



# Механика грунтов

## Лекция №1

# Краткая характеристика основных классов грунтов

- Грунты – любые горные породы, используемые как материал, основание сооружения или среда его размещения. грунты делят на: скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные, пылевато-глинистые и особые.
- Скальные представлены магматическими, метаморфическими или осадочными породами с прочными жесткими связями между минеральными зёрнами. Они обычно представляют собой прочное и надежное основание.

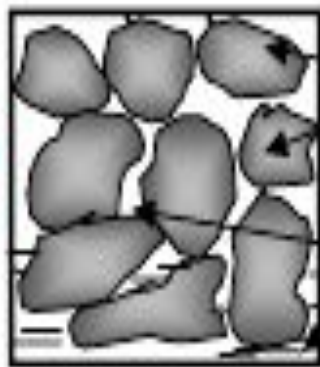
Однако из-за выветривания верхний слой скалы иногда представляет собой подобие сухой кладки. При строительстве капитального сооружения может потребоваться его удаление. Некоторые породы снижают прочность при водонасыщении или даже растворяются в воде – выщелачиваются.

Особенно это характерно для полускальных пород (вулканические туфы, некоторые известняки, мергели, глинистые сланцы, гипс и др.) с прочностью на сжатие меньше 5 МПа. Они подвержены также быстрому выветриванию в обнажениях выемок, котлованов, выработок.

- Крупнообломочные и песчаные грунты – продукты физического выветривания скальных пород. В крупнообломочных более 50% составляют обломки (частицы) размером  $> 2$  мм; в песчаных их менее 50%. Содержание глинистой фракции для песчаных грунтов должно быть менее 3%.

- **Свойства указанных грунтов определяются минералогическим и гранулометрическим составами и состоянием по плотности сложения. Для некоторых разновидностей (мелкие и пылеватые пески) имеет значение также степень заполнения пор водой. Плотные крупнообломочные и песчаные грунты являются обычно надежным основанием сооружений. Однако рыхлые пески интенсивно уплотняются при динамических воздействиях.**
- **Пылевато-глинистые грунты – продукт физического и химического выветривания горных пород. В зависимости от содержания глинистой фракции их подразделяют на супеси (3...10%), суглинки (10...30%) и глины (> 30 %). Свойства этих грунтов определяются минералогическим и гранулометрическим составом и содержанием воды, т.е. влажностью. Для них характерны такие свойства, как способность принимать твердое, пластичное или текучее состояние в зависимости от влажности, набухание, размокание, липкость, усадка.**
- **В группу особых выделяются илы, торфы, заторфированные грунты, просадочные лессы и лессовидные грунты, мерзлые и вечномёрзлые, засоленные грунты и др.**
- **Определяющим свойством грунтов этой группы является их структурная неустойчивость. Это способность структурных связей быстро разрушаться при некоторых воздействиях, нехарактерных для обычных условий формирования и существования таких грунтов. При этом основание получает большие по величине и быстро протекающие осадки, называемые просадками. Соответственно грунты этой группы характеризуются как просадочные.**

Состав грунта:

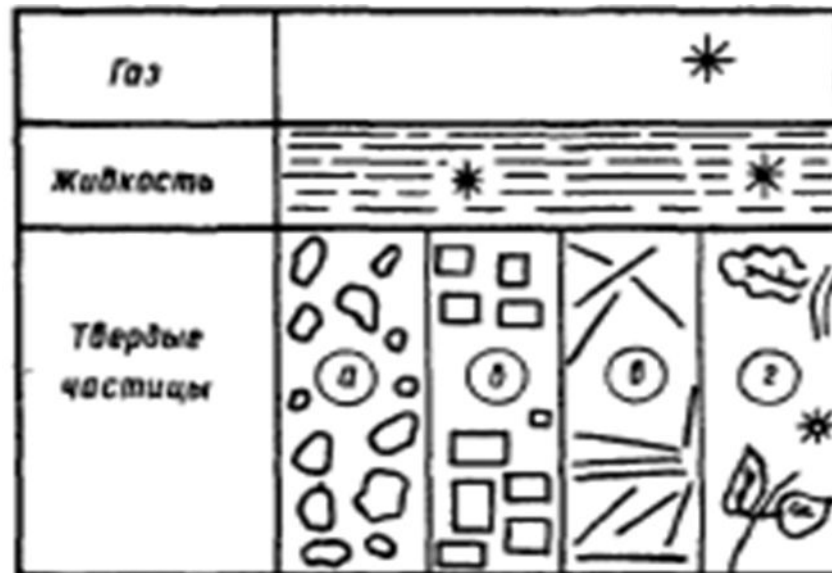


зерна

поры (воздух + вода)

Структура грунта – обуславливает выделение его в отдельную группу. Свойства грунтов могут резко изменяться в зависимости от состояния.

В общем случае, с физических позиций, грунт состоит из трех компонентов: твердой, жидкой и газообразной



a — инертные минералы; б — растворимые минералы; в — коллоидно-активные минералы; г — органическое вещество

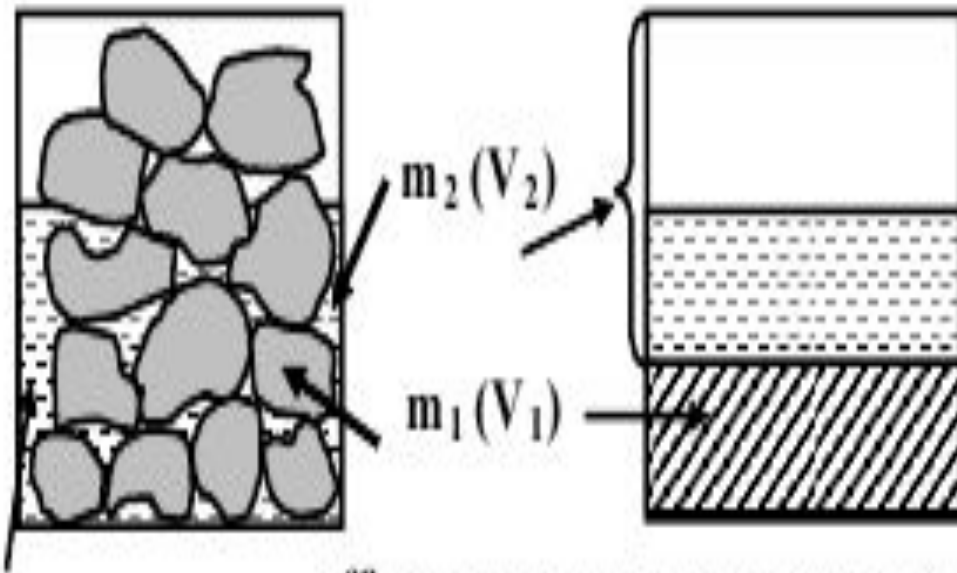
Например:

Глина: - в текучем состоянии  $P = 0,5 \text{ кг/см}^2 = 0,05 \text{ МПа}$   
 в -твердом состоянии  $P = 500 \text{ кг/см}^2 = 50 \text{ Мпа}$ .

# Характеристики физических свойств грунтов.

Для оценки строительных свойств грунтов пользуются рядом его характеристик.

Изобразим схему  $1 \text{ см}^3$  грунта ( $3^x$  фазная система).



$m_1$  – масса твердых частиц грунта

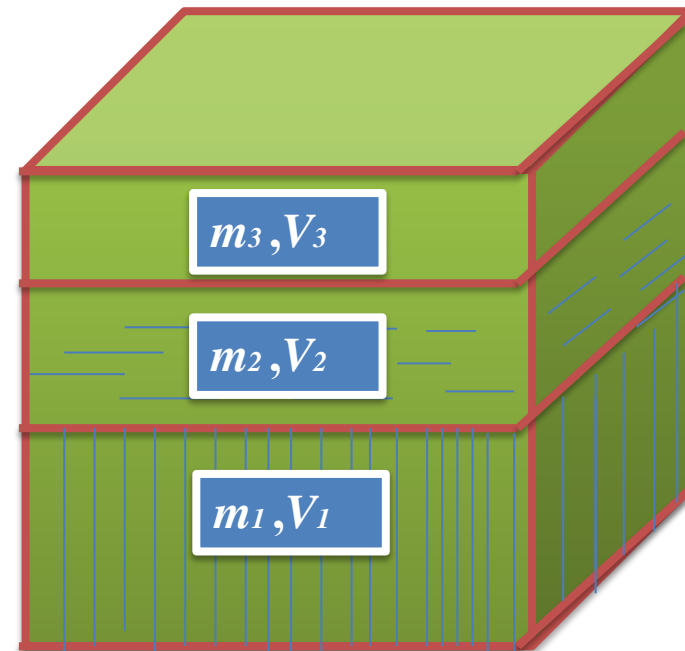
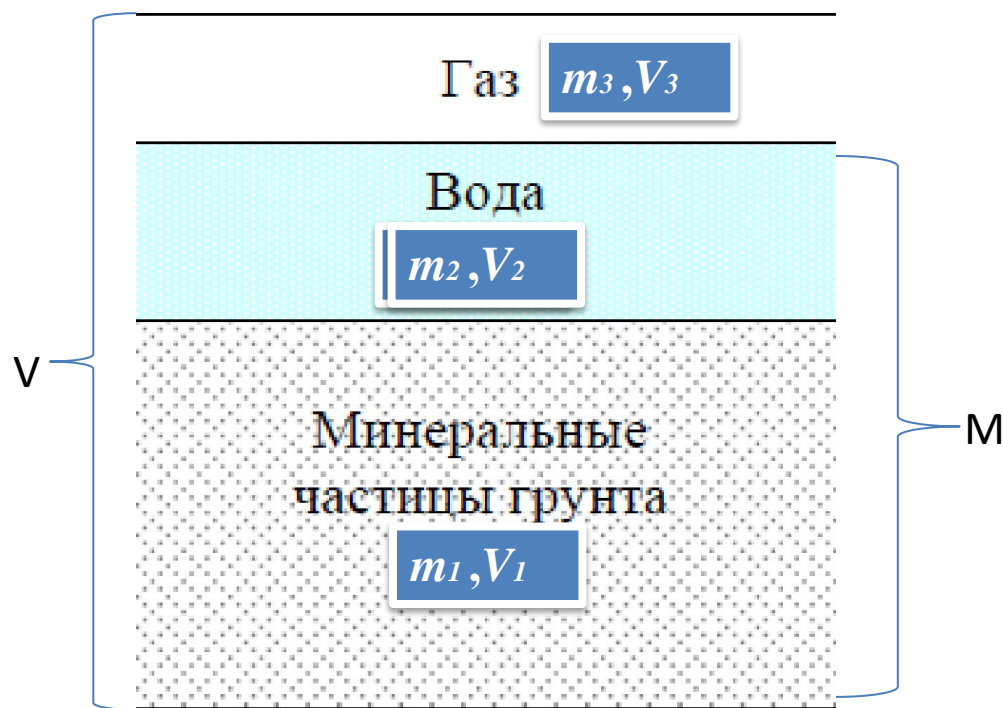
$V_1$  – объем твердых частиц грунта

$m_2$  – масса воды в порах (массу воздуха не учитываем)

$V_2$  – объем пустот (заполненных водой и воздухом)

$\text{H}_2\text{O}$

$I^{\text{ан}}$  группа характеристик (определяемая опытным путем)



### Модель грунта:

$V$  – объем образца грунта;  $V_1$  – объем минеральных частиц грунта в объеме  $V$ ;  $V_2$  – объем воды в порах;  $M$  – масса образца грунта;  $M_1$  – масса частиц грунта (скелета);  $M_2$  – масса содержащейся в порах воды;

## Основные физические характеристики грунта

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

В механике грунтов используются следующие основные физические характеристики, определяемые опытным путем:

**Плотность** грунта (кг/м<sup>3</sup>) – это отношение массы грунта к его объему.

$$\rho = M / V = (m_1 + m_2) / (V_1 + V_2 + V_3)$$

Существуют различные лабораторные методы определения плотности. Так, в соответствии с ГОСТ 5190-84 плотность можно определять методами режущего кольца (рис.2.1-а), методом лунки (рис.2.1-б), взвешивания в воде (метод парафирования) и взвешивания в нейтральной жидкости (рис.2.1-в).

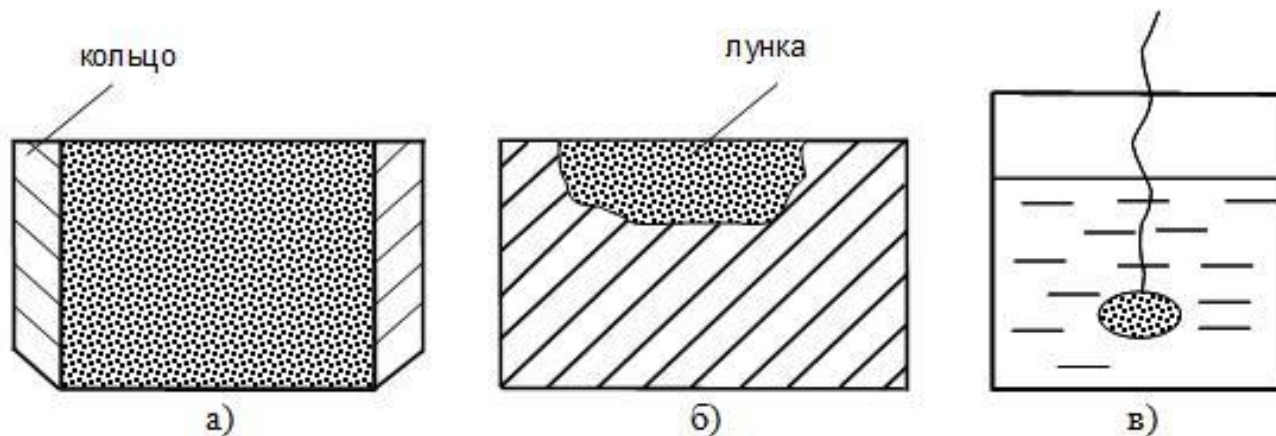


Рис.2.1. Методы определения плотности грунта

а) метод режущего кольца; б) метод лунки; в) метод взвешивания в воде



Кольцо-пробоотборник предназначено для определения плотности грунта методом режущего кольца по ГОСТ 5180-84.



Марка кольца	Размеры кольца-пробоотборника			Масса кольца, гр
	Диаметр, мм	Высота, мм	Объем, см <sup>3</sup>	
ПГ-200	70	50	200	200
ПГ-400	80	80	400	450
ПГ-500	100	63,7	500	800

**Удельный вес (кН/м<sup>3</sup>)** - это отношение веса тела к его объему и измеряется в Ньютонах на метр в кубе.

$$\gamma = \rho \cdot g$$

**Плотность частиц грунта (кг/м<sup>3</sup>)** –отношение массы твердых (скелетных) частиц грунта к их объёму.

$$\rho_s = m_1 / V_1$$

Плотность частиц грунта характеризуется его минералогическим составом и является для конкретного грунта величиной постоянной, не зависящей от плотности сложения и влажности грунта. Плотность частиц составляет у супесей 2,63 - 2,73 г/см<sup>3</sup>, у суглинков 2,66 - 2,76 г/см<sup>3</sup>, у глин 2,70 - 2,80 г/см<sup>3</sup>. Плотность частиц грунта определяется пикнометрическим методом с помощью специальных мерных колб (пикнометров) емкостью не менее 100 см<sup>3</sup>. Для определения плотности частиц незасоленных грунтов следует применять дистиллированную воду.

**Влажность грунта** - отношение массы воды к массе твердых частиц. Количество воды, содержащейся в порах грунта в естественных условиях залегания, называется естественной (природной) влажностью.

$$W = (M - m_1) / m_1 = m_2 / m_1$$

Влажность грунта определяют весовым методом.



Необходимое оборудование: лабораторные весы с разновесами, шкаф сушильный с термометром, эксикатор с хлористым двуводным кальцием, алюминиевые стаканчики с крышками (бюксы), нож.

## Производные физические характеристики грунта

Наименование	Обозначение	Размерность	Формула для вычисления
Плотность сухого грунта	$\rho_d$	кг/м <sup>3</sup>	$\rho_d = G_s / V = \rho / (1+W)$
Удельный вес сухого грунта	$\gamma_d$	кг/м <sup>3</sup>	$\gamma_d = \rho_d \cdot g = \gamma / (1+W)$
Коэффициент пористости	$e$	безразмерна	$e = V_n / V_s = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d = \rho_s / \rho_d - 1$
Пористость	$n$	безразмерна	$n = V_n / V = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s = 1 - \rho_d / \rho_s$

**Плотность сухого грунта** (кг/м<sup>3</sup>) - отношение массы сухого грунта, (за вычетом массы воды и льда в его порах), к его первоначальному объему.

$$\rho_d = M_1 / V = \rho / (1+W)$$

**Удельный вес сухого грунта (скелет грунта)** считается аналогично удельному весу грунта.

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g = \gamma / (1+W)$$

**Пористость грунта**  $n$  определяется как отношение пор ко всему объёму грунта, что соответствует объёму пор в единицы объема грунта.

$$n = (V_2 + V_3) / V$$

Относительное содержание твердых частиц в единицы объема грунта обозначают через  $m = V_1 / V$ , тогда  $m + n = 1$

$n$  – объем пор в единице объема грунта

$m$  - объем твердых частиц в единице объема грунта

**Коэффициент пористости грунта** - отношение объема пор к объему твердых частиц скелета грунта.

$$e = n/m = n / (1-n), \text{ откуда} \\ e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_d$$

Коэффициент пористости грунта является одной из важнейших характеристик и непосредственно используется в расчетах. Для песчаных грунтов коэффициент пористости с достаточной точностью характеризует плотность их сложения (плотность взаимной упаковки частиц) и используется как классификационный показатель. Понятие «пористость» и «влажность» грунта определенным образом связаны между собой.

**Полная влагоёмкость грунта** – это полное водонасыщение грунта т.е. когда все поры заполнены водой.

$$W_{sat} = e\rho_w / \rho_s \text{ или } W_{sat} = e\gamma_w / \gamma_s$$

где,  $\rho_w$  – плотность воды;  $\gamma_s$  – удельный вес воды

**Степень влажности** (степень водонасыщения)  $S_r$  – определяется как отношение объема воды в порах грунта к объёму пор и соответствует отношению влажности грунта к его полной влагоемкости.

$$S_r = w\rho / (e\rho_w) \text{ или } S_r = w\gamma_s / \gamma_w$$

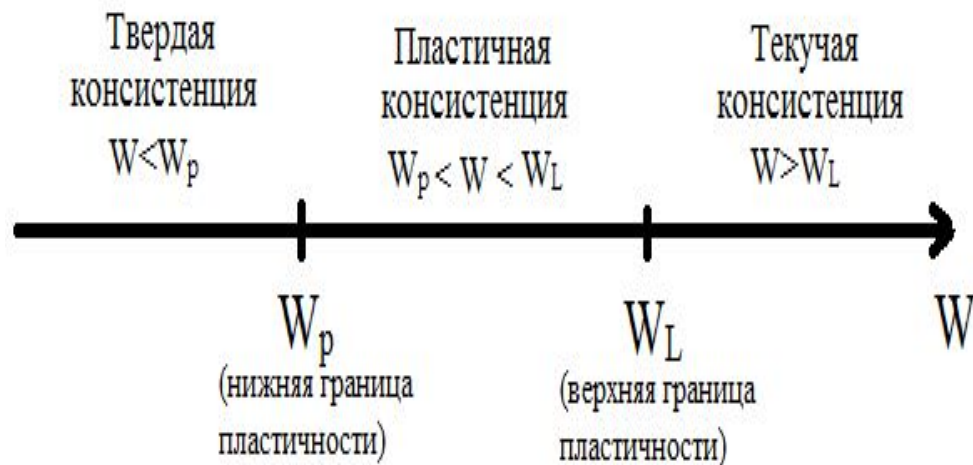
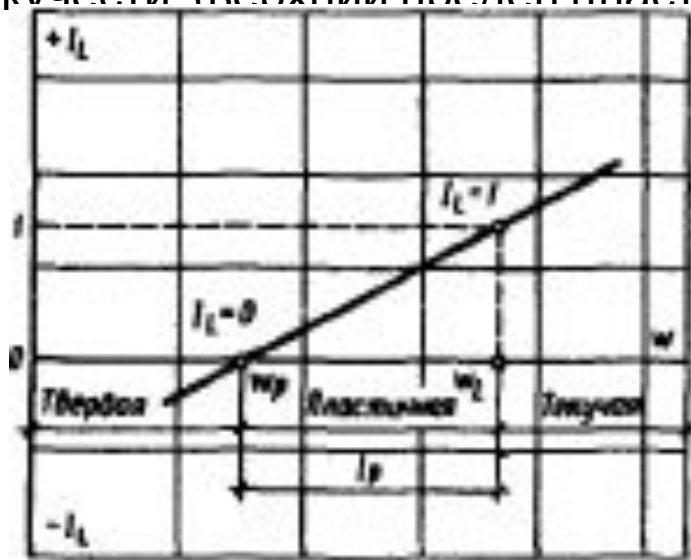
# Характеристики консистенции глинистых

Свойства глинистых грунтов существенно изменяться в зависимости от их влажности.

Сильно увлажненные глинистые грунты обладают способностью растекаться, при подсушивании он переходит в пластичное состояние, а при дальнейшем уменьшении влажности – в твердое.

По консистенции различают три состояния глинистого грунта: твердое, пластичное и текучее. Границами между этими состояниями являются характерные значения влажности,

Называемые границей раскатывания (нижний предел пластичности)  $W_p$  и границей текучести (верхний предел пластичности)  $W_L$



Сравнение естественной влажности глинистого грунта с влажностью на границе раскатывания позволяет установить его состояние по консистенции. Для этого показатель текучести  $I_L$ , являющейся важной классификационной характеристикой глинистых грунтов.

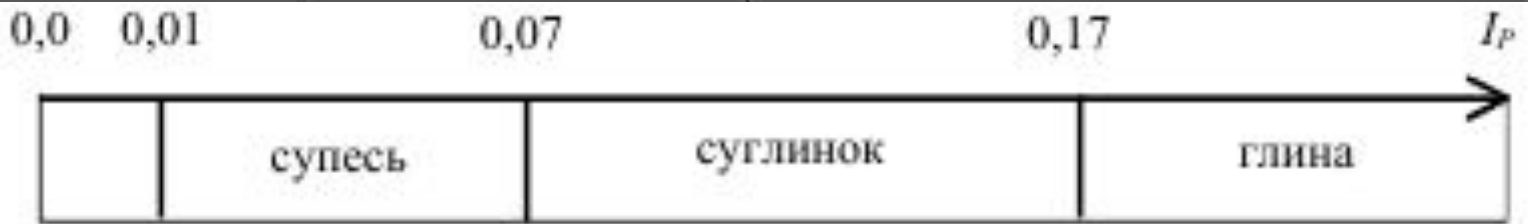
$$I_L = (W - W_p) / (W_L - W_p) = (W - W_p) / I_p$$

Разницу между границей текучести и границей раскатывания называют числом пластичности.

$$I_p = W_L - W_p$$

По числу пластичности устанавливают вид пылеватого-глинистого грунта:

Значение числа пластичности	Наименование вида грунта
$0,01 > I_p$	песчаный грунт
$0,01 \leq I_p < 0,07$	супесь
$0,07 \leq I_p < 0,17$	суглинок
$I_p \geq 0,17$	глина





# Механические свойства грунтов

Для расчетов деформаций, оценки прочности и устойчивости грунтовых массивов и оснований необходимо знать характеристики механических свойств грунтов. Под механическими свойствами грунтов понимают их способность сопротивляться изменению объема и формы в результате силовых (поверхностных и массовых) и физических (изменение влажности, температуры и т. п.) воздействий.

Механические свойства грунтов зависят от их состава (минерального и гранулометрического), физического состояния (плотности, влажности, температуры) и структурных особенностей, обусловленных физико-географическими условиями образования и последующего изменения грунтов. Грунты каждой строительной площадки формировались в течение длительного времени, испытывали различные, часто неопределенные, воздействия природной среды, а возможно, и человеческой деятельности. Поэтому характеристики их механических свойств, как правило, не могут быть назначены в зависимости от физического состава и состояния, а должны определяться экспериментально. Для определения характеристик механических свойств грунтов обычно проводятся лабораторные и полевые испытания. В лаборатории испытываются образцы грунта относительно небольших размеров, отобранные на площадке строительства из шурфов и скважин.

Все механические характеристики грунта делятся на 3 группы:

**I гр.** – для оценки деформативных свойств грунта.

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

$(m_v)$  – приведённый коэффициент сжимаемости основания.

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

**II гр.** – для оценки фильтрационных свойств грунта.

$K_f$  – коэффициент фильтрации  $\left(\frac{см}{сек.}\right), \left(\frac{м}{сут.}\right)$ .

$J$  – гидравлический градиент

**III гр.** – для оценки прочностных свойств грунтов.

$\varphi$  – угол внутреннего трения (град.).

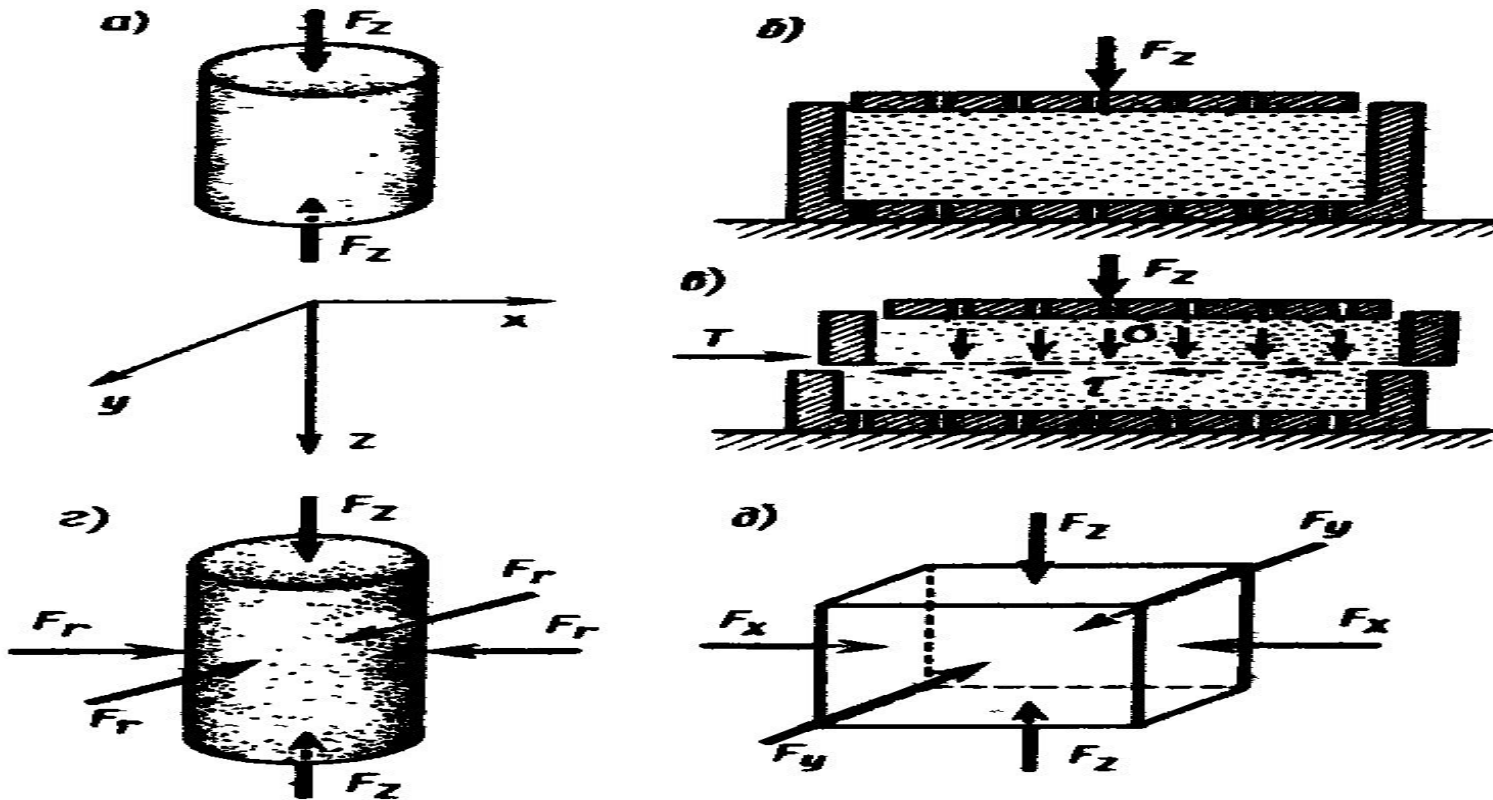
$C$  – коэффициент сцепления  $\left(\frac{кг}{см^2}\right), [МПа]$ .

Для определения деформативных свойств грунтов проводятся компрессионные испытания.

**Компрессионные свойства грунтов (сжимаемость).**

Все механические свойства грунтов определяются **опытным путем** (по-

# Основные схемы лабораторных испытаний.



а — одноосное; б — компрессионное; в — сдвиговое; г — трехосное в стабилometре; д — трехосное в приборе с независимыми главными напряжениями

# Компрессионные испытания

Компрессионные испытания грунтов проводят с использованием специальных приборов — **одометров и стабилометров**. При работе с одомером образец грунта ненарушенной структуры помещают в жесткое металлическое кольцо, которое вместе с образцом устанавливают на пористое днище. Нагрузка  $N$  передается на образец грунта поршнем. Конструкция поршня (как и днища) допускает фильтрование через него отжимаемой из образца воды.

Деформацию образца измеряют индикатором. Одомер находится в ванне, в которую при испытаниях водонасыщенных грунтов наливают воду. Образец грунта имеет форму цилиндра высотой  $h$  более 20 мм и диаметром основания более 71 мм с отношением высоты к диаметру 1:3,5. Относительно малая высота образца позволяет уменьшить влияние сил трения грунта о кольцо на деформацию грунта. Однако одомеры имеют два существенных недостатка: 1) наличие трения между боковой поверхностью образца грунта и жесткими стенками корпуса искажает результаты опыта; 2) неточность пригонки горизонтальных поверхностей грунтового образца к пористым дискам и его боковой поверхности к стенкам корпуса одомера приводит к значительному завышению деформаций образца

# Одометр

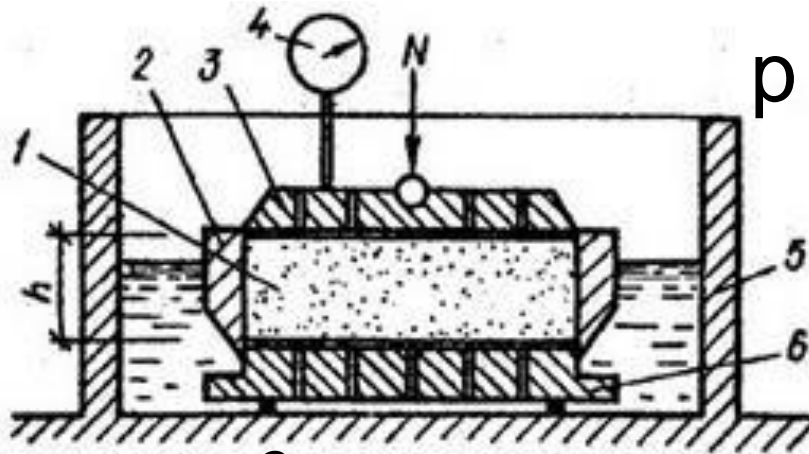


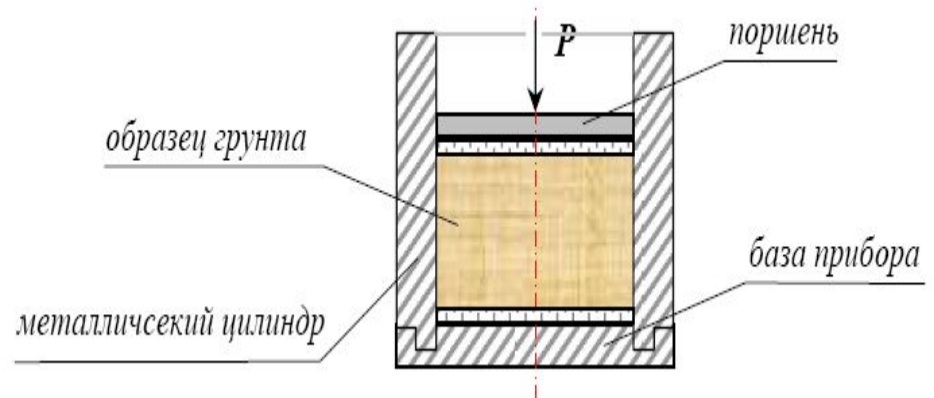
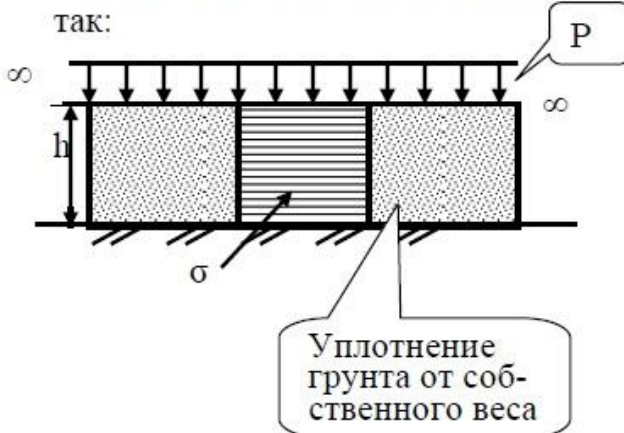
Схема одометра

1 — образец грунта; 2 — металлическое кольцо; 3 — поршень; 4 — индикатор; 5 — ванна; 6 — днище



**Компрессия** – это сжатие грунта без возможного бокового расширения.

Схематично это можно представить так:



В стабилometре образец грунта находится в резиновой оболочке, герметически закрытое пространство между которой и жесткими стенками металлического цилиндра заполняется жидкостью, например водой. Герметичность пространства, в котором находится вода, окружающая образец с боков, и ее малая сжимаемость (по сравнению с грунтом) позволяют считать, что образец испытывает сжатие без бокового расширения. Достоинством стабилometра является то, что в нем устраняются силы трения по боковой поверхности образца и появляется возможность измерения сил бокового давления манометром.

При испытании образца грунта давление  $\sigma$ , кПа, определяемое по формуле  $\sigma = N/A$  (здесь  $N$  — вертикальная нагрузка на образец, кН;  $A$  — площадь поперечного сечения образца,  $m^2$ ), повышают ступенями от 12,5 до 50 кПа, выдерживая каждую ступень до прекращения деформации образца, т. е. до стабилизации осадки. В песчаных грунтах стабилизация осадки происходит в течение нескольких минут, а в глинистых грунтах она может длиться несколько суток. В результате испытания устанавливают значения осадки образца  $s$ , мм, соответствующие каждой ступени нагрузки, и строят график зависимости относительного вертикального укорочения образца  $e$ , определяемого по формуле  $e = s/h$  (здесь  $h$  — высота образца, мм), от передаваемого на него давления  $a$  (рис. 1.7), а также кривую зависимости коэффициента пористости  $e$  от  $a$  которая называется компрессионной кривой.

Испытание грунта в приборе 3<sup>х</sup> осного сжатия ближе отвечает его работе в природных условиях и даёт наиболее надёжные результаты в определении его прочностных и деформационных свойств.

3<sup>х</sup> осному напряженному состоянию грунт подвергается **в стабилометре**. В приборе грунт находится в условиях объёмного напряженного состояния.

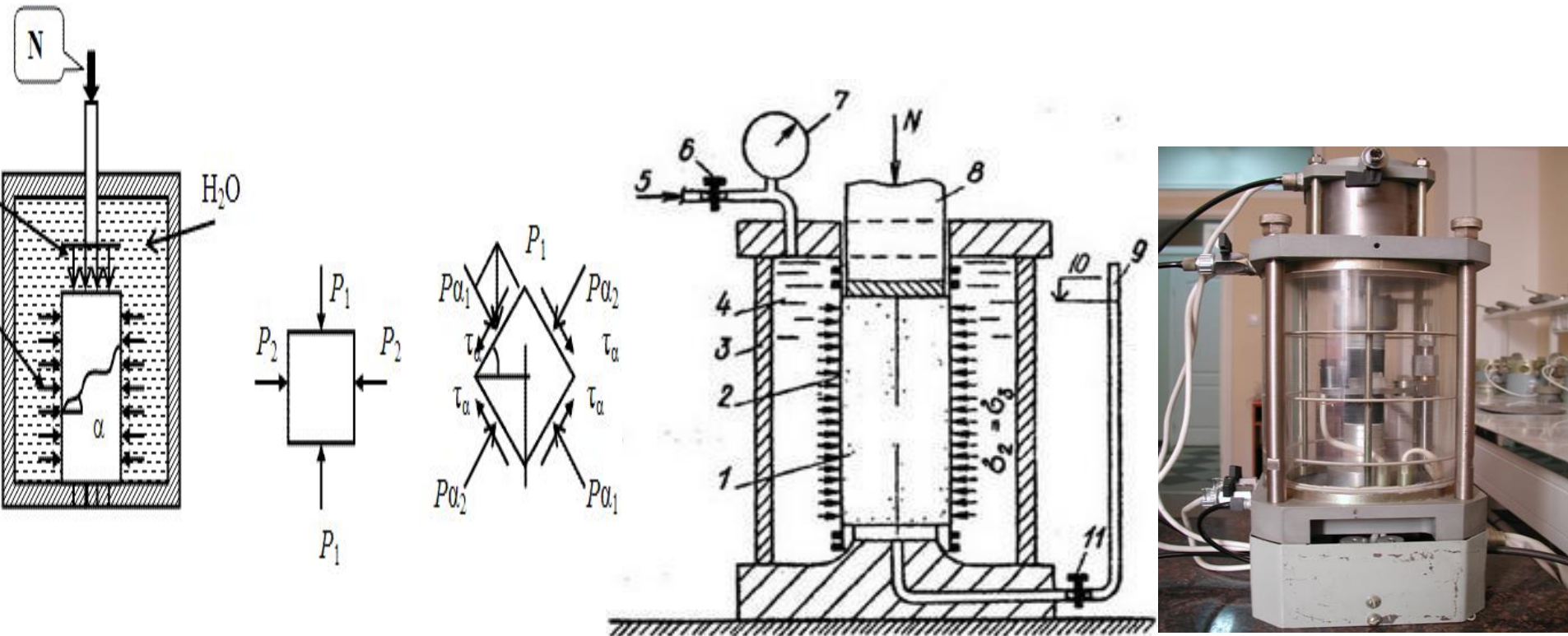


Схема стабилометра: 1 — образец грунта; 2 — резиновая оболочка; 3 — цилиндр; 4 — пространства, заполненное жидкостью; 5 — трубка от насоса; 6 — кран; 7 — манометр; 8 — поршень; 9 — бюретка для измерения объема образца; 10 — уровень воды; 11 — кран для отвода воды, отжимаемой из образца грунта

# Компрессионная кривая

Поскольку уплотнение и разуплотнение грунта непосредственно связаны с изменением его пористости в проектно-изыскательской практике результаты компрессионных испытаний традиционно представляют в виде компрессионной кривой — зависимости коэффициента пористости грунта от сжимающего напряжения

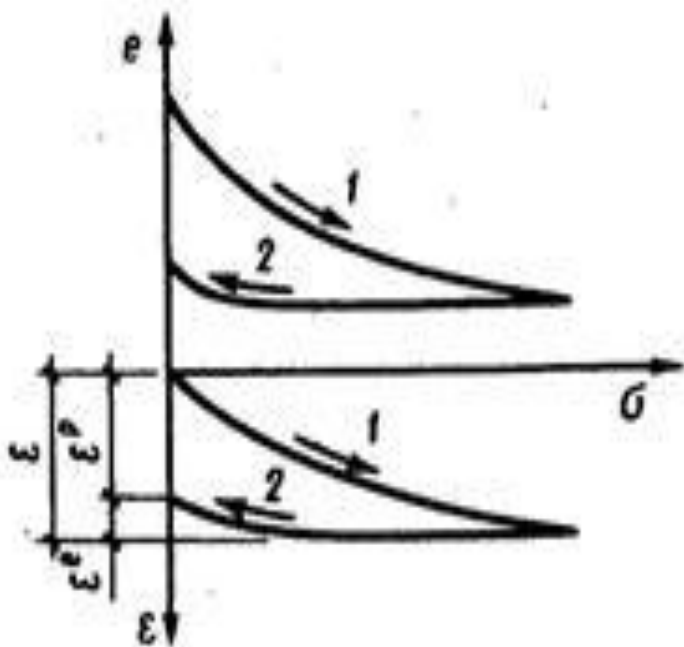


Рис. 4.4. Компрессионные кривые и зависимости изменения относительной деформации от напряжения:  
1 — нагрузка; 2 — разгрузка

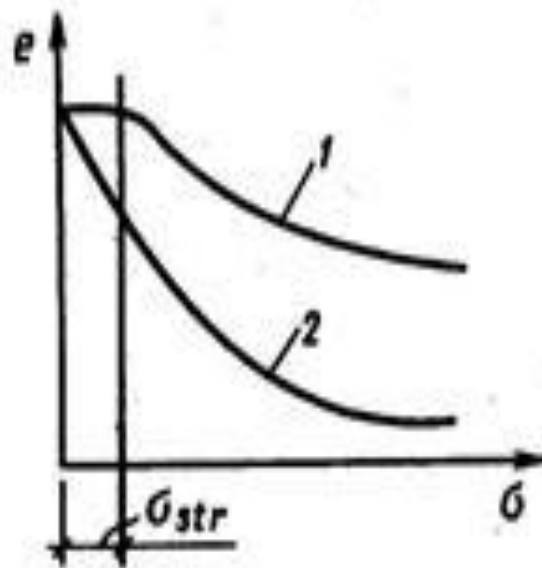
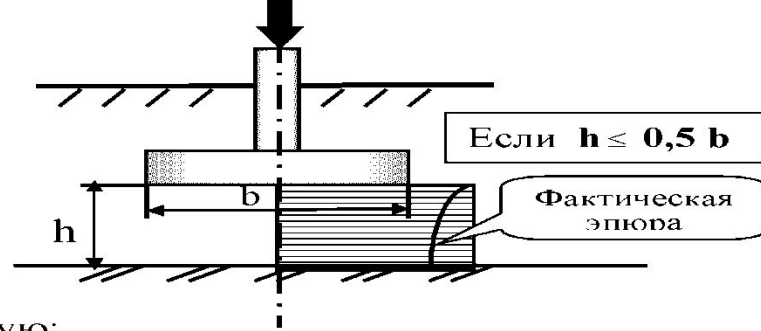


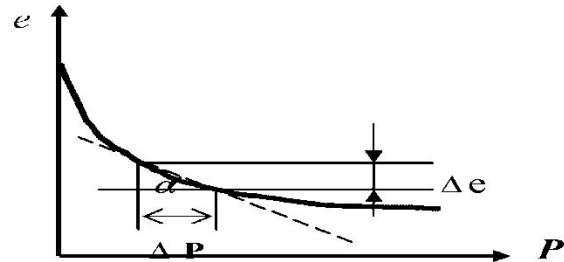
Рис. 4.5. Компрессионные кривые грунта ненарушенной (1) и нарушенной (2) структуры



Из графика видно, что происходит необратимое уплотнение грунта. Нас интересует в основном только **прямая ветвь к.к.**, **обратная ветвь к.к.** – возможность поднятия дна, при глубоких котлованах (*гидротехническое строительство*).



Изобразим снова компрессионную кривую:



На небольшом участке рассмотрим приращение нагрузки  $\Delta P$  и получим соответств.  $\Delta e$ . Заменим дугу прямой и рассмотрим угол  $\alpha$ .

$$\Delta e = - \operatorname{tg} \alpha \Delta P$$

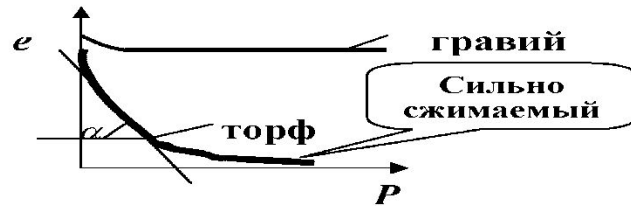
(-) – с увеличением нагрузки  $\alpha$  - уменьшается.

В дифференциальной форме:

$$de = - \operatorname{tg} \alpha \Delta P$$

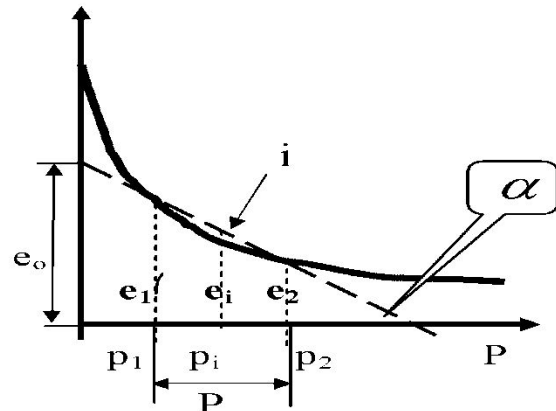
$\operatorname{tg} \alpha = m_0$  и тогда  $de = - m_0 dP$  -основная математическая форма закона компрессии.

**Относительное изменение коэффициента пористости пропорционально изменению нагрузки (для малых интервалов нагрузок).**



Компрессионная кривая позволяет судить о сжимаемости грунта.

$\alpha$  - может характеризовать сжимаемость.



Возьмем произвольную точку  $i$  на прямой, в пределах отрезка  $P_1 - P_2$ . Составим уравнение для этой точки, исходя из начального параметра  $e_0$ .

$e_i = e_0 - p_i \operatorname{tg} \alpha$  - это основное уравнение, характеризующее компрессию в выбранном варианте.

Рассмотрим подробнее  $\angle \alpha$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} \left[ \frac{\text{см}^2}{\text{кг}} \right], [Mll\alpha^{-1}]$$

$m_0$  – коэффициент сжимаемости грунта.

Для того чтобы получить  $m_o$ , необходимо выделить определенный интервал.

$P_1$  – напряжение от собственного веса грунта.  
 $P$  – дополнительное давление от внешней нагрузки.  
 $P_2$  – полное напряжение ( $P_2 = P_1 + P$ )

Окончательно: 
$$m_o = \frac{e_1 - e_2}{P} \left[ \frac{см^2}{кг} \right], \left[ \frac{м^2}{кН} \right], [МПа^{-1}]$$

Если:

$m_o < 0,005$  – грунт мало сжимаемый  
 $m_o = 0,005 \div 0,05$  – грунт средне сжимаемый  
 $m_o > 0,05 [МПа^{-1}]$  – грунт сильно сжимаемый

**Итак:**

1. При изысканиях отбирают пробы грунта, строят график к.к. и определяют  $m_o$  – это делают обычно инженеры – геологи, а строители оценивают свойства грунта по показателям, полученным от геологов.
2. Основной расчёт оснований по II предельному состоянию – по деформациям. В формулу расчёта осадки входит величина - коэффициента относительного сжатия грунта.

$S = h m_v P$  – прямо пропорциональная связь.

$$m_v = \frac{m_o}{1 + e}$$

Таким образом  $m_o$  – является той характеристикой, которая как правило, решает выбор основания - можно строить или нельзя (тогда возникает необходимость перехода на искусственное основание).

В России существует ещё одна характеристика сжатия грунта -  $E_o$  – модуль общей деформации грунта.

$$E_o = \frac{\text{напряжение}}{\text{полная относительная деформация}} = \frac{P}{\lambda} \quad (\text{Аналогичен закону Гука, но там используется модуль упругой деформации})$$


# Процесс фильтрации в грунтах, основные закономерности

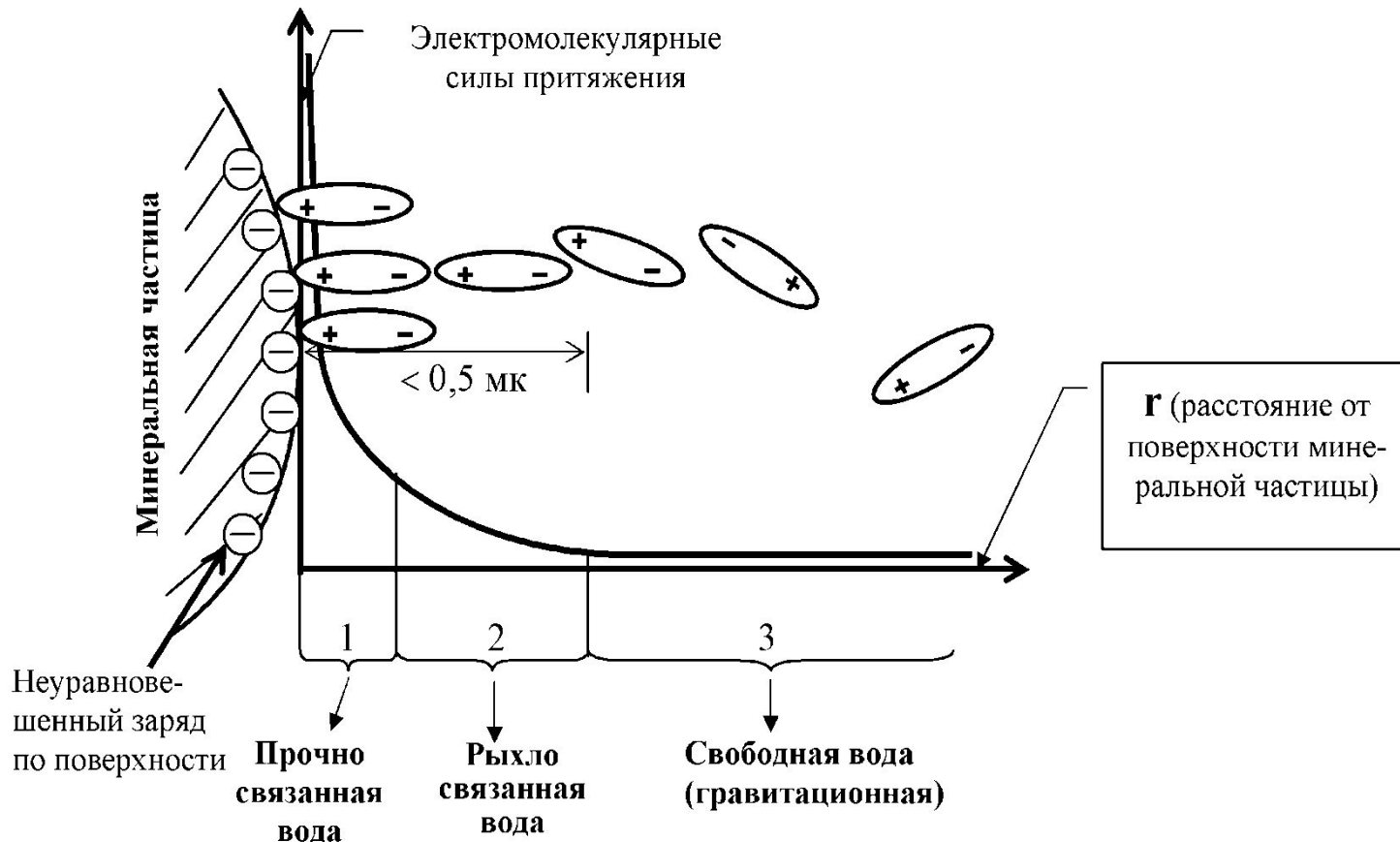
## Классификация видов воды в грунтах

Широко известна классификация, предложенная А. Ф. Лебедевым (1936), которая явилась результатом его многочисленных и тщательно выполненных экспериментальных работ в этой области. А. Ф. Лебедев различал в грунте следующие категории воды:

- Вода в форме пара.
- Связанная вода:
  1. прочносвязанная (гигроскопическая) вода;
  2. рыхлосвязанная вода.
- Свободная вода:
  1. капиллярная вода;
  2. гравитационная вода.
- Вода в твердом состоянии.
- Кристаллизационная вода и химически связанная вода.

## 5. Свойства воды.

 - диполь – молекула воды  $H_2O$



### 1. - пленки прочносвязанной воды (адсорбированной)

$n \cdot 1000 \text{ (кг/см}^2\text{)}$  – электрмолекулярные силы притяжения, удалить эту воду практически невозможно, замерзает при  $t^\circ < -70^\circ$ .

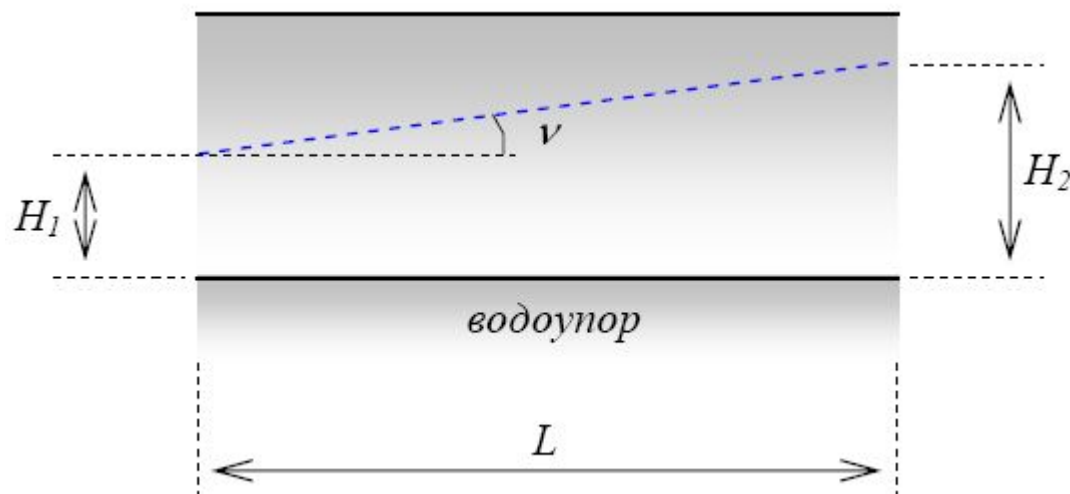
### 2. - слои (пленки) рыхлосвязанной воды (лисорбированной)

$n \cdot 10 \text{ (кг/см}^2\text{)}$  – электрмолекулярная сила притяжения, удаляется только при  $t^\circ = 105^\circ$ , замерзает при  $t^\circ -1^\circ \dots -3^\circ \text{ C}$ .

### 3. - свободная, гравитационная (капиллярная вода)

# Водопроницаемость грунтов

Водопроницаемостью называется свойство водонасыщенного грунта под действием разности напоров пропускать через свои поры сплошной поток воды. При этом под сплошным потоком воды понимается ее неразрывное движение (фильтрация) по всему сечению активных пор грунта, т. е. той части пор, которая не заполнена связанной водой. Водопроницаемость грунтов зависит от их пористости, гранулометрического и минерального состава, градиента напора.



$H_1$  и  $H_2$  – напоры;  $L$  – длина пути фильтрации;  $H = H_2 - H_1$  – потеря напора или «действующая высота». Если линии токов воды (движения частиц в потоке) нигде не пересекаются друг и друг, то движение называется ламинарным, при наличии пересечений и завихрений движение называется турбулентным. В грунтах в большинстве случаев движение воды будет ламинарным (закон Пуазейля, Дарси и другие).

Ламинарное движение воды происходит с тем большей скоростью, чем больше уклон поверхности уровня грунтовых вод (так называемый «гидравлический градиент»)

Гидравлический градиент равен отношению потери напора  $H = H_2 - H_1$  к длине пути фильтрации  $L$ :

Закон **ламинарной фильтрации**: расход воды в единицу времени через единицу площади поперечного сечения грунта (скорость фильтрации) прямо пропорционален гидравлическому градиенту  $i$ :

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

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

Зависимость скорости фильтрации от гидравлического градиента  $i$ . Для водопроницаемых грунтов (пески, галечники) зависимость прямая

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

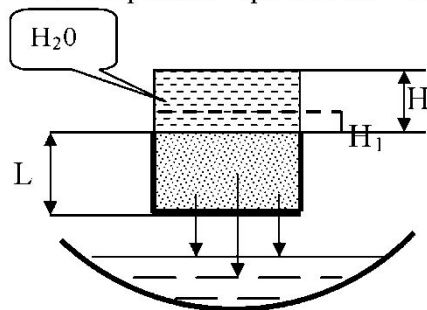
Фильтрация воды в глинистых грунтах начинается при достижении некоторой начальной величины градиента  $i$ , преодолевающей внутреннее сопротивление движению, оказываемое водно-коллоидными пленками. На рисунке (илл.6) изображены экспериментально найденные зависимости скорости фильтрации  $v_{\phi}$  от гидравлического градиента  $i$ . Здесь  $i_0$  - начальный гидравлический градиент

В результате закон ламинарной фильтрации для связных грунтов будет иметь вид:  $v_{\phi} = k_{\phi} \cdot (i - i_0)$ .

## Водопроницаемость грунтов.

В строительстве фильтрационные свойства грунта связаны:

1. – с инженерными задачами (фильтрация берегов в результате строительства плотин).
2. – с вопросами временного понижения у.г.в. для осушения котлованов.



По закону Дарси:

$$\theta = t \cdot F \cdot K_{\phi} \cdot I$$

$\theta$  – кол-во воды

t – время

F – площадь

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации

I – гидравлический градиент

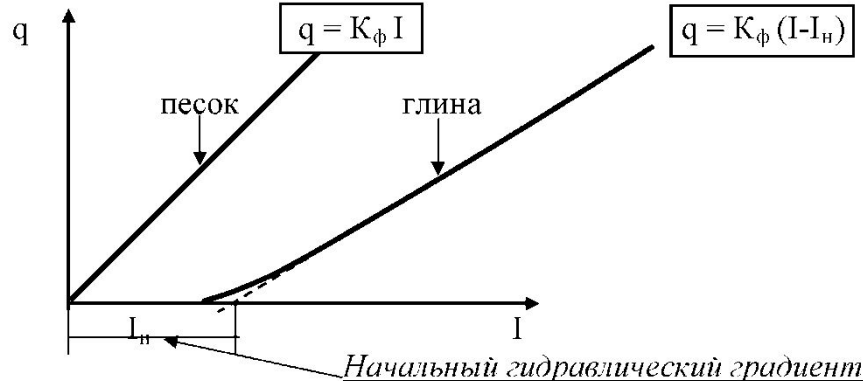
$$I = \frac{H - H_1}{L}$$

Скорость фильтрации  $\rightarrow q = \frac{\theta}{t \cdot F}$ ;  $q = K_{\phi} \cdot I$

$K_{\phi}$  – коэффициент фильтрации – это скорость фильтрации при  $I = 1$  (см/сек; м/сут)

$K_{\phi, \text{песок}} = n \cdot 10^{-2}$  см/сек

$K_{\phi, \text{глина}} = n \cdot 10^{-8}$  см/сек



## Процессы, развивающиеся в грунтах при фильтрации воды.

При движении потока воды в порах грунта между ним и частицами возникают объемные силы взаимодействия. Равнодействующую этих сил в каждой точке можно разложить на две составляющие: направленную вертикально вверх и действующую по направлению движущегося потока. Первая составляющая называется взвешивающей силой (архимедовой силой) и оказывает выталкивающее воздействие на частицы грунта (взвешивание грунта в вода).

Вторая — фильтрационная сила — приводит к гидродинамическому давлению движущейся воды на частицы грунта. Взвешивающие силы проявляются даже при отсутствии движения воды и обуславливают уменьшение удельного веса грунта ниже уровня подземных вод. Фильтрационные силы возникают только при движении потока воды в грунте, и их интенсивность зависит от гидравлического градиента.

Движение воды в грунтах может приводить к развитию разнообразных процессов, осложняющих строительство. К ним, в частности, относятся процессы механической суффозии и кольяматации грунта.

Суффозия заключается в том, что движущийся поток воды в крупных порах песчаных и крупнообломочных грунтов может увлекать мелкие частицы, которые оседают в каких-либо частях массива и кольяматируют (закупоривают) поры или выносятся на поверхность. В результате начавшейся суффозии может происходить увеличение пористости грунта, приводящее к возрастанию скорости фильтрации и дальнейшему развитию процесса.



Суффозонная устойчивость грунта зависит от его гранулометрического состава, градиента напора, скорости фильтрации, напряжений в скелете грунта и определяется экспериментально. Одним из основных путей борьбы с суффозией грунта является уменьшение действующего напора.

В грунтах, содержащих большое количество растворимых минералов (гипс, кальцит, галит и др.), движущийся поток воды может вызывать химическую суффозию — растворение и постепенное вымывание этих минералов. Эти процессы также сопровождаются увеличением пористости и ослаблением грунта. Наиболее опасным здесь является карстообразование — развитие больших воронок и подземных полостей, сильно осложняющих строительство. Эти вопросы будут рассмотрены в гл. 16.

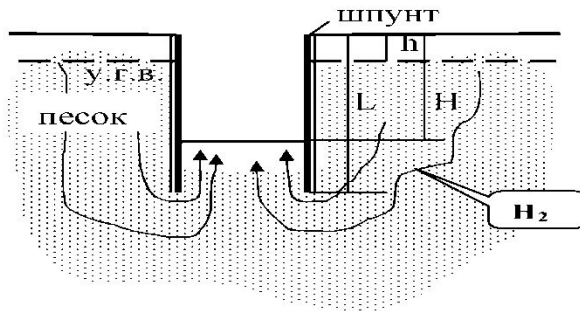
Выше отмечалось, что связанная вода в глинистых грунтах практически не принимает участия в фильтрации, вызванной разностью напоров, обычных для условий промышленного и гражданского строительства. В некоторых случаях возникает необходимость откачки поровой воды из глинистых грунтов. Для этого через водонасыщенный грунт пропускают постоянный электрический ток, вызывающий движение катионов, окруженных гидратными оболочками, к отрицательному электроду. Этот процесс называется электроосмотической фильтрацией, причем скорость движения воды может увеличиться в 10... 100 раз по сравнению с напорной фильтрацией в тех же грунтах.

При этом скелет грунта оказывается ослабленным и может подвергнуться разрушению. При выходе потока воды на открытую поверхность (например, откос котлована) может развиваться поверхностная суффозия, приводящая к образованию воронок размыва и последующему разрушению (оплыванию) этой поверхности.

Напротив, кольматация, т. е. отложение мелких частиц вблизи открытой поверхности, вызывает уменьшение пористости и снижение водопроницаемости грунта. Кольматация бортов котлована уменьшает приток фильтрующей в него воды. В то же время кольматация дренажных устройств, используемых для отвода воды, приводит к постепенному их выходу из строя

**Фильтрационные характеристики грунтов используются при:**

1. Расчете дренажа
2. Определении дебита источника подземного водоснабжения
3. Расчёте осадок сооружений (оснований) во времени
4. Искусственном понижении у.г.в.
5. Расчете шпунтового ограждения при откопке котлованов, траншей



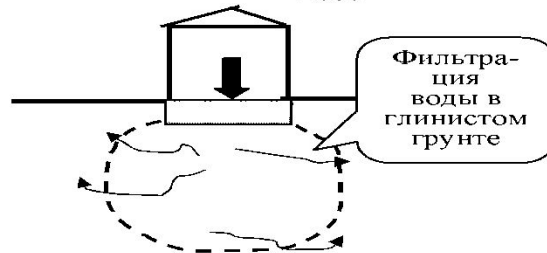
Как выкопать такой котлован?

$$\theta = t \cdot F \cdot K_{\phi} \cdot I$$

Уменьшить  $\theta$  - можно только изменяя

$$I = \frac{H}{L}, \text{ в нашем случае } I = \frac{H - h}{L - h}$$

Отсюда определяется длина шпунта L.



При  $I > I_{cr}$  возникает фильтрация, развиваются осадки.

При  $I < I_{cr}$  фильтрации нет,

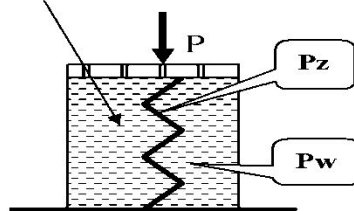
**нет и осадки!**

**Эффективные и нейтральные давления в грунтовой массе**

$P_z$  – эффективное давление, давление в скелете грунта (уплотняет и упрочняет грунт).

$P_w$  – нейтральное давление, давление в поровой воде (создает напор в воде, вызывая ее фильтрацию).

В любой момент времени в полностью водонасыщенной грунтовой массе имеет место соотношение:  $P = P_z + P_w$ , где P – полное давление



- При  $t = 0$
- При  $t = t_1$
- При  $t = \infty$

$$P = P_w$$

$$P = P_w + P_z$$

$P = P_z$  – это теоретически, практически для того чтобы  $P_w \equiv 0$ , требуется длительный период времени.

Осадка может происходить и при  $P = P_z$  за счет явлений ползучести скелета.



причиной стала выемка грунта во время строительства под домом подземного гаража, а также ливневые дожди, которые подмыли фундамент.

Кроме того, дом стоял на реке с глинистыми берегами, что тоже способствовало размыванию грунта под фундаментом дома.



И на фотографиях видно, как из-за проседания грунта разорвало свежеложенный асфальт.

