



Кубанский государственный
аграрный университет им. И. Т. Трубилина

Лекция 3 по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений» Специальность - 08.05.01 Строительство уникальных зданий

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



Определение размеров подошвы фундаментов

Метод последовательных приближений:

$$p_{max} \leq 1,2R, \quad (1.1)$$

$$p_{min} \geq 0, \quad (1.2)$$

$$p \leq R, \quad (1.3)$$

где p_{max} , p_{min} – соответственно максимальное и минимальное давление под краями подошвы фундамента от нагрузок, принимаемых для расчета оснований по деформациям, кПа;

p – среднее давление по подошве фундамента, кПа.

R – расчетное сопротивление грунта основания, кПа.

Величины p_{max} , p_{min} , p рассчитываются по формулам:

$$p_{max} = \frac{\sum N}{A} + \frac{\sum M}{W}, \quad (1.1a)$$

$$G = A \cdot \bar{\gamma} \cdot d, \quad (1.5)$$

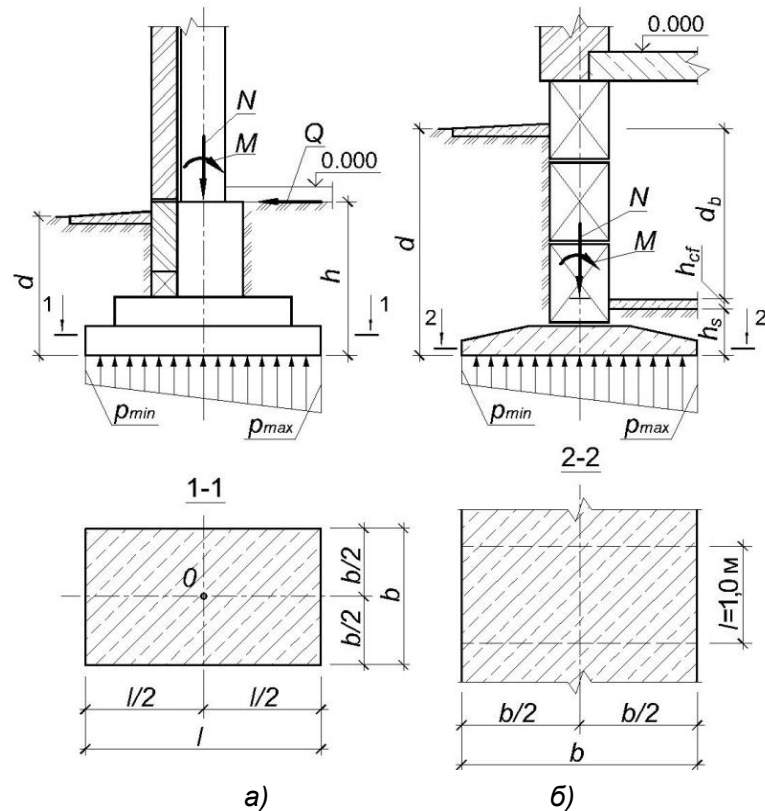
$$p_{min} = \frac{\sum N}{A} - \frac{\sum M}{W}, \quad (1.2a)$$

$$\sum M = M + Q \cdot h, \quad (1.6)$$

$$p = \frac{\sum N}{A}, \quad (1.3a)$$

$$(1.3a)$$

$$\sum N = N + G, \quad (1.4)$$



Расчетные схемы проектируемых фундаментов:
а – отдельно стоящего для здания без подвала; б – ленточного для здания с подвалом;



ЛЕКЦИЯ 3. Фундаменты, возводимые в открытых котлованах (продолжение)

Определение размеров подошвы фундаментов

$$A = k_m \cdot \frac{N}{R_0 - \bar{\gamma} \cdot d} \quad (2.1)$$

Затем задаются соотношением ее сторон:

$$\eta = \frac{b}{l} = 0,5 \div 0,8. \quad l = \frac{b}{\eta}, \quad b = \eta \cdot l, \quad A = l \cdot b = \frac{b^2}{\eta}. \quad (2.2)$$

Для фундаментов с круглой формой подошвы диаметр D подбирают как:

$$D = 2 \sqrt{\frac{A}{\pi}}. \quad (2.3)$$

В случае проектирования ленточных фундаментов задаются размером $l = 1$ м.

$$b = k_m \cdot \frac{N}{l \cdot (R_0 - \bar{\gamma} \cdot d)}. \quad (2.4)$$

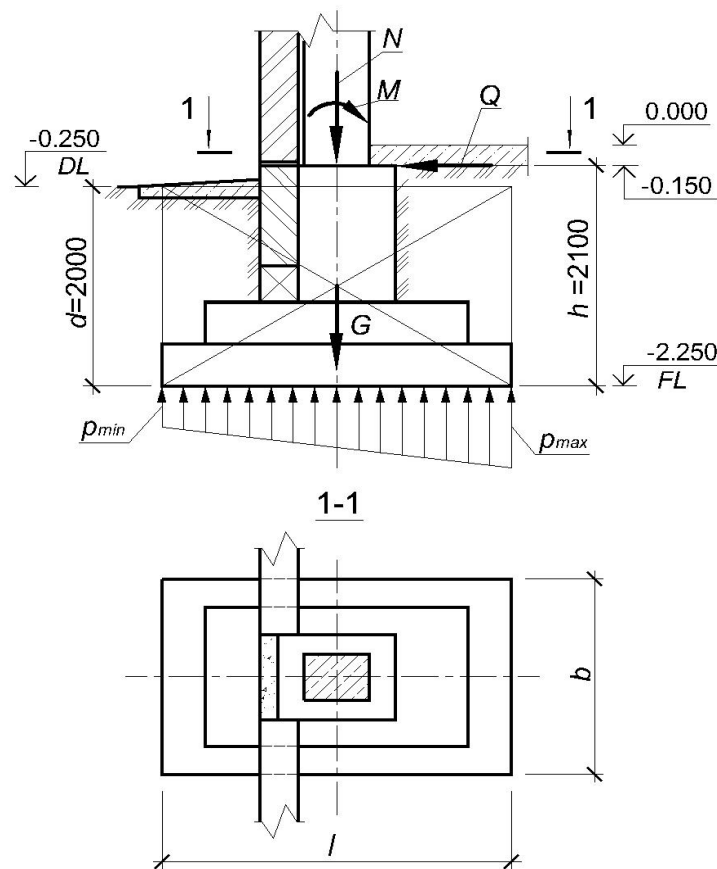


Схема к определению размеров подошвы фундамента под колонну промышленного здания

Проверка прочности подстилающего слоя

$$\sigma_z = (\sigma_{zp} - \sigma_{zy}) + \sigma_{zg} \leq R_z, \quad (3.1)$$

где σ_{zg} , σ_{zp} – соответственно средние значения вертикального нормального напряжения в грунте от собственного веса и внешней нагрузки в уровне подстилающего слоя, кПа;

σ_{zy} – среднее значение вертикального нормального напряжения в грунте от его собственного веса, выбранного при отрывке котлована в уровне подстилающего слоя, кПа;

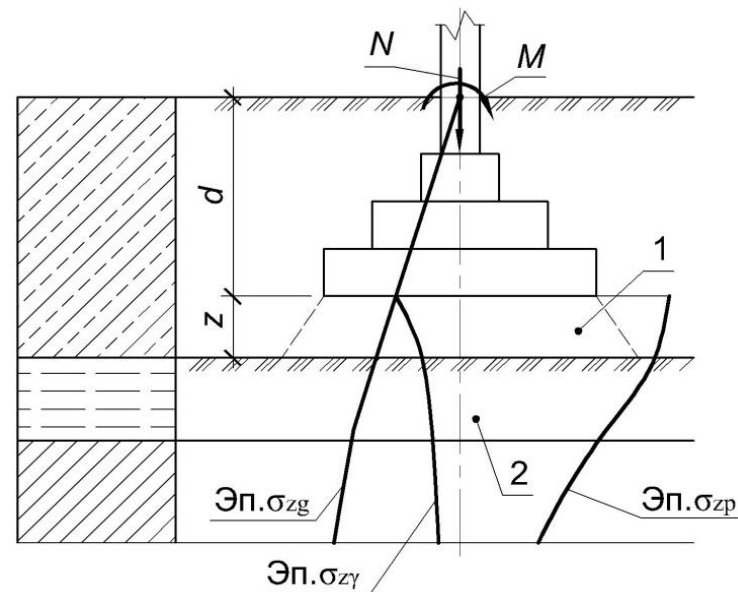
R_z – расчетное сопротивление подстилающего слоя грунта (кПа), вычисленное по формуле (3.5) для условного фундамента шириной b_z , м, равной:

$$b_z = \sqrt{A_z + \left(\frac{l-b}{2}\right)^2} - \frac{l-b}{2}, \quad (3.2) \quad \sigma_{zp} = \alpha \cdot p, \quad (3.6)$$

$$A_z = \frac{N + G}{\sigma_{zp}}, \quad (3.3)$$

$$\sigma_{zg} = \gamma'_{II} \cdot d + \sum_{i=1}^n \gamma_{II,i} \cdot h_i, \quad (3.4)$$

$$\sigma_{zy} = \alpha \cdot \sigma_{zg,0}, \quad (3.5)$$



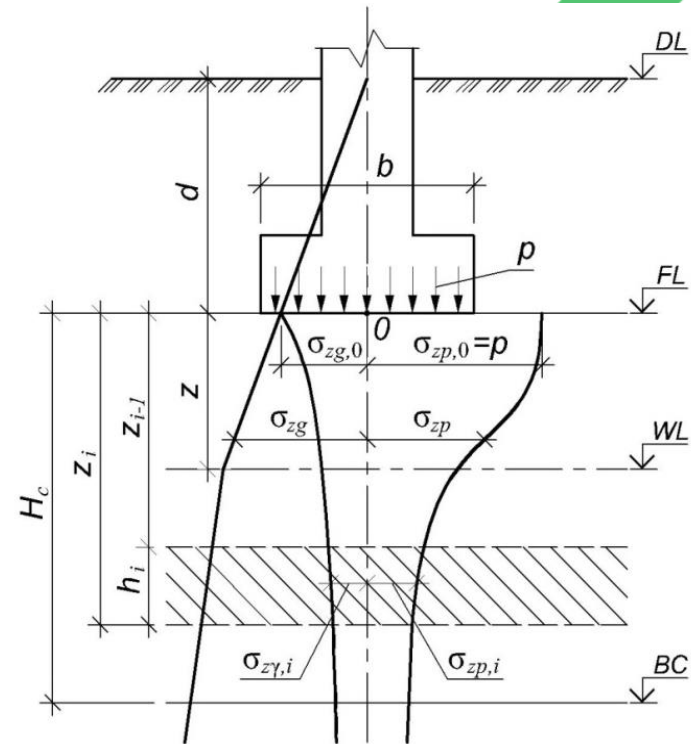
Расчетная схема к проверке прочности подстилающего слоя в основании фундамента: 1, 2 – соответственно несущий и подстилающий слои грунта в основании фундамента

О наличии более слабого слоя грунта в основании, по сравнению с вышележащими слоями, можно судить по прочностным характеристикам φ и c , табличному значению расчетного сопротивления грунта основания R_0 и модулю общей деформации E_0 . Для подстилающего слоя данные характеристики меньше, чем для вышележащих грунтов, залегающих под подошвой фундаментов.

Расчет осадок фундаментов зданий

В настоящее время наибольшее распространение получили метод **послойного суммирования**, **метод эквивалентного слоя** и **метод линейно-деформируемого слоя**. Первые два метода используются обычно для определения осадок фундаментов с небольшими размерами подошвы ($b < 10$ м). При этом форма подошвы фундамента может быть любой. Метод линейно-деформируемого слоя используется, как правило, при проектировании фундаментов с большой опорной площадью ($b > 10$ м), возводимых на слое сжимаемого грунта, ниже которого залегают практически несжимаемые породы ($E_o > 100$ МПа), а также на слое сжимаемого грунта любой мощности.

В качестве **допущений** в методе послойного суммирования считается, что грунт основания фундамента представляет собой сплошное, изотропное и линейно-деформируемое тело. Осадка фундамента обусловлена действием только вертикальных сжимающих напряжений σ_z , остальные компоненты напряжений (σ_x , σ_y , τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz}) в расчете не учитываются. Считается также, что бокового расширения грунта в основании не происходит; фундамент не обладает жесткостью. Деформации грунта в основании рассматриваются только в пределах условно выделенной сжимаемой толщи H_c и ниже ее не рассматриваются



Расчетная схема для определения осадки фундамента методом послойного суммирования

Расчет осадок фундаментов зданий

$$1. \quad s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zg,i}) \cdot h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zg,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}, \quad (5.1)$$

В котловане глубиной менее 5 м, допускается в формуле (5.1) не учитывать второе слагаемое.

2. Составляется расчетная схема.

3. Грунтовую толщу в основании фундамента разбивают на элементарные слои:

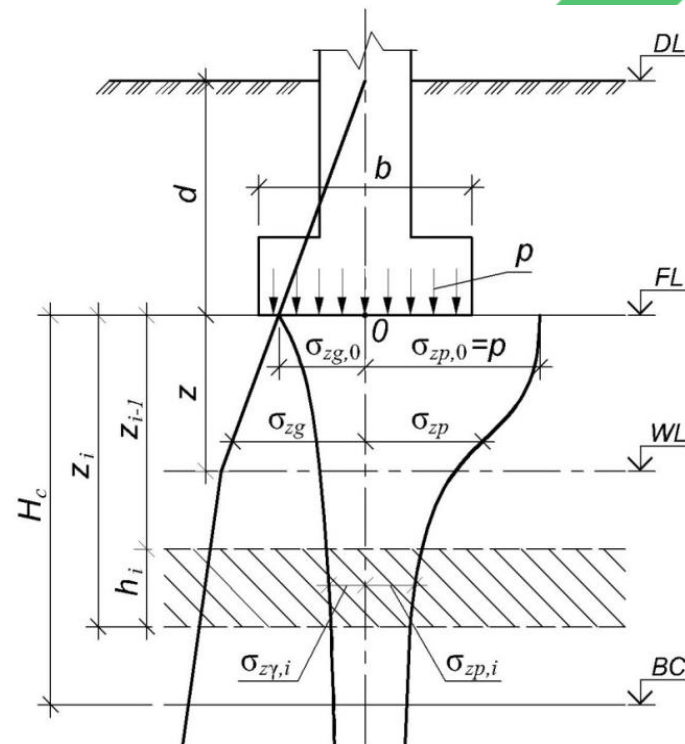
$$h_i = (0,2 \div 0,4)b, \quad (5.2)$$

4. Определяют вертикальные напряжения σ_{zg} от собственного веса грунта в пределах глубины сжимаемой толщи основания фундамента H_c :

$$\sigma_{zg} = \gamma' \cdot d + \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i, \quad (5.3)$$

5. Определяют вертикальные напряжения σ_{zp} в основании от внешней нагрузки. Это напряжение σ_{zp} принято называть **дополнительным**, так как оно действует дополнительно к напряжению от собственного веса грунта. Вертикальное дополнительное напряжение σ_{zp} в основании равно:

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot \sigma_{zp,0} = \alpha \cdot p, \quad (5.4)$$



Расчетная схема для определения осадки фундамента методом послойного суммирования

Расчет осадок фундаментов зданий

6. Определяем вертикальные напряжения от собственного веса грунта σ_{zy} , выбранного при устройстве котлована, на отметке подошвы фундамента, а также в уровне подстилающего слоя на глубине z от его подошвы:

$$\sigma_{zy} = \alpha \cdot \sigma_{zg,0}, \quad (6.1)$$

7. Определяем средние значения напряжений $\sigma_{zp,i}$ и $\sigma_{zy,i}$ в i -ом слое грунта. Допускается вычислять напряжения $\sigma_{zp,i}$ и $\sigma_{zy,i}$ как полусумму соответствующих напряжений на верхней z_{i-1} и нижней z_i границах слоя.

8. Сжимаемая толща основания фундамента H_c ограничивается глубиной z , ниже которой сжатием грунта можно пренебречь. В общем случае нижнюю границу сжимаемой толщи основания H_c принимают на глубине $z = H_c$, где выполняется условие:

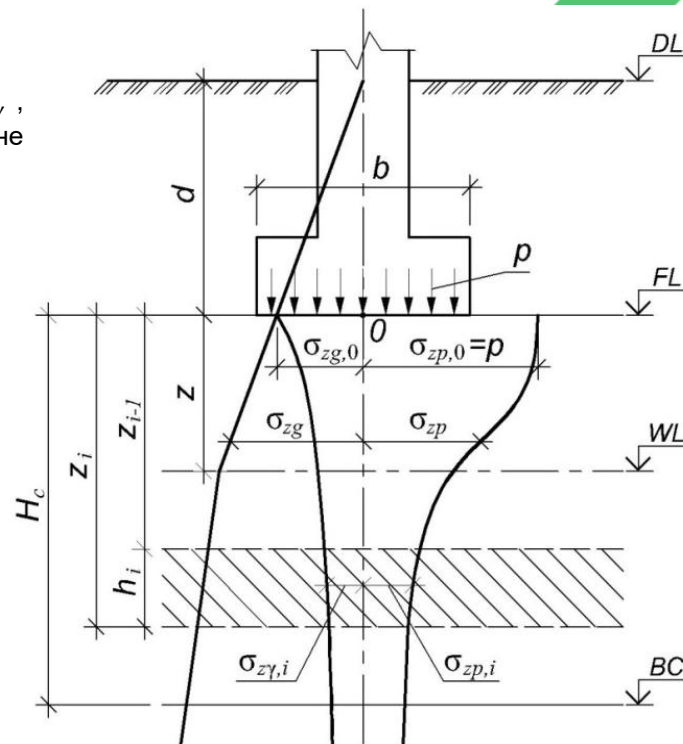
$$\sigma_{zp} = 0,5\sigma_{zg}. \quad (6.2)$$

Если нижняя граница сжимаемой толщи основания H_c находится в слое грунта с модулем деформации $E \leq 7$ МПа или такой слой залегает непосредственно ниже глубины $z = H_c$, то этот слой включают в сжимаемую толщу, а за H_c принимают глубину, где выполняется условие:

$$\sigma_{zp} = 0,2\sigma_{zg}. \quad (6.3)$$

9. Если среднее давление p по подошве фундамента $p \leq \sigma_{zg,0}$, то осадку основания фундамента s определяют по формуле:

$$s = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}, \quad (6.4)$$



Расчетная схема для определения осадки фундамента методом послойного суммирования



ЛЕКЦИЯ 3. Фундаменты, возводимые в открытых котлованах (продолжение)

Расчет осадок фундаментов за пределами линейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунте

Расчет осадок фундаментов s методом послойного суммирования выполняется при условии $p \leq R$. В этом случае грунт основания фундаментов находится в фазе уплотнения (первая фаза – уплотнение) и график зависимости осадки фундаментов s от давления p имеет линейный характер. Если давление по подошве фундамента p превышает расчетное сопротивление грунта основания R (вторая фаза – сдвиг), то осадку фундаментов допускается определять по формуле:

$$s_p = s \cdot \left[1 + \frac{(p_u - R) \cdot (p - R)}{(R - \sigma_{zg,0}) \cdot (p_u - p)} \right], \quad (7.1)$$

где s – осадка фундамента при давлении $p = R$, м;

p_u – предельное сопротивление грунта (несущая способность) основания, кПа;

p – давление по подошве фундамента от действующей нагрузки, кПа, при условии $R < p < p_u$;

R – расчетное сопротивление грунта основания;

$\sigma_{zg,0}$ – вертикальное напряжение в основании от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента, кПа.

Предельное сопротивление грунта p_u (несущая способность грунта) основания определяется как отношение силы предельного сопротивления грунта основания N_u к приведенной площади подошвы фундамента $A' = b' \cdot l'$, кПа:

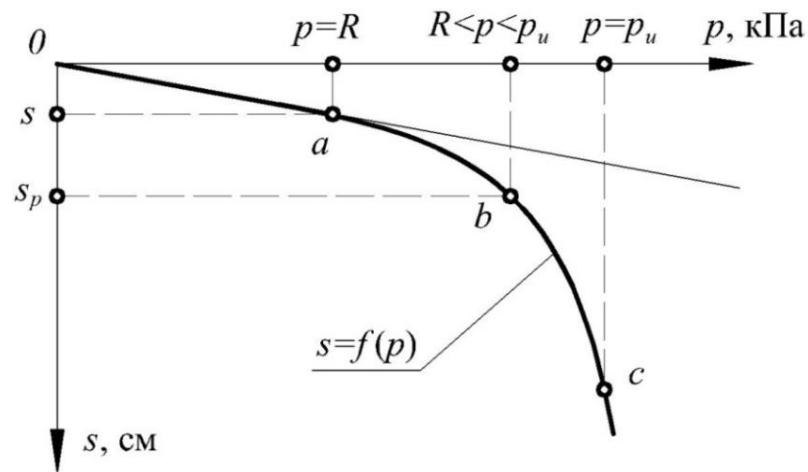


Схема к расчету осадки фундамента с учетом нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунте

$$p_u = \frac{N_u}{b' \cdot l'}. \quad (7.2)$$

ЛЕКЦИЯ 3. Фундаменты, возводимые в открытых котлованах (продолжение)

Расчет осадок фундаментов за пределами линейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунте

Сила предельного сопротивления грунта N_u в основании фундаментов рассчитывается по формуле (СП 22.13330.2016):

$$N_u = b' \cdot l' \cdot (N_\gamma \cdot \xi_\gamma \cdot b' \cdot \gamma_I + N_q \cdot \xi_q \cdot \gamma'_I \cdot d + N_c \cdot \xi_c \cdot c_I), \quad (8.1)$$

где b' , l' – соответственно приведенные ширина и длина подошвы фундамента, м, вычисляемые по формулам:

$$b' = b - 2 \cdot e_b; \quad l' = l - 2 \cdot e_l, \quad (8.2)$$

здесь e_b , e_l – соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующей нагрузок в направлении поперечной и продольной осей фундамента, м;

N_γ , N_q , N_c – безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта φ_I и угла наклона к вертикали δ равнодействующей внешней нагрузки на основание в уровне подошвы фундамента;

γ_I , γ'_I – расчетные значения удельного веса грунтов, кН/м³, находящихся в пределах возможной призмы выпирания соответственно ниже и выше подошвы фундамента;

d – глубина заложения фундамента, м;

c_I – расчетное значение удельного сцепления грунта, залегающего в уровне подошвы фундамента, кПа;

ξ_γ , ξ_q , ξ_c – коэффициенты формы подошвы фундамента, определяемые по формулам:

$$\xi_\gamma = 1 - \frac{0,25}{\eta}; \quad \xi_q = 1 + \frac{1,5}{\eta}; \quad \xi_c = 1 + \frac{0,3}{\eta}, \quad (8.3)$$

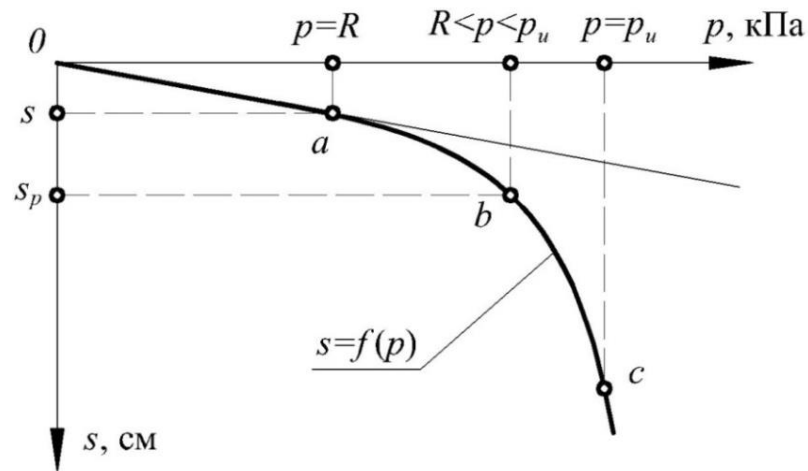


Схема к расчету осадки фундамента с учетом нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями в грунте

здесь $\eta = l/b$; b , l – соответственно ширина и длина подошвы фундамента, м, принимаемые в случае внецентренного приложения равнодействующей нагрузки равными приведенным значениям b' и l' , определяемым по формулам (8.2) (если $\eta < 1$, в формулах (8.3) следует принимать $\eta = 1$).



БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!

Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина
*заведующий кафедрой «Основания и фундаменты»,
д-р техн. наук, профессор Полищук А. И.*