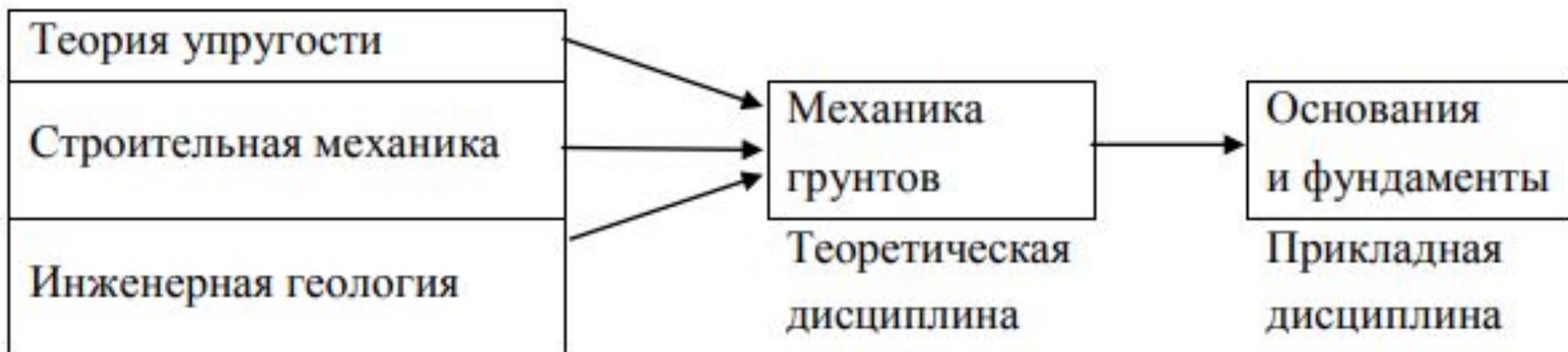


Основные понятия I раздела
курса
«Механика грунтов, основания и
фундаменты»

1. Состав курса, связь с другими дисциплинами. Основные понятия и терминология, цель и задачи курса

Механика грунтов – раздел механики сыпучих сред, изучающий напряженно-деформированные состояния, условия прочности и устойчивости, а также изменения свойств грунтов под влиянием внешних (механических) воздействий. **Механика грунтов** есть механика природных дисперсных (мелко раздробленных) материалов и составляет часть общей геомеханики.



- ***Основные задачи:***
- Правильная оценка физико-механических свойств грунта;
- Определение напряженно-деформированного состояния грунта от собственного веса, нагрузок, передаваемых от зданий и сооружений и тд;
- Оценка прочности грунтов от сползания, разрушения и давления грунта на ограждающие конструкции;
- Прогноз осадок;
- Расчет оснований фундаментов по двум группам предельных состояний

- **Грунты** – это геологические породы, залегающие в верхних слоях земной коры, состоящие из твердых частиц (зерен) разной крупности (скелета грунта) и пор, заполненных или воздухом полностью, либо частично водой.
- Грунт, который находится под фундаментом в напряженном состоянии от действия нагрузки от здания, называется **основанием фундамента**.
- **Фундаментом** называется подземная или подводная часть здания или сооружения, служащая для передачи усилий от него на грунты основания и, по возможности, более равномерного их распределения, а также уменьшения величины давлений до требуемых значений.

- **Связь МГОиФ с дисциплинами:**

Механика грунтов входит в состав науки «**Геомеханики**», в основу которой положены с одной стороны, законы **теоретической механики** – механики абсолютно твердых несжимаемых тел, а с другой стороны – **строительной механики** – законы упругости, пластичности, ползучести, а также имеет тесную связь с **геологией**

2. Основные виды, состав и состояние грунтов.

- Состояние грунтов определяет их *степень трещиноватости, выветрелости, влажности,*



Скальные грунты. Их структуры с жесткими кристаллическими связями, например, гранит, известняк. Класс включает две группы грунтов: 1) скальные, куда входит три подгруппы пород, магматические, метаморфические, осадочные сцементированные и хемогенные; 2) полускальные в виде двух подгрупп — магматические излившиеся и осадочные породы типа мергеля и гипса

Дисперсные грунты. В этот класс входят только осадочные горные породы. Класс разделяется на две группы — связных и несвязных грунтов. Для этих грунтов характерны механические и водноколлоидные структурные связи. Связные грунты делятся на три типа — минеральные (глинистые образования), органо-минеральные (илы, сапропели и др.) и органические (торфы). Несвязные грунты представлены песками и крупнообломочными породами (гравий, щебень и др.). В основу разновидностей грунтов положены плотность, засоленность, гранулометрический состав и другие показатели

Мерзлые грунты. Все грунты имеют криогенные структурные связи, т. е. цементом грунтов является лед. В состав класса входят практически все скальные, полускальные и связные грунты, находящиеся в условиях отрицательных температур. К этим трем группам добавляется группа ледяных грунтов в виде надземных и подземных льдов. Разновидности мерзлых грунтов основываются по льдистым (криогенным) структурам, засоленности, температурно-прочностным свойствам и др.

Техногенные грунты. Эти грунты представляют собой, с одной стороны, природные породы — скальные, дисперсные, мерзлые, которые в каких-либо целях были подвергнуты физическому или физико-химическому воздействию, а с другой стороны, искусственные минеральные и органо-минеральные образования, сформировавшиеся в процессе бытовой и производственной деятельности человека. Последние нередко называют антропогенным образованием. В отличие от других классов этот класс вначале разделяется на три подкласса, а уже после этого каждый подкласс, в свою очередь, распадается на группы, подгруппы, типы,

Химический и минералогический состав грунтов.

Химический состав грунтов является одной из важнейших характеристик, определяющих их свойства и состояние. Определяется в результате химического анализа

Минералогический, или минеральный, состав определяет породу грунта. Выделяют породообразующие минералы и *второстепенные*, или *акцессорные*, *случайные минералы и примеси*.

Магматические горные породы (гранит, диорит, сиенит, диабаз, порфир, габбро, дунит и т. д.) относятся полевые шпаты,

Осадочные горные породы (песчаники, аргиллиты, алевролиты, глины, лессы, пески, известняки, мергели и др.) обычно содержат в наибольшем количестве кварц, полевые шпаты, слюды.

Минералогический состав **метаморфических горных пород** (гнейсов, кварцитов, сланцев, мраморов) во многом отвечает составу исходных материнских пород.

Наряду с этими минералами встречаются типично метаморфические минералы — граниты, хлориты, эпидот.

Важным компонентом состава горных пород является *органическое вещество*, или **гумус**.

Гранулометрический и микроагрегатный состав грунтов.
Под гранулометрическим составом понимается количественное соотношение различных фракций в дисперсных породах, т. е. гранулометрический состав показывает, какого размера частицы и в каком количестве содержатся в той или иной породе.

Вода и воздух

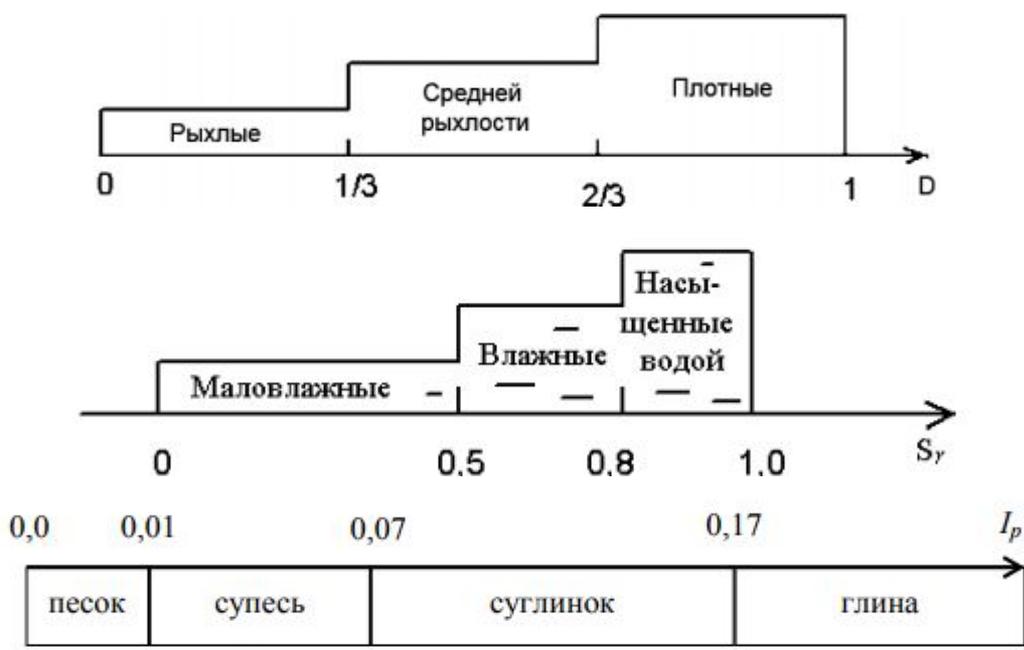
3. Строительная классификация грунтов. Составные элементы грунтов и их свойства.

- Если грунты неподвижны и способны воспринимать нагрузку без предварительного усиления, то они могут быть использованы в качестве естественных оснований.
- **Естественные основания** – это грунты, которые в природном состоянии имеют достаточную несущую способность, небольшую и равномерную сжимаемость, не превышающую допустимые значения.
- Основания, способные воспринимать нагрузку только после проведения мероприятий по усилению грунтов, называют искусственными основаниями.
- **Искусственные основания** – это грунты, которые в природном состоянии, в пределах сжимаемой толщи, не обладают достаточной несущей способностью, и их необходимо искусственно укреплять.

- Естественные основания по геологическим характеристикам разделяют на **скальные и нескальные**
- К **скальным** грунтам относятся: изверженные, метаморфические и осадочные породы с жесткими связями между зернами
- К **нескальным** грунтам относятся **крупнообломочные, песчаные и глинистые**.
- Крупнообломочные грунты по своей структуре (зерновому составу) подразделяются на щебенистые (вес частиц крупнее 10 мм составляет более половины) и дресвяные (вес частиц размером 2 – 10 мм составляет более 50 %).
- Пески : гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые с соответствующим соотношением частиц от 2 мм до 0,05 мм в % от веса воздушно-сухого грунта.
- Глинистые грунты относятся к категории связных грунтов с размерами плоских частиц, не превышающими 0,005 мм, и толщиной менее 0,001 мм. К глинистым грунтам относятся также суглинки и супеси, содержащие наряду с глинистыми частицами примеси песка. Содержание этих примесей характеризуется так называемым «числом пластичности». Для супесей это значение составляет от 0,01 до 0,07, для суглинков – от 0,07 до 0,17.

- Виды искусственных оснований: **уплотнение; закрепление** существующего грунта, и **замена** слабого грунта более прочным.
- **Уплотнение**: поверхностное или глубинное. Поверхностное - с помощью послойной укатки, трамбования или вибрирования. Глубинное уплотнение может быть осуществлено песчаными или грунтовыми сваями, или с помощью взрывов.
- **Искусственное закрепление** слабых грунтов достигается цементацией, термическим способом, химическим закреплением или силикатизацией грунтов.
- **Замену грунта** осуществляют тогда, когда уплотнение и закрепление невозможны или неэффективны.

- Строительная классификация грунтов по физическим свойствам:



- Плотность

- Влажность

- Пластичность

- Прочность:

- скальные грунты очень прочные ($R_t > 120$ МПа), прочные ($120 > D > 50$ МПа), средней прочности ($50 > D > 15$ МПа), малопрочные ($15 > R_C > 5$ МПа), пониженной прочности ($5 > D > 3$ МПа), низкой прочности, весьма низкой прочности $D < 1$ МПа

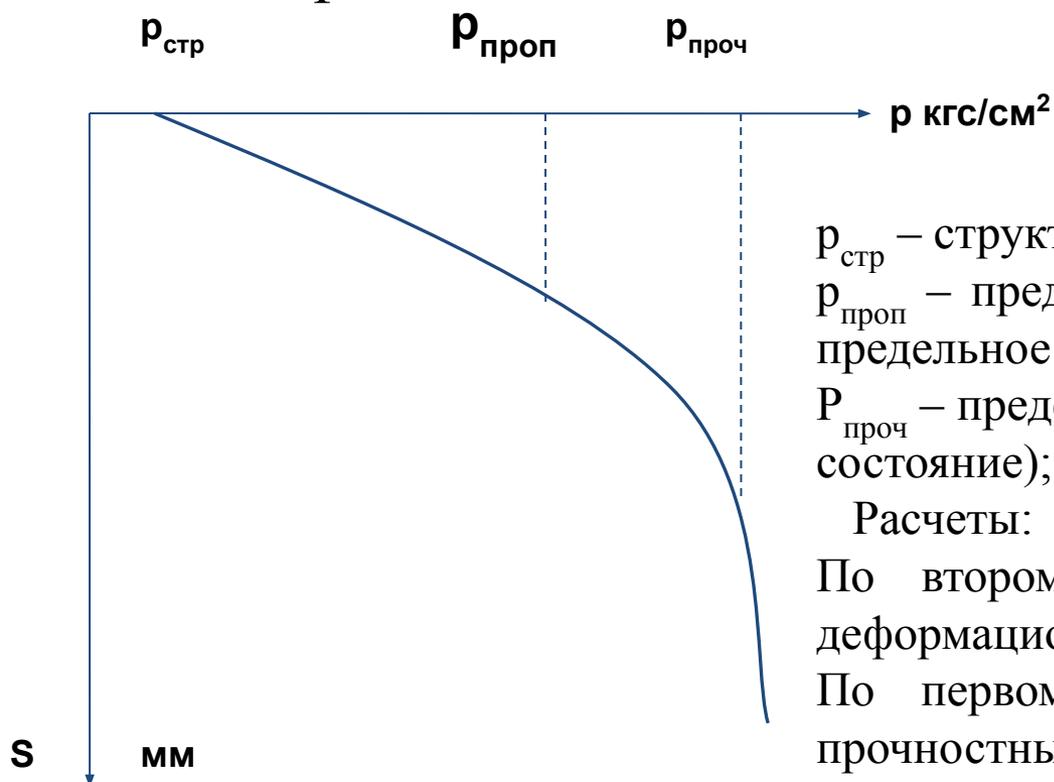
- Относительная просадочность

Разновидность глинистых грунтов	Относительная деформация просадочности ϵ_{sd} , д. е.
Непросадочный	$< 0,01$
Просадочный	$\geq 0,01$

4. Влияние состава грунта на его физико-механические свойства.

Физико-механические свойства характеризуют поведение грунтов под нагрузками.

- Зависят от:
1. величины нагрузки;
 2. направления;
 3. времени воздействия;
 4. физических свойств .



$p_{стр}$ — структурная прочность;

$p_{проп}$ — предел пропорциональности (второе предельное состояние);

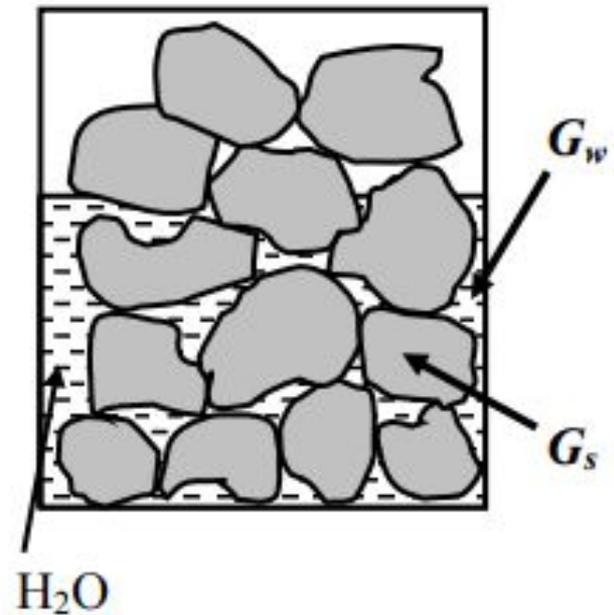
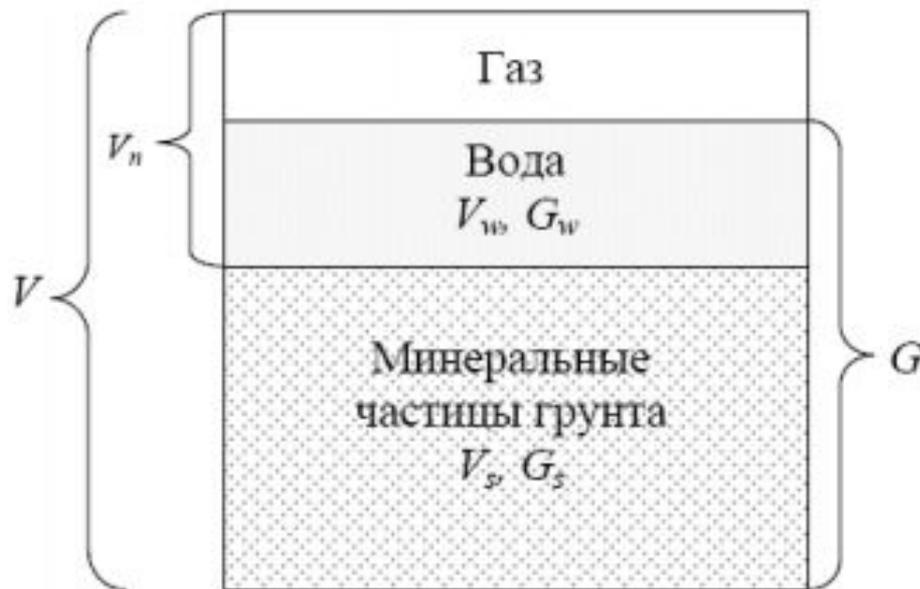
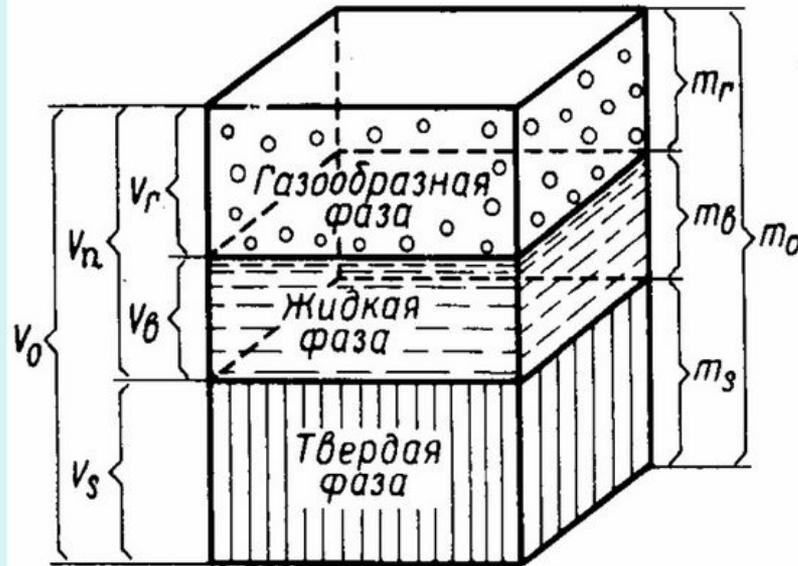
$p_{проч}$ — предел прочности (первое предельное состояние);

Расчеты:

По второму предельному состоянию — деформационные свойства

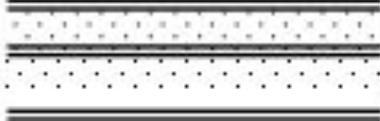
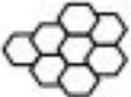
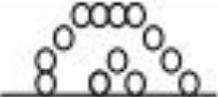
По первому предельному состоянию — прочностные свойства.

Грунт, как трехфазовая модель



5. Структурные связи и строение грунтов.

- грунт распадается на разные по форме и величине отдельности, называемые структурными агрегатами
- «структура грунта - размер, форма, характер поверхности, количественное соотношение слагающих грунт элементов. Пространственное расположение элементов, слагающих грунт, независимо от их размера принято называть текстурой грунта.
- Применительно к грунта в понятие «структура» включен еще и такой фактор, определяющий свойства грунтов, как способ взаимосвязи элементов, слагающих грунт, или так называемые структурные связи.
- связи в грунтах имеют преимущественно электрическую природу.
- В магматических породах они возникают в результате остывания магмы, в метаморфических - перекристаллизации исходных пород, в осадочных - в результате процессов диагенеза осадков.
- По прочности структурные связи могут быть самыми различными: от очень прочных, соизмеримых по прочности с ионными и ковалентными связями (в минералах), до очень слабых, существование которых почти не влияет на свойства грунтов.
- В магматических, большей части метаморфических и части осадочных горных пород имеет место химическая связь - электрические силы взаимодействия между атомами. Химические структурные связи могут быть кристаллизационными и твердыми аморфными. **Кристаллизационные** связи являются наиболее прочными. Грунты с химическими структурными связями отличаются высокой прочностью, слабой сжимаемостью и упругостью в определенном диапазоне нагрузок.
- При увлажнении глинистых грунтов вокруг частиц и между частицами образуется гидратная оболочка и диффузный слой ионов. Вследствие этого между дисперсными частицами проявляются с одной стороны, молекулярные силы притяжения, а с другой - ионно- электростатические силы отталкивания. Результирующая этих сил и будет определять прочность структурных связей в дисперсных грунтах. Такие структурные связи называют молекулярно-ионно-статическими, или водноколлоидные. **Водноколлоидные** связи характерны для глинистых грунтов. Прочность этих связей уменьшается с увеличением влажности грунта. Водноколлоидные связи менее прочные в сравнении с кристаллизационными и твердыми аморфными.
- Прочность связей в одних грунтах во всех направлениях одинакова (изотропные грунты), а в других она изменяется по отдельным направлениям (анизотропные грунты).

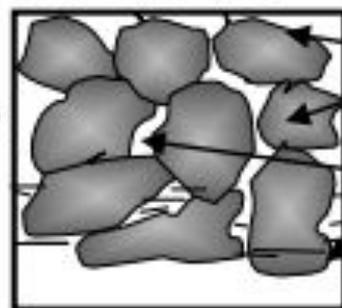
Структура грунта	Текстура грунта
<i>Зернистая</i> 	<i>Слоистая</i> 
<i>Сотообразная</i> 	<i>Порфировидная</i> 
<i>Хлопьевидная</i> 	<i>Слитная (однородная)</i> 

Грунт – это 3-фазная система



Грунт = твердые частицы + вода + газ

Состав грунта:



зерна

поры (воздух + вода)

6. Физические свойства и классификационные показатели

7. Основные физические и производные характеристики грунтов.

Основные физические характеристики грунта

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Удельный вес грунта	γ	кН/м ³	$\gamma = (G/V) \cdot g$
Удельный вес частиц грунта	γ_s	кН/м ³	$\gamma_s = (G_s/V_s) \cdot g$
Влажность грунта	W	безразмерна	$W = (G - G_s)/G_s = G_w/G_s$
Влажность на границе пластичности (раскатывания)	W_p	безразмерна	$W_p = G_{w,p}/G_s$
Влажность на границе текучести	W_L	безразмерна	$W_L = G_{w,L}/G_s$

Производные физические характеристики грунта

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Удельный вес сухого грунта	γ_d	кН/м ³	$\gamma_d = \gamma / (1+W)$
Коэффициент пористости	e	безразмерна	$e = V_n / V_s = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = \rho_s / \rho_d - 1$
Пористость	n	безразмерна	$n = V_n / V = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s = 1 - \rho_d / \rho_s$
Удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды	γ_o^{636}	кН/м ³	$\gamma_o^{636} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$

- Плотность грунта ρ естественной (ненарушенной) структуры

$$\rho = \frac{m_0}{V_0} \quad [g/cm^3]$$

Плотность грунта обычно колеблется в пределах 1,60...2,1 г/см³.

- Плотность твердых частиц грунта ρ_s

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad [\text{г/см}^3]$$

Для песков - 2,55...2,66 г/см³,
для супесей - 2,66...2,68 г/см³,
для суглинков - 2,68...2,72 г/см³,
для глин - 2,70...2,95 г/см³.

- Весовая (естественная) влажность
грунта W

$$W = \frac{m_v}{m_s} \quad [\%]$$

Удельный вес грунта

$$\gamma = \rho g \quad [\text{кН/м}^3]$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

$$1 \text{ Ньютон} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2$$

- **Плотность сухого грунта**

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W} \quad [\text{г/см}^3] \quad \rho_d \leq \rho \leq \rho_s$$

- **Пористость грунта**

$$n = \frac{V_n}{V_0} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$$

- **Коэффициент пористости**

$$e = \frac{V_n}{V_s}$$

Отношение объема твердых частиц к общему объему грунта

$$m = \frac{V_s}{V_o}$$

$$m + n = 1$$

$$e = \frac{n}{m} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

Плотность сложения песчаных грунтов

Разновидность песков	Коэффициент пористости e		
	Пески гравелистые крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	Менее 0,55	Менее 0,60	Менее 0,60
Средней плотности	0,55...0,70 включ.	0,60...0,75 включ.	0,60...0,80 включ.
Рыхлый	Свыше 0,70	Свыше 0,75	Свыше 0,80

- Степень влажности (коэффициент водонасыщения) S_r

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}$$

Разновидность грунтов	Коэффициент водонасыщения S_r , д. е.
Малой степени водонасыщения	0—0,50
Средней степени водонасыщения	0,50—0,80
Насыщенные водой	0,80—1,00

- Индекс плотности (относительная плотность) - **только для песков**

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Разновидность песков	Степень плотности I_D , д. е.
Слабоуплотненный	0—0,33
Среднеуплотненный	0,33—0,66
Сильноуплотненный	0,66—1,00

- Число пластичности - ТОЛЬКО ДЛЯ
ГЛИН

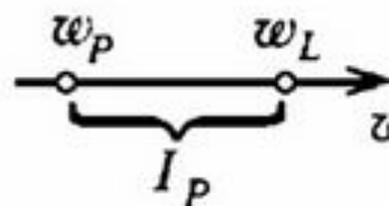
$$I_p = W_L - W_p$$

Грунт	Число пластичности $I_p, \%$	Содержание глинистых частиц $d < 0,005$ мм, %
Супесь	1-17	3-10
Суглинок	7-17	10-30
Глина	>17	>30

- Показатель текучести I_L - ТОЛЬКО ДЛЯ ГЛИН

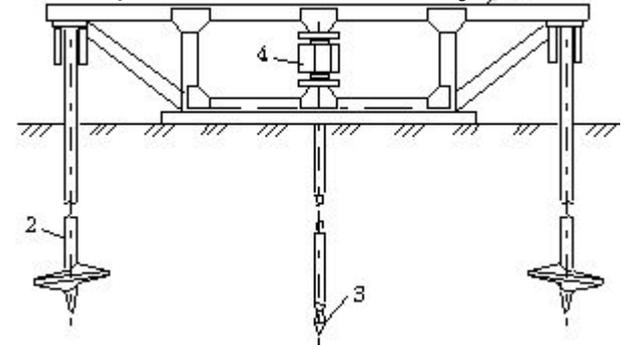
$$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$$

Зависимость консистенции глинистых грунтов от влажности и числа пластичности



9. Статическое и динамическое зондирование.

- характер залегания грунтов различного литологического состава, положения границ между слоями, включая оценку степени однородности грунтов и степени плотности песчаных грунтов;
- физические и механические характеристики грунтов (показатель текучести, коэффициент пористости, модуль деформации, угол внутреннего трения и удельное сцепление);
- сопротивление грунтов под острием R и на боковой поверхности f свай.



Статическое зондирование грунтов заключается во вдавливании в грунт зонда с одновременным измерением значений сопротивлений грунта под наконечником F_s и на боковой поверхности зонда q_s .

Динамическое зондирование состоит в забивке в грунт стандартного конического зонда и измерении глубины его погружения от определенного числа ударов молота или, наоборот, при задании установленной глубины забивки с измерением требуемого для этого числа ударов. По результатам динамического зондирования строятся графики изменения по глубине условного динамического сопротивления. Фактически статическое и динамическое зондирования позволяют определять одни и те же показатели свойств грунтов.

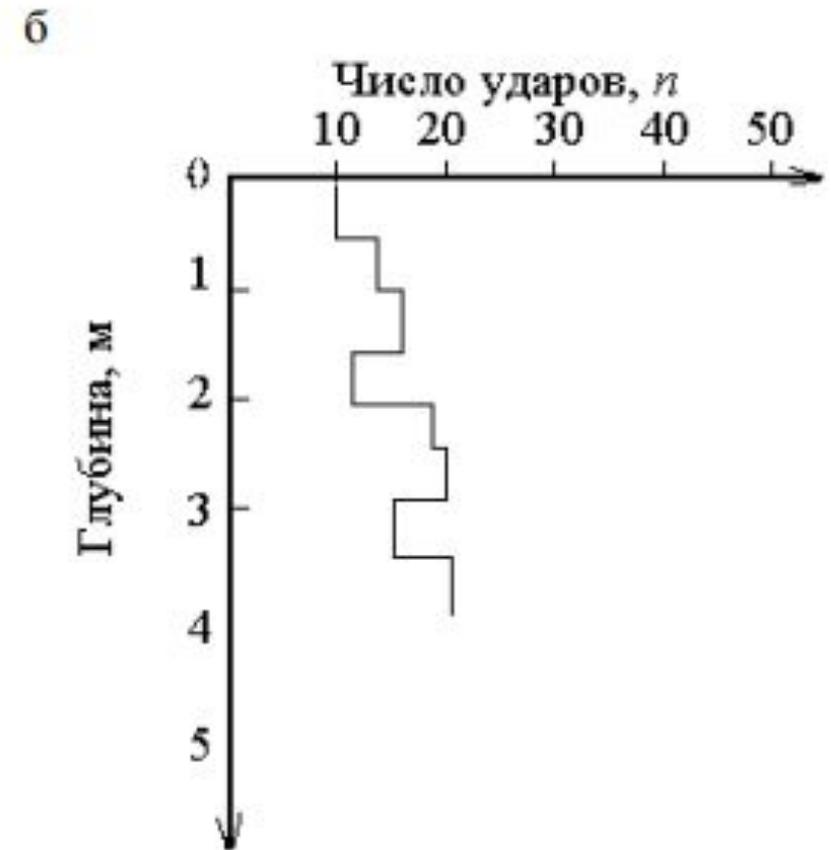
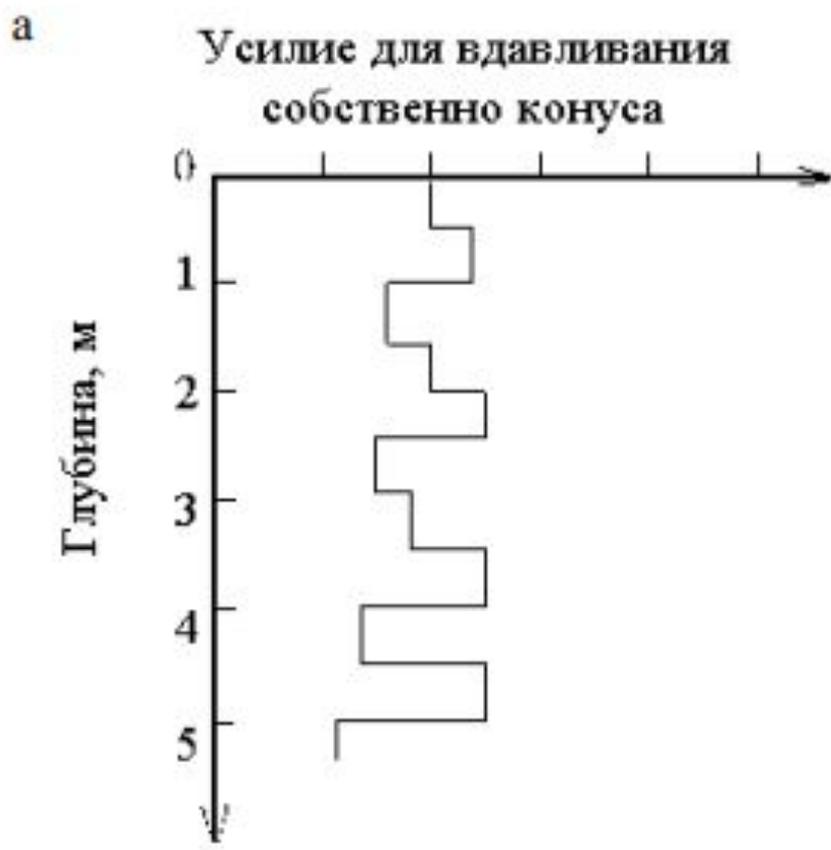


Рис. 2.3. Интерпретация результатов зондирования по глубине, м:
а – статического; б – динамического

10. Сжимаемость грунтов и определение характеристик деформационных свойств.

Деформационные свойства грунта характеризуют способность грунта изменять объем и форму по мере передачи на него давления

(m_o) – коэффициент сжимаемости основания $\left(\frac{\text{см}^2}{\text{кг}}\right), \left[\frac{\text{м}^2}{\text{кН}}\right], \text{МПа}^{-1};$

(m_v) – коэффициент относительной сжимаемости или приведенный коэффициент сжимаемости основания;

E_o – модуль общей деформации $\left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}\right), \text{МПа}.$

Сжимаемость грунтов – свойство грунтов изменять свой первоначальный объём за счёт перекомпоновки частиц и уменьшения пористости. Исследование сжимаемости грунта в лабораторных условиях производится в компрессионных приборах - называемых одометрами.

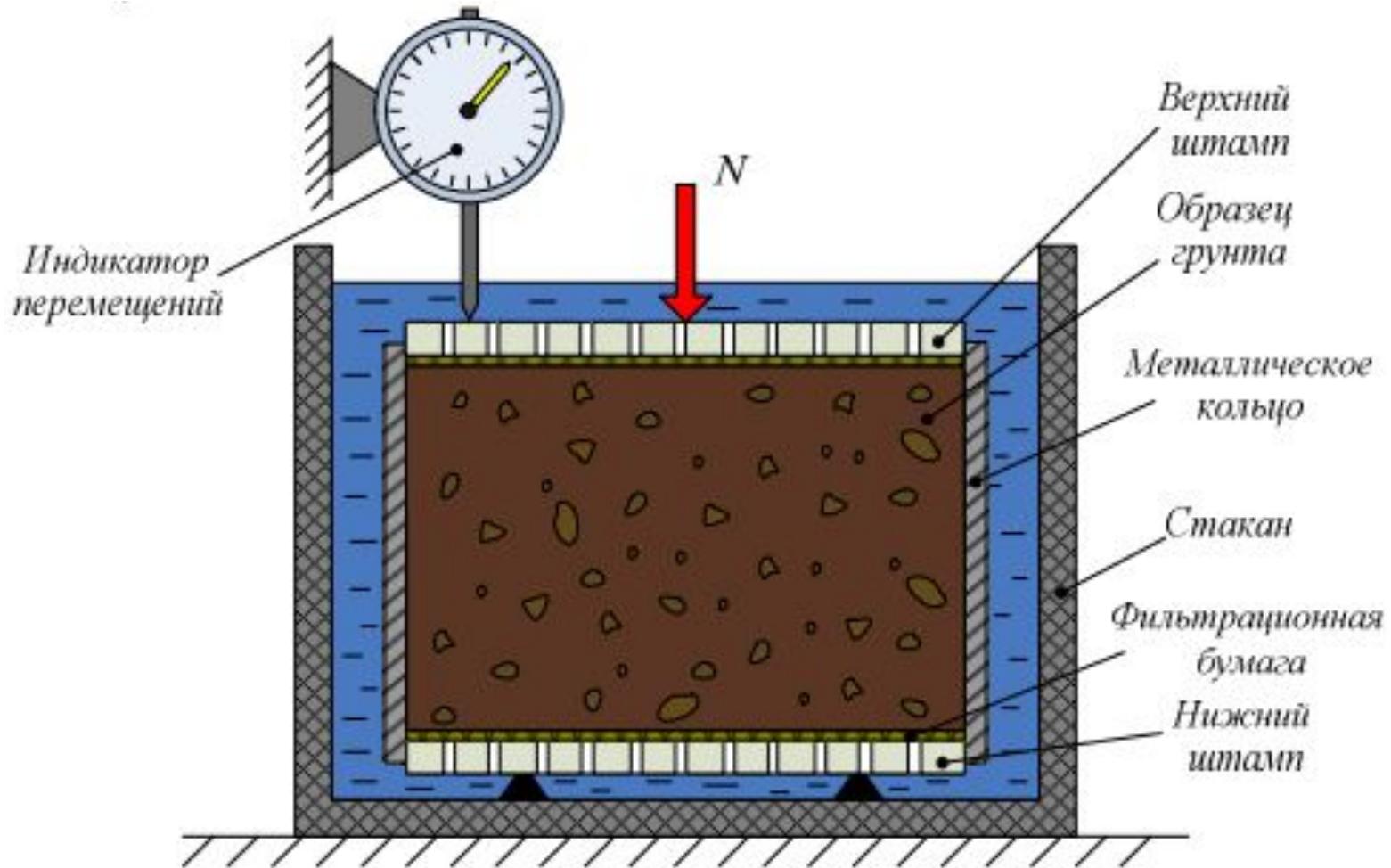


Рис.1. Общий вид компрессионного прибора -а), принципиальная схема прибора -б)

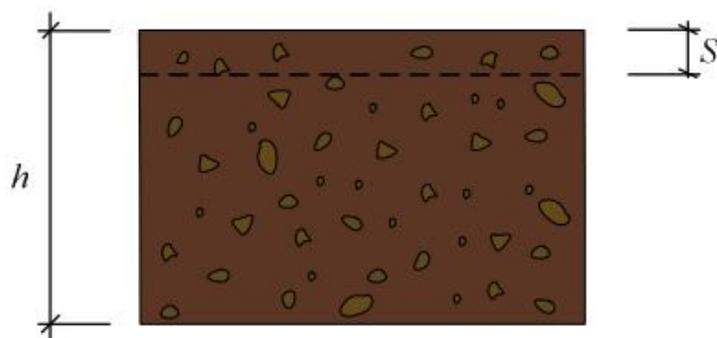


Рис. 2. Схема деформирования образца грунта в компрессионном приборе

Уменьшение объема образца происходит за счет уменьшения объема пор.

$$\Delta n_i = \frac{S_i \cdot A}{h \cdot A} = \frac{S_i}{h}, \quad (1)$$

где $p_i = \frac{N_i}{A}$ - вертикальные сжимающие напряжения в образце грунта;
 A - площадь поперечного сечения образца.

Тоже через коэффициент пористости:

$$e_i = e_0 - \Delta e_i = e_0 - \frac{\Delta n_i}{m'},$$

где e_i - коэффициент пористости;

e_0 - начальный коэффициент пористости грунта;

Δe_i - изменение коэффициента пористости;

m' - объем твердых частиц в единице объема.

$$e_i = e_0 - \frac{1}{m'} \cdot \frac{S_i}{h} \quad (2)$$

Учитывая, что $m' = \frac{1}{1 + e_0}$, получим:

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \cdot \frac{S_i}{h} \quad (3)$$

Формула (3) позволяет оценить изменение пористости грунта по мере его уплотнения

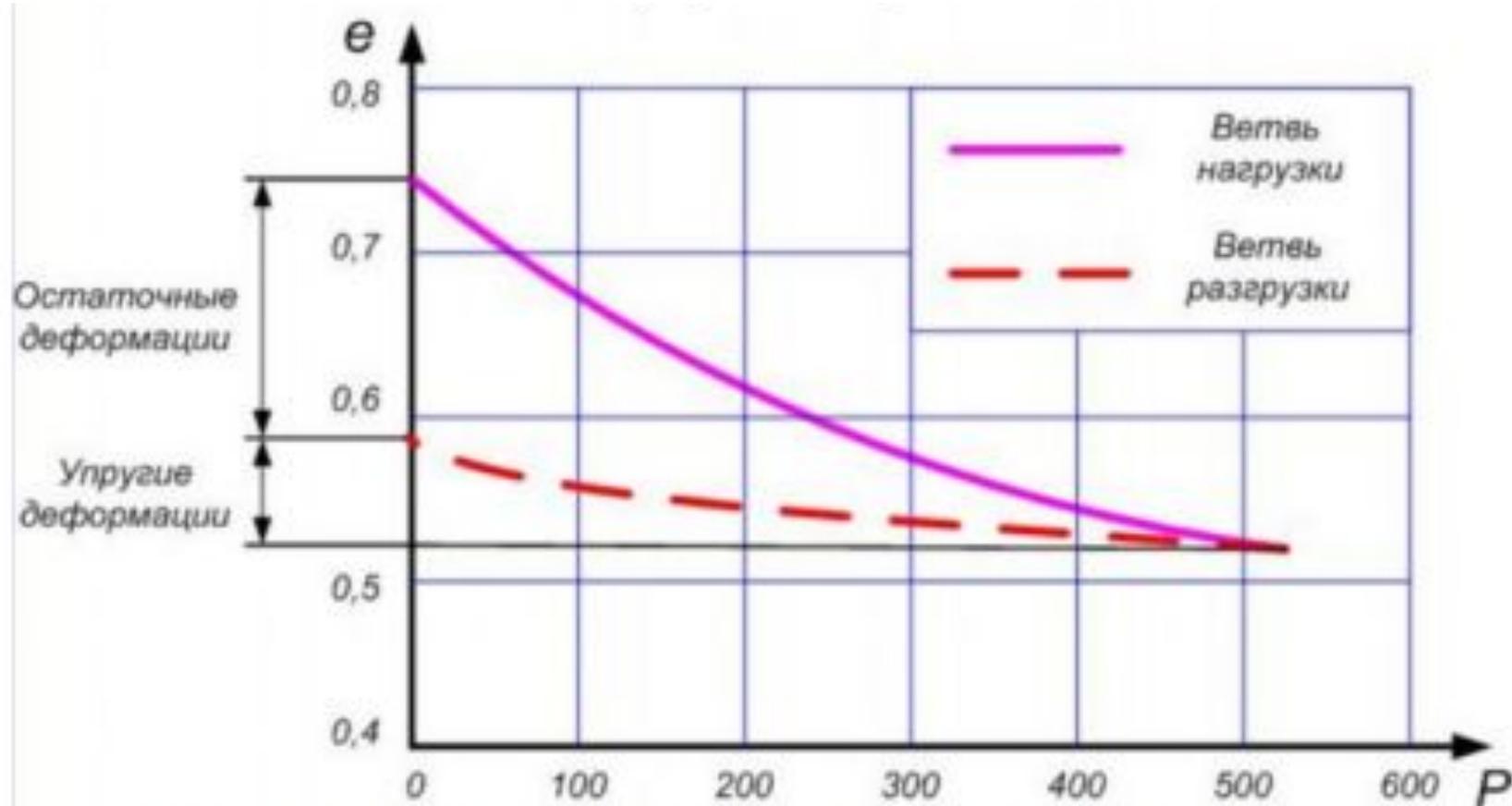


Рис.3. Общий вид компрессионной кривой

11. Закон уплотнения. Общий случай компрессионной зависимости.



Рис.6. Аппроксимирование компрессионной кривой

$$\varepsilon_i = \frac{S_i}{h} = m_v \cdot P \quad (11)$$

Обобщая вышесказанное можно сформулировать закон уплотнений:

Закон уплотнения - в ограниченных диапазонах нагрузок изменение коэффициента пористости пропорционально изменению уплотняющего давления

где m_v – коэффициент относительной сжимаемости

Модуль деформации грунта обратно пропорционален коэффициенту относительной сжимаемости грунта и прямо пропорционален некоторой функции коэффициента поперечной деформации, учитывающей вид напряженного состояния при компрессионном сжатии.

$$E_o = \frac{\beta_o}{m_v},$$

где $\beta_o = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}$; ν – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона), учитывающий боковое расширение грунта

12. Водопроницаемость грунтов. Закон ламинарной фильтрации.

Водопроницаемость грунта – это свойство водонасыщенного грунта под действием разности напоров пропускать через свои поры сплошной поток воды. Это свойство зависит от минерального состава, гранулометрического состава, пористости и градиента напора.

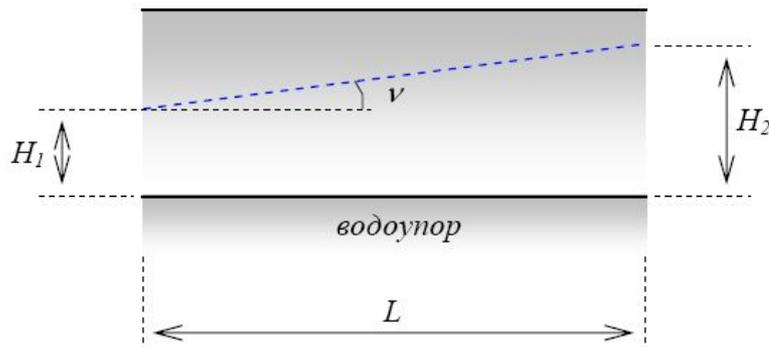


Рис Напорные грунтовые воды. Здесь H_1 и H_2 – напоры; L – длина пути фильтрации; $H = H_2 - H_1$ – потеря напора или «действующий»

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{H_2 - H_1}{L} = \frac{H}{L}.$$

Закон ламинарной фильтрации (закон Дарси): скорость фильтрации поровой воды прямо пропорциональна градиенту гидравлического напора.

$$v_{\phi} = k_{\phi} \cdot i;$$

где k_{ϕ} – коэффициент фильтрации, равный скорости фильтрации при градиенте $i = 1$ [см/сек, см/год]. Коэффициент фильтрации зависит от типа грунта и определяется экспериментально.

13. Определение коэффициента фильтрации.

Фильтрацией называется движение свободногравитационной воды в грунтах в различных направлениях (горизонтально, вертикально вниз и вверх) под воздействием гидравлического градиента (уклона, равного потере напора на пути движения) напора. Коэффициентом фильтрации (k_f) принято считать скорость фильтрации при гидравлическом градиенте равном единице.

Зная скорость фильтрации, не трудно дать определение коэффициенту фильтрации:

k_{ϕ} – коэффициент фильтрации – это скорость фильтрации при $i = 1$ (см/сек; м/сут).

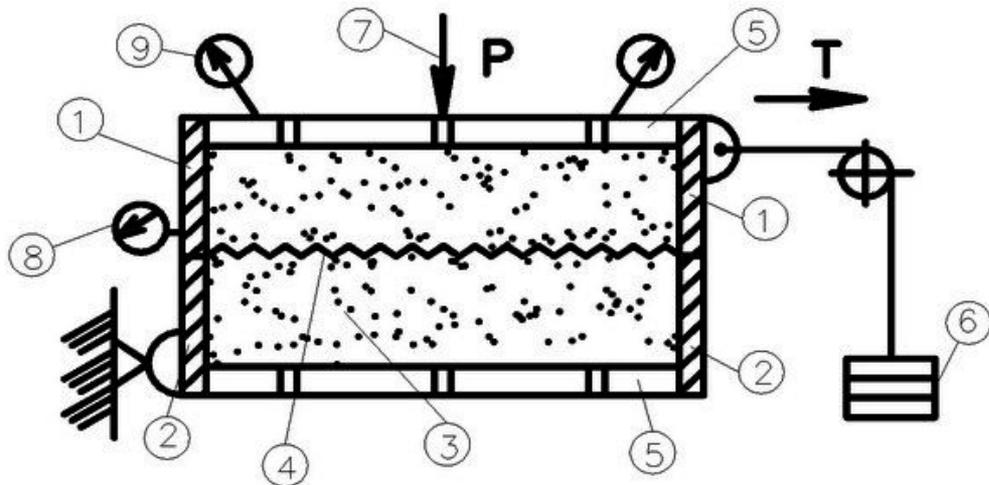
Коэффициент фильтрации для различных грунтов имеет значительный диапазон изменений, так средние значения k_{ϕ} для песков и глин может отличаться на

несколько
Водопрони

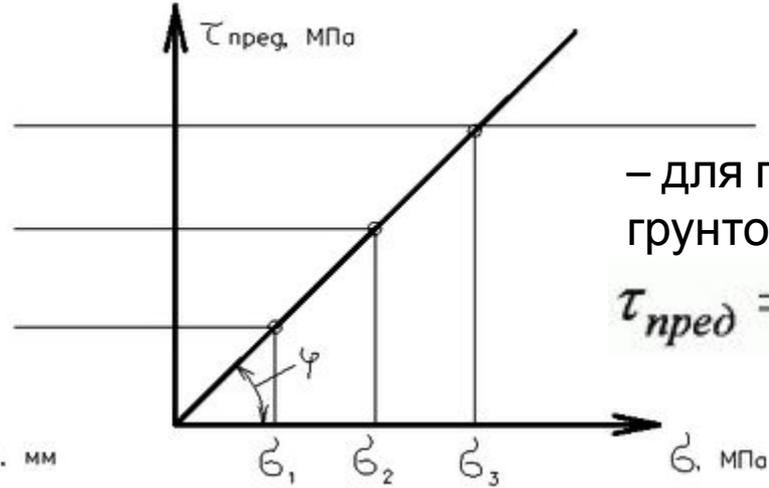
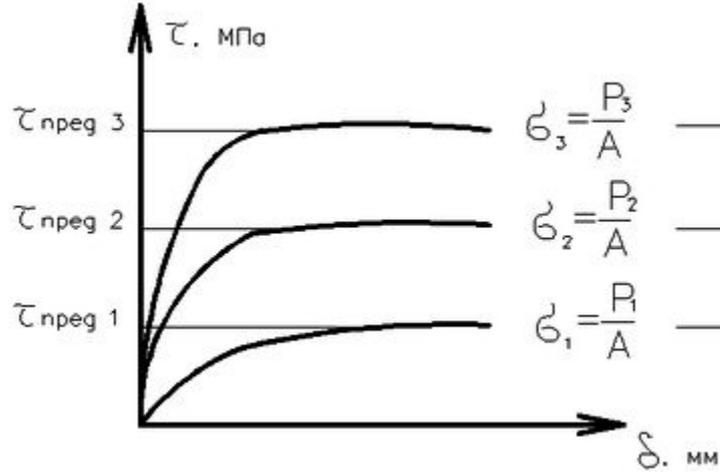
Грунты	k_{ϕ} , м/сут	Характеристика грунтов по водопроницаемости
Глины, монолитные скальные грунты	$< 5 \cdot 10^{-5}$	Практически водонепроницаемые
Суглинки, тяжелые супеси, нетрециноватые песчаники	до $5 \cdot 10^{-3}$	Весьма слабопроницаемые
Супеси, слаботрециноватые глинистые сланцы, песчаники, известняки	до 0,5	Слабопроницаемые
Пески тонко- и мелкозернистые, трещиноватые скальные грунты	до 5	Водопроницаемые
Пески среднезернистые, скальные грунты повышенной трещиноватости	до 50	Хорошо водопроницаемые
Галечники, гравелистые пески, сильно трещиноватые скальные грунты	> 50	Сильноводопроницаемые

14. Контактное сопротивление грунтов сдвигу. Условия прочности.

15. Определение характеристик сопротивления сдвигу методами прямого среза образца, одноосного сжатия.



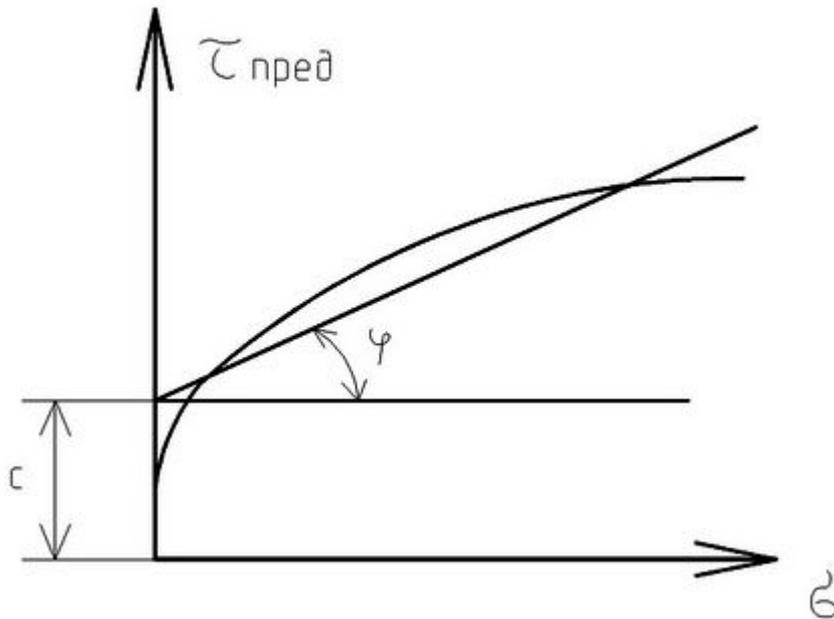
Рисунок– Прибор одноплоскостного прямого среза: 1 – подвижная обойма; 2 – неподвижная обойма; 3 – образец грунта в металлическом кольце (как и в компрессионном приборе); 4 – линия среза; 5 – перфорированные пластины; 6 – сдвигающая нагрузка, прикладываемая возрастающими ступенями; 7 – сжимающая (уплотняющая) нагрузка, прикладываемая возрастающими ступенями; 8 – индикаторы, измеряющие горизонтальные перемещения верхней части образца; 9 – индикатор, замеряющий вертикальные деформации (осадки) образца грунта.



– для песчаных
грунтов.

$$\tau_{\text{прег}} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi = \sigma \cdot f$$

f – коэффициент внутреннего трения
та.



$$\tau_{\text{прег}} = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c$$

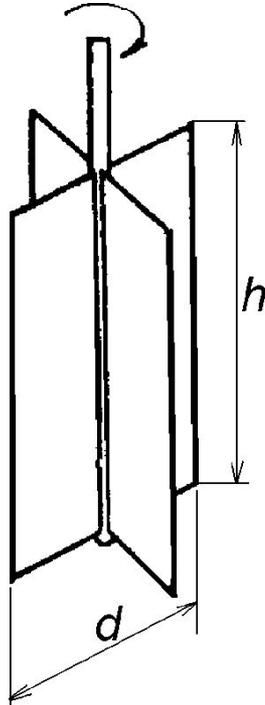
- для глинистых
грунтов

**Закон Кулона формулируется следующим образом:
сопротивление грунтов сдвигу есть функция первой степени от нормального
давления.**

16. Определение характеристик сопротивления сдвигу методами трехосного сжатия, лопастного испытания на сдвиг при кручении, шарового штампа.

Лопастные испытания на сдвиг при кручении

Для определения сопротивления сдвигу водонасыщенных слабых грунтов обычно используют крыльчатку. Этот метод был впервые применен в Швеции. При лопастных испытаниях в забой скважины ниже конца обсадной трубы в грунт вдавливаются лопастная крыльчатка. После чего вращением рукоятки с помощью двойного червячного редуктора производится полный поворот ее на 360° и грунт срезается по цилиндрической поверхности высотой h и диаметром d . Замеряется максимальный скручивающий момент $M_{кр}$.



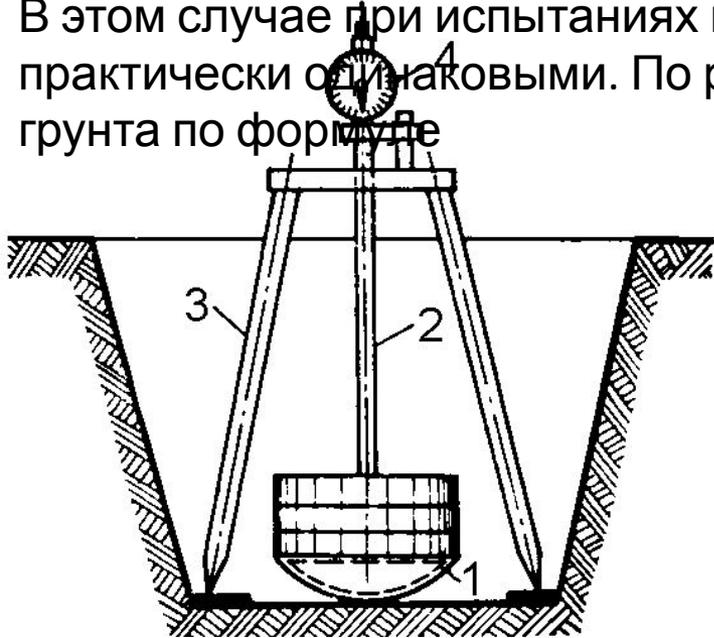
$$\tau_s = \frac{2M_{кр}}{\pi d^2 h \left[1 + \frac{d}{3h} \right]}$$

Испытания по методу шарового штампа (метод н.А.Цытовича)

Этот метод используется для определения сил сцепления и длительной прочности слабых илистых, глинистых, лессовых, вечномерзлых льдистых грунтов в полевых и лабораторных условиях при помощи шаровой пробы.

Условия испытания. Дают одну ступень нагрузки с таким расчетом, чтобы отношение осадки к диаметру шарового штампа было больше 1/200. Тогда упругими деформациями грунта можно пренебречь. Из теоретических соображений отношение осадки штампа S к его диаметру $\frac{S}{D}$ должно быть менее 0,1, то есть $\frac{S}{D} < 0,1$. В этом случае при испытаниях штампами различного диаметра результаты будут практически одинаковыми. По результатам испытаний определяют $c_{ш}$ грунта по формуле

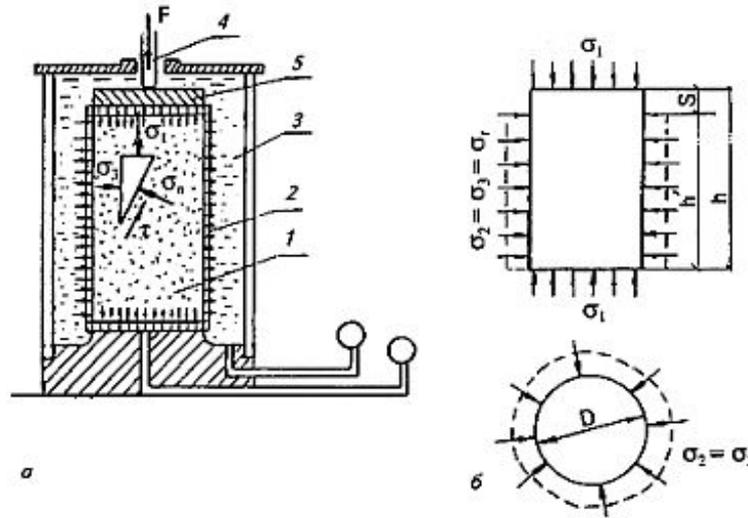
$$c_{ш} = \frac{0,18P}{\pi DS}$$



Установка для полевых испытаний связных грунтов методом шарового штампа:

- 1 – часть сферы диаметром 30-50 см;
- 2 – шток с грузовой площадкой;
- 3 – штатив;
- 4 – индикатор часового типа

17. Испытание грунтов в стабилометре и в приборе с независимо регулируемыми главными напряжениями.

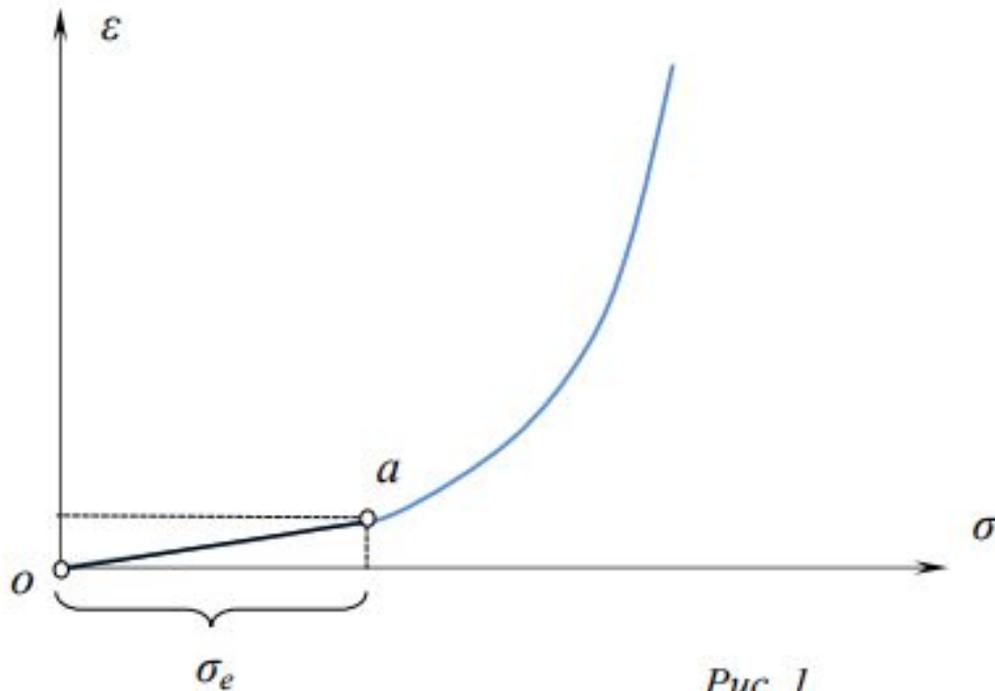


Испытание грунта в стабилометре производится следующим образом: на поверхность грунтового образца 7, боковая поверхность которого закрыта тонкой резиновой оболочкой 2, могут действовать нормальные напряжения. Напряжения по боковой поверхности цилиндра создаются за счет давления в рабочей камере 3 прибора, заполненной жидкостью (вода, глицерин) или газом. Напряжения по торцам цилиндра создаются либо давлением жидкости, либо передачей усилия F через шток 4 на штамп 5. Процесс испытания в трехосном приборе обычно состоит в изменении по заданной программе напряжений σ_1 и $\sigma_2 = \sigma_3$ посредством увеличения или уменьшения давления в рабочей камере и усилия в штоке. При этом измеряются вертикальное сжатие и увеличение диаметра (рис. 5.7,б). В стабилометрах можно создавать широкий диапазон видов НДС грунта, например, при постоянном боковом сжатии, т. е. $\sigma_2 = \sigma_3$ и возрастании σ_1 наблюдается, как и в случае одноосного сжатия, развитие продольных деформаций (рис. 5.8, кривая 1); при всестороннем сжатии $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ как и в случае компрессионного испытания, наблюдается затухание деформации (рис. 5.8, кривая 2). Оценка сжимаемости грунтов в стабилометрах производится по объемной деформации грунта

$$\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V}$$

где ΔV — изменение объема образца,
 V — его начальный объем.

18. Структурно-фазовая деформируемость грунтов. Общая зависимость между деформациями и напряжениями.



Сформулируем принцип линейной деформируемости для грунтов: при небольших изменениях давлений грунты можно рассматривать как линейно-деформируемые тела, то есть зависимость между общими деформациями и напряжениями для грунтов может быть принята линейной: $\sigma = E \cdot \varepsilon$.

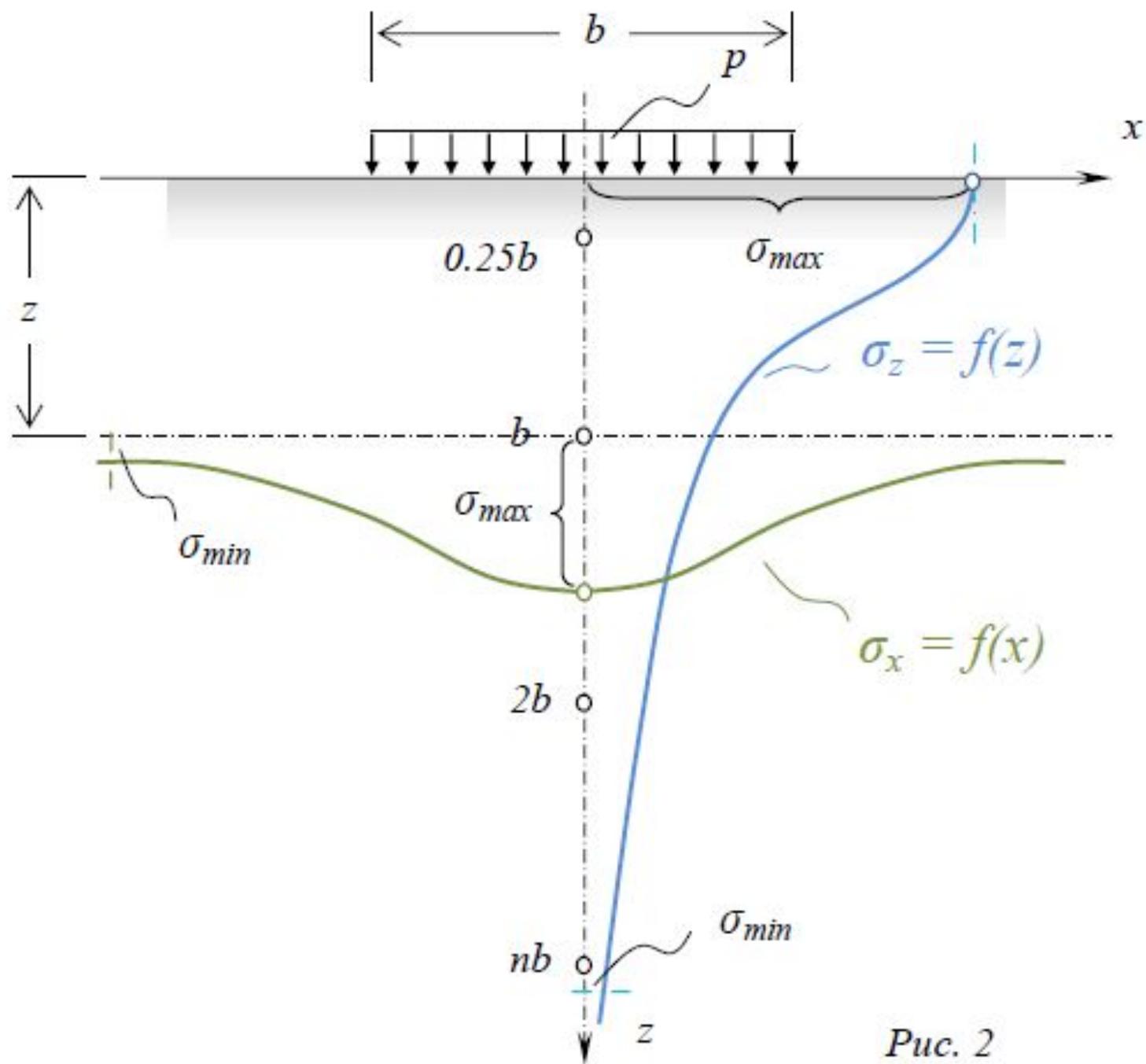


Рис. 2

22. Распределение напряжений в случае пространственной задачи от действия одной и нескольких сосредоточенных сил.

Определение напряжений $Z \sigma$ в массиве грунта при действии единичной вертикальной силы N , приложенной к границе

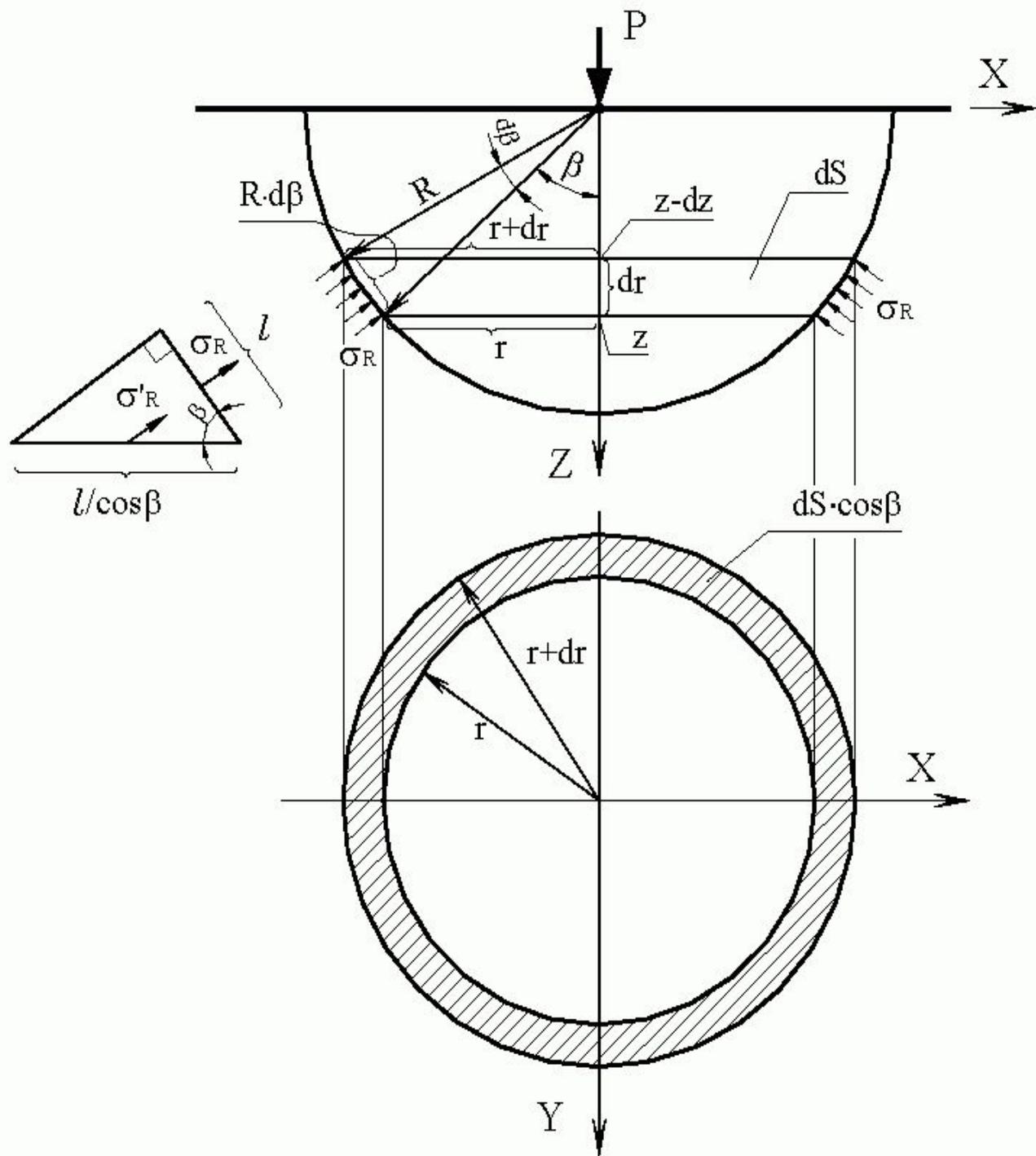
Решение задачи Буссинеска *грунтового основания.*

а) нормальные напряжения на площадках, касательных к сферической поверхности с центром в точке приложения силы, являются главными напряжениями. По этой причине **касательные напряжения на указанных площадках отсутствуют;**

б) **нормальные напряжения**, лежащие в вертикальной плоскости, на площадках, нормальных к сферической поверхности с **центром в точке приложения силы, равны нулю;**

в) нормальные напряжения на площадках, касательных к сферической поверхности с центром в точке приложения силы, прямо пропорциональны косинусу угла видимости и обратно пропорциональны квадрату радиуса сферы.

Под углом видимости понимается угол между радиусом сферы, проведенным в центр площадки, и центральной вертикальной осью сферы.



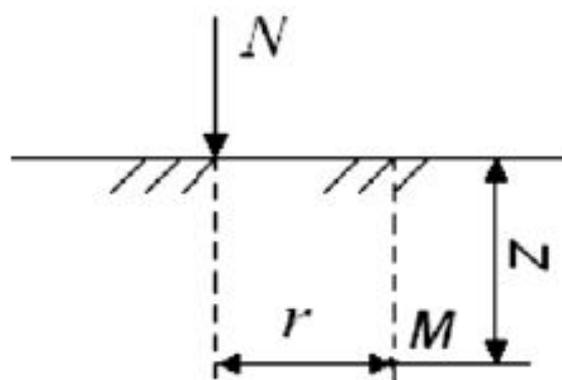


Рис. 4.6. Схема к определению напряжений в массиве грунта при действии единичной вертикальной силы

В дальнейшем для практических расчетов расчетную схему задачи приводят к более простому виду (рис. 4.6). Вертикальные напряжения в расчетной точке M определяют по формуле

$$\sigma_z = K \frac{N}{z^2}.$$

Коэффициент K , зависящий от безразмерного параметра r/z , приводится в справочных данных.

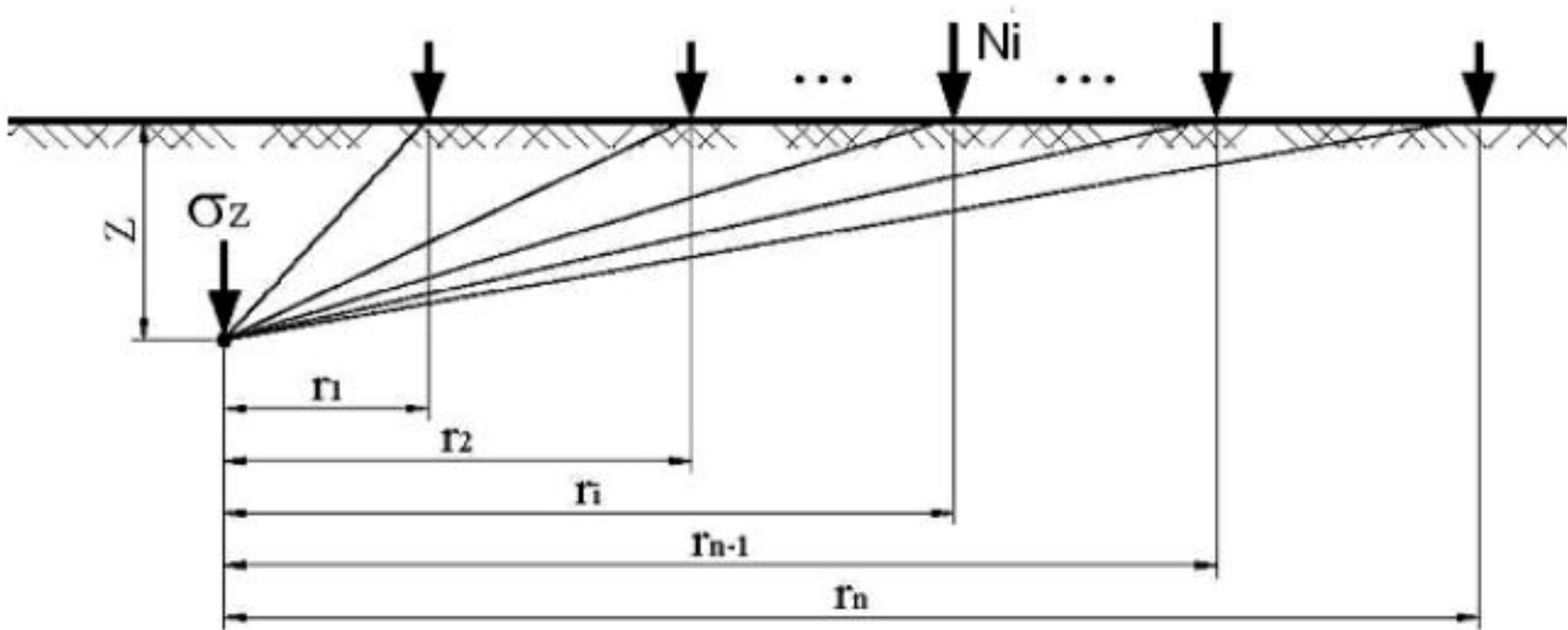
z – глубина точки;

r – расстояние от точки до линии действия силы;

M – рассматриваемая точка;

N – сосредоточенная вертикальная сила.

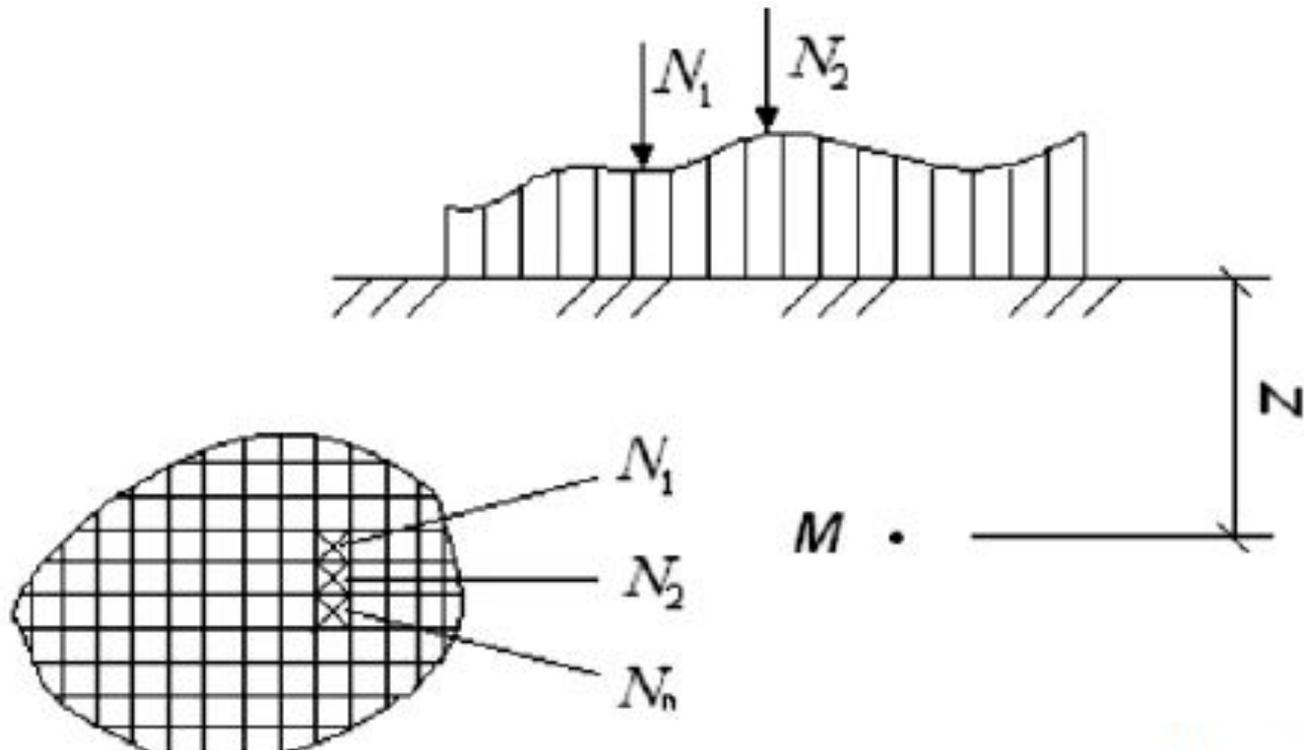
Определение напряжений в массиве грунта от действия нескольких вертикальных сосредоточенных сил, приложенных к границе грунтового основания (принцип Сен-Венана – принцип независимости действия сил).



$$\sigma_{z(M)} = \frac{1}{z^2} \sum_{i=1}^n K_i N_i.$$

24. Распределение давлений по подошве фундаментов, опирающихся на грунт (контактная задача).

Определение напряжений в массиве грунта при действии распределенной нагрузки



$$\sigma_{Z(M)} = \frac{1}{Z^2} \sum_{i=1}^n K_i N_i.$$

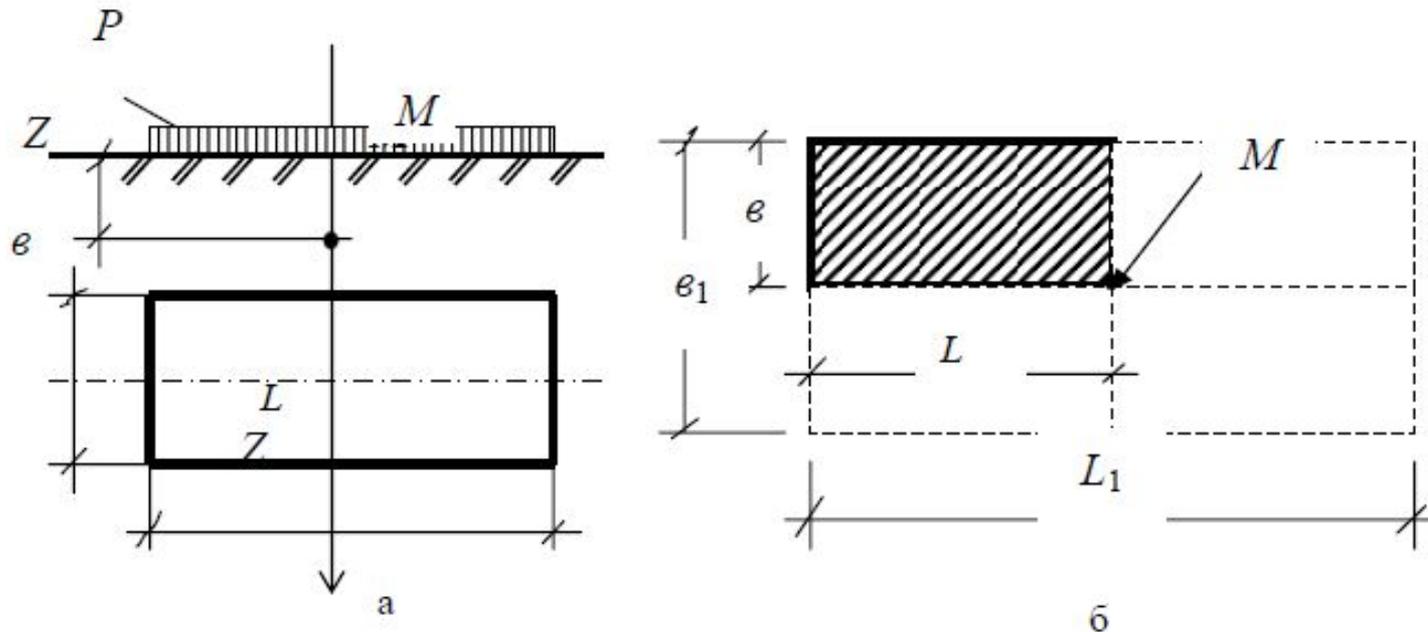
23. Определение сжимающих напряжений по методу угловых точек и способом элементарного суммирования.

Определение напряжений σ_z при действии местного равномерно распределенного давления (метод угловых точек)

$$\sigma_z = \iint_Z P_{zi} d_y d_x$$
$$\sigma_z = \alpha \cdot P, \quad (4.10)$$

где $\alpha = f\left(\frac{L}{B}; \frac{2Z}{B}\right)$ – коэффициент, зависящий от соотношения размеров. Напряжение под угловыми точками определяют по формуле (4.10).

$$\sigma_z = 0,25 \cdot \alpha \cdot P.$$



21. Определение напряжений в грунтовой толще.

25. Определение напряжений от собственного веса грунта.

Напряжения, возникающие от действия собственного веса грунта

Напряжения от собственного веса грунта определяются на основании следующих упрощающих гипотез:

- 1) напряженным состоянием грунта при действии его собственного веса является осесимметричное компрессионное сжатие;
- 2) вертикальные напряжения в грунте определяются суммированием напряжений от веса элементарных слоев грунта;
- 3) грунт, находящийся ниже уровня грунтовых вод, испытывает взвешивающее действие воды;
- 4) слой грунта, находящийся ниже водоносного слоя, называется **водоупором** и испытывает на своей **поверхности гидростатическое давление водяного столба**.

Определяем напряжение от собственного веса грунта (природного или бытового) по формуле

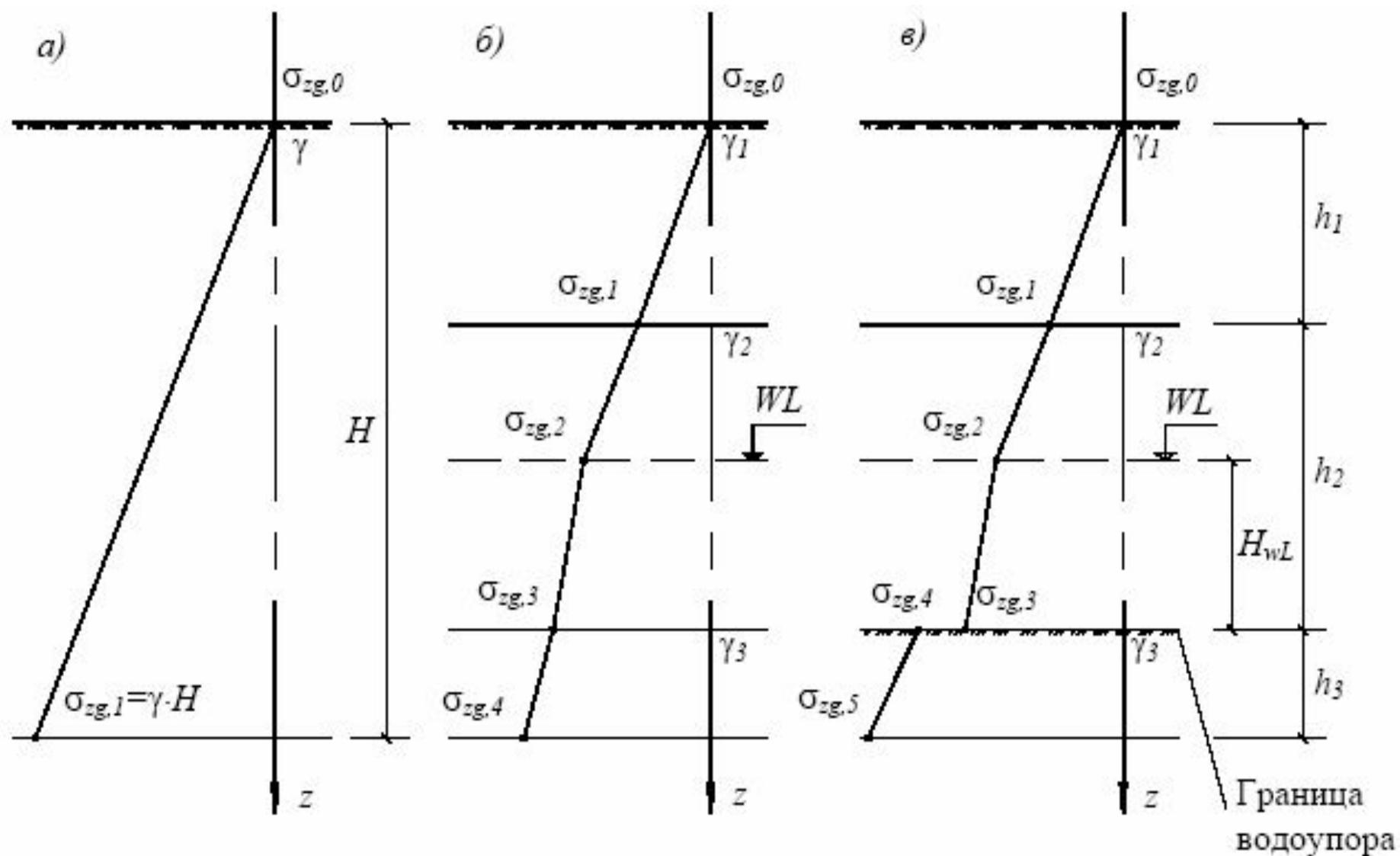
$$\sigma_{zg} = \sum_1^n \gamma_i \cdot h_i, \left[\frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \right] \cdot 10^{-3} = \left[\frac{\text{МН}}{\text{м}^2} \right] = \text{МПа},$$

где n – число слоев грунта в пределах глубины z ; γ_i – удельный вес грунта i -го слоя, $\text{кН}/\text{м}^3$; h_i – толщина или мощность этого слоя, м.

Удельный вес водопроницаемых грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод, принимается с учетом взвешивающего действия воды согласно выражению

$$\gamma_{sb} = (\gamma_s - \gamma_w) / (1 + e),$$

где γ_w – удельный вес воды, $\gamma_w = 10 \text{ кН}/\text{м}^3$; γ_s – удельный вес частиц грунта; e – коэффициент пористости.



19. Принцип линейной деформируемости. Деформируемость отдельных фаз
 грунта.
 26. Фазы напряженно-деформированного состояния грунта

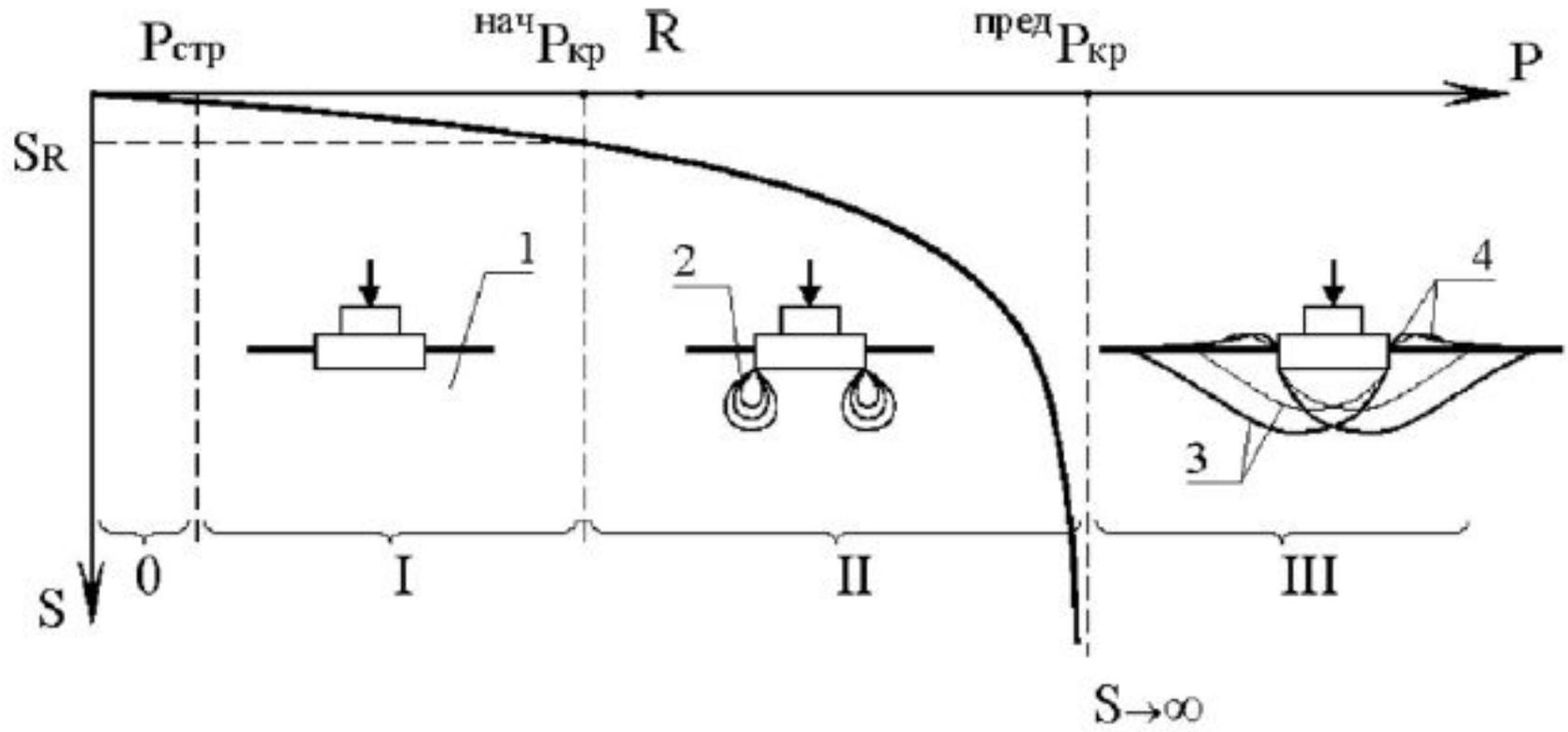


Рис. 4.1. Фазы напряженно-деформированного состояния грунта:

$P_{стр}$ – структурная прочность; $нач P_{кр}$ – начальное критическое давление;

$пред P_{кр}$ – предельное критическое давление; R – расчетное сопротивление грунта; 0 – фаза упругой работы; I – фаза уплотнения; II – фаза сдвигов; III – фаза выпоров; 1 – основание в допредельном состоянии; 2 – зоны сдвигов; 3 – линии скольжения; 4 – зоны выпоров

0 – фаза упругой работы; I – фаза уплотнения; II – фаза сдвигов; III – фаза выпоров; 1 – основание в допредельном состоянии; 2 – зоны сдвигов; 3 – линии скольжения; 4 – зоны выпоров

Фаза упругих деформаций

характеризуется уровнем напряжений в скелете грунта, не

превышающим прочность структурных связей между минеральными частицами грунта или, что то же самое, структурной прочностью грунта.

Деформации грунта в этой фазе обратимы и пренебрежимо малы, т. к. обусловлены сжимаемостью минеральных частиц. Уровень напряжений, соответствующий концу этой фазы, называется **структурной прочностью грунта**

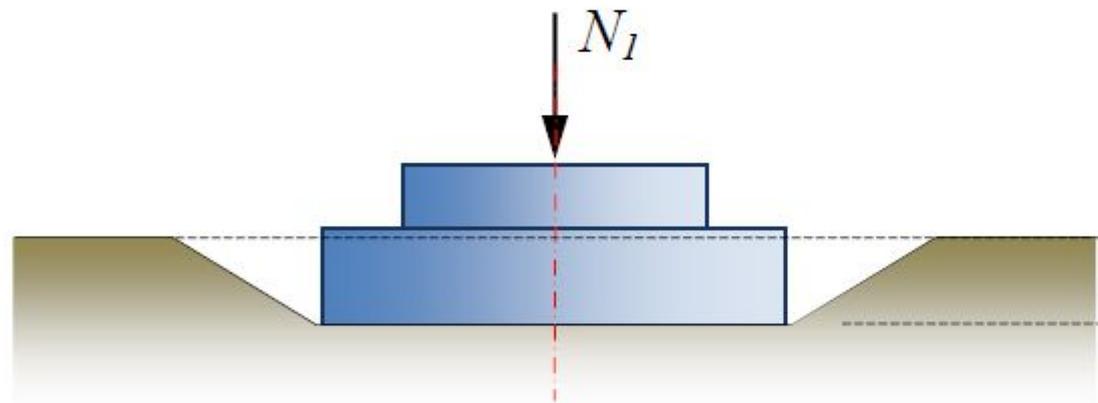
Р_{стр} и обычно не превышает 5 – 10 % допустимых на грунт давлений.

Фаза уплотнения

Линейная зависимость между деформациями и напряжениями в этой фазе не обратима.

При полной разгрузке штампа имеет место необратимая (пластическая) осадка, соответствующая нулевым напряжениям по подошве.

принцип линейной деформируемости: при простом нагружении грунта в фазе его уплотнения сумма упругой и пластической деформаций линейно зависит от действующего напряжения.



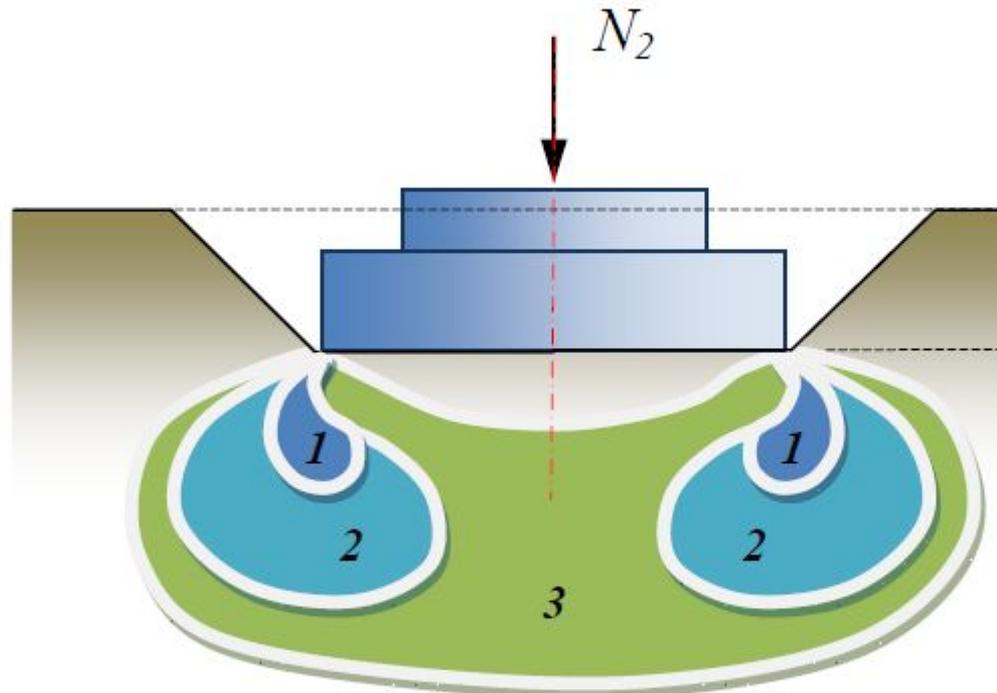
Фаза сдвигов

характеризует начало образования в грунте зон предельного равновесия.

Зоной предельного равновесия в грунте называют геометрическое место точек, в которых не удовлетворяются условия прочности Кулона-Мора. Первоначально эти зоны образуются по краям штампа, где имеет место концентрация напряжений. Разрушение грунта сопровождается большими сдвиговыми деформациями. Уплотнение грунта в этой фазе

практически не происходит. Грунт считается несжимаемым. Давление на грунт, соответствующее **критическим**

от начальным

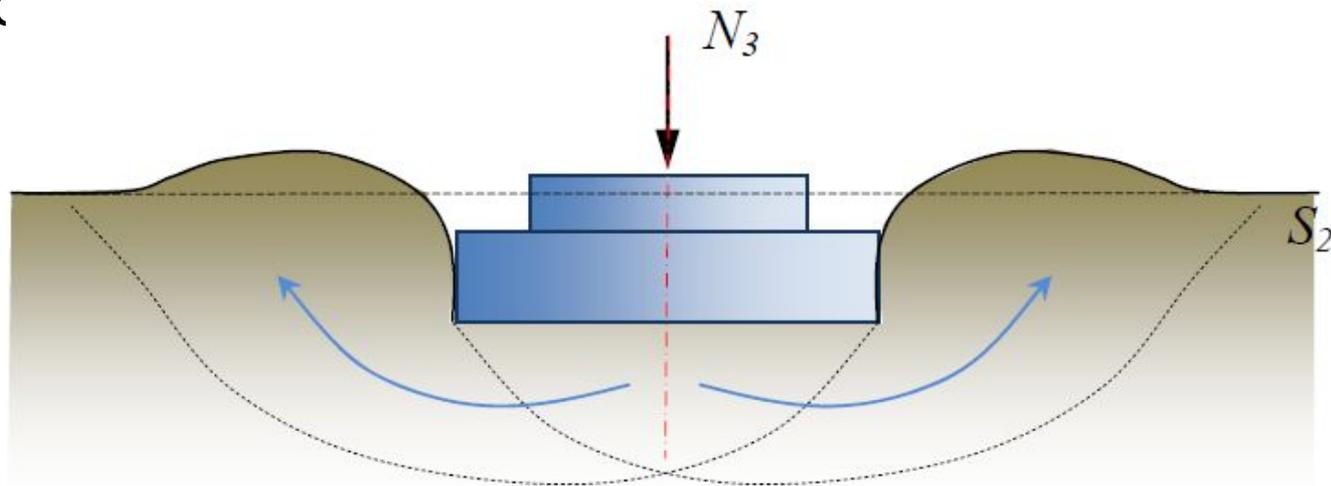


Фаза выпора

является следствием развития фазы сдвигов в области грунтового массива, являющегося основанием штампа, с образованием поверхностей скольжения, отделяющих основание штампа от нижележащего грунта.

В зонах пластического течения недоуплотненные грунты получают дополнительное уплотнение, а переуплотненные – разуплотняются. Это явление называется *дилатансией*.

Давление, при котором наступает фаза выпора, называется предельным критическим давлением – пред $R_{кр.}$ ская
переуплотненная зона



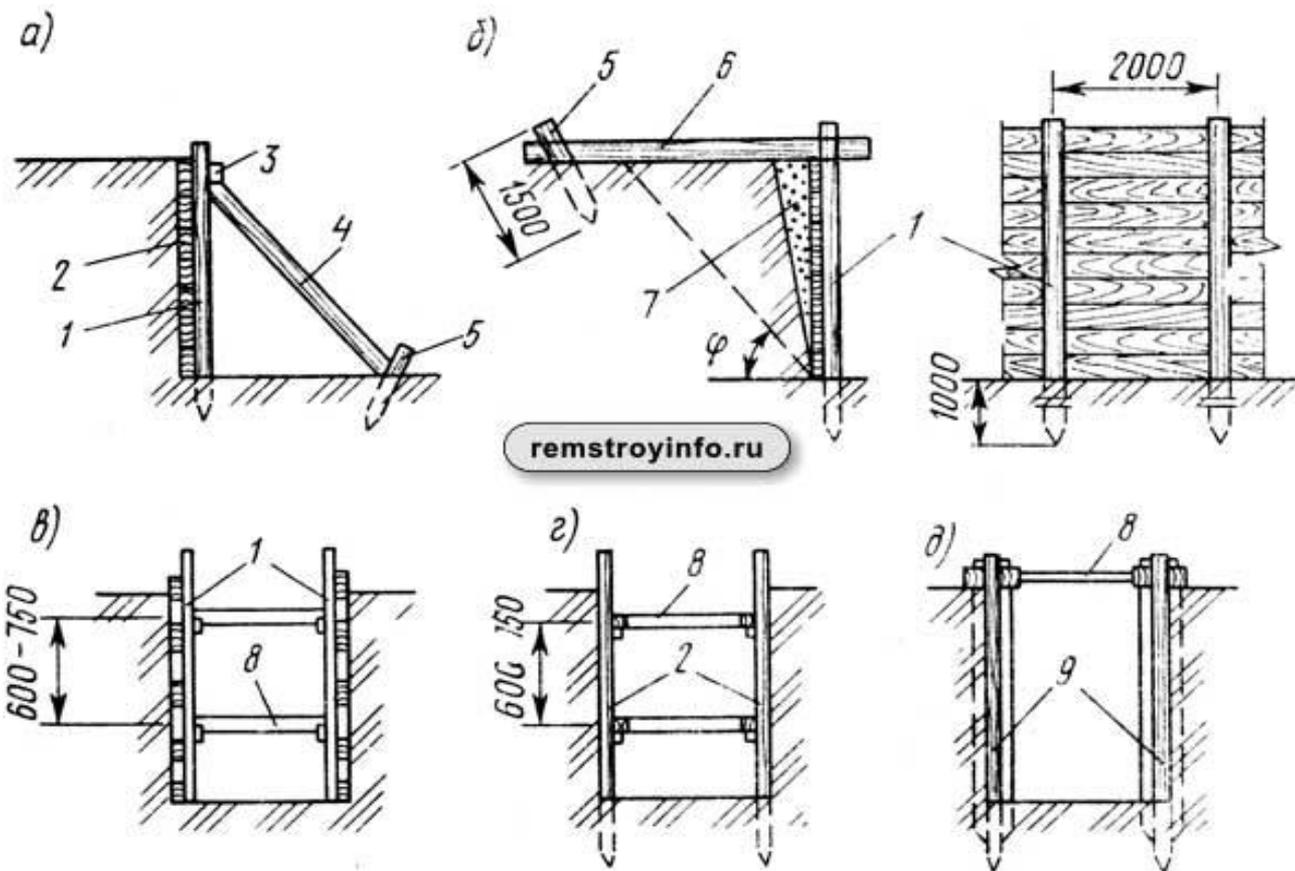
Расчетные модели грунта в соответствии с фазами напряженно-деформированного состояния

Уровень напряжений P	Расчетная модель	Характеристики модели	Методы анализа
$P \leq P_{стр}$	Упругая среда	Модуль упругости	Теория упругости
$P_{стр} < P <^{нач} P_{кр}$	Линейно-деформируемая неупругая среда	Модуль деформации при нагрузке и модуль упругости при разгрузке	Теория упругости анизотропной среды
$^{нач} P_{кр} \leq P <^{пред} P_{кр}$	Упругопластическая среда	Функциональная зависимость деформаций от напряжений	Теория пластичности
$P \geq^{пред} P_{кр}$	Дилатирующая среда	Модули дилатансии (дилатации и контракции)	Дилатансионная теория

27. Устойчивость откосов, насыпей, выемок и склонов. Причины нарушения устойчивости.

Конструкции креплений стен котлована:

Закладные крепления
горизонтальных с
маловлажных гру
Глубина
котлована 2....4м



Крепление вертикальных стенок выемок

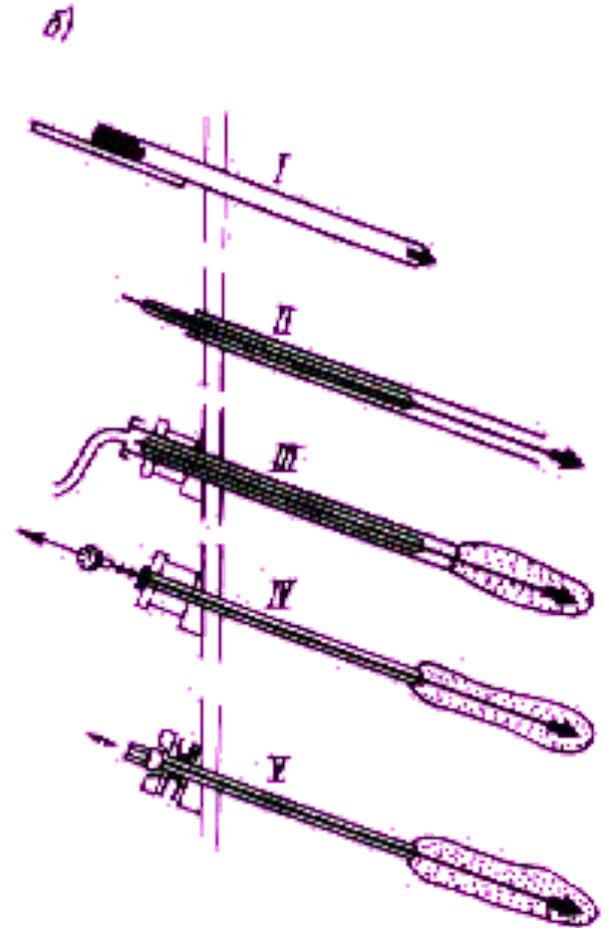
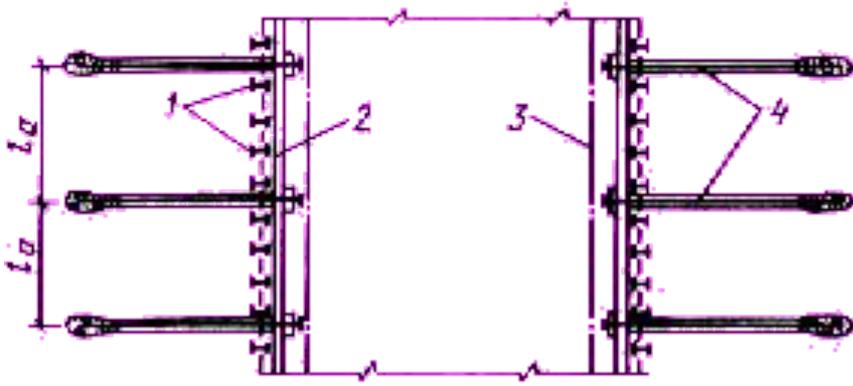
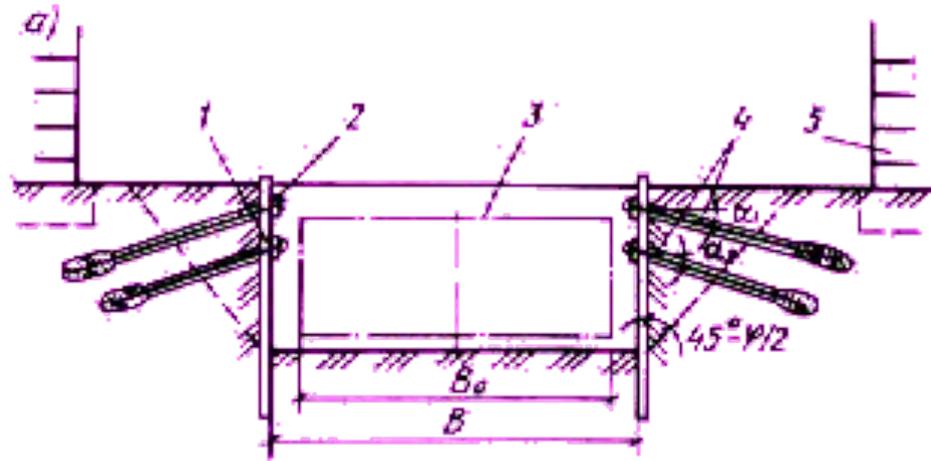
а - подкосное; б - анкерное; в - горизонтальное с прорезями или сплошное; г - вертикальное сплошное; д - шпунтовое; 1 - стойка; 2 - забутка; 3 - бобышка; 4 - подкос; 5 - сваи; 6 - анкерная тяга; 7 - засыпка; 8 - распорка; 9 - шпунт

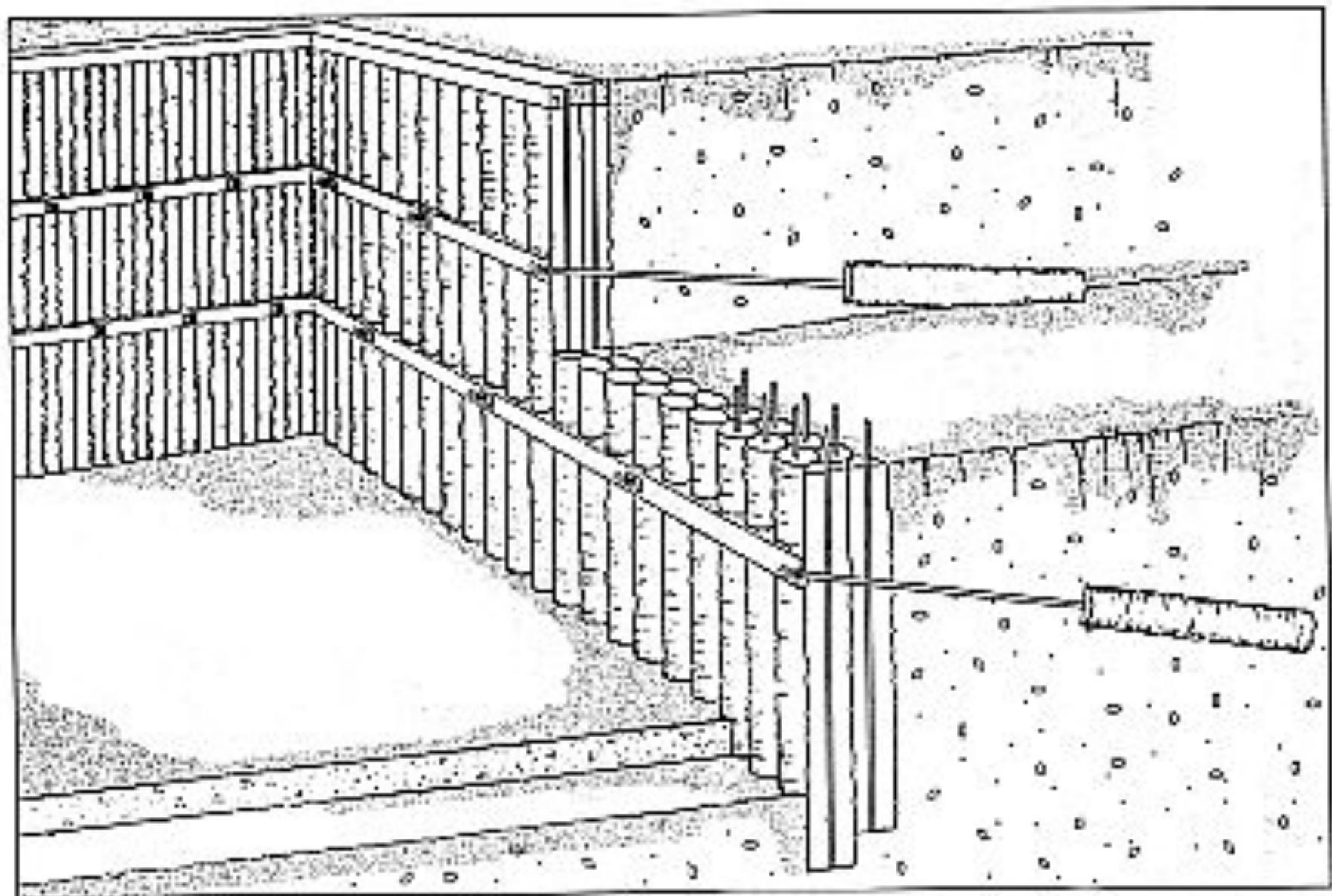




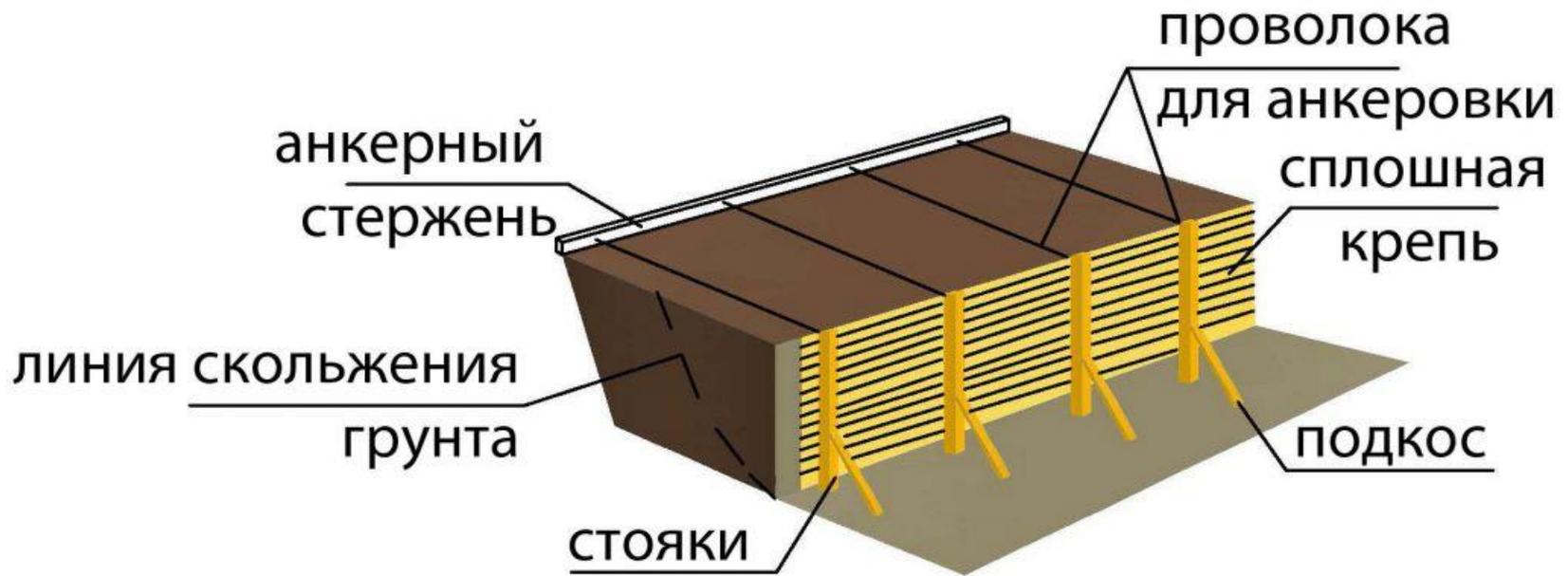
- Анкерные и подкосные крепления (при ширине котлована более 4м)

- Основная деталь анкера - растягиваемый элемент (тяга)- выполняется из металла. Анкерную тягу одним концом крепят к конструкции стенки, а другим - в грунтовой массив за пределы возможной призмы обрушения и закрепляют там с помощью инъецируемого в грунт раствора





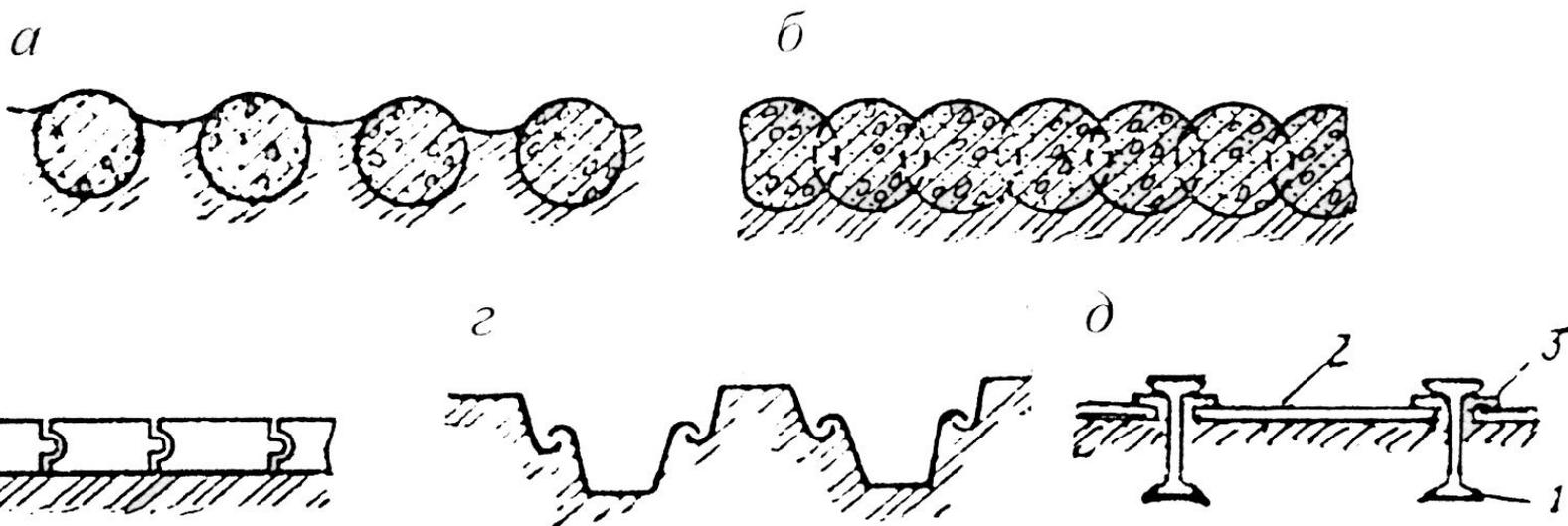
Подпорка с анкерным креплением



36. Способы обеспечения устойчивости стенок котлована

37. Защита котлованов от подтопления

- **Шпунтовые ограждения.** Применяют для глубоких



Ограждающие конструкции стен (котлованов):

а – буронабивные сваи; б – железобетонная стенка из "секущихся" свай; в – железобетонный шпунт; г – металлический шпунт;



• Металлический шпунт

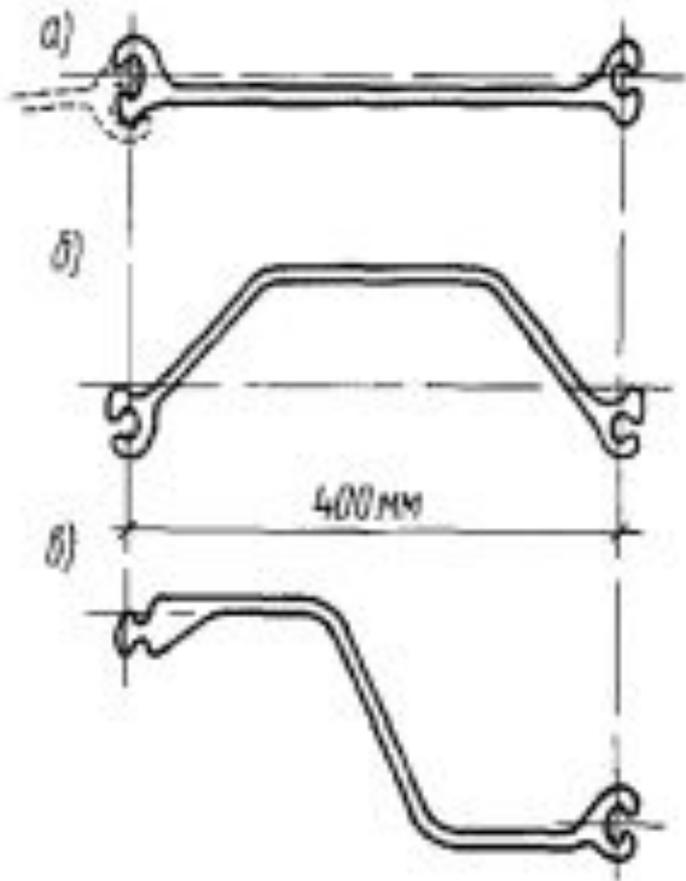


Рис. 14.4. Профили прокатного стального шпунта:

а — плоский; б — корытный;
в — Z-образный

• Железобетонный шпунт



29. Деформации грунтов и прогноз осадок фундаментов.
30. Виды деформаций грунтов и причины, их обуславливающие. Упругие деформации грунтов и методы их определения.

Общая оценка взаимодействия сооружений и оснований

• Выделяют следующие формы деформаций и смещений:

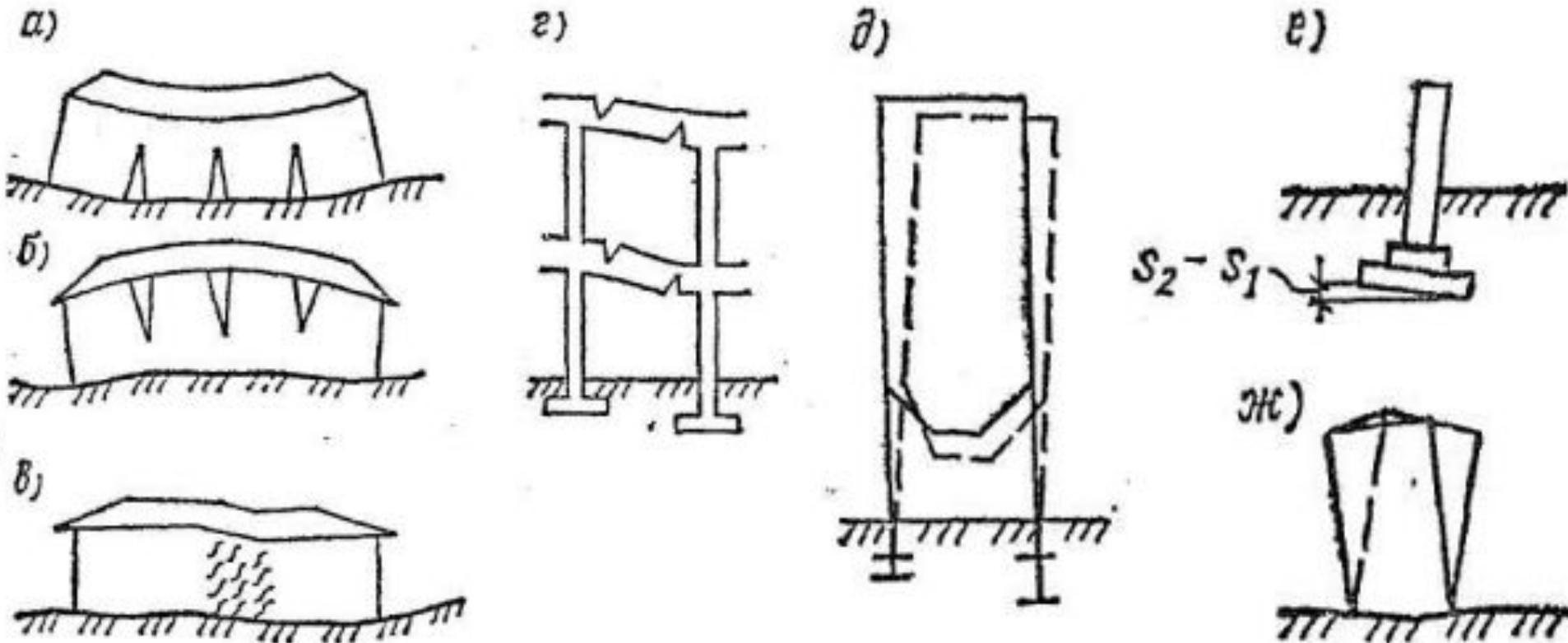


Рис. 1.1. Формы деформаций сооружений

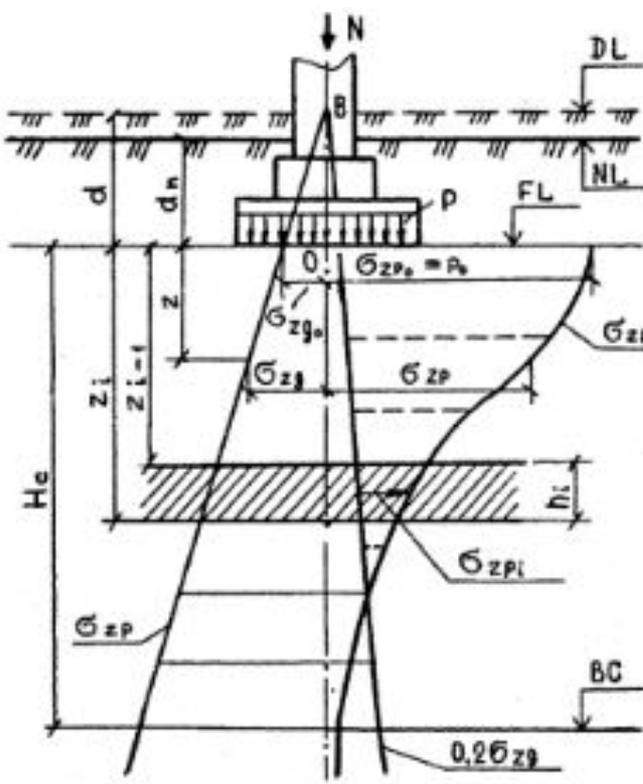
а – прогиб; б – выгиб; в, г – перекос; д, е – крен; ж – кручение

Расчет по второй группе предельных состояний фундаментов заключается в определении максимальной осадки сооружения

вычисление осадок основания и проверку соблюдения неравенства:

$$s \leq s_u,$$

где s - совместная деформация основания и сооружения, s_u - предельное значение совместной, деформации основания и сооружения.



Исходными данными к расчету являются:

1) физико-механические характеристики каждого из слоев:

- удельный вес (γ);
- модуль общей деформации (E).

2) мощности слоев, залегающих ниже плоскости приложения нагрузки (h);

3) величины нагрузок на основания.

Последовательность расчета:

1. Вычерчивают расчетную схему
2. Вычисляют вертикальные нормальные напряжения от собственного веса грунта на границе каждого элементарного слоя. Мощность которого должна быть в пределах 0,2-0,4b.

$$\sigma_{zq} = \sum_{i=1}^n \gamma_{II,i} h_i,$$

3. Строят эпюру слева от оси z и эпюру $0,2 (0,1) \sigma_{zq}$ справа. Ниже уровня грунтовых вод необходимо учитывать взвешивающее действие воды на скелет песчаного грунта и супеси.

4. Определяют величину дополнительного (осадочного) давления на грунт под подошвой фундамента на границах элементарных слоев $P_o = P - \sigma_{zq,o}$,

Где $p = (F_{V,II} + G_{m,II} + G_{uh,II}) / A$.

F – вертикальная нагрузка на верхний обрез фундамента, кН;

G_1 – вес фундамента, кН;

G_2 – вес грунта на обрезах фундамента, кН;

A – площадь подошвы, m^2 .

Вычисляют вертикальные нормальные напряжения на границах слоев грунта:

$$\sigma_{zp} = \alpha P_o,$$

где α – коэффициент, учитывающий уменьшение по глубине дополнительного давления, принимается по прил.2, табл.1 СНиП 2.02.01–95.

Строят эпюру σ_{zp} . Точка пересечения эпюры и $0,2 \sigma_{zп}$ соответствует нижней границе сжимаемой толщи.

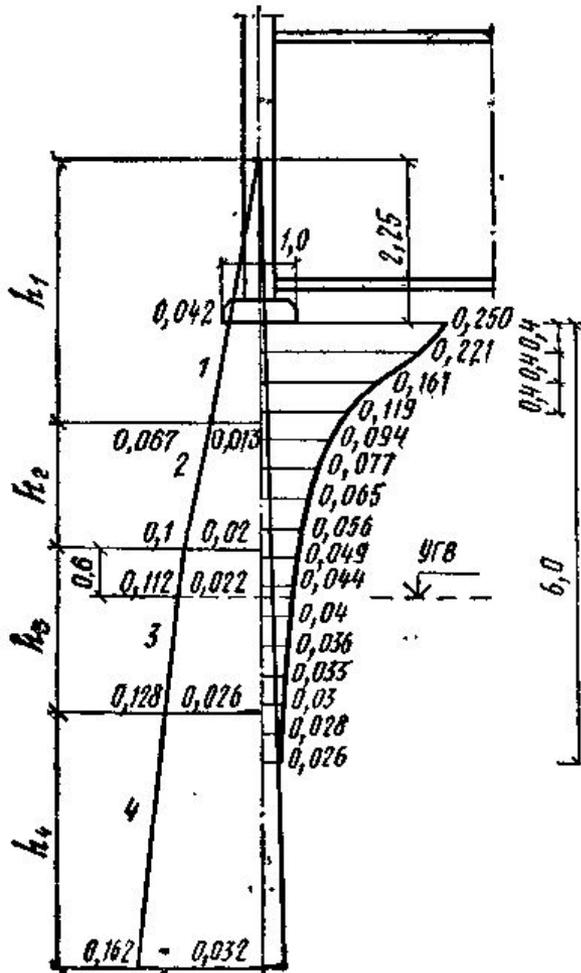
6. Определяют величины средних дополнительных давлений в каждом из элементарных слоев:

7. Находят величины осадок каждого элементарного слоя:

$$S_i = \frac{\beta}{E_i} \sigma_{zп,i} \cdot h_i \quad S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zп,i} \cdot h_i}{E}$$

где β – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения при деформировании грунтов в условиях компрессии

$$\sigma_{zпi,ср} = \frac{\sigma_{zпi-1} + \sigma_{zпi}}{2}$$



Песок и супесь	0,74
Суглинок	0,62
Глина	0,40

Правила назначения толщин элементарных слоев:

- Граница элементарного слоя, граница уровня грунтовых вод, а также граница элемента с различными инженерно-геологическими характеристиками должны совпадать (слои должны быть однородными по своим свойствам)
- Толщина элементарного слоя должна иметь высоту, равную $0,2-0,4b$

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

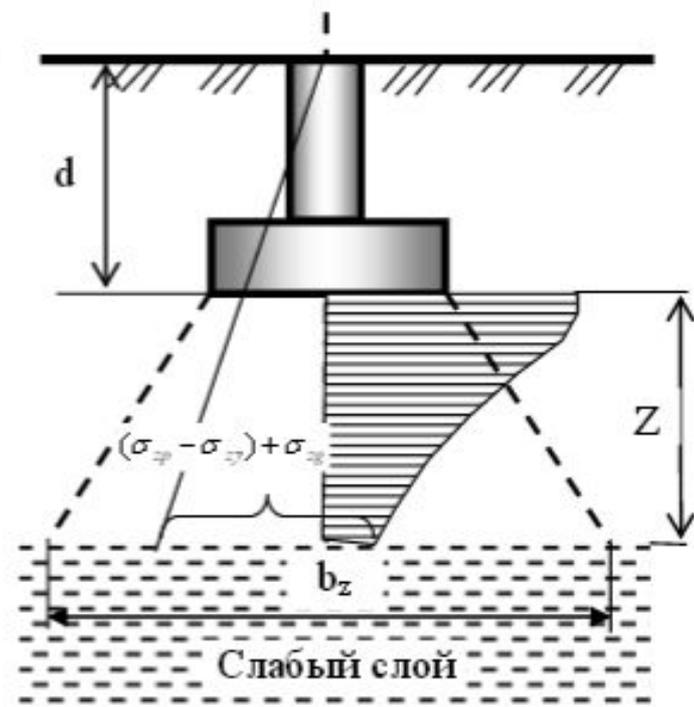
$$S \leq S_u$$

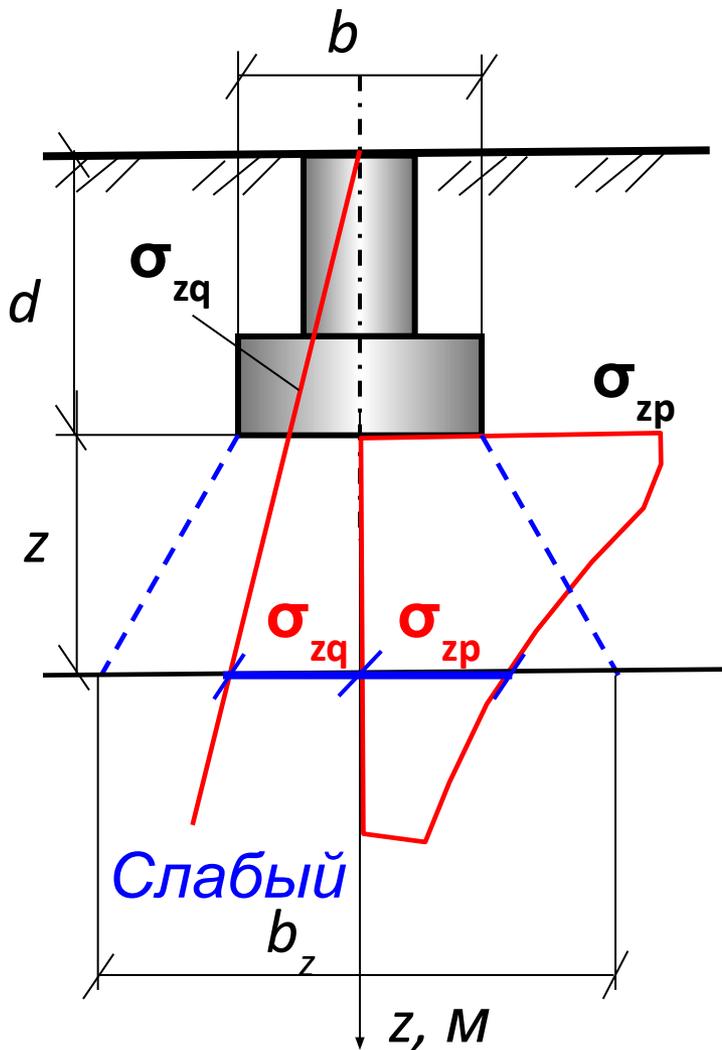
S_u - предельное значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое нормами или заданием на проектирование.

учет слабого подстилающего слоя гру

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

$$\sigma_{zp} + \sigma_{zq} \leq R_z,$$





$$\sigma_{zp} + \sigma_{zq} \leq R_z,$$

где σ_{zp} и σ_{zq} – 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 как для условного фундамента шириной b_z с учетом рассеивания напряжений в пределах слоя толщиной z :

$$\sigma_{zg} = \gamma(d + z)$$

$$\sigma_{zp} = \alpha \cdot p_o$$

$$\alpha = f\left(\frac{2z}{b}; \frac{l}{b}\right)$$

$$p_o = p - \sigma_{zg, o}$$

$$P = \frac{N_{II} + G_f + G_g}{A}$$

$$b_z = \sqrt{A_z + a^2} - a,$$

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

$$G_{zp} = \frac{N_{II}}{A_z} \Rightarrow A_z = \frac{N_{II}}{G_{zp}}$$

N_{II} – вертикальная нагрузка на уровне обреза фундамента;
– для ленточного фундамента

$$b_z = \frac{A_z}{l.n.m.}$$

-- для квадратного фундамента

$$b_z = \sqrt{A_z}$$

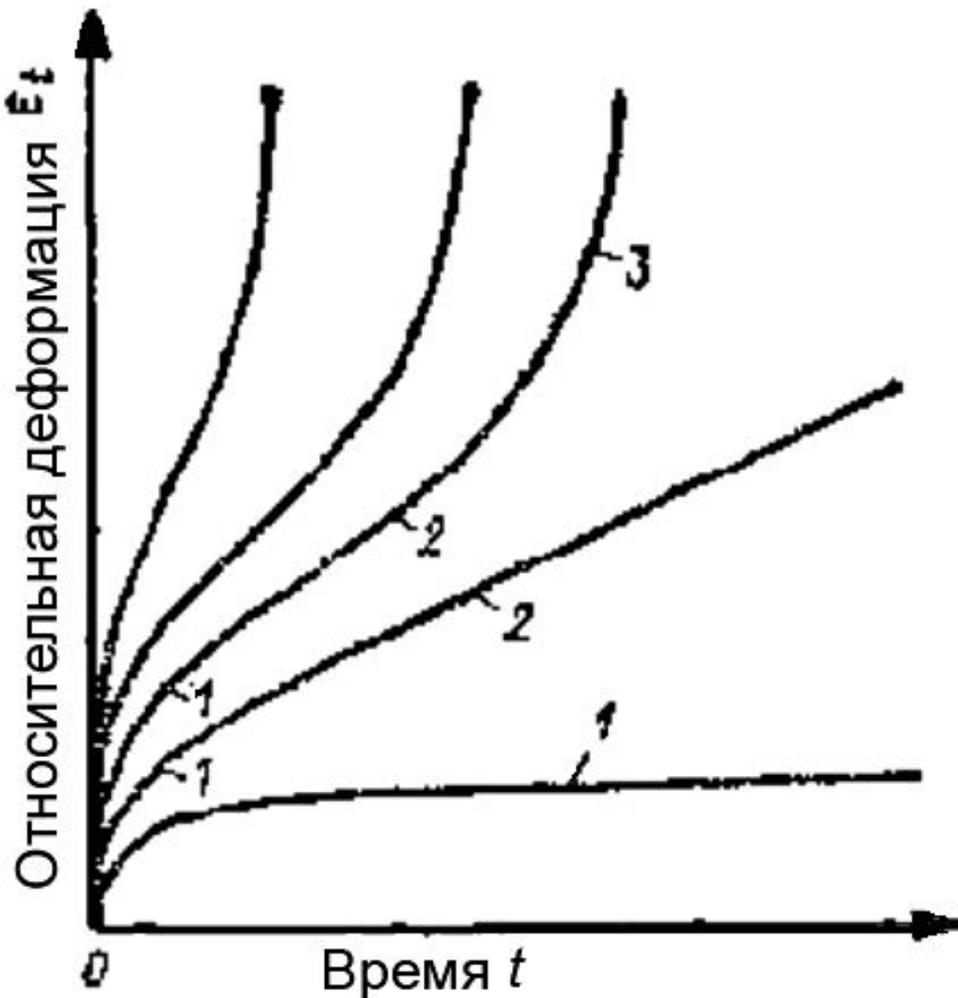
31. Реологические процессы в грунтах и их значение.

- **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**.

32. Физические причины, обуславливающие протекание основных реологических процессов в грунтах.

- **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.

33. Релаксация напряжений и длительная прочность связных грунтов.

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** .

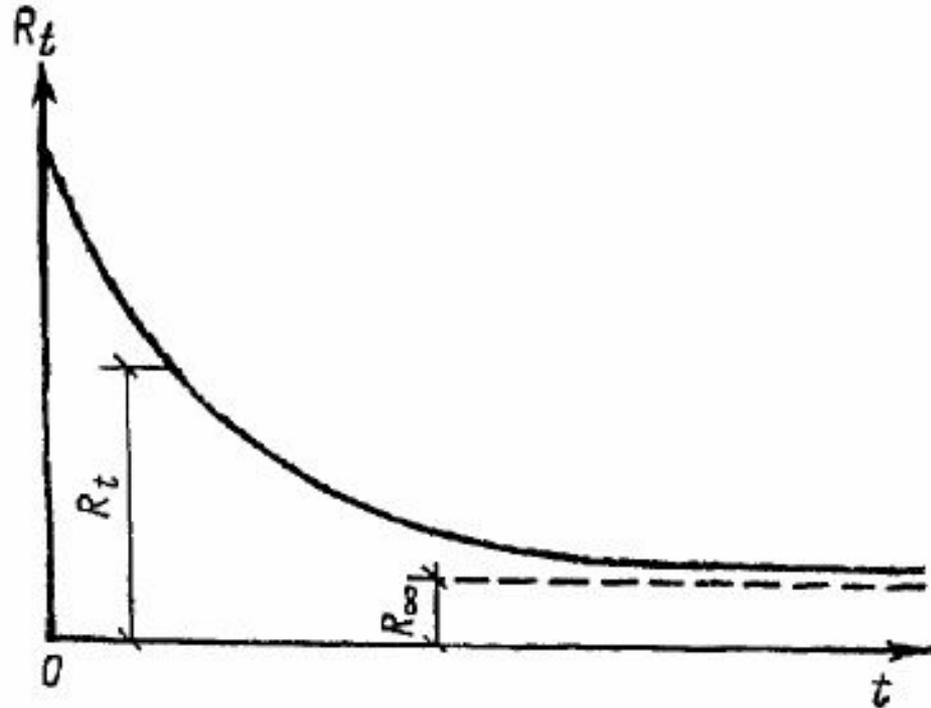


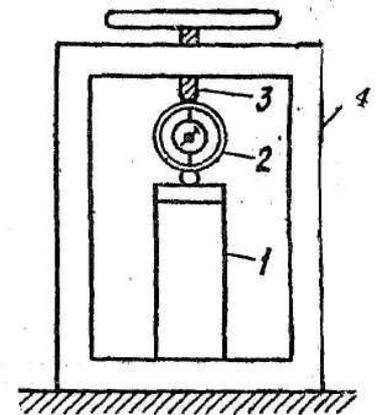
Рис. 5.11. Кривая длительной прочности грунта

34. Учет ползучести грунтов при прогнозе осадок зданий и сооружений.

- **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

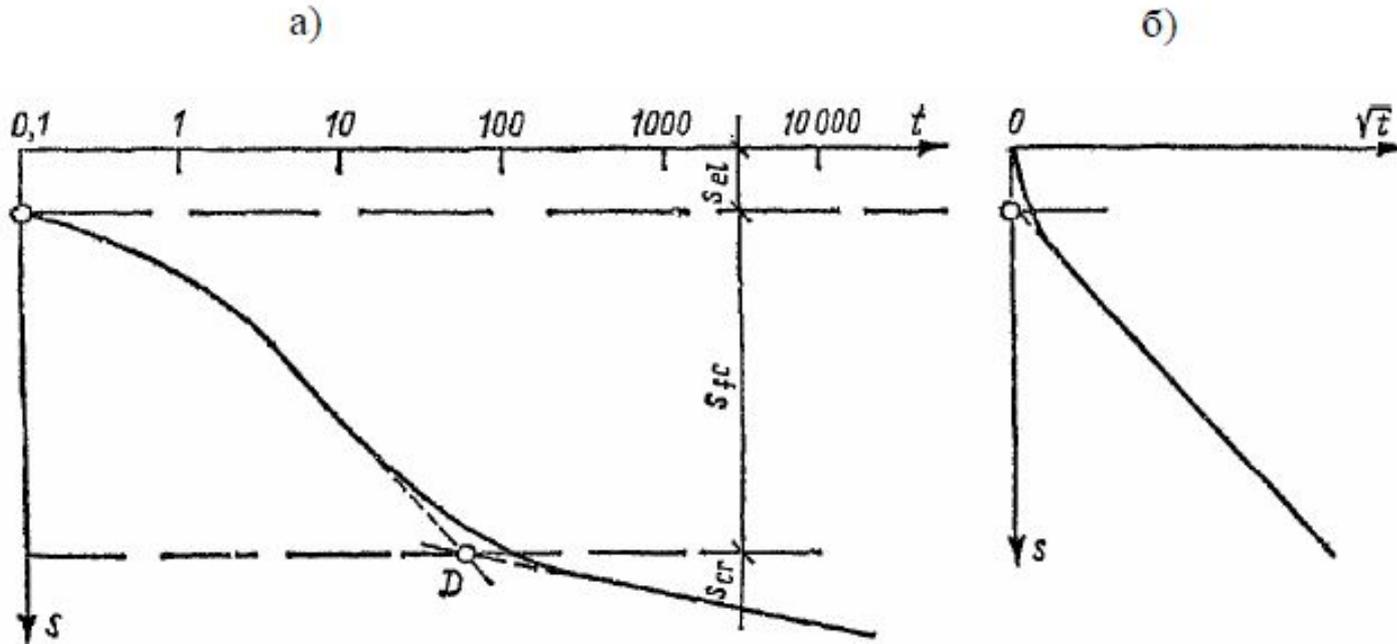


Рис. 5.13. Кривые нарастания деформаций (осадок) во времени

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**.