

Лекция №3.

Деформации лессового основания от действия внешней нагрузки:

Конечная осадка основания фундамента и ее прогнозирование

Просадка основания фундамента и ее расчет по модели однородного линейно-деформируемого полупространства

Влияние направления замачивания грунта основания на значение просадки фундамента

Определение просадки основания фундамента по модели двухслойной среды

Возведение здания связано с появлением в грунтовом основании и формированием напряженно-деформированного состояния. В зоне основания, примыкающей к подошве фундамента, наблюдают уплотнение грунта естественной влажности и проявление деформации осадки S.

В период эксплуатации здания в условиях возможного замачивания грунта проходит просадочная деформация. Полная (суммарная) деформация основания фундаментов на лессовых грунтах состоит из этих двух слагаемых:

$$S_n = S + S_{sl} \quad (4.1).$$

Просадочная деформация происходит под действием напряжений от внешней нагрузки S_{slp} и (или) собственного веса грунта S_{slg} :

$$S_{sl} = S_{slp} + S_{slg} \quad (4.2).$$

4.1. Конечная осадка основания фундамента и ее прогнозирование

Осадку фундаментов шириной подошвы $b < 10$ м рассчитывают, используя модель линейно-деформируемого полупространства. Предполагают, что осадка происходит в основном за счет сжатия грунта в пределах сжимаемой толщи, нижнюю границу которой выделяют на глубине $Z = H_c$ от подошвы фундамента по определенному соотношению k_s между дополнительными G_{zp} и природными G_{zg} напряжениями в грунтовом основании (рис. 4.1)

$$G_{zp} = k_s \, G_{zg}, \quad k_s = G_{zp} / G_{zg}$$

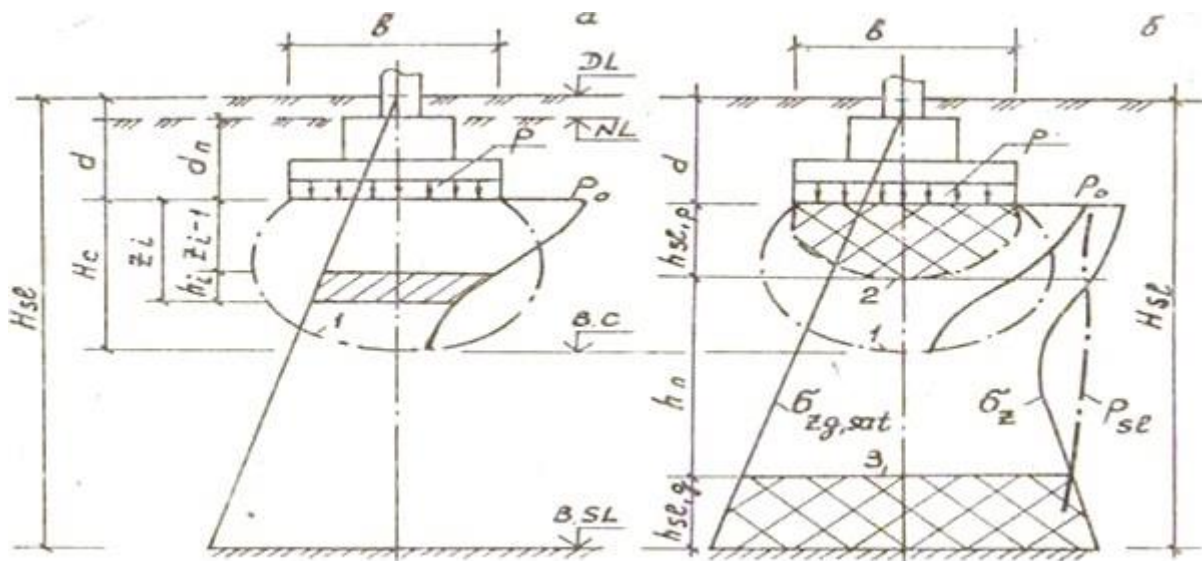


Рис. 4.1. Схемы для определения осадки (а) и просадки (б) основания фундамента и границы: 1 - сжимаемой толщи; 2 - деформируемой зоны; 3 - области просадок от собственного веса грунта

В расчетах осадки фундамента на грунтах природной влажности, модуль общей деформации которых $E > 5$ МПа, принимают коэффициент $k_s = 0,2$. Если в пределах сжимаемой толщи

залегают слои грунта с модулем общей деформации $E < 5$ МПа или такой слой примыкает непосредственно на глубине $Z = H_c$, то нижнюю границу сжимаемой толщи устанавливают при $k_s = 0,1$.

Многочисленные полевые эксперименты, проведенные на лессовых грунтах Ростовской области, показали, что коэффициент k_s является функцией степени влажности грунта. Чем выше S_r , тем меньше значение коэффициента (рис. 4.2). Как следует из рис. 4.2, при невысокой влажности грунта ($S_r = 0,4$) значение коэффициента $k_s = 0,45$, а при повышенной влажности лессового грунта ($S_r = 0,6 \dots 0,7$) оно близко к рекомендуемому СНиП значению $k_s = 0,2$. Для расчета осадки водонасыщенного лессового грунта рекомендовано $k_s = 0,1$.

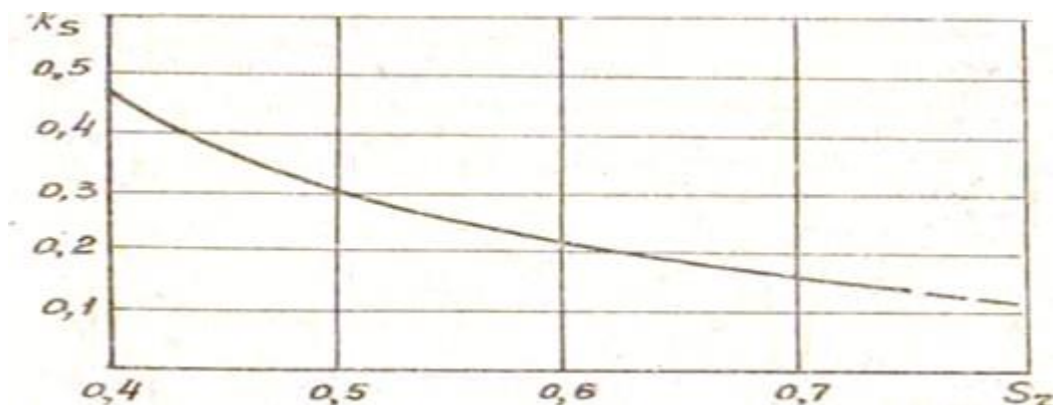


Рис. 4.2. Зависимость соотношения напряжений $k_s = G_{zp} / G_{zg}$ на нижней границе сжимаемой толщи от степени влажности S_r лессового грунта

Расчет осадки S фундаментов по методу послойного суммирования осуществляют по формуле:

ле

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

где β - безразмерный коэффициент, равный 0,8;

$\sigma_{zp,i}$ - среднее значение вертикального нормального напряжения (далее - вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента (см. 5.6.32 СП 22.13330), кПа;

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

E_i - модуль деформации i -го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа;

$\sigma_{zg,i}$ - среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта (см. 5.6.33 СП 22.13330), кПа;

$E_{e,i}$ - модуль деформации i -го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа;

n - число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

При этом распределение вертикальных напряжений по глубине основания принимают в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.3.

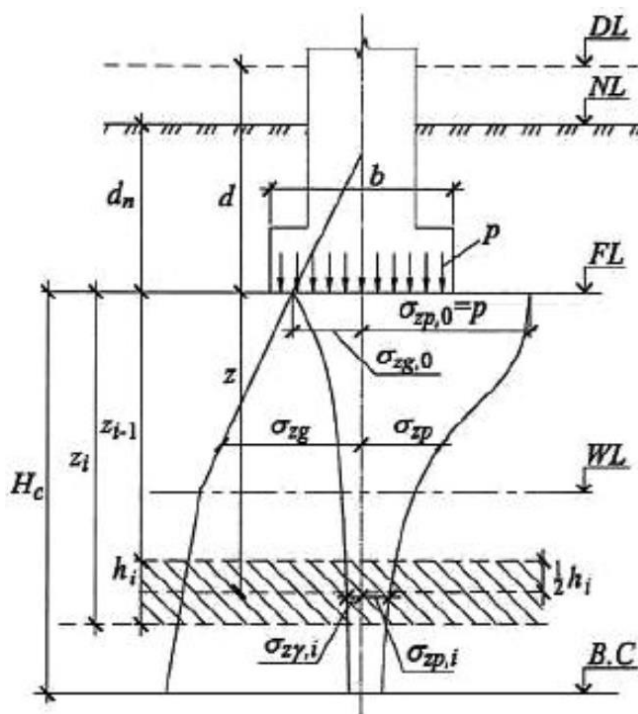


Рис. 4.3. Схема распределения вертикальных напряжений в линейно-деформируемом полупространстве

DL - отметка планировки; NL - отметка поверхности природного рельефа; FL - отметка подошвы фундамента; WL - уровень подземных вод; B.C - нижняя граница сжимаемой толщи; d и d^n - глубина заложения фундамента соответственно от уровня планировки и поверхности природного рельефа; b - ширина фундамента; p - среднее давление под подошвой фундамента; σ_{zg} и $\sigma_{zg,0}$ - вертикальное напряжение от собственного веса грунта на глубине z от подошвы фундамента и на уровне подошвы; σ_{zg} и $\sigma_{zg,0}$ - вертикальное напряжение от внешней нагрузки на глубине z от подошвы фундамента и на уровне подошвы; $\sigma_{zg,i}$ - вертикальное напряжение от собственного веса вынутаго в котловане грунта в середине i -го слоя на глубине z от подошвы фундамента; H_c - глубина сжимаемой толщи

При залегании в пределах сжимаемой толщи H_c уровня подземных вод (УПВ) учитывают при расчете G_{zg} взвешивающее действие воды на слои грунта, расположенные ниже УПВ. Удельный вес грунта во взвешенном состоянии:

$$\gamma_{sbi} = (\gamma_{si} - \gamma_w) \cdot \frac{1}{1 + e_i} \quad (2)$$

где γ_{si} и e_i - удельный вес частиц и коэффициент пористости грунта i -го слоя; γ_w - удельный вес воды, равный 10 кН/м^3 .

Расчет осадки по формуле (4.4) производят с использованием значений модуля общей деформации грунта E , принимаемого по результатам определений в штамповых (полевых) или компрессионных (лабораторных) опытах или региональных таблиц значений E .

4.2. Просадка основания фундамента и ее расчет с использованием модели однородного линейно-деформируемого полупространства

При замачивании лессового грунта возникает просадка основания фундаментов здания в деформируемой зоне, прилегающей к подошве фундамента, и на определенной глубине основания, на которой вертикальные напряжения от собственного веса водонасыщенного грунта превосходят начальное просадочное давление. В отличие от осадки, деформация просадки проявляется не от дополнительных напряжений, а от полных G_z , равных сумме напряжений от собственного веса водонасыщенного грунта G_{zgsat} и дополнительных G_{zp} .

На рис. 4,1, 6 показана схема для определения просадки в деформируемой зоне глубиной h_{slp} и в зоне глубиной h_{slg} от действия собственного веса грунта. Наиболее неблагоприятным будет случай, когда замачивание грунта произойдет в пределах просадочной толщи основания, начиная с уровня подошвы фундамента. При этом напряжения от собственного веса грунта рассчитывают по видоизмененной формуле (4.5) с учетом водонасыщенного состояния грунта

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

где m - число слоев, на которое разбита просадочная толща основания ниже подошвы фундамента; удельный вес i -го слоя грунта по формуле (3.8); h_i - толщина i -го слоя грунта.

Принимая во внимание многообразие грунтовых условий, характер напластования просадочных слоев грунта и особенности изменения по глубине начального просадочного давления, выделяются основные случаи проявления деформаций просадки (рис. 4.4).

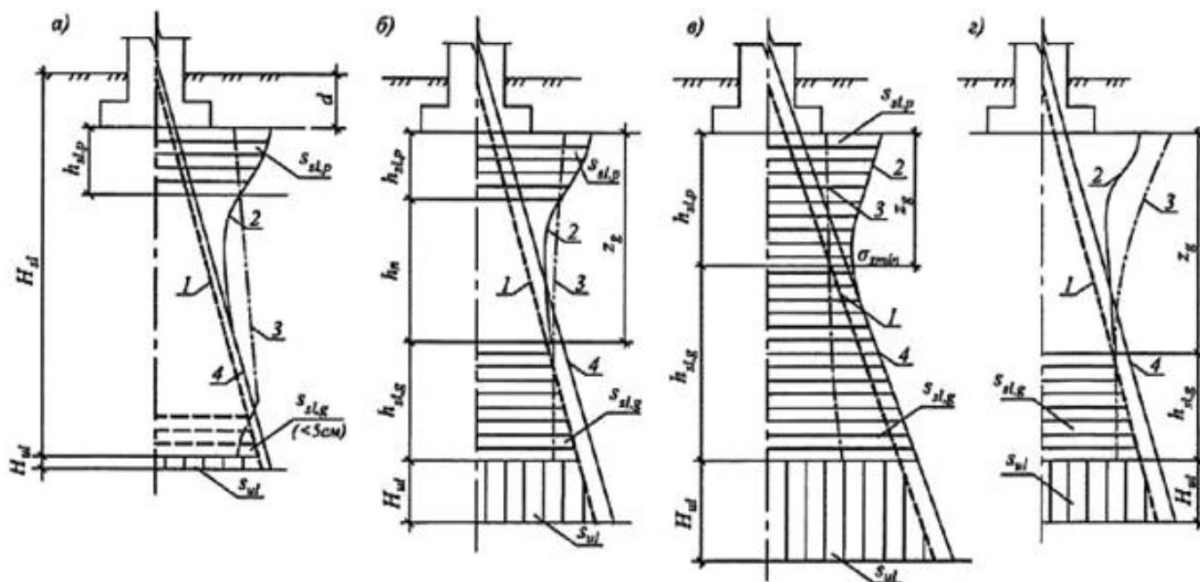


Рис. 4.4. Схемы к расчету просадок грунта в основании фундамента

Где: а - просадка от собственного веса $s_{sl,g}$ отсутствует (не превышает 5 см), возможна только просадка от внешней нагрузки $s_{sl,p}$ в верхней зоне просадки $h_{sl,p}$ (I тип грунтовых условий); б, в, г - возможна просадка от собственного веса $s_{sl,g}$ в нижней зоне просадки $h_{sl,g}$, начиная с глубины z_g (тип грунтовых условий II); б - верхняя и нижняя зоны не сливаются,

имеется нейтральная зона h_n ; в - верхняя и нижняя зоны просадки сливаются; г - просадка от внешней нагрузки отсутствует.

Расчет просадки основания фундамента от действия внешней нагрузки производят с использованием модели линейно-деформируемого полупространства.

Грунт ниже подошвы фундамента в пределах просадочной толщ H_{sl} разделяется на однородные до физико-механическим характеристикам слои толщиной:

- в пределах деформируемой зоны по $h_i \leq 0,4 b$,
- ниже деформируемой зоны $h_i < 2$ м.

Сначала находят напряжения от собственного веса грунта на различных, глубинах по формуле (4.9), затем определяют дополнительные напряжения по формулам (4.7) и (4.8) в пределах сжимаемой толща.

Напряжения G_{zg} и G_{zp} суммируют.

Просадку грунта от внешней нагрузки вычисляют по формуле

$$S_{slg} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{sli} \cdot h_i \cdot k_{slgi}$$

Здесь ε_{sl} - относительная просадочность от действия полного вертикального напряжения G_z в середине i -го слоя грунта; h_i - толщина i -го слоя грунта; k_{sli} - коэффициент, учитывающий возможные горизонтальные перемещения лессового грунта при просадке и принимаемый в зависимости от ширины или диаметра подошвы фундамента b . При $b \leq 3$ м коэффициент для слоя грунта вычисляют по формуле

$$K_{slp} = 0,5 + 1,5 \frac{P - P_{sli}}{P_0},$$

где

P - среднее давление по подошве фундамента

P_0 - давление, принимаемое равным 100 кПа.

Для остальных слоев грунта:

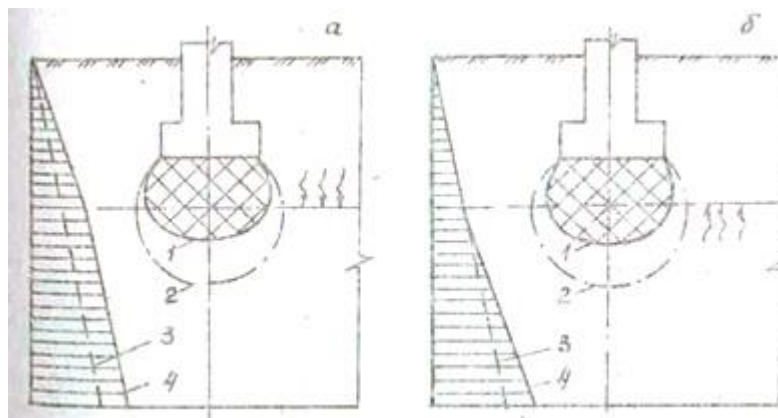
- $k_{sl}=1$, при $H_{sl} \leq 15$ м
- $k_{sl}=1,25$ при $H_{sl} > 20$ м

При значениях $15 < H_{sl} < 20$ - k_{sl} находим при помощи интерполяции.

При схемах Б и В на рис. 4.3 в дополнение к просадке основания фундамента от действия внешней нагрузки вычисляют по формуле (3.5) просадку от собственного веса просадочных слоев грунта толщиной $h_{sl,g}$

4.3. Влияние направления замачивания грунта основания на значение просадки фундамента

Значение просадочной деформации лессового, грунта, находящегося в нагруженном состоянии, в определенной мере зависит от направления замачивания. Под фундаментом (штампом) в процессе его нагружения образуется в основания упругое ядро (рис. 4.4). Оно играет роль клина, способного в определенных условиях раздвигать подстилающие и прилегающие слои грунта (проявление так наз. эффекта продавливания). В пределах деформируемой зоны происходит доуплотнение грунта при замачивании (проявление так наз. эффекта деформируемой зоны). Просадка основания фундамента является следствием обоих эффектов.



4.4. Схемы к определению просадки при замачивании лессового грунта сверху (а) и снизу (б): 1 и 2 - границы деформируемой зоны и сжимаемой толщи; 3 и 4 – зоны напряжений от собственного веса природного и водонасыщенного грунта

При замачивании грунта сверху упругое ядро (клин) передает давление на еще неуплотненные слои и стремится их "продавить". При подъеме уровня подземных вод и замачивании грунта снизу в первую очередь происходят просадки в деформируемой зоне. По мере приближения уровня воды к упругому ядру грунт в деформируемой зоне уплотняется. Наличие вблизи ядра уже уплотнившихся слоев уменьшает возможность проявления эффекта продавливания. Поэтому просадка грунта при замачивании снизу будет несколько меньше, чем при замачивании сверху.

Указанную разницу в просадочных деформациях объясняют разными значениями природных напряжений. При замачивании грунтов основания сверху в результате водонасыщения увеличивается их плотность и возрастают природные напряжения от собственного веса. При подъеме уровня подземных вод на замоченные слои грунта действует несколько меньшее природное давление, что обуславливает неполное проявление просадочной деформации.

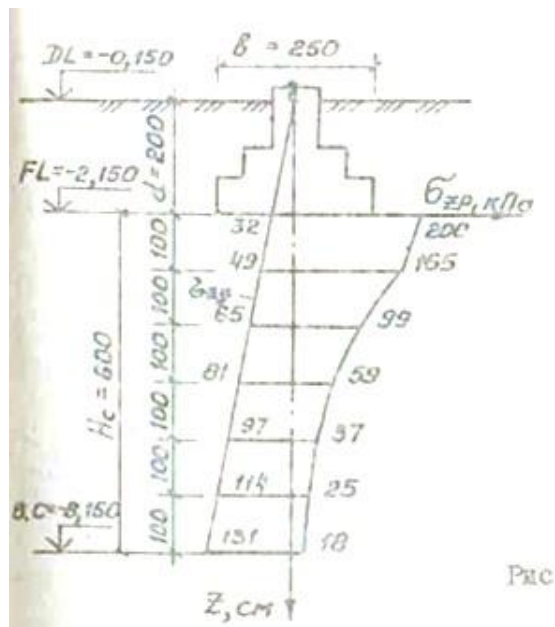
В реальных условиях процесс возникновения просадочных деформаций сложнее, чем это представлено в рассмотренных выше схемах. Однако принятая методика расчета просадочных деформаций с использованием модели линейно-деформируемого полупространства не позволяет оценить влияние направления замачивания грунта на просадку фундамента.

Пример 1. Расчет осадки основания фундамента

Вычерчиваем схему для расчета осадки фундамента.

Грунтовую толщу ниже подошвы фундамента разбиваем на однородные по сжимаемости слои высотой $h_i = 0,4 b$.

Вертикальное напряжение σ_{zg} от собственного веса грунта естественной влажности на уровне подошвы фундамента подсчитываем по формуле (4.5) при $Z = 0$.



Результаты вычислений представлены в табл. 1.

К расчету осадки основания фундамента

Z, см	γ	β	α_z	σ_{zg} , кПа	σ_{zp} , кПа	σ_{zpi} , кПа	h_i , см	E_i , кПа
0	1,2	0,0	1,000	32	200	183	100	14×10^3
100	1,2	0,8	0,824	49	165	132	100	14×10^3
200	1,2	1,6	0,496	65	99	79	100	14×10^3
300	1,2	2,4	0,294	81	59	48	100	14×10^3
400	1,2	3,2	0,187	97	37	31	100	11×10^3
500	1,2	4,0	0,127	114	25	22	100	11×10^3
600	1,2	4,8	0,091	131	18			

Пример 4.2. Расчет просадки основания фундамента по модели однородного линейно-деформируемого полупространства

Характеристики грунтов площадки свидетельствуют о том, что просадка основания может проявляться в пределах слоев, расположенных ниже подошвы фундамента до границы просадочной толща $H_{sl} = 12$ м. Поэтому грунтовое основание до нижней границы просадочной толща разбиваем на слоев высотой $h_i = 100$ см. Вычисляем напряжения от собственного веса грунта с учетом пояснений к формуле (4.9). Дополнительные напряжения G_{zp} остаются неизменными. Суммируем вертикальные напряжения G_{zg} и G_{zp} . Схемы их распределения для расчета просадки основания фундамента представлены в виде эпюр (рис. 4.10), которые построены по результатам расчета (табл. 2).

z , см	$\sigma_{\text{ср},i}$, кПа/м ³	σ_{zg} , кПа	σ_{zo} , кПа	σ_z , кПа	$\bar{\sigma}_z$, кПа	$\epsilon_{se,i}$	$\rho_{se,i}$, кПа	$k_{se,i}$	h_i , см	$S_{se,i}$, см	$S_{se,g}$, см
0		32	200	232	224	0,023	115	2,25	100	5,17	-
100	19,1	51	165	216	193	0,020	115	2,25	100	4,50	-
200	19,1	70	99	169	159	0,016	115	2,25	100	3,60	-
300	19,1	89	59	148	147	0,014	115	2,25	100	3,15	-
400	19,1	106	37	145	149	0,013	125	1,00	100	-	1,30
500	18,8	127	25	152	158	0,014	125	1,00	100	-	1,40
600	18,8	146	18	164	165	0,015	125	1,00	100	-	1,50
700	18,8	165	-	165	175	0,018	125	1,00	100	-	1,80
800	18,8	184	-	184	194	0,019	125	1,00	100	-	1,90
900	18,8	203	-	203	209	0,020	125	1,00	100	-	2,00
1000	18,8	212	-	212							
Итого										16,42	9,90

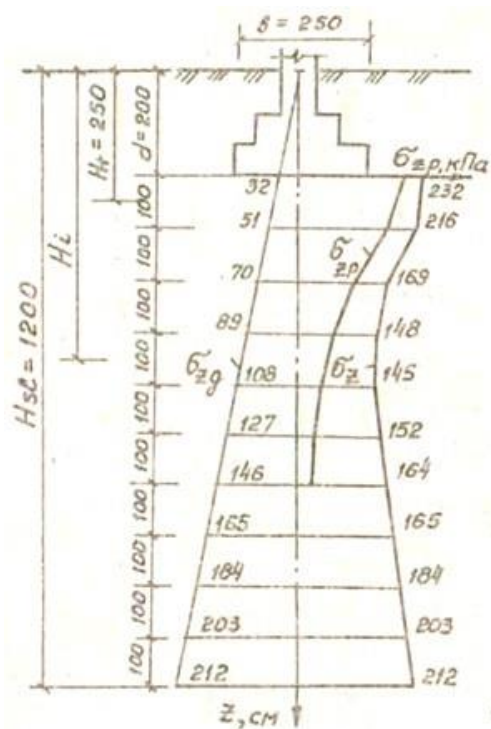


Рис. 4.10. Схема к расчету просадки основания фундамента

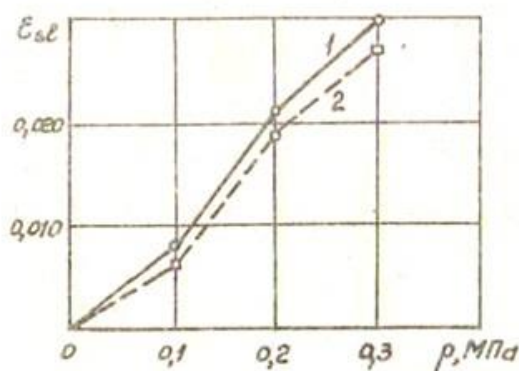


Рис. 4.11. Изменение относительной просадочности ϵ_{se} в зависимости от вертикального давления p на глубине:
1 - 1...6 м; 2 - 6...12 м