Л Е К Ц И Я №8
Деформации оснований и расчет осадок фундаментов

П л а н

8.1. Виды и причины развития деформаций грунтов.

8.2. Осадка слоя грунта при сплошной нагрузке

8.3. Метод элементарного послойного суммирования

8.4. Метод эквивалентного слоя (метод Цытовича)

8.5. Метод линейно-деформируемого слоя конечной толщины (метод Егорова)

8.1. Виды и причины развития деформаций грунтов

Различают следующие виды деформаций:

- упругие деформации: искажения формы, изменение объема

- остаточные деформации: уплотнения, пластические, просадки, набухания.

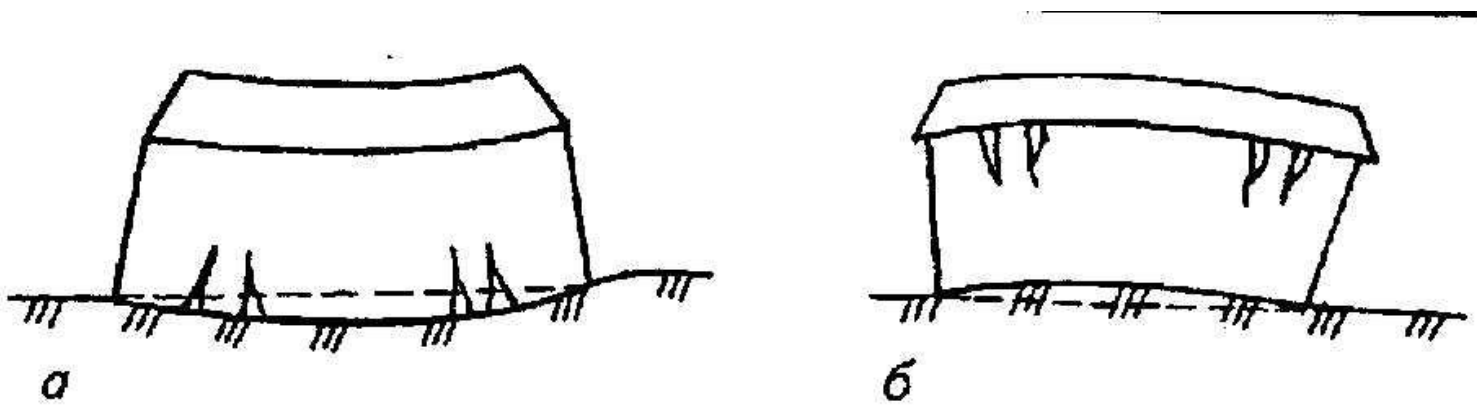
Осадкой называется направленная вниз деформация (уплотнения грунта, т.е. уменьшение его пористости, вызванные приложенной нагрузкой) основания, не сопровождающаяся коренным изменением сложения грунта.

Осадка называется равномерной, если деформация основания под всей площадью сооружения одинакова, и **неравномерной** в случае различных деформаций в разных точках основания.

Абсолютная осадка основания отдельного фундамента характеризуется осадкой какой-либо точки подошвы сооружения, общей осадкой жесткого сооружения или отдельного фундамента

Средняя осадка основания сооружения вычисляется по абсолютным осадкам не менее трех фундаментов или трех сплошного фундамента.

Прогиб и выгиб, как правило, возникают в протяженных зданиях и сооружениях, не обладающих большой жесткостью.



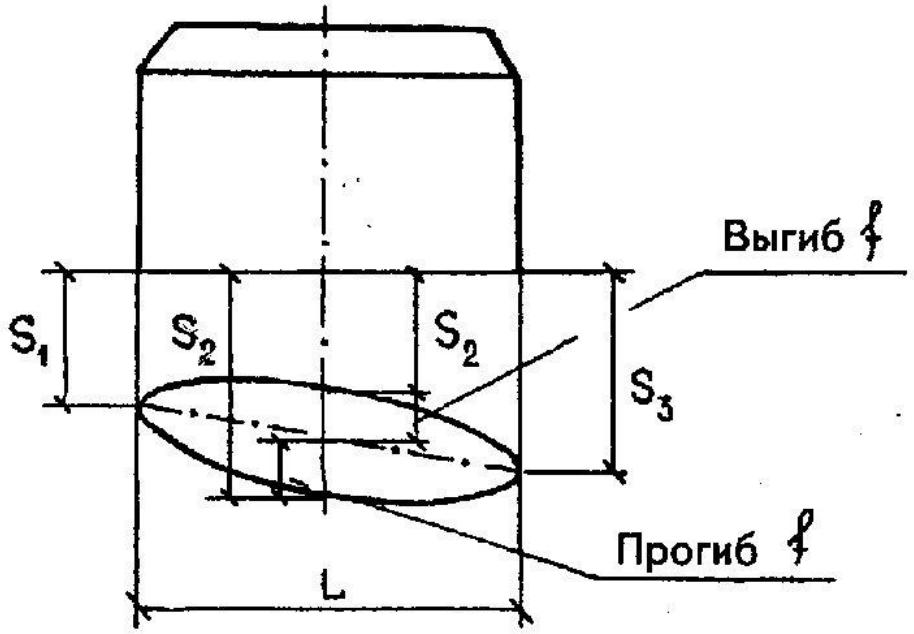
Относительный прогиб или выгиб рассматривается как отношение стрелы прогиба или выгиба к длине однозначно изгибаемого участка здания или сооружения

$$f / L = (2s_2 - s_1 - s_3) / 2L$$

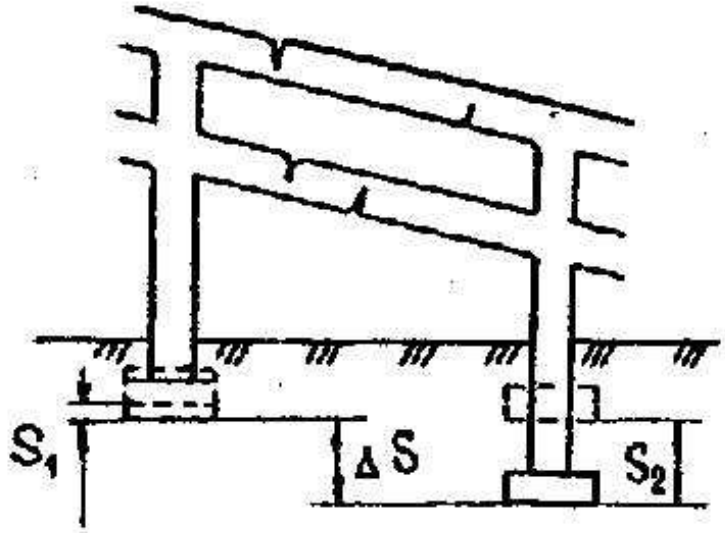
где s_1 и s_3–осадки в краях фундамента;

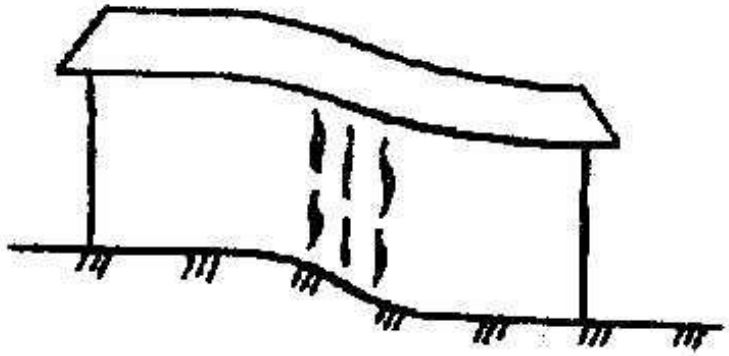
s_2- наибольшая или наименьшая осадка на том же участ

L – длина фундамента

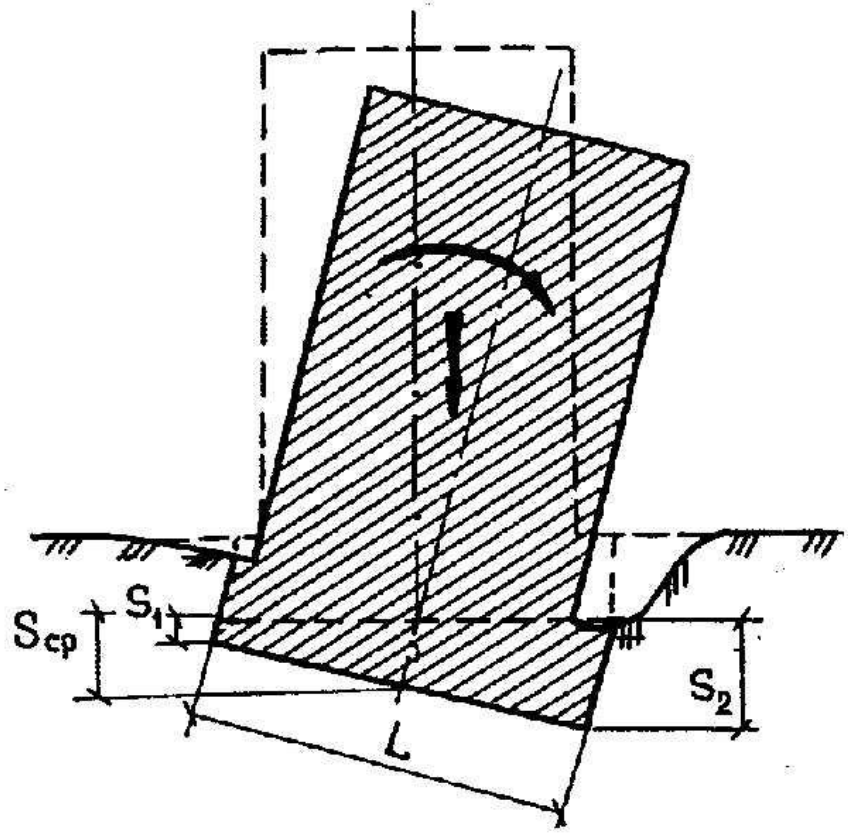


Перекос зданий и сооружений характерен при резком проявлении неравномерности осадок на участке наибольшей протяженности при сохранении относительной вертикальности несущих конструкций (перекосы в каркасных зданиях и др.)





Крен фундамента здания или сооружения представляет собой поворот относительно горизонтальной оси и проявляется при несимметричной загрузке основания или несимметричном напластовании грунтов относительно вертикальной оси.

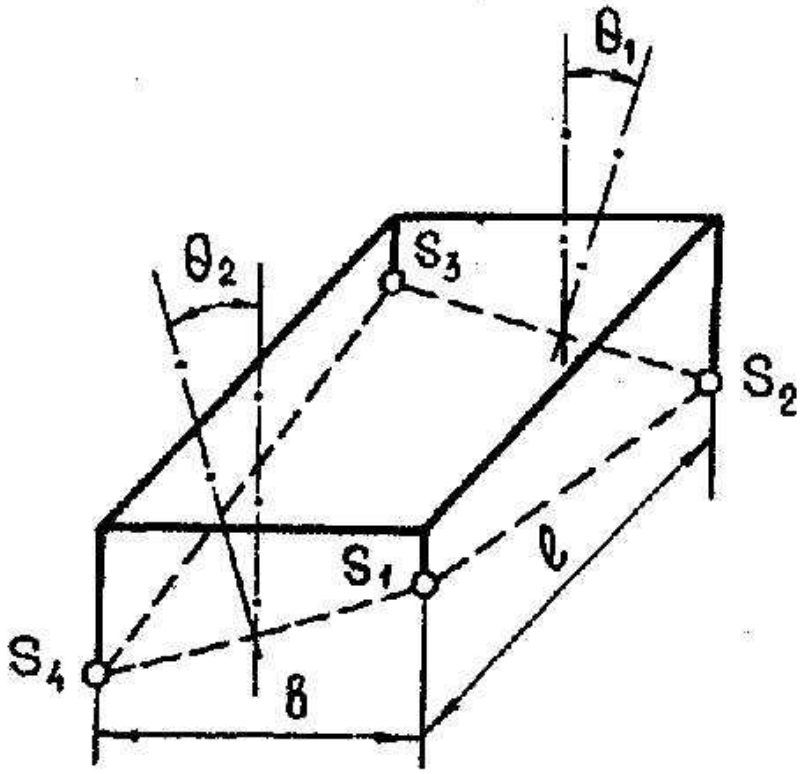


Крен определяется по формуле:

$$i = \frac{S_1 - S_2}{L}$$

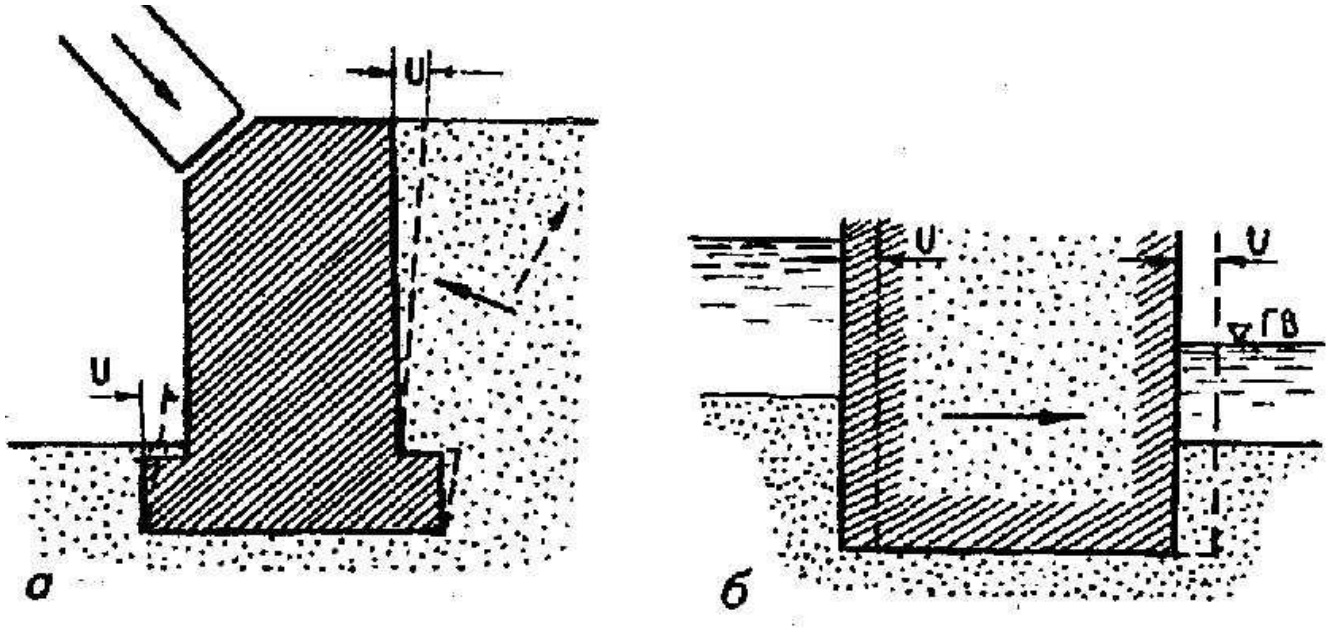
где: S_1 и S_2 – осадка крайних точек сплошного фундамента или двух фундаментов.

Кручение имеет место при неодинаковом крене здания или сооружения по длине, при этом происходит развитие крена в двух сечениях сооружения в разные стороны.



Относительный угол закручивания характеризует пространственную работу конструкции

Горизонтальные перемещения фундаментов зданий и сооружений имеет место при действии на основания горизонтальных нагрузок.



Кривизна изгибаемого участка сооружения – показатель, обратный радиусу искривления, наиболее полно характеризует напряженно-деформированное состояние жестких протяженных сооружений.

Причины неравномерных осадок сооружений.

В общем случае осадка каждого фундамента может состоять из суммы пяти слагаемых.

$$S = S_{упл} + S_{разупл} + S_{вып} + S_{расстр} + S_{эксп}$$

Осадки уплотнения $S_{упл}$ под отдельными частями сооружения обычно неодинаковы **из-за неоднородности основания** и **неоднородности напряженного состояния** грунтов в основании

Осадки разуплотнения $S_{разупл}$ развиваются под действием нагрузки, которая не превышает веса грунта, вынутого при отрывке котлована.

Происходит это в результате:

- большего разуплотнения грунтов под центральной частью котлована, чем по его краям и в углах, из-за большего уменьшения напряжений в глубине основания под центром котлована;

- различной продолжительности разуплотнения грунтов основания под разными фундаментами;

- неодинакового поднятия дна котлована вследствие неоднородности основания и неравномерности изменения напряженного состояния грунтов.

Осадки выпирания $S_{вып}$ связаны с развитием пластических деформаций грунта основания.

Причины развития неравномерных осадок выпирания те же, что и осадок уплотнения.

Дополнительно неравномерности осадок могут быть обусловлены неодинаковым сопротивлением грунта сдвигу в зонах пластических деформаций

Осадки расструктуривания $S_{расстр}$ происходят при отрывке котлована когда грунты основания обнажаются и подвергаются воздействию различных факторов.

Нарушение структуры грунтов основания возможно по следующим причинам:

- от метеорологических воздействий;
- от воздействий грунтовых вод и газа;
- от динамических воздействий механизмов;
- в результате ошибок строителей.

Осадки в период эксплуатации сооружений $S_{экспл}$

Причины развития осадок во время эксплуатации сооружений можно объединить в пять групп:

- уплотнение грунта после начала эксплуатации сооружений;
- изменение положения уровня подземных вод;
- ослабление грунтов основания подземными и котлованными выработками;
- динамические воздействия на грунты;
- активность геодинамических процессов.

Основные типы сооружений по жесткости

Абсолютно жесткие здания и сооружения характеризуются равномерной осадкой при симметричном загружении и сравнительно однородной сжимаемостью грунтов основания.

Абсолютно гибкие сооружения характеризуются тем, что во всех точках контакта с поверхностью грунта они следуют за перемещением грунтов основания

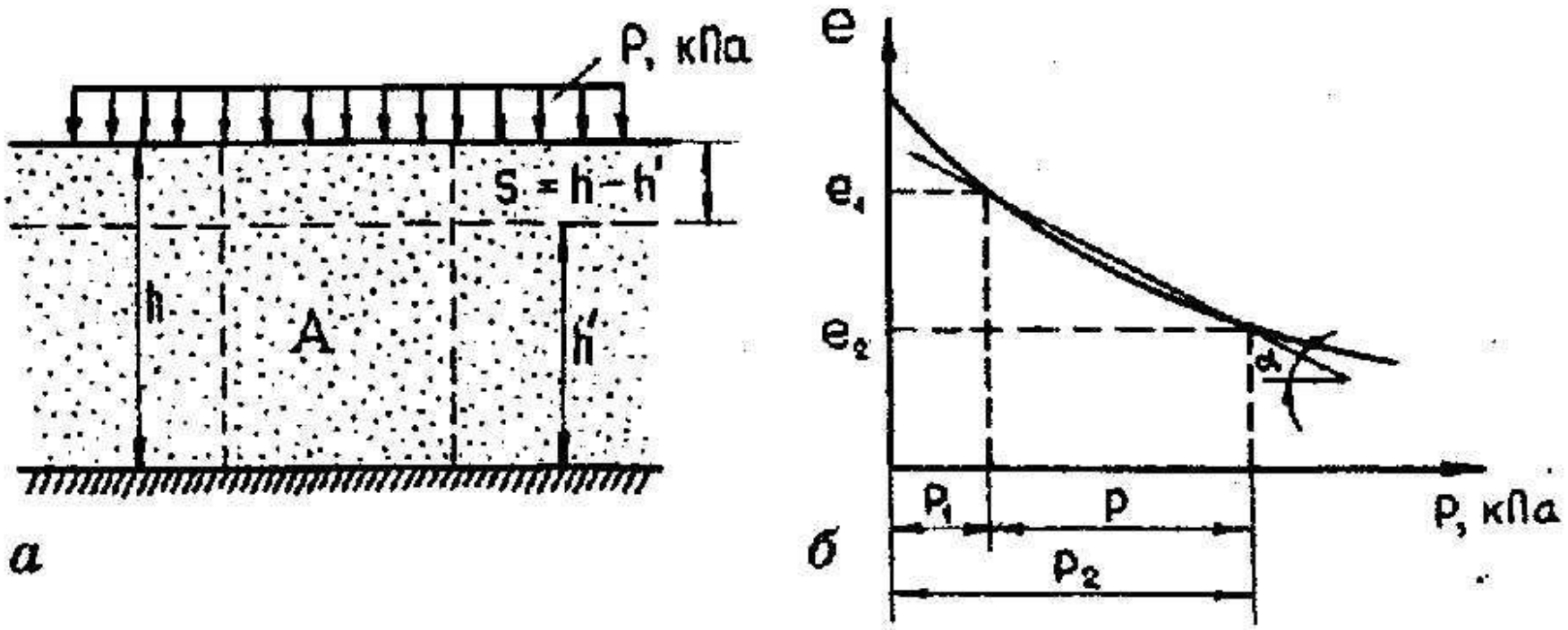
Здания и сооружения конечной жесткости характеризуются тем, что в процессе развития неравномерных деформаций получают искривления.

Расчет оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям) заключается в выполнении условий:

$$S \le S_u \quad \bar{S} \le \bar{S}_u \quad U \le U_u \quad i \le i_U$$

где S; $\bar{S}_u$; U_u; i_U - соответственно предельные абсолютные и средние осадки, горизонтальные перемещения и крены, при которых гарантируются нормальные условия эксплуатации и обеспечивается требуемая долговечность сооружения (СниП 2.02.01-83*)

8.2. Осадка слоя грунта при сплошной нагрузке (сплошная задача)



Объем твердых частиц ***Vs*** в единице объема грунта равен ***m=1/(1+e)***, т.к. ***m+n=1.***

$$\frac{1}{1+e_1}Ah = \frac{1}{1+e_2}Ah' \qquad (1)$$

где e_1- начальный коэффициент пористости, соответствующий условиям естественного залегания;

e_2- то же после действия внешней нагрузки;

h- высота слоя грунта;

h'- конечная (стабилизационная после уплотнения) высота слоя грунта.

$$\frac{h}{1+e_1} = \frac{h'}{1+e_2} \quad \Rightarrow \quad h' = \frac{h(1+e_2)}{1+e_1} \qquad (2)$$

$$S = h - h' = h - \frac{h(1+e_2)}{1+e_1} = h\left(1 - \frac{1+e_2}{1+e_1}\right) =$$

$$= h\left(\frac{1+e_1-1-e_2}{1+e_1}\right) = h\frac{e_1-e_2}{1+e_1}$$

Таким образом, **осадка слоя грунта при сплошной нагрузке** определяется по формуле:

$$S = h\frac{e_1-e_2}{1+e_1} \qquad (3)$$

$$e_1 - e_2 = m_0(P_2 - P_1) = m_0 P \Rightarrow \quad e_1 - e_2 = m_0 P \qquad (4)$$

$$S = h\frac{m_0 \cdot P}{1 + e_1} \qquad (5)$$

где $m_v = \frac{m_0}{1 + e_1}$ - коэффициент относительной сжимаемости грунта.

Осадка слоя грунта при сплошной нагрузке

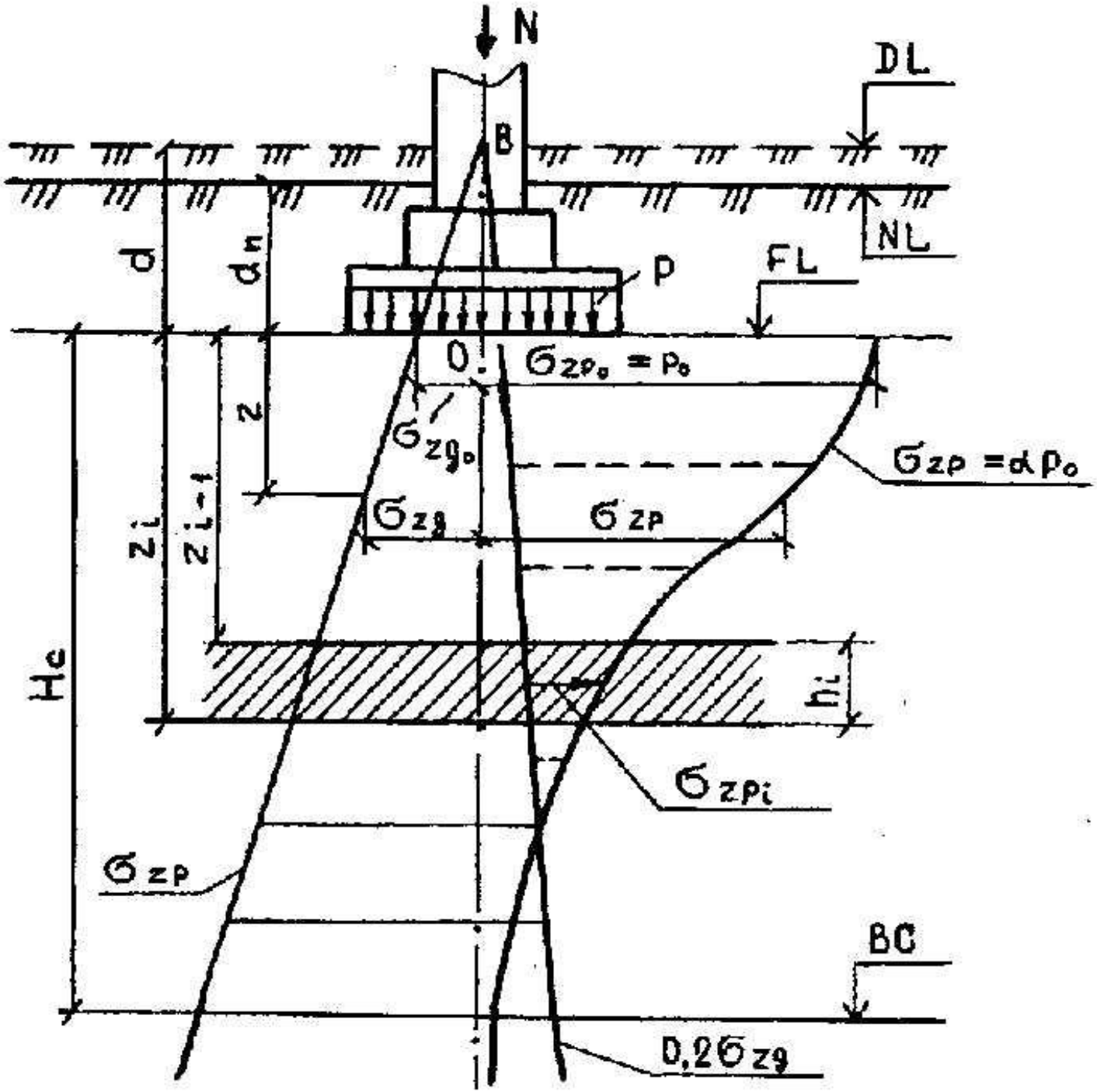
$$S = m_v \cdot h \cdot P \qquad (6)$$

$$m_v = \frac{\beta}{E_0} \quad \Rightarrow \quad S = h\frac{\beta}{E_0} P$$

8.3. Метод элементарного послойного суммирования

В основу метода положена расчетная модель основания в виде линейно-деформируемой сплошной среды, поэтому необходимо ограничить среднее давление на основание таким пределом, при котором области возникающих пластических деформаций лишь незначительно нарушают линейную деформируемость основания

$$P \le R \quad и \quad P_{max} \le 1{,}2R \qquad (1)$$


N
DL
B
NL
d
dn
P
FL
0
σzp0 = p0
z
σzg0
σzp = α p0
zi
zi-1
σzg
σzp
hi
Hc
σzpi
σzp
BC
0,2σzg

Нижняя граница сжимаемой толщи ***BC*** основания принимается на глубине $z=Hc$ от подошвы фундамента, где выполняется условие

$$\sigma_{zp}=0,2\sigma_{zq} \qquad (2)$$

При наличии нижеуказанной глубины грунтов с модулем деформации **E≤5МПа** должно соблюдаться условие

$$\sigma_{zp}=0,1\sigma_{zq} \qquad (3)$$

Для оснований гидротехнических сооружений по СНиП 2,02.01-85 «Основания гидротехнических сооружений» нижняя граница активной зоны находится из условия

$$\sigma_{zp}=0,5\sigma_{zq} \qquad (4)$$

Расчет осадки удобно с использованием графических построений :

- строят геологический разрез строительной площадки на месте рассчитываемого фундамента;
- наносят размеры фундамента;
- строятся эпюры напряжений от собственного веса грунта и дополнительного от внешней нагрузки;
- определяется сжимаемая толща $\boldsymbol{H_c}$;
- разбивается на слои толщиной $\boldsymbol{h_i \leq 0{,}4b;}$
- определяется осадка элементарного слоя грунта по формуле:

$$\boldsymbol{S = h\frac{\beta}{E_i}\sigma_{ZPi_{zp}} \cdot h} \qquad (5)$$

Тогда полную осадку можно найти простым суммированием осадок всех элементарных слоев в пределах сжимаемой толщи из выражения

$$S = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{zp,i_{zp}} \cdot h_i}{E_0}$$

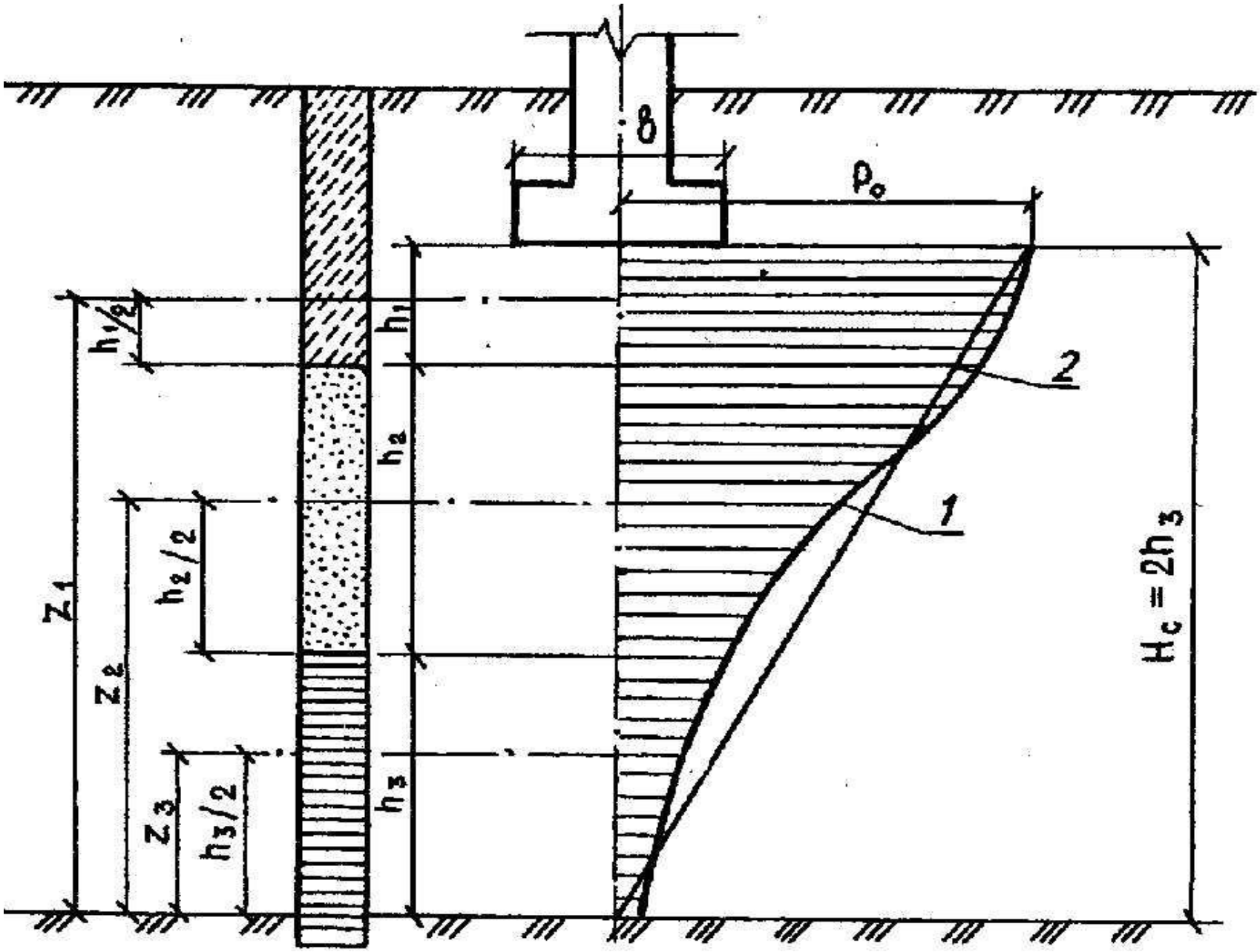
где β– безразмерный коэффициент, зависящий от коэффициента относительных поперечных деформаций;

h_i- высота i-го слоя;

E_0- модуль деформации i-го слоя грунта;

$\sigma_{ZPi_{cp}} = \frac{\sigma_{ZPi-1} + \sigma_{ZPi}}{2}$ - среднее напряжение i-го элементарного слоя

8.4 Метод эквивалентного слоя (метод Цытовича)



Эквивалентным слоем называется такая толща грунта ***hэ*** , которая в условиях невозможности бокового расширения (при загружении всей поверхности сплошной нагрузкой) дает осадку, равную по величине осадке фундамента, имеющего ограниченные размеры в плане при нагрузке той же интенсивности.

Мощность эквивалентного слоя определяется по формуле:

$$h_э = A \cdot w \cdot b$$

(1)

где $A = \frac{(1-v)^2}{1-2v}$ - коэффициент, зависящий от вида грунта;

w- коэффициент, зависящий от формы фундамента и жесткости;

b- ширина фундамента.

$A \cdot w$ - коэффициент эквивалентного слоя

Осадку однородного основания определяют по формуле:

$$S = P_0 \cdot h_э \cdot m_v$$

Средневзвешенный относительный коэффициент сжимаемости слоистого напластования грунтов

$$\overline{m}_v = \frac{1}{2h_э^2} \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot m_{vi} \cdot z_i \qquad (3)$$

где h_i– толщина i-го слоя грунта в пределах сжимаемой толщи;

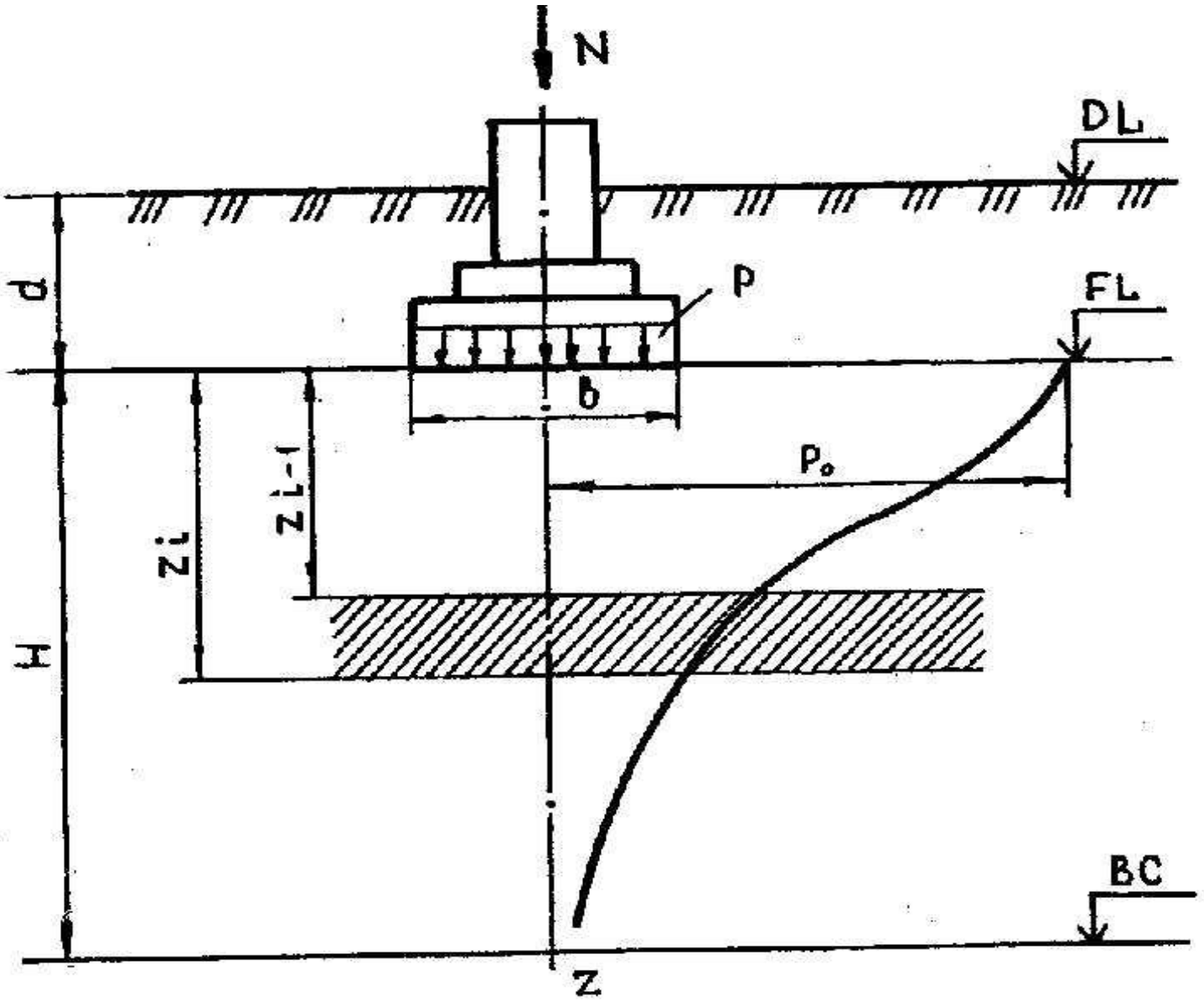
m_{vi}- коэффициент относительной сжимаемости i-го слоя

z_i- расстояние от нижней точки треугольной эпюры до середины i-го слоя

Осадка многослойного основания

$$S = P_0 \cdot h_э \cdot m_v$$

8.5 Метод линейно-деформируемого слоя конечной толщины (метод Егорова)



Расчет осадки основания методом Егорова применяется в следующих случаях:

1 В пределах сжимаемой толщи в основании, определенной с помощью метода послойного суммирования H_c залегает слой грунта с модулем деформации $E \geq 100 МПа$ и толщиной h_1 удовлетворяющей условию

$$h_1 \geq H_c \left(1 - \sqrt[3]{E_2 / E_1}\right) \quad (1)$$

где E_2- модуль деформации грунта, подстилающего слой грунта с модулем деформации $E1$;

2 Ширина и диаметр фундаментов $b \geq 10м$ и модуль деформации грунтов основания $E \geq 10МПа$.

Толщина линейно-деформируемого слоя H в первом случае принимается до кровли малосжимаемого грунта, во втором случае вычисляется по формуле:

$$H=(H_0+\psi b)k_p \qquad (2)$$

где H_0 и ψ принимается для оснований, сложенных пылевато-глинистыми грунтами – 9м и 0,15м;

k_p - коэффициент, принимаемый равным $k_p=0,8$ при среднем давлении под подошвой фундамента $P=100кПа$ и $k_p=1,2$ при $P=500кПа$ при промежуточных значениях – по интерполяции.

В случае, если в основании имеются глинистые и песчаные грунты, значение H находят по формуле:

$$H = H_s + \frac{h_{zi}}{3} \qquad (3)$$

Осадку основания определяют по формуле:

$$S = \frac{P - b \cdot k_c}{k_m} \sum_{i=1}^{n} \frac{k_i - k_{i-1}}{E_i} \qquad (4)$$

где P – среднее давление под подошвой фундамента (при $b<10м$ принимается $P=P_0$);

b- ширина прямоугольного или диаметр круглого фундамента;

k_c - коэффициент, принимаемый в зависимости от относительной суммарной толщины деформирующихся слоев ($2H/b$), определяется по таблицам;

k_m- коэффициент, зависящий от модуля деформации и ширины фундамента, принимается по таблице;

k_i и k_{i-1} – коэффициенты, определяемые по таблице в зависимости от формы подошвы фундамента, соотношения сторон и относительной глубины, на которой расположены подошва и кровля i-го слоя (соответственно $\xi=2z_i/b$ $\xi=2z_{i-1}/b$);

E_i - модуль деформации ***i-го слоя грунта.***