют множество факторов, к которым относятся:**

- 1. состояние и тип грунта на отведенном участке;**
- 2. глубина промерзания грунта;**
- 3. наличие грунтовых вод;**
- 4. конструкция и нагрузка от несущих конструкций здания;**
- 5. наличие подвалов;**
- 6. срок службы здания;**
- 7. материалы для строительства фундамента;**
- 8. наличие подземных коммуникаций на участке, предназначенном для строительства.**

# Требования, предъявляемые к фундаментам:

- 1) прочность;
- 2) устойчивость на опрокидывание и скольжение в плоскости подошвы фундамента;
- 3) пространственная жесткость;
- 4) устойчивость к воздействию грунтовых вод, химической и биологической агрессивности среды;
- 5) стойкость к атмосферным факторам (морозостойкость; пучение грунтов при замерзании);
- 6) соответствие по долговечности сроку службы здания;
- 7) индустриальность.





# **Последовательность проектирования фундаментов мелкого заложения**

**Основные этапы  
проектирования включают:**

# 1) сбор нагрузок на обрез фундамента:

При расчете по деформациям необходимо рассматривать расчетные нагрузки с коэффициентом перегрузки равным 1.



**Расчет оснований и фундаментов ведется на основное сочетание нагрузок (постоянные + временные).**

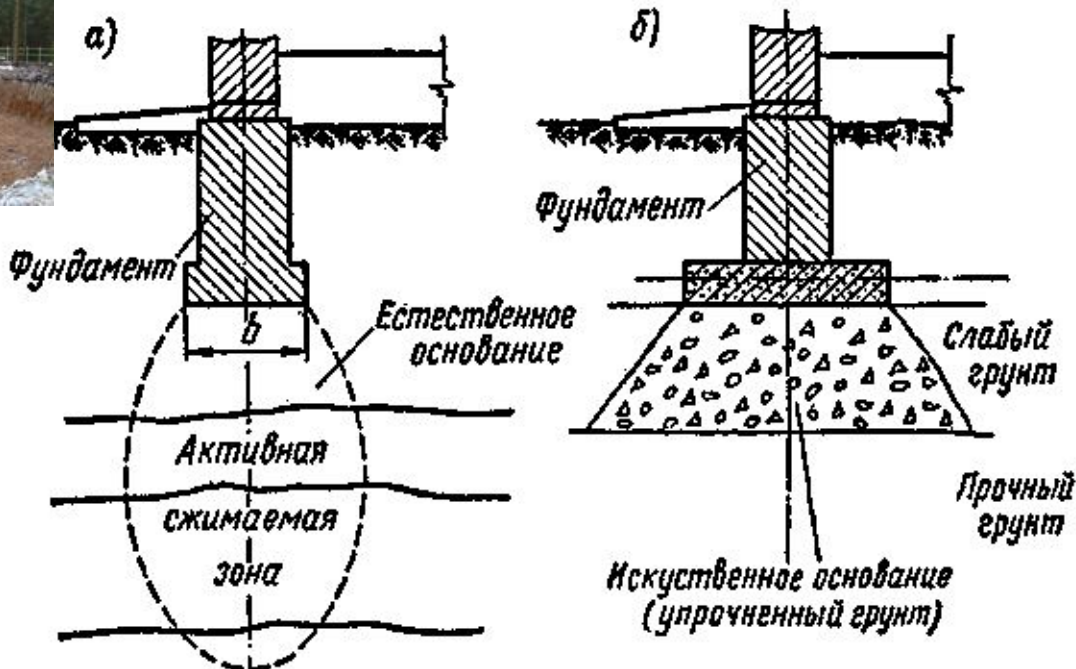
**2) оценка инженерно-геологических и гидрологических условий площадки строительства;**

# Классификация оснований

**Основанием** называют толщу природных напластований горных пород, которые воспринимают нагрузку от вышележащих конструкций и взаимодействуют с ними.

Основания называют **естественными**, если они сложены природными грунтами или скальными породами в условиях естественного залегания.

Основания из предварительно уплотненных или упрочненных или иным способом грунтов называют **искусственными**.



# Типы грунтов и требования к основанию

Основные требования к основанию: достаточная прочность ( т.е. малая сжимаемость и неподвижность), однородность, непучинистость, стойкость к воздействию текучих и агрессивных вод.



Скальные  
грунты



Песчаные  
грунты



Глинистые грунты



Лессовые  
грунты



Торфяные грунты



Плывуны



## **К слабым грунтам относятся:**

**пески любой крупности в рыхлом состоянии,  
пески пылеватые водонасыщенные,  
глинистые грунты с коэффициентом  
консистенции свыше 0,5 (текучие и  
текучепластичные),  
торф и заторфованные грунты, илы,  
грунты при  $E \leq 5$  МПа и  $\phi = 4 \dots 10^\circ$ , и т.д.**

**3) выбор глубины заложения  
фундамента;**



## **Глубина заложения фундаментов должна определяться с учетом:**

- назначения, конструктивных особенностей сооружения (наличия и размеров подвалов, фундаментов под оборудование и т.д.);**
- размера и характера нагрузок и воздействий на фундаменты;**
- глубины заложения фундаментов примыкающих сооружений, глубины прокладки коммуникаций;**
- существующего и проектируемого рельефа застраиваемой территории;**
- инженерно-геологических условий площадки строительства;**
- гидрогеологических условий площадки (уровня подземных вод, также возможного его изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения, агрессивности подземных вод и т.п.);**
- глубины сезонного промерзания грунтов**

# Глубина заложения фундаментов определяется 3<sup>мя</sup> факторами:

**I.** Инженерно-геологическими и гидрологическими условиями строительной площадки.

**II.** Климатическими особенностями района строительства.

**III.** Конструктивными особенностями возводимого здания, а также соседних сооружений.



# 1. Инженерно-геологические условия

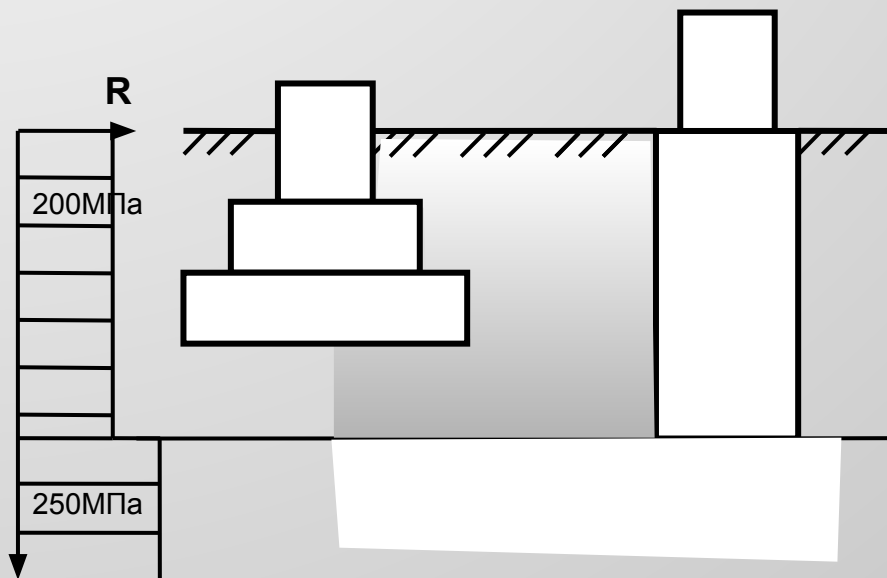
Все инженерно-геологические условия на строительной площадке можно свести к трем

схемам:

1-схема



Однородный хороший (надежный) грунт (обеспечивает надежное существование проектируемого сооружения)

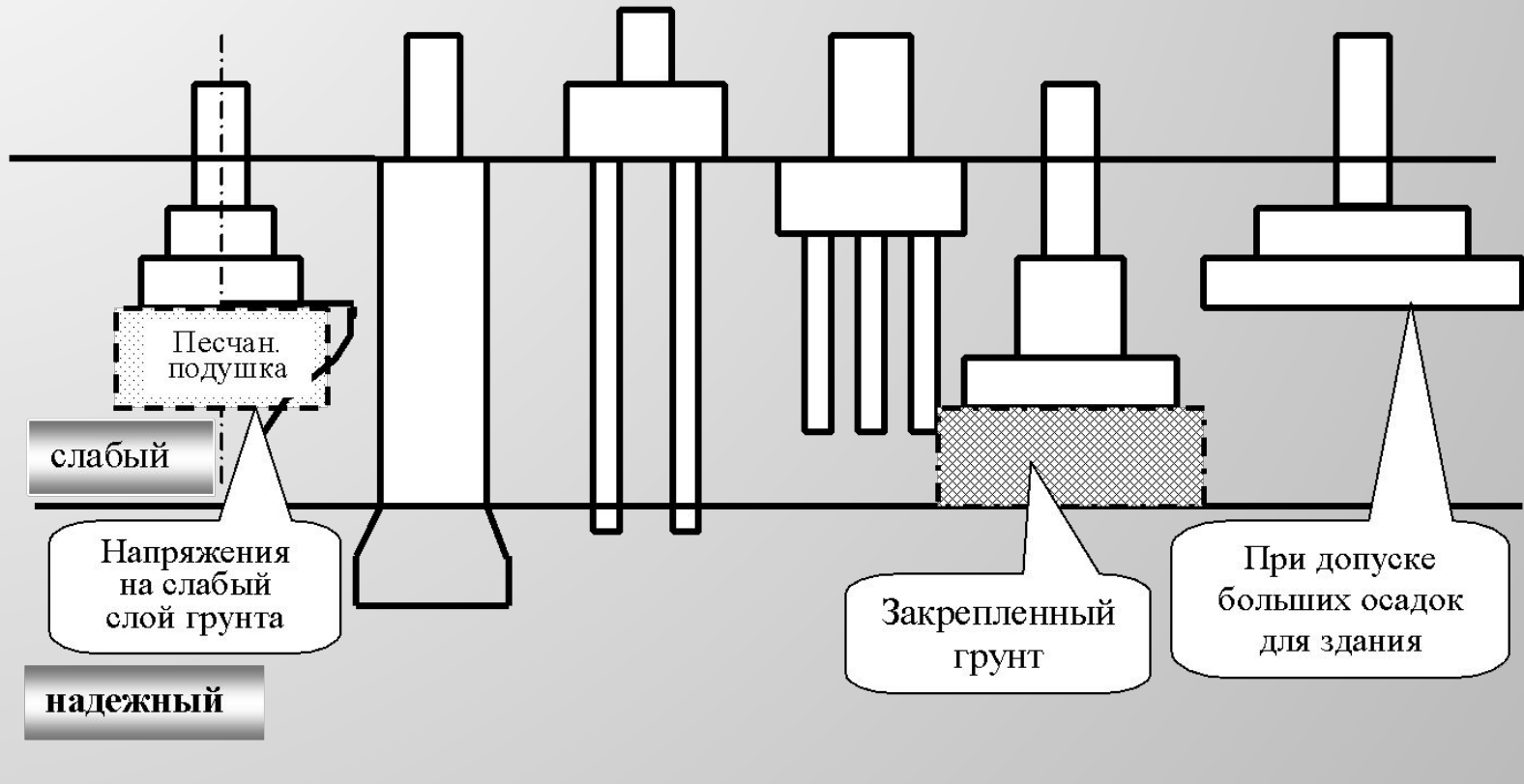


Оба слоя надежные, на какой ставить фундамент?  
Здесь вопрос должен решаться на основании технико-экономического сравнения вариантов (Т.Э.П.)

## 2-схема



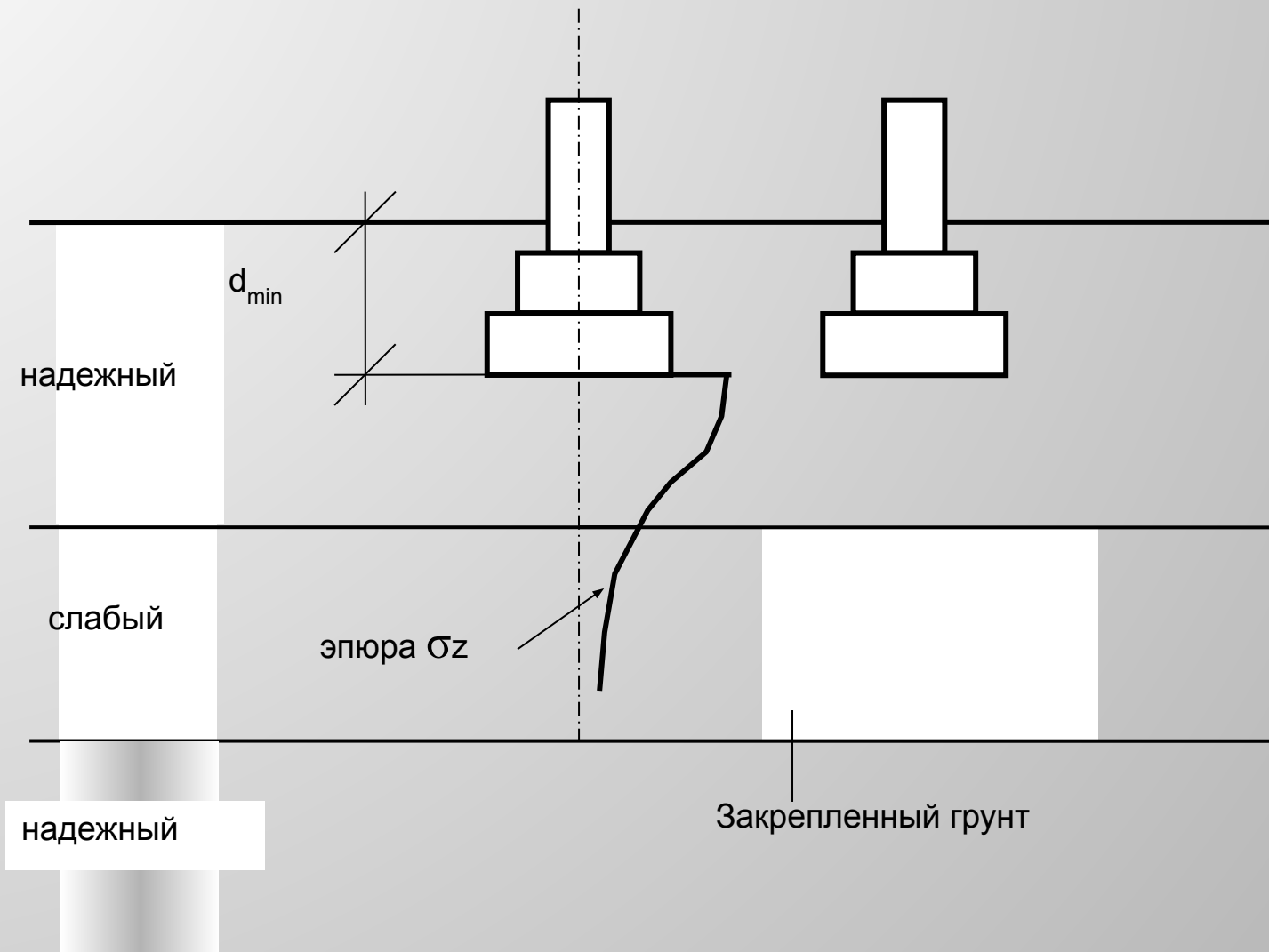
С поверхности залегает *слабый* грунт, который на некоторой глубине подстиляется *надежным*



## 3-схема

Слоистое напластование.

Такой геологический разрез может иметь несколько слоев по глубине.

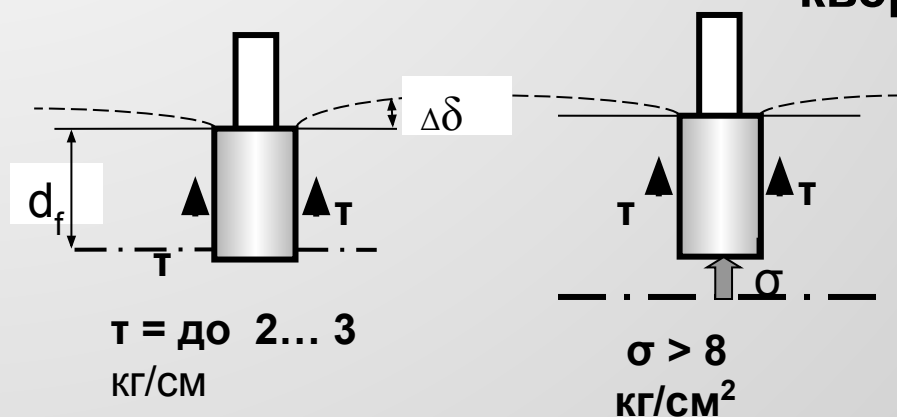


**Все варианты фундаментов 2-схемы применимы и для 3-схемы**

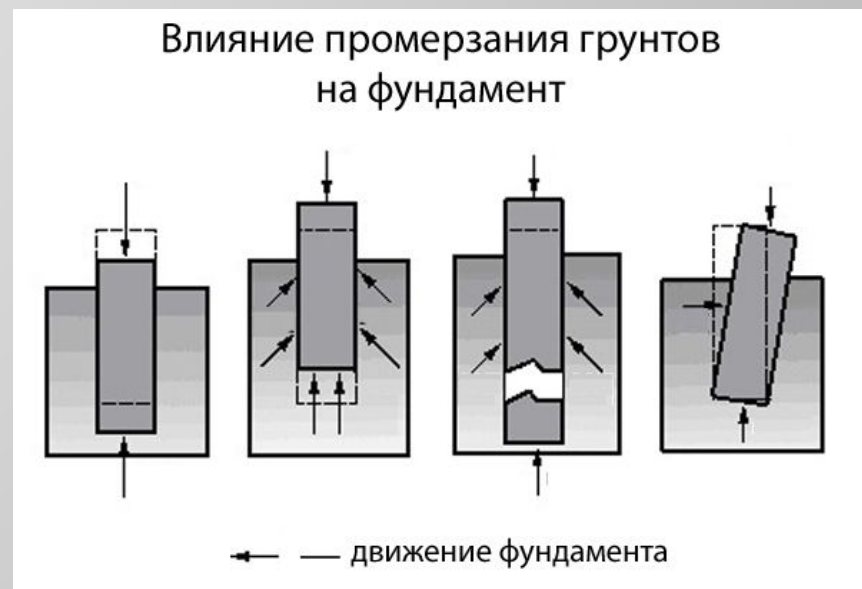
## II. Климатические особенности района

**Подшву фундамента необходимо закладывать на глубине, не превышающей глубину промерзания грунта!**

При промерзании грунта вода, заполняющая поры между частицами, расширяется и деформирует грунт, выпучивая его кверху.

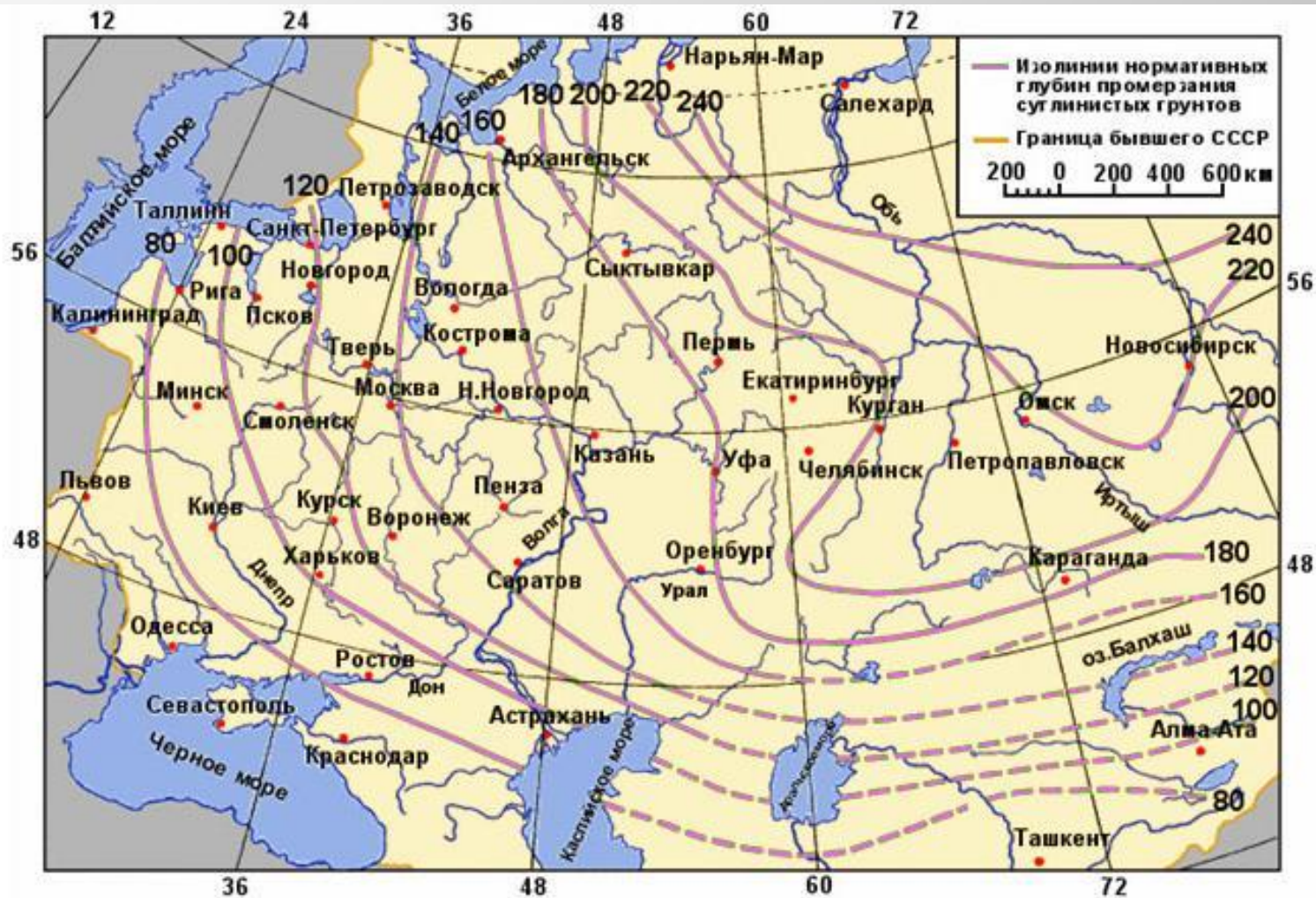


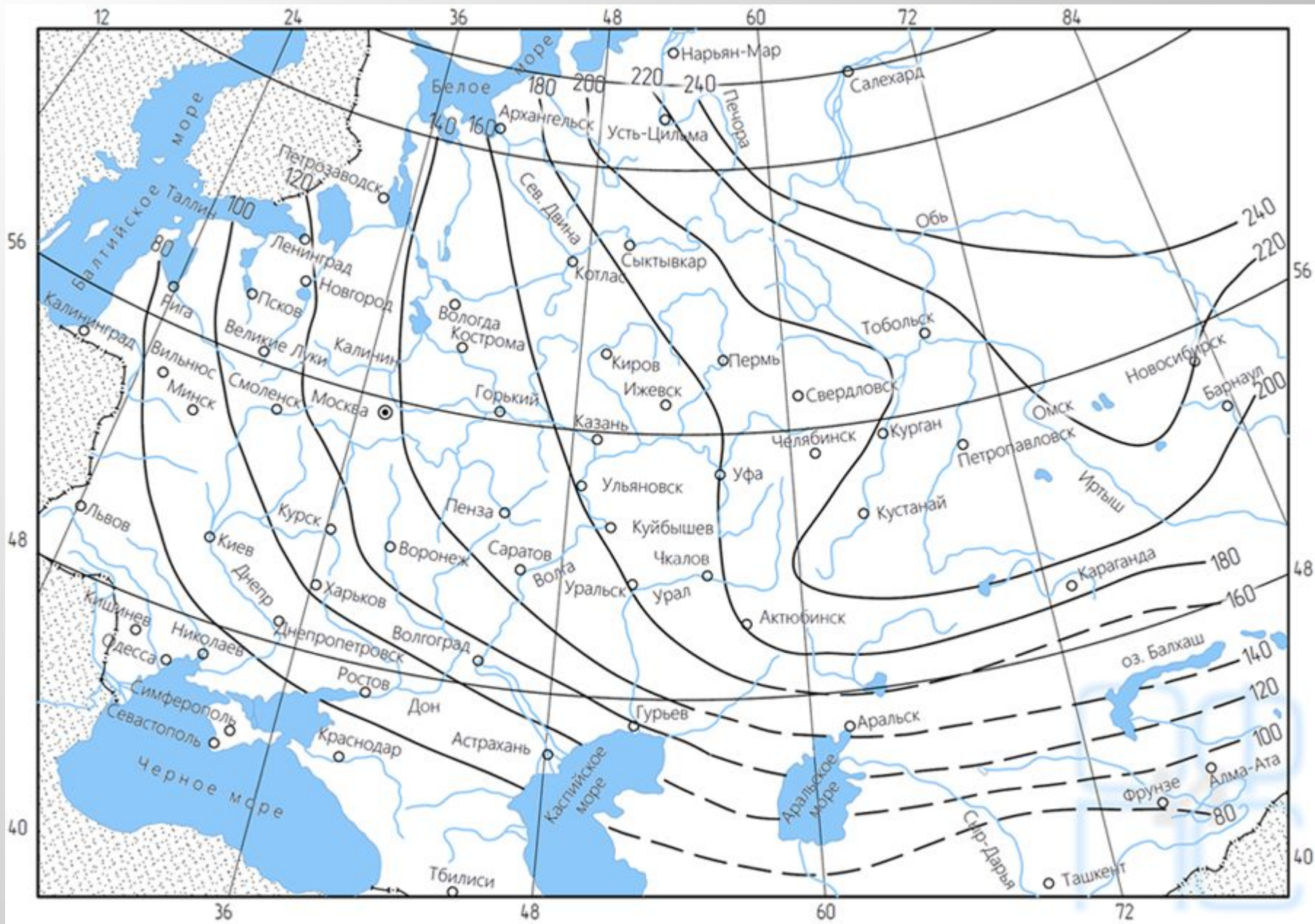
$T$  – касательные силы пучения;  $\sigma$  – нормальные силы пучения;  $d_f$  – расчетная глубина промерзания грунта;  $\Delta\delta$  – пучение поверхности грунта.



**Пучению подвержены пылеватые пески, мягкопластичные и текучие суглинки и глины.**

# Значения нормативной глубины сезонного промерзания грунта







# Расчетная глубина сезонного промерзания грунта

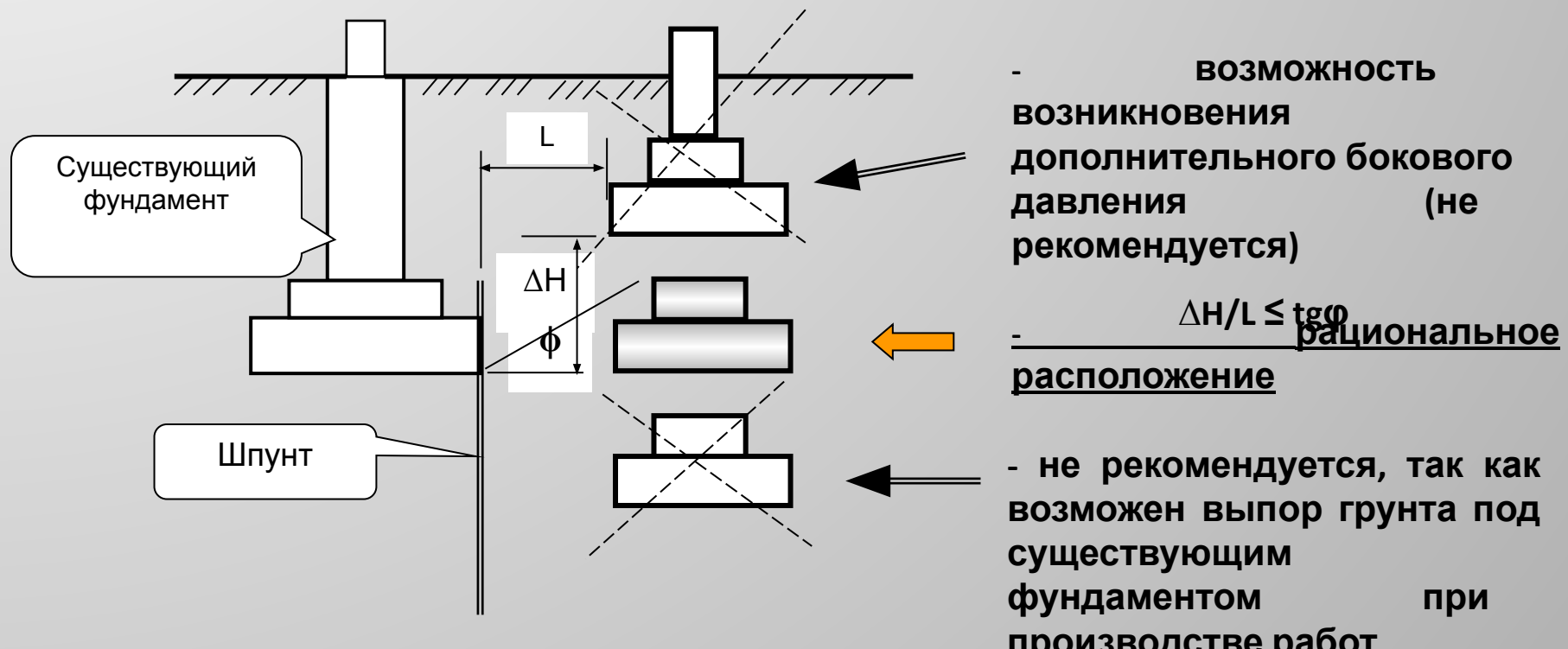
определяется по формуле

$$d_f = k_h d_{fn} , \quad (4.1)$$

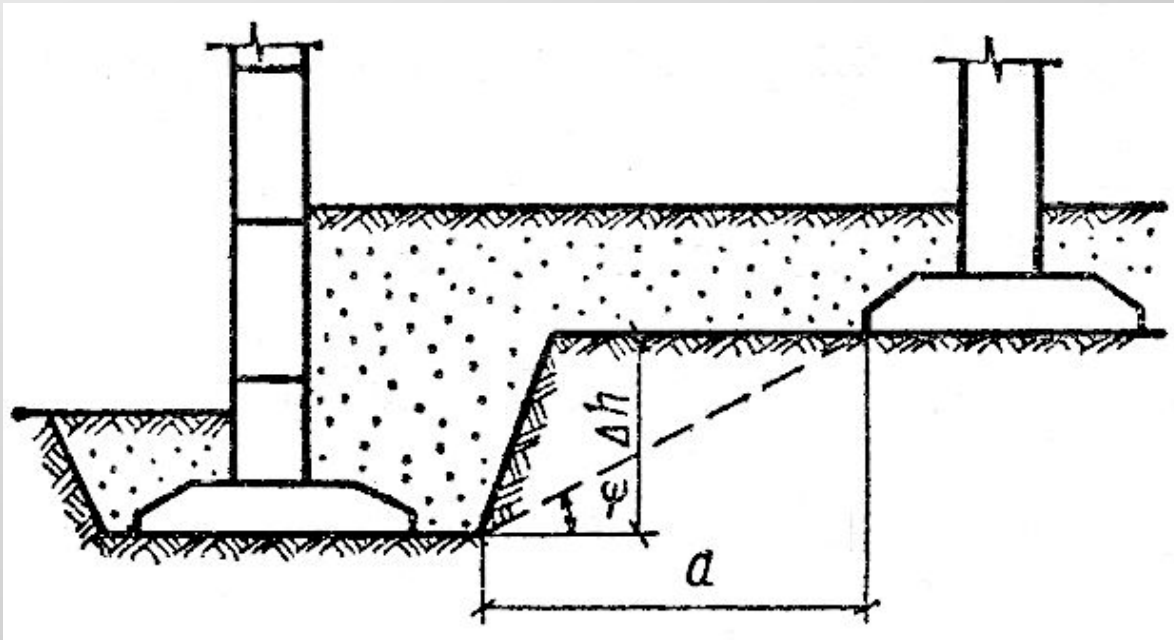
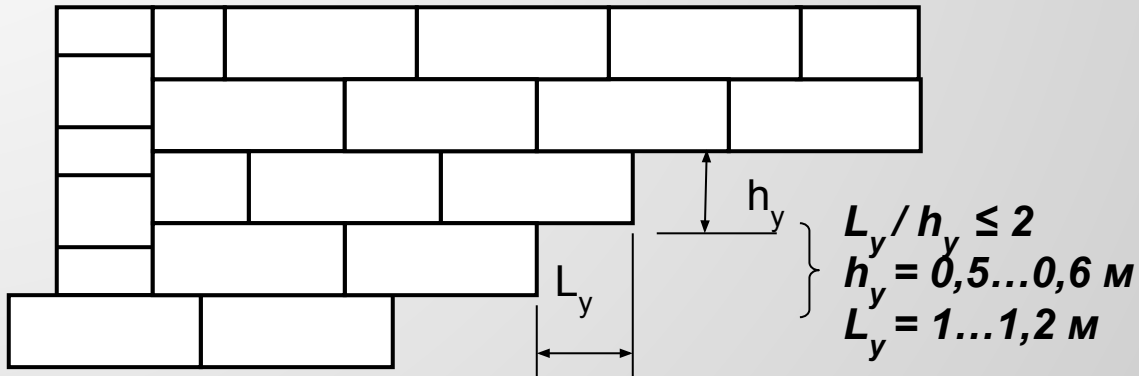
где  $k_h$  — коэффициент, учитывающий влияние теплового режима сооружения и принимаемый: для наружных фундаментов отапливаемых зданий — по таблице; для наружных и внутренних фундаментов неотапливаемых зданий **kh = 1,1**, кроме районов с отрицательной среднегодовой температурой.

### III. Конструктивные особенности возводимого здания, а также соседних сооружений

1. Наличие фундаментов существующих (примыкающих) зданий.
2. Наличие фундаментов под оборудования.
3. Наличие тоннелей и коммуникаций.
4. Наличие подвала.
5. Способ производства работ



Если фундамент закладывают на различную глубину (наружные и внутренние стены), то необходим постепенный (плавный) переход от одной глубины к другой.



$$\Delta h \leq a(\operatorname{tg} \varphi_I + c_I / p)$$

## 4) назначение предварительных размеров подошвы фундамента:

Предварительно площадь подошвы фундаментов определяется исходя из условий равновесия методом последовательных приближений:

$$A = \frac{N_{0II}}{R_0 - \gamma_{mII} \cdot d}, \quad (4.2)$$

где  $N_{0II}$  – расчетная нагрузка по II группе предельных состояний, приложенная к обрезу фундамента;

$R_0$  – условное расчетное сопротивление грунта, принимаемое предварительно по таблицам СНиП 2.02.01-83\*;

$\gamma_{mII}$  – осредненное расчетное значение удельного веса материала фундамента и грунта, лежащего на его уступах;

$d$  – глубина заложения фундамента.

Зная ориентировочную площадь подошвы  $A$  (по формуле 4.2), устанавливают размеры фундамента:

- в случае квадратной подошвы:

$$b = \sqrt{A}, \quad (4.3)$$

- в случае прямоугольной подошвы:

$$b = \sqrt{\frac{A}{\eta}}, \quad (4.4)$$

где  $\eta$  - коэффициент отношения размеров меньшей стороны  $b$  (ширины) к большей  $l$  ( $\eta = b/l = 0,65-0,85$ ).

Для ленточных фундаментов расчет ведется на  $l = 1\text{ м}$  длины фундамента. При этом ширина определяется по формуле:

$$b = \frac{A}{l}, \quad (4.5)$$

После определения  $\mathbf{b}$  и  $\mathbf{l}$  вычисляют действительное расчетное сопротивление грунта  $\mathbf{R}$  ( $R=f(b, d, \gamma, \mathbf{c}, \varphi)$ ) по формуле (7) СНиП 2.02.01-83\*.

Если значение  $\mathbf{R}$  будет близко к  $\mathbf{R}_0$  (в пределах 10%), то расчет закончен.

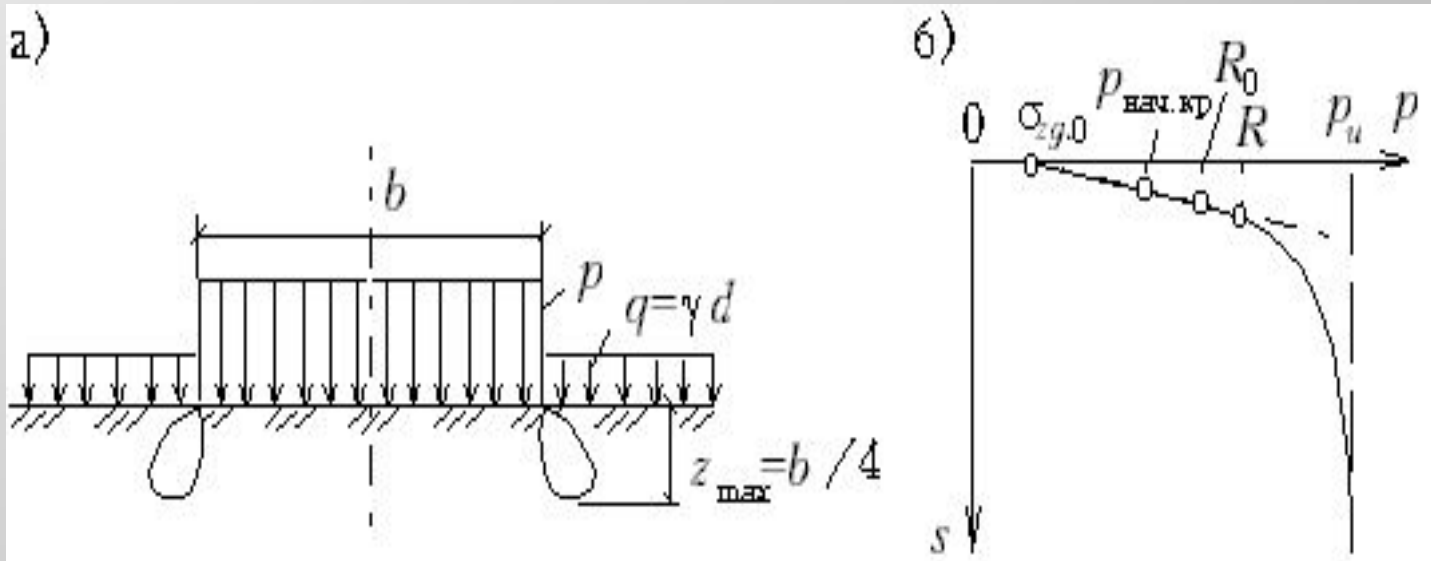
Если нет, то значение  $\mathbf{R}$  подставляем в формулу (4.2), находим

$$A_1 \Rightarrow b_1 \Rightarrow R_1 \Rightarrow \text{сравниваем с } \mathbf{R}.$$

После определения  $b$  и  $l$  вычисляют действительное расчетное сопротивление грунта  $R$  ( $R=f(b, d, \gamma, c, \varphi)$ ) по формуле (7) СНиП 2.02.01-83\*.

### Что такое расчетное сопротивление грунта основания?

Расчетное сопротивление грунта соответствует такому давлению под подошвой фундамента, при котором зоны пластических деформаций развиваются на глубину  $z=b/4$ . На графике зависимости осадка-нагрузка это давление находится в начале фазы образования областей сдвига.



**Из решения Н.П.Пузыревского получено следующее выражение для расчетного сопротивления грунта основания :**

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

где :  $\gamma_{c1}$  и  $\gamma_{c2}$  - коэффициенты условий работы, зависящие от вида грунта основания и жесткости сооружения;

$k$  - коэффициент, принимаемый  $k = 1$ , если прочностные характеристики грунта  $j$  и  $c$  определены непосредственными испытаниями, и  $k = 1,1$ , если они приняты по таблице СНиП 2.02.01.83 на основании физических характеристик грунтов;

$M_\gamma$ ,  $M_q$ ,  $M_c$  - коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения грунта;

$k_z$  - коэффициент, принимаемый при  $b < 10$  м  $k_z = 1$ ,

$b$  - ширина подошвы фундамента;

$\gamma_{II}$  и  $\gamma'_{II}$  - осредненное расчетное значение удельного веса грунтов, залегающих соответственно ниже и выше подошвы фундамента ( при наличии подземных вод определяется с учетом взвешивающего действия воды);

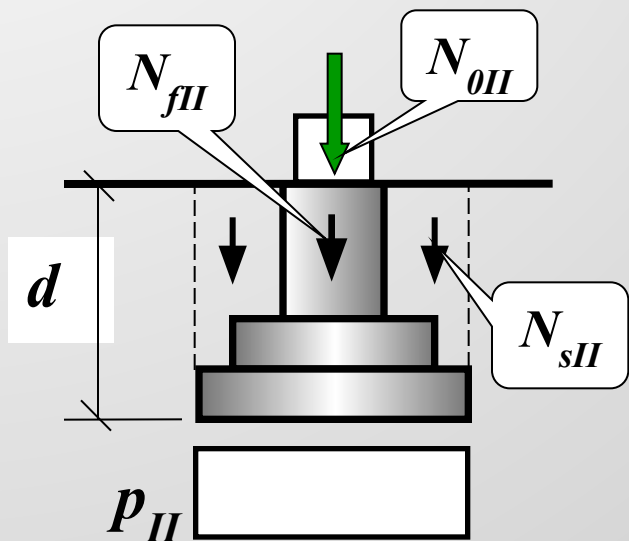
$c_{II}$  - расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента;

$d_1$  - глубина заложения фундаментов бесподвальных сооружений от уровня планировки или приведенная глубина заложения наружных и внутренних фундаментов от пола подвала.



## 5) проверка правильности подбора размеров подошвы фундамента (определение фактического давления на уровне подошвы фундамента):

**Центрально-нагруженные фундаменты** – это такие фундаменты, у которых равнодействующая внешних нагрузок проходит через центр тяжести их подошвы.



При проектировании таких фундаментов проверяется условие:

$$p_{II} \leq R, \quad (4.6)$$

где  $p_{II}$  – среднее давление под подошвой фундамента, определяемое по формуле:

$$p_{II} = \frac{N_{0II} + N_{fII} + N_{sII}}{l \cdot b}, \quad (4.7)$$

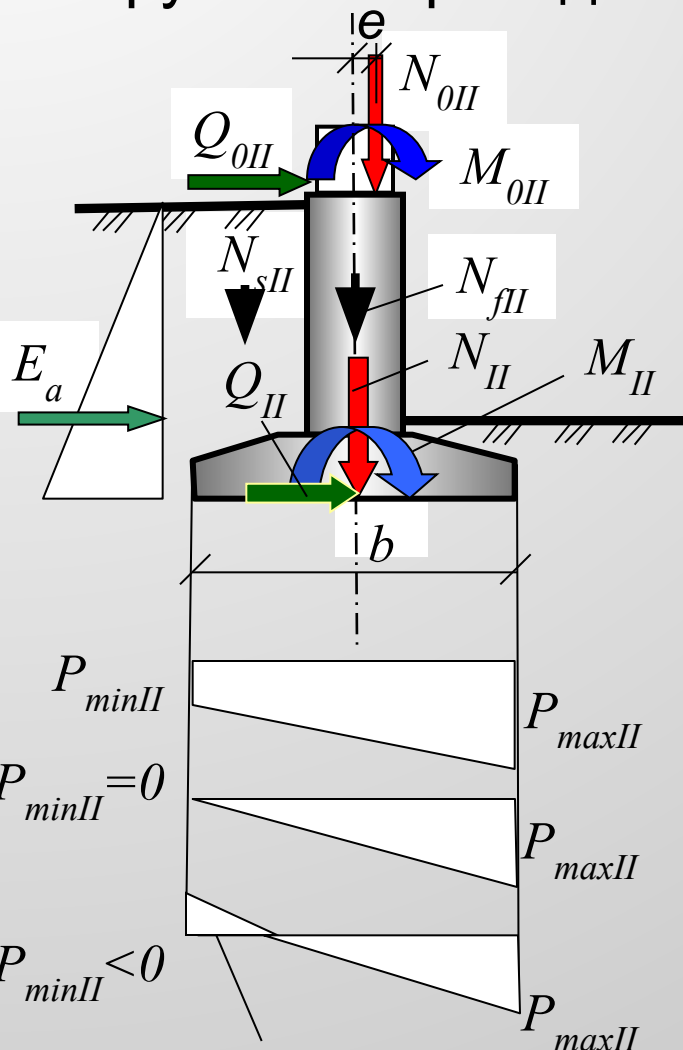
$N_{0II}$  – расчетная нагрузка по II группе предельных состояний, приложенная к обрезу фундамента;

$N_{fII}$  – вес фундамента;

$N_{sII}$  – вес грунта на уступах фундамента;

$l$  и  $b$  – принятые размеры подошвы фундамента.

**Внецентренно-нагруженные фундаменты** – это такие фундаменты, у которых равнодействующая внешних нагрузок не проходит через центр тяжести их подошвы.



При проектировании внецентренно нагруженных фундаментов проверяются три условия:

$$\begin{cases} p_{II} \leq R; \\ p_{maxII} \leq 1,2R; \\ p_{minII} \geq 0, \end{cases} \quad (4.8)$$

где  $p_{maxII}$ ,  $p_{minII}$  – соответственно максимальное и минимальное давления под подошвой фундамента.

При отрыве фундамента от грунтового основания

Максимальное и минимальное давления под краями фундамента определяют по формуле внецентренного сжатия:

$$p_{\max II} \quad p_{\min II} = \frac{N_{0II} + N_{fII} + N_{sII}}{l \cdot b} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y}, \quad (4.9)$$

где  $M_x$  и  $M_y$  – моменты сил, действующие на уровне подошвы фундамента относительно осей  $X$  и  $Y$ ;

$W_x$  и  $W_y$  – моменты сопротивления подошвы фундамента относительно осей  $X$  и  $Y$ .

**При действии момента в одной плоскости** уравнение (4.9) примет следующий вид:

$$p_{\max II} \quad p_{\min II} = \frac{N_{0II} + N_{fII} + N_{sII}}{l \cdot b} \pm \frac{M_x}{W_x}. \quad (4.10)$$

**6) расчет осадки фундамента и сопоставление его с предельно-допустимыми значениями:**

Производится расчет осадки одним из методов механики грунтов с проверкой выполнения условий :

$$S \leq S_u$$

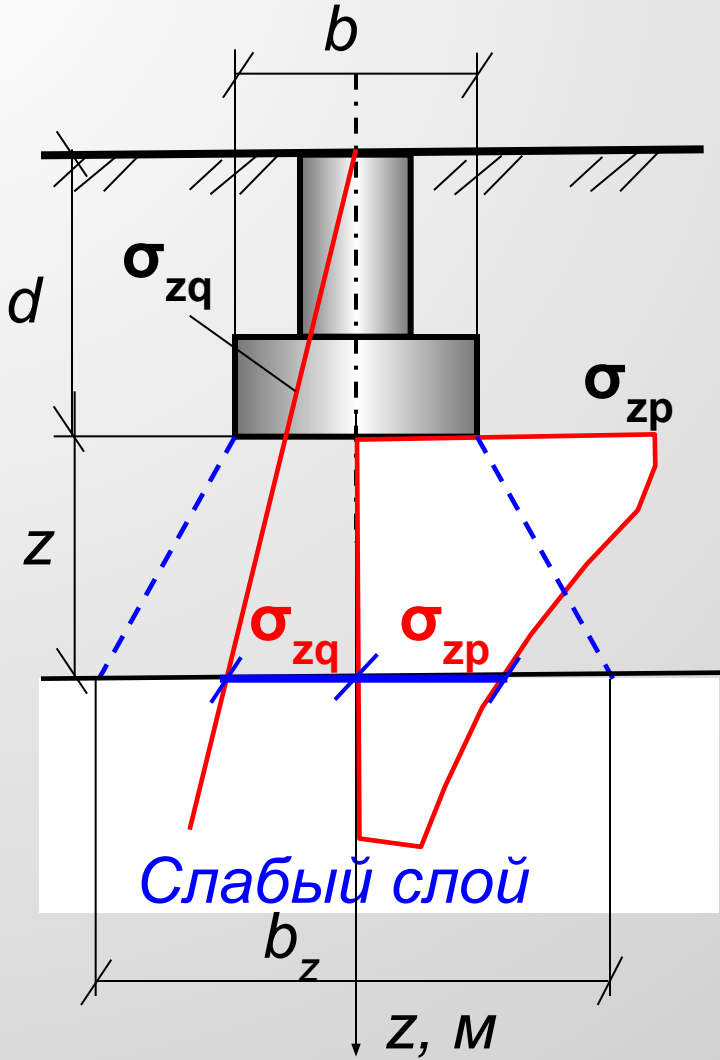
$$\frac{\Delta S}{L} \leq \left( \frac{\Delta S}{L} \right)_u$$

**7) расчет оснований по несущей способности (в случае необходимости);**

**8) учет слабого подстилающего слоя грунта:**

Если на глубине  $z$  от подошвы фундамента находится слой грунта меньшей прочности, необходимо, чтобы обеспечивалось следующее условие:

$$\sigma_{zq} + \sigma_{zp} \leq R_z, \quad (4.11)$$



где  $\sigma_{zq}$  и  $\sigma_{zp}$  – вертикальные напряжения в грунте на глубине  $z$  от подошвы фундамента, соответственно дополнительное от нагрузки и от собственного веса грунта;

$R_z$  – расчетное сопротивление слабого подстилающего слоя грунта.

Величину  $R_z$  определяют по формуле (7) СНиП как для условного фундамента шириной  $b_z$  с учетом рассеивания напряжений в пределах слоя толщиной  $z$ :

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a, \quad (4.12)$$

где  $a = 0,5(l-b)$  ( $l$  и  $b$  – длина и ширина подошвы проектируемого фундамента);  $A_z$  – площадь подошвы условного фундамента:

$$A_z = \frac{N_{0II}}{\sigma_{zp}}. \quad (4.13)$$

Для ленточного фундамента

$$b_z = \frac{N_{0II}}{\sigma_{zp}}$$

для квадратного

$$b_z = \sqrt{A_z}$$

**9. конструирование монолитного фундамента по полученным значениям  $b$  и  $l$  в соответствии с предъявляемыми конструктивными требованиями.**

При устройстве сборных фундаментах выбирают больший ближайший типоразмер блок-подушки.