

Деформации основания :

- осадки– деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок и в отдельных случаях собственного веса грунта, не сопровождающиеся коренным изменением его структуры;
- просадки– деформации, происходящие в результате уплотнения и, как правило, коренного изменения структуры грунта под воздействием как внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов, таких, например, как замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т. п.;
- подъемы и осадки– деформации, связанные с изменением объема некоторых грунтов при изменении их влажности или воздействии химических веществ (набухание и усадка) и при замерзании воды и оттаивании льда в порах грунта (морозное пучение и оттаивание грунта);
- оседания– деформации земной поверхности, вызываемые разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий, понижением уровня подземных вод, карстово-суффозионными процессами и т. п.;
- горизонтальные перемещения– деформации, связанные с действием горизонтальных нагрузок на основание(фундаменты распорных систем, подпорные стены и т. д.) или со значительными вертикальными перемещениями поверхности при оседаниях, просадках грунтов от собственного веса и т. п.;
- провалы– деформации земной поверхности с нарушением сплошности грунтов, образующиеся вследствие обрушения толщи грунтов над карстовыми полостями, горными вы-работками или зонами суффозионного выноса грунта.

Определение осадки фундамента по методу эквивалентного слоя
(Н. А. Цытович, 1934 год)

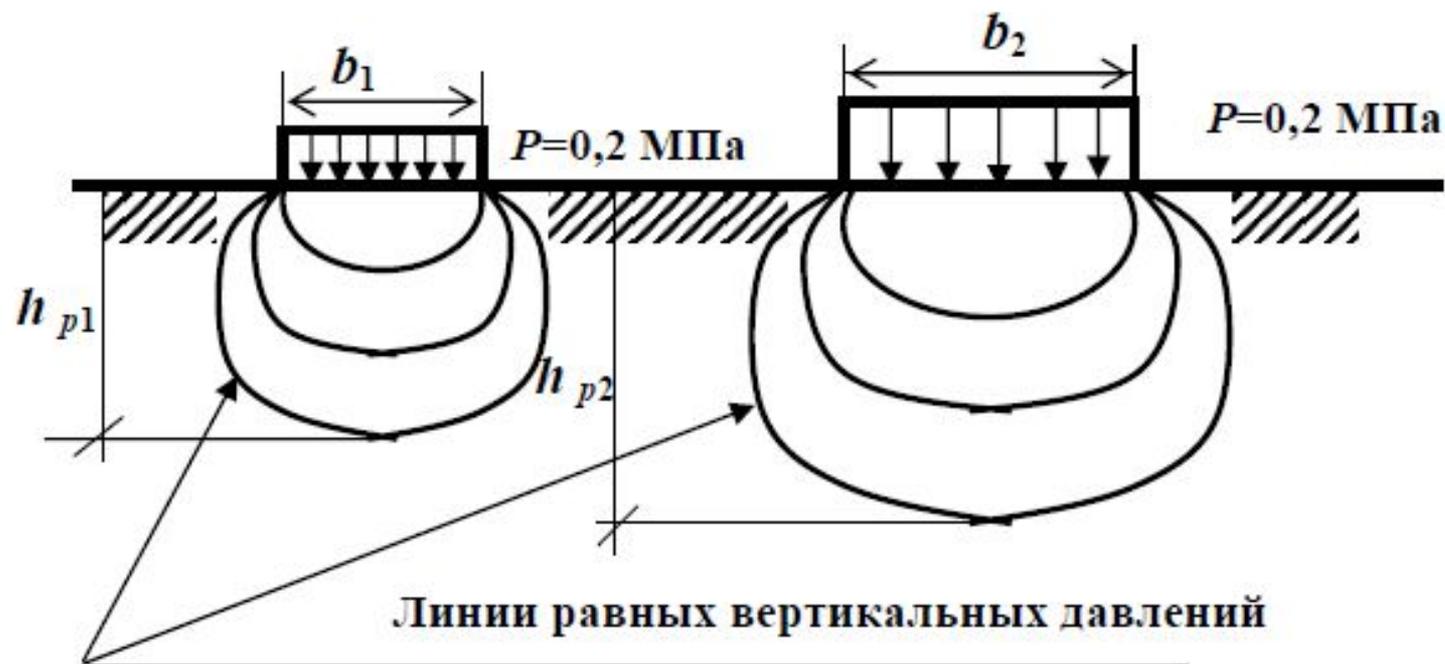


Рис. 5.7. Эпюры распределения давлений при различной площади загрузки

При большей площади загрузки глубина распределения давлений и объем грунта, подвергающийся деформации, будут больше. Следовательно, и осадки будут больше.

В методе эквивалентного слоя конечную осадку фундамента определяют в результате решения задачи теории упругости о деформировании упругого полупространства под действием равномерно распределенной нагрузки по формуле

$$s = h_e \cdot m_v \cdot p_0, \quad (5.5)$$

где m_v – коэффициент относительной сжимаемости грунта;
 p_0 – дополнительное давление по подошве фундамента;
 h_e – мощность эквивалентного слоя грунта:

$$h_e = A \cdot \omega \cdot b, \quad (5.6)$$

b – ширина подошвы фундамента; ω – коэффициент, зависящий от формы подошвы и жесткости фундамента; A – коэффициент, зависящий от коэффициента бокового расширения грунта ν :

$$A = (1-\nu)^2 / (1-2\nu). \quad (5.7)$$

Произведение $A \cdot \omega$ называют *коэффициентом эквивалентного слоя*, который находят по табличным данным.

$$m_{vm} = \frac{1}{2 \cdot h_e^2} \cdot \sum_{i=1}^n h_i \cdot m_{vi} \cdot z_i, \quad (5.8)$$

где h_i – высота 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 (рис. 5.8).

Метод эквивалентного слоя позволяет рассчитывать осадку с учетом влияния других, рядом расположенных фундаментов с помощью метода угловых точек, о котором уже говорилось выше.

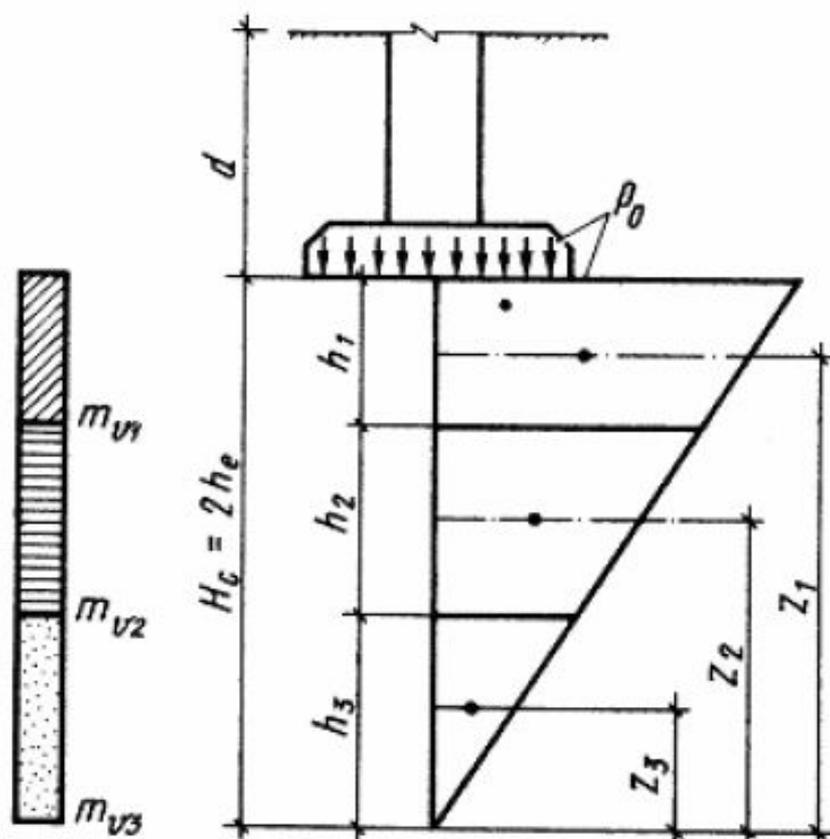
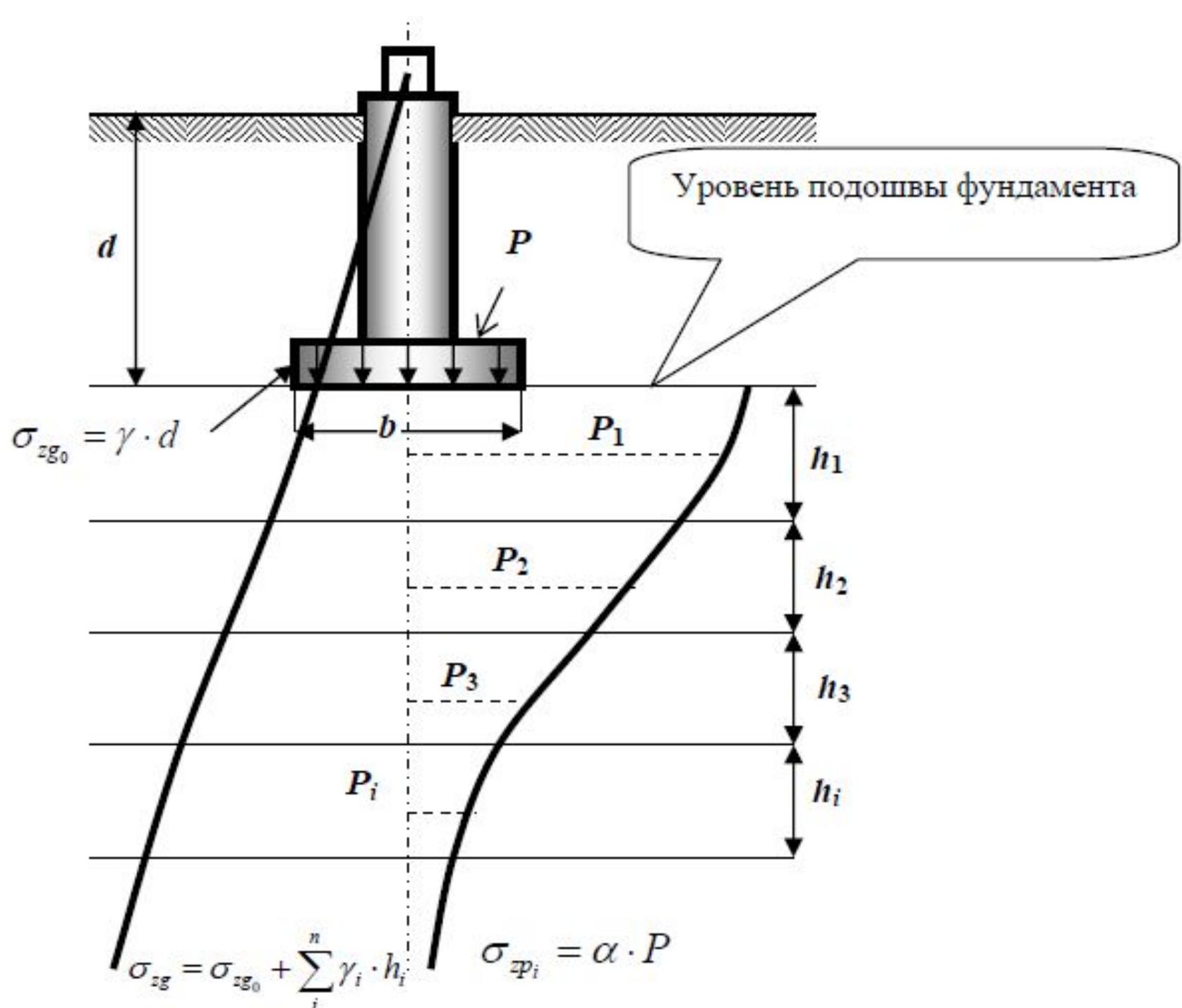


Рис. 5.8. Расчетная схема к методу эквивалентного слоя при слоистом пластовании грунтов



Порядок расчета

1. Строим расчетную схему.

2. Разбиваем грунтовый массив ниже подошвы фундамента шириной b на элементарные слои, исходя из следующих условий:

- мощность любого элементарного слоя $\Delta h_i \leq 0,4b$;
- слои должны быть однородными по своим свойствам.

3. Строим эпюру природных давлений:

$$\sigma_{zg} = \sigma_{zg_0} + \sum_i^n \gamma_i \cdot h_i, \quad (5.2)$$

где γ_i – удельный вес грунта i -го слоя.

h_i – толщина (мощность) i -го слоя грунта.

$$\sigma_{zg_0} = \gamma \cdot d,$$

где γ – удельный вес грунта выше подошвы фундамента;

d – глубина заложения фундамента.

Природные давления определяются на границах элементарных слоев.

4. Строим эпюру дополнительных вертикальных напряжений от фундамента и вычисляем эпюру дополнительных вертикальных напряжений собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта.

Значения напряжений определяются на границах элементарных слоев. Начало эпюры давлений от уровня подошвы:

$$\begin{aligned}\sigma_{zp_i} &= \alpha \cdot P, \\ \sigma_{z\gamma_i} &= \alpha \cdot \sigma_{zg0},\end{aligned}\tag{5.3}$$

где $P = (\sum N_{\Pi} + \sigma_{\phi_{\Pi}} + \sigma_{zp_{\Pi}}) / A$ – среднее давление под подошвой фундамента;

N_{Π} – вертикальная нагрузка на фундамент;

$\sigma_{\phi_{\Pi}}$ – вес фундамента;

$\sigma_{zp_{\Pi}}$ – вес грунта на уступах фундамента;

$\alpha = f(\eta = l/b, \xi = 2z/b)$ – коэффициент, учитывающий убывание с глубиной дополнительных давлений (п. 4.3 табл. 4.2).

5. Определяем нижнюю границу сжимаемой толщи, которая находится на такой глубине от подошвы фундамента, на которой выполняется условие $\sigma_{zp} \leq 0,2\sigma_{zg}$.

Если найденная по указанному выше условию нижняя граница сжимаемой толщи находится в слое грунта с модулем деформации $E < 5$ МПа (50 кгс/см^2) или такой слой залегает непосредственно ниже глубины $z = H_c$, нижняя граница сжимаемой толщи определяется, исходя из условия $\sigma_{zp} \leq 0,1\sigma_{zg}$.

6. Определяем осадку основания в пределах сжимаемой толщи:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp_i}^{cp} - \sigma_{z\gamma_i}) \cdot \Delta h_i}{E_i}, \quad (5.4)$$

где $\beta = 0,8$ – коэффициент, учитывающий боковое расширение грунта;

n – количество элементарных слоев, вошедших в сжимаемую толщу;

Δh_i – мощность соответствующего элементарного слоя, м;

E_i – модуль деформации соответствующего элементарного слоя, кПа;

$\sigma_{zp_i}^{cp}$ – дополнительное вертикальное давление от сооружения в середине элементарного слоя, кПа.

7. Проверяем условие $S < S_U$.

Допущения при расчете по этому методу

1. Линейная зависимость между напряжениями и деформациями.
2. Осадки рассматриваются, исходя из $\max P_z$ – под центром фундамента.
3. Не учитывается, как правило, слоистость напластований при построении P_z .
4. Это задача пространственная (6 компонентов напряжений), мы учитываем только P_z (5 комп. не учитываем).
5. Не учитываем боковое расширение грунта.
6. На некоторой глубине ограничиваем активную зону, ниже которой считаем, что грунт практически не деформируется.

$$\sigma_{zp} \leq 0,2\sigma_{zg}$$

при $E_0 \geq 5$ МПа

$$\sigma_{zp} \leq 0,1\sigma_{zg}$$

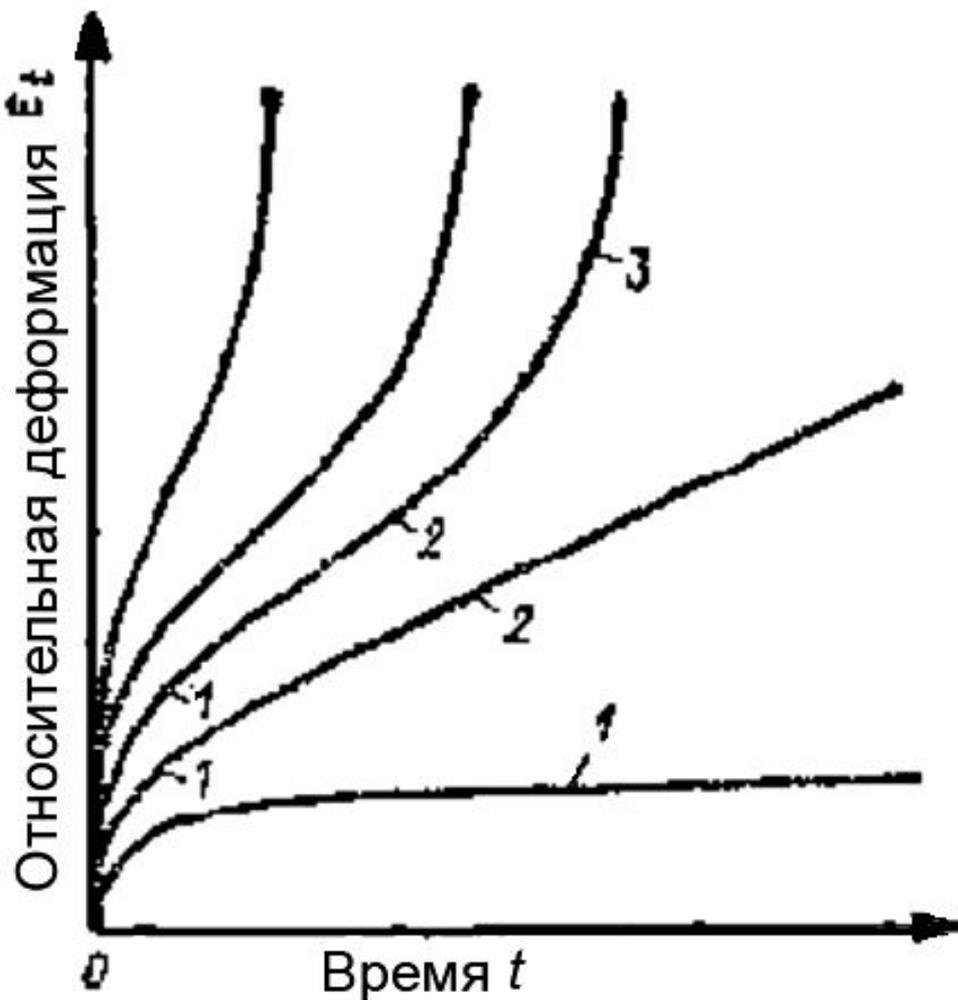
при $E_0 < 5$ МПа

Реология и нелинейная механика грунтов

- **Реология** как наука, изучающая вопросы течения материалов, имеет три основных направления исследований:
- медленно развивающихся во времени деформаций – **деформаций ползучести**;
- расслабления (уменьшения) напряжений при постоянстве деформации – **релаксации напряжений**;
- разрушения материалов при длительном действии нагрузки – **длительной прочности материалов**.

- **Реологические процессы особенно характерны для пылевато-глинистых грунтов, а также для любых грунтов, находящихся в мерзлом состоянии. Они проявляются также в скальных породах и песках при их определенном напряженном состоянии.**
- При увеличении напряжений в жестких связях между частицами грунта возникают усилия, под действием которых постепенно разрушаются менее прочные, а затем и более прочные связи.

- **Деформации ползучести** развиваются как в процессе уплотнения грунтов под действием нормальных напряжений, так и при сдвиге, т. е. при приложении касательных напряжений.



В пределах первой стадии, называемой *стадией затухающей ползучести*, происходит постепенное уменьшение скорости развития деформаций во времени.

В пределах второй стадии – *установившейся ползучести* – имеет место деформация *пластического течения*, при которой скорость практически постоянна.

Установившаяся ползучесть возникает лишь при напряжениях, больших определенного предела. Установившаяся ползучесть всегда переходит в третью стадию – *прогрессирующего течения*, при которой скорость развития деформаций во времени возрастает.

Длительная прочность грунта и релаксация напряжений

Минимальные напряжения, при которых происходит разрушение образца через бесконечно большой промежуток времени, называются **пределом длительной прочности R^∞** .

Напряжения, при которых образец грунта разрушается через некоторый период времени после приложения нагрузки в связи с развитием деформаций установившейся ползучести и прогрессирующего течения, соответствуют **длительной прочности грунта R_t** .

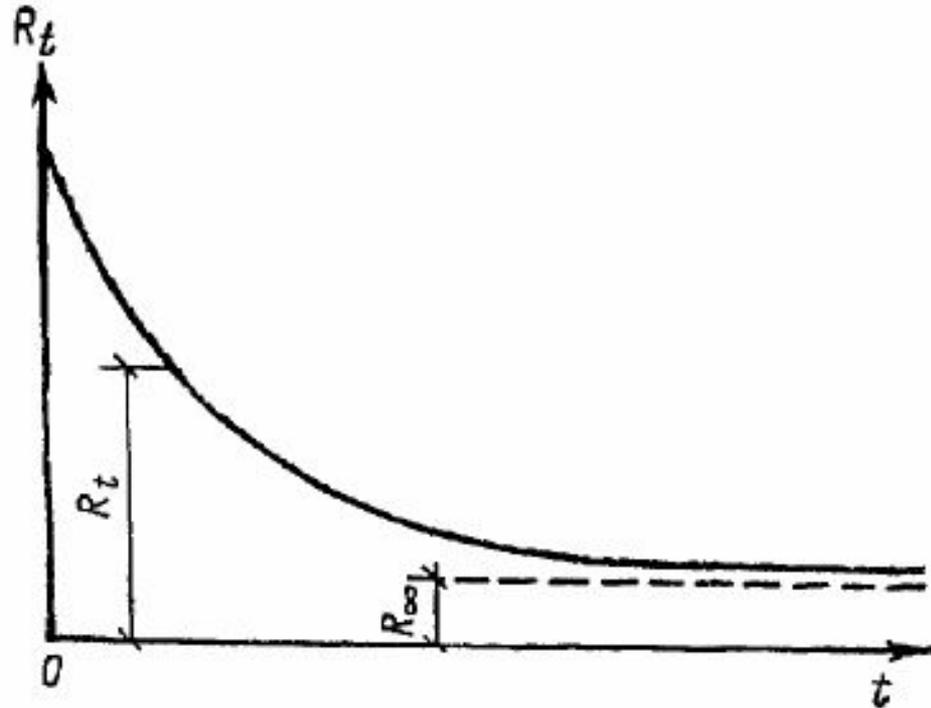
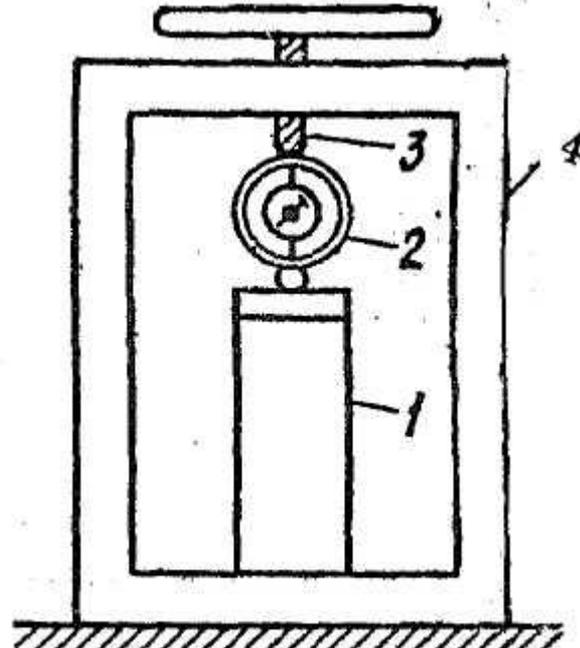


Рис. 5.11. Кривая длительной прочности грунта

- **Релаксацией напряжений** называется явление уменьшения напряжений (расслабление напряжений) при постоянстве общей деформации



Испытание грунта

на релаксацию напряжений при сжатии со свободным боковым расширением:

1 – образец грунта; 2 – динамометр; 3 – домкратный винт для приложения нагрузки; 4 – жесткая рама

Кривая релаксации напряжений может быть описана уравнением

$$\sigma_t = \sigma_\infty + (\sigma_0 - \sigma_\infty)t^{-n}, \quad (5.9)$$

где σ_t – напряжение в данный момент времени t ;
 σ_∞ – предельно длительное напряжение после релаксации;
 σ_0 – напряжение, возникающее в начале опыта при $t = 0$;
 t – время от начала приложения нагрузки; n – параметр, который характеризует скорость релаксации напряжений (обычно $n < 1$).

Деформации ползучести грунта при уплотнении

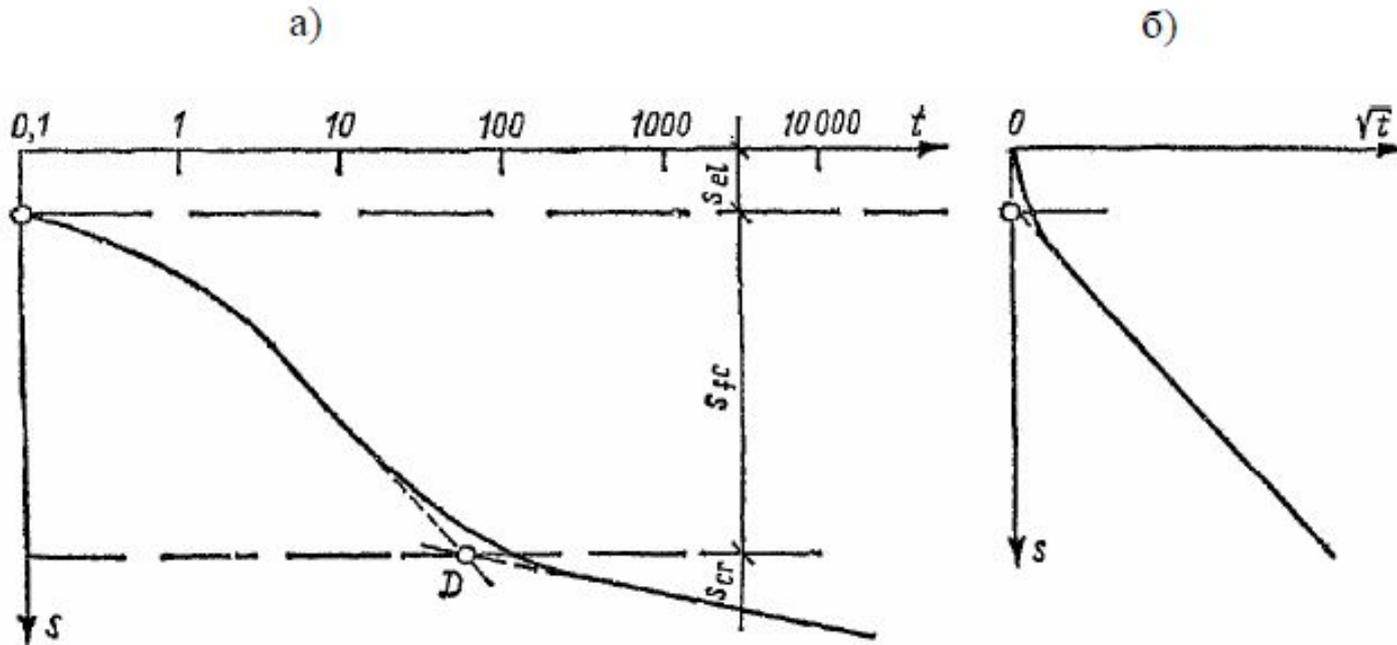


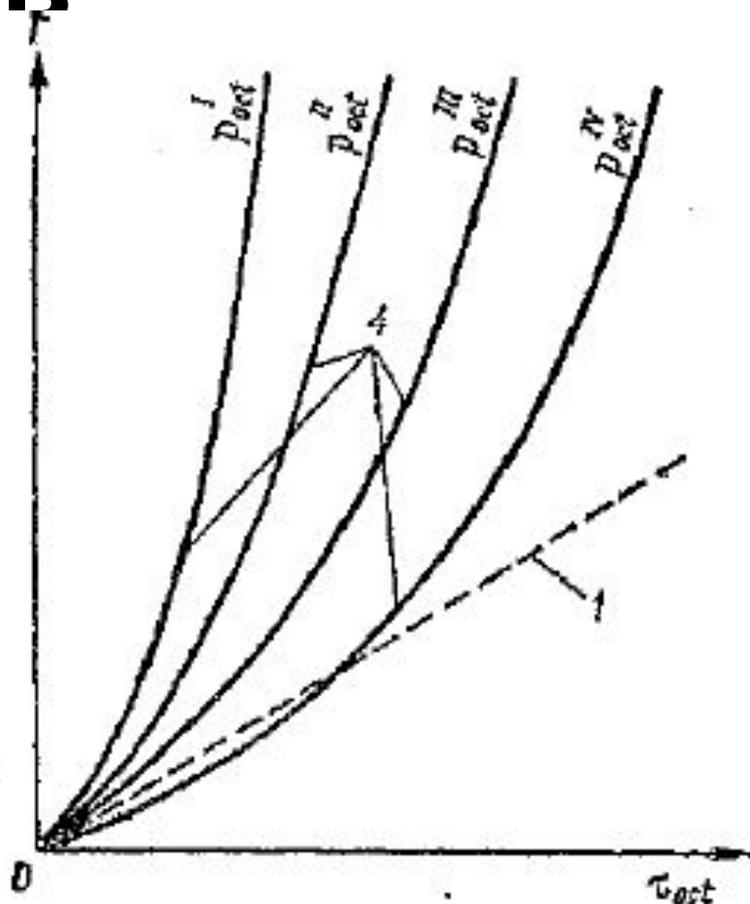
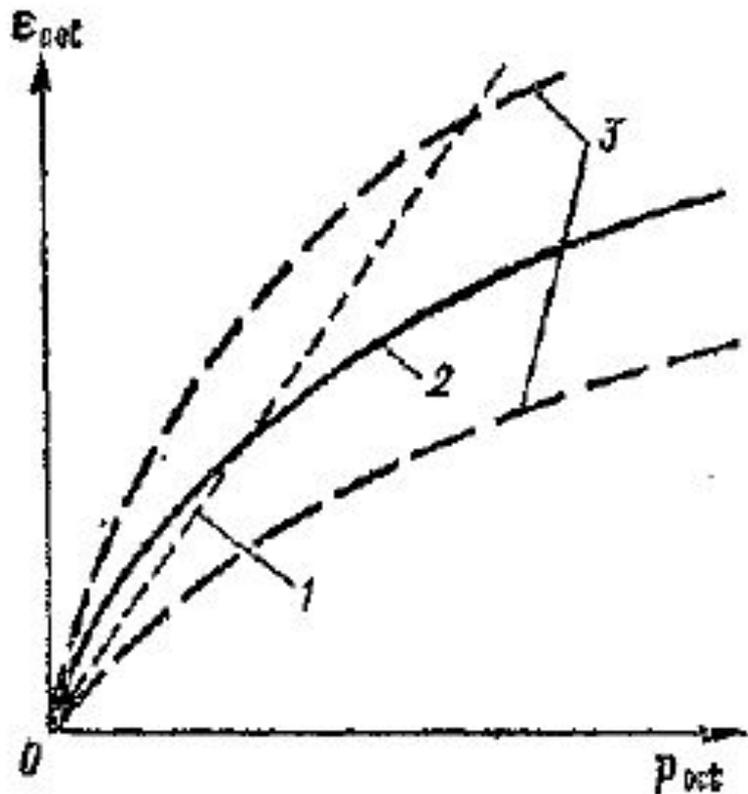
Рис. 5.13. Кривые нарастания деформаций (осадок) во времени

На этой кривой можно выделить три основных участка, соответствующих трем слагаемым осадки: преимущественно **упругой (начальной) осадке s_{ei}** , развивающейся до начала фильтрационной консолидации; **осадке $s_{f.c}$** , обусловленной фильтрационной консолидацией, и **осадке s_{cr}** , развивающейся вследствие ползучести грунта. Осадку, развивающуюся после фильтрационной консолидации, обычно называют *осадкой вторичной консолидации*.

Нелинейная механика

ГРУНТОВ

а)



Линия 1 соответствует линейной зависимости между напряжениями и деформациями; линия 2 – экспериментальная кривая для случая неизменности объема при действии касательных напряжений; линии 3 – экспериментальные кривые, полученные при изменении объема в результате деформации сдвигов

Нормальные

$$\sigma_{оcf} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); \quad (5.18)$$

касательные

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}. \quad (5.19)$$

Кроме деформаций объема, существенное значение имеют деформации формы. В качестве меры деформаций формы принимают интенсивность деформаций сдвигов:

$$\Gamma = \sqrt{\frac{2}{3}(v_1^2 + v_2^2 + v_3^2)}, \quad (5.20)$$

где v_1, v_2, v_3 – наибольшие (главные) деформации сдвигов.

Деформации объема и формы могут быть выражены через σ_{oct} и τ_{oct} .