

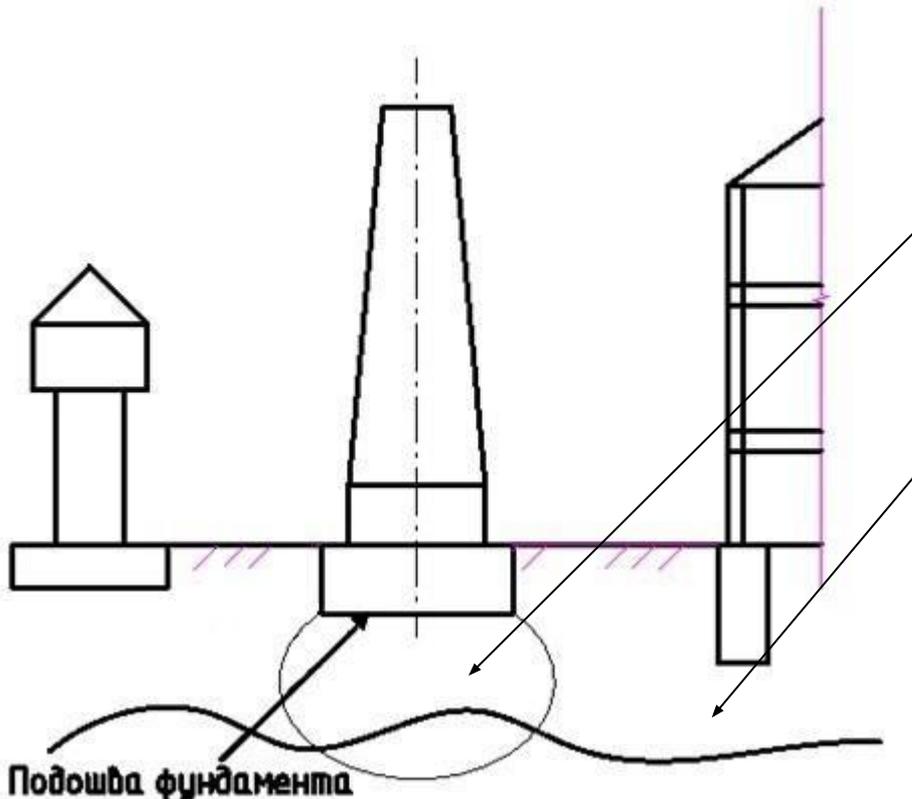
*Тема № 1. ПРИРОДА,  
ФИЗИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ И  
КЛАССИФИКАЦИЯ  
ГРУНТОВ*

*Механика грунтов*  
*Пыхтеева Надежда Филипповна*

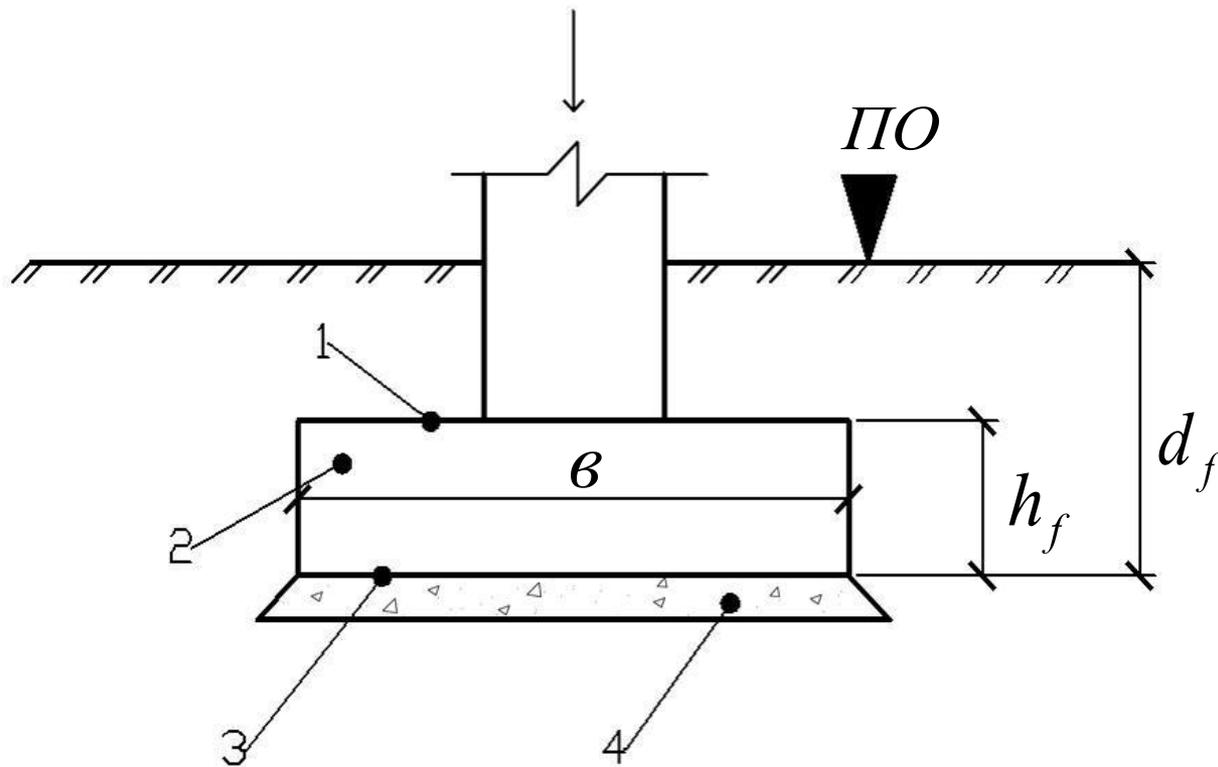
***Предметом изучения механики грунтов являются материалы природного происхождения - грунты и их взаимодействие с сооружениями.***

***Проектирование зданий в проектных институтах обычно осуществляется по типовым проектам, а фундаменты всегда проектируются, исходя из их индивидуальных условий – это обуславливается природным залеганием грунтов.***

*Подземная часть сооружения, предназначенная для передачи нагрузки от сооружения грунту, называется ФУНДАМЕНТОМ.*



- Область грунта, воспринимающая давление от сооружения, называется **ОСНОВАНИЕМ**.
- 
- Слой грунта под подошвой фундамента называется **НЕСУЩИМ** слоем грунта; остальные слои – **ПОДСТИЛАЮЩИМИ**.
- 
- **ГРУНТ** – это рыхлые горные породы верхних слоев литосферы.



- 1 - Обрез  
фундамента
- 2 - Фундамент
- 3 - Подошва  
фундамента
- 4 - Щебеночно-  
песчаная  
подготовка

- $ПО$  – планировочная отметка;
- $b$  – ширина фундамента;
- $h_f$  – высота фундамента;
- $d_f$  – глубина заложения фундамента.

**Фундамент**– подземная или заглубленная часть сооружения, предназначенная для передачи нагрузки от сооружения на основание.

**Подшва** – нижняя поверхность фундамента.

**Основание**– толща грунтов, на которых возводится сооружение. Основание воспринимает от сооружений нагрузки, деформируясь под их воздействием.

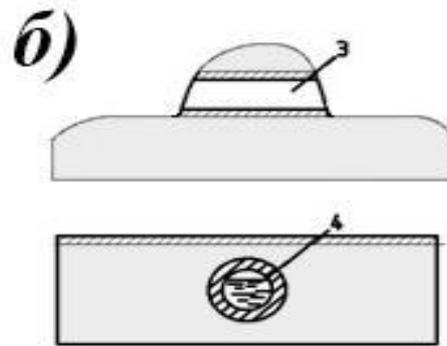
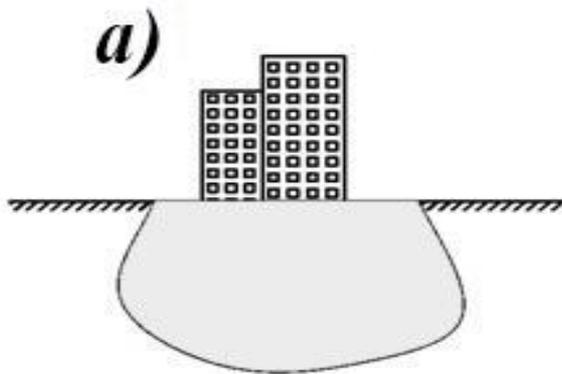
**Различают основания:**

- **естественные** – сложенные природными грунтами без их специальной подготовки.
- **искусственные**- представленные уплотненными или закрепленными грунтами природного происхождения или сложенные твердыми отходами производственной и хозяйственной деятельности человека.

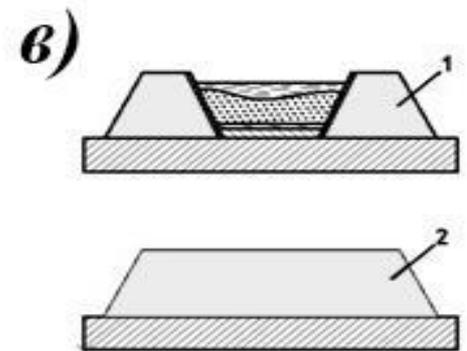
# Происхождение грунтов

**Грунт** – горная порода, используемая в строительстве в качестве:

- основания фундамента – а
- среды, в которой возводится сооружение - б
- материала для строительства сооружения – в



3 – туннель,  
4 – трубопровод



1 – дамба, 2 – насыпь  
автодороги

- **Горная порода** – закономерно построенная совокупность минералов, которая характеризуется составом, структурой и текстурной.
- **Состав** – перечень минералов, образующих горную породу.
- **Структура (строение)**- размер, форма и процентное соотношение частиц, слагающих горную породу
- **Текстура (ткань, сплетение)**- пространственное расположение слагающих породу частиц

## Горные породы по происхождению подразделяют:

### (ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация)

- 1) **Магматические**, которые образуются при медленном остывании магмы в верхних слоях земной коры (габбро, гранит), а также при быстром остывании магмы на поверхности земли (базальты, порфиры).
- 2) **Метаморфические**, которые образуются в недрах земли из горных пород путем их перекристаллизации под воздействием высокого давления, высоких температур, раскаленных газов и горячих водных растворов (мрамор, сланцы).
- 3) **Осадочные**, которые образуются в результате выветривания, перемещения, осаждения и уплотнения продуктов разрушения исходных горных пород.

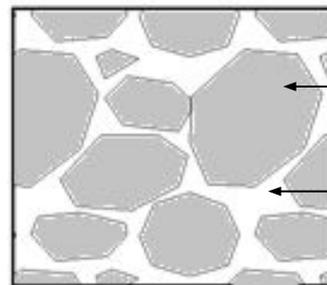
В зависимости от степени упрочнения различают осадочные горные породы:

- **Сцементированные** (доломиты, песчаники и другие)
  - **Не сцементированные** (крупнообломочные, песчаные, глинистые и другие)
- 4) **Вулканоогенно-осадочные**, которые образуются из продуктов дробления застывающей лавы при её движении и при осаждении пирокластической массы (пепла, шлаков и др.)
  - 5) **Элювиальные**, которые образуются в результате выветривания, и представлены не перемещенными продуктами разрушения.
  - 6) **Техногенные**, которые образуются в результате жизнедеятельности человека

# Состав грунтов

Грунт состоит из трех составляющих:

- **Твердая** (частицы минералов)
- **Жидкая** (вода)
- **Газообразная** (воздух или газ)



Зерна

(твердые частицы)

Поры (воздух+вода)

**Различают механические грунтовые модели:**

- **Однофазный (сухой) грунт** – в порах полностью отсутствует вода
- **Двухфазный (водонасыщенный) грунт** – поры полностью заполнены водой
- **Трехфазный (не водонасыщенный) грунт** – поры частично заполнены водой, частично воздухом
- **Четырехфазный (не водонасыщенный мерзлый) грунт** – вода, в основном, представлена кристалликами льда

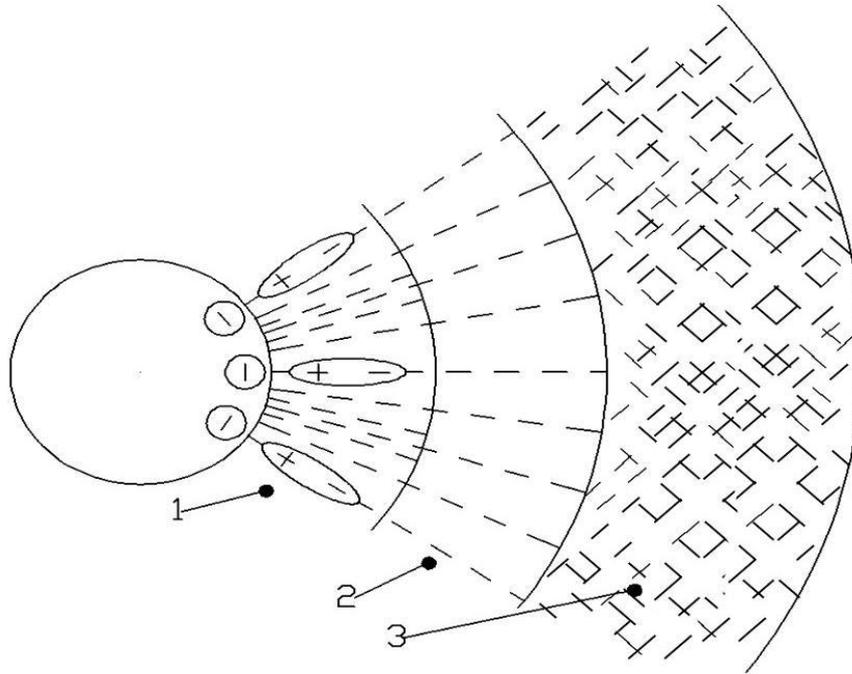
# Твердые частицы грунтов

**Состоят из пороодообразующих минералов:**

- *Минералы, не вступающие во взаимодействия с водой и растворенными в ней веществами (кварц, полевой шпат и другие) . Благоприятны для строительства*
- *Минералы, растворимые в воде (гипс, галит и другие)  
В большинстве своем не благоприятны для строительства*
- *Глинистые минералы (иллит, каолинит и др.)  
Обладают высокой коллоидной активностью, сильно изменяют свойства в зависимости от влажности.*
- *Органические вещества (гумус)  
Не благоприятны для строительства, так как хорошо впитывают воду и легко деформируются.*

## Жидкая составляющая грунтов

- **Кристаллизационная вода** – принимает участие в строении кристаллических решеток минералов и находится внутри частиц грунта
- **Поровая вода** – заполняет поры грунта, т.е пространство между твердыми частицами



(физико – химические связи)

**1 - Прочносвязанная** – ионы воды непосредственно у поверхности частицы, испытывающие огромные силы притяжения.

**2 - Рыхлосвязанная** – ионы воды, находящиеся на некотором удалении от частицы и испытывающие меньшие силы притяжения.

**3 - Свободная вода** – молекулы воды, находящиеся вне зоны влияния частицы.

### **Свободная вода подразделяется:**

- **Гравитационная** – подчиняется законам гидравлики.
- **Капиллярная** – по системе капиллярных каналов может подниматься вверх на значительную высоту (от 3,5 см в крупных песках до 6,5 м в суглинках).

## Газообразная составляющая грунта

*В верхних слоях грунта, соединяющихся с атмосферой, содержится воздух.*

*Ниже газообразная составляющая может быть представлена воздухом или газом (азотом, метаном, сероводородом и др.)*

*Газы в грунте могут быть:*

- *в свободном состоянии;*
- *растворены в воде.*

**Свободный газ:**

- *незащемленный, сообщающийся с атмосферой;*
- *защемленный в виде мельчайших пузырьков в воде.*

*Уменьшение давления вследствие разработки котлована может привести к выделению газа и разрушению природной структуры грунта.*

# Гранулометрический состав грунта

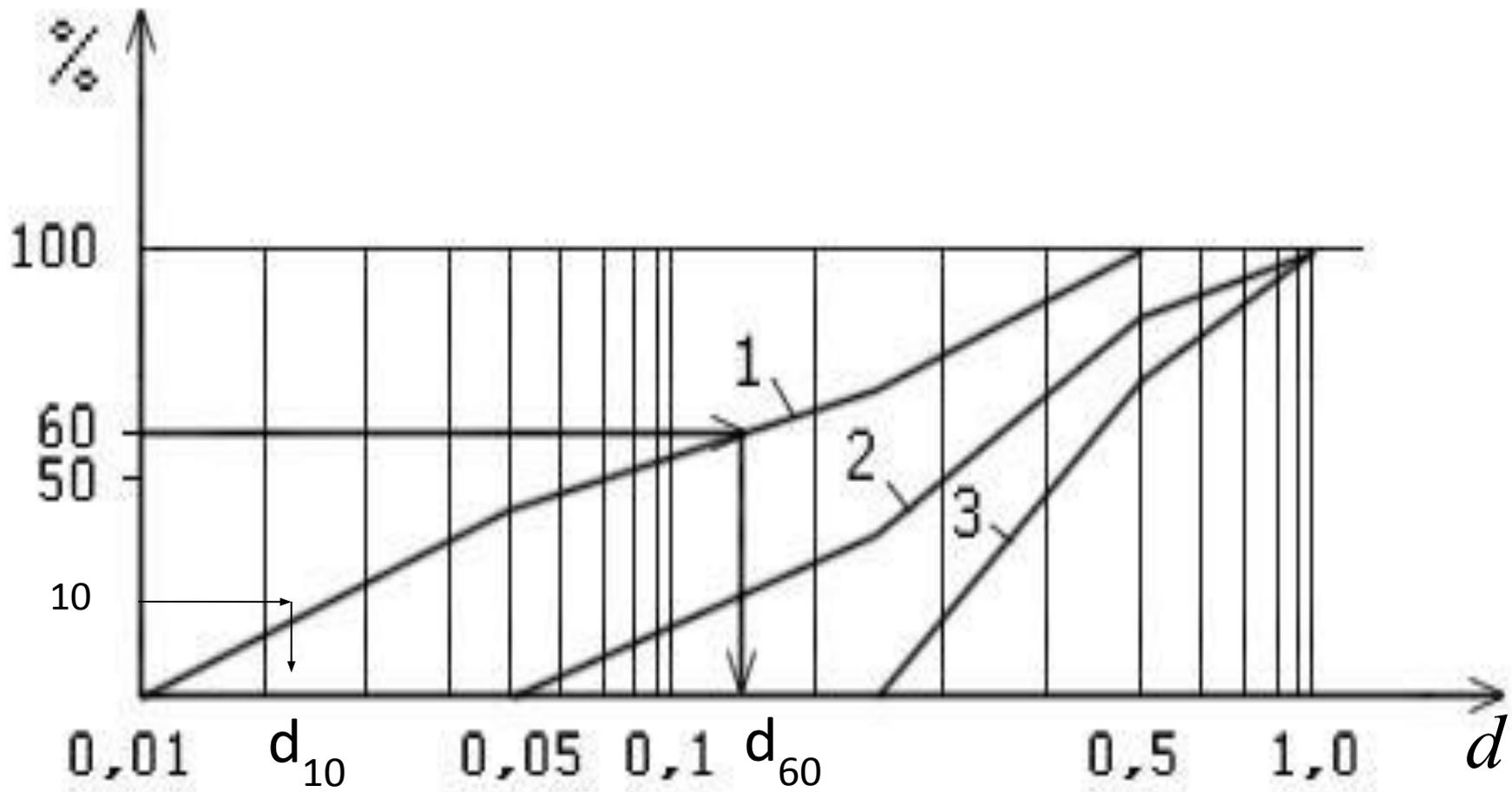
**Гранулометрический состав грунта** – это количественное соотношение в грунте частиц определенного размера.

- Определяется в соответствии с ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава».

~~Выделяют основные гранулометрические фракции частиц.~~

| <i>Стандарт</i>             | <i>Наименование фракции с размером частиц в мм</i> |                 |                     |                   |
|-----------------------------|--|-----------------|---------------------|-------------------|
|                             | <i>Крупнообломочные</i>                            | <i>Песчаные</i> | <i>Пылеватые</i>    | <i>Глинистые</i>  |
| <i>ГОСТ 25100<br/>–2011</i> | <b>&gt; 2</b>                                      | <b>2 – 0.05</b> | <b>0.05 – 0.002</b> | <b>&lt; 0.002</b> |

Гранулометрический состав грунта характеризуется интегральной кривой гранулометрического (зернового) состава



*1 – песок пылеватый*

*2 – песок мелкий*

*3 – песок крупный*

## **Неоднородность грунта определяется по степени неоднородности**

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

$d_{60}$  и  $d_{10}$  – диаметры частиц, меньше которых в данном грунте содержится соответственно 60 и 10% частиц

**Если**  $C_u > 3$  – **неоднородный**  
 $C_u \leq 3$  – **однородный**

## **Структурные связи между частицами грунта**

Связи между частицами и агрегатами частиц в грунте называют **структурными связями**

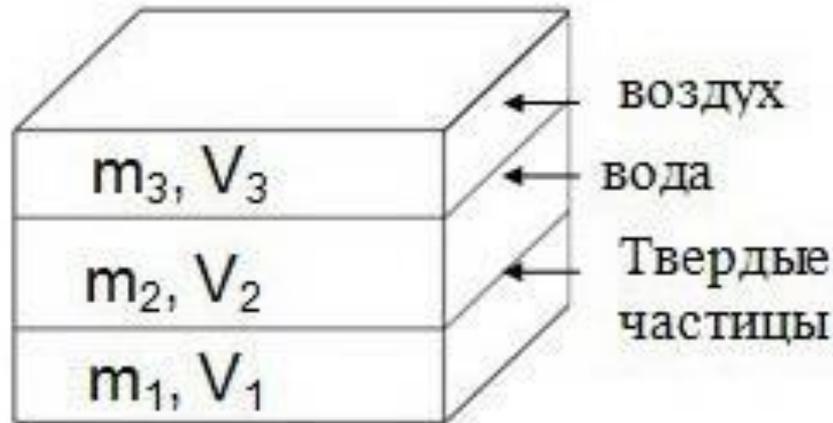
- **Кристаллизационные** – энергия которых соизмерима с внутрикристаллической энергией атомов; присущи скальным грунтам, которые обладают высокой прочностью и малой деформируемостью; при разрушении связи не восстанавливаются.
- **Механические** (внутреннее трение грунта) – силы трения соприкасающихся частиц сыпучих грунтов; эти силы тем больше, чем менее окатаны зерна в грунте.
- **Физико-химические** (водно-коллоидные) – определяются электростатическими силами взаимного притяжения и отталкивания между твердыми частицами и ионами поровой воды в глинистых грунтах.
- **Физические** – обусловлены действием физических полей (гравитационного, магнитного и др.).
- **Криогенные** – кристаллизационные связи, возникающие во влажных грунтах при отрицательной температуре в результате цементирования их льдом; свойственны мерзлым грунтам.
- **Цементационные** – возникают в результате уплотнения грунта

# Основные физические характеристики грунтов

Правила отбора, упаковки и транспортировки образцов грунта, а также методики определения их физических характеристик регламентируются гостами

ГОСТ 30416 – 2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения»

ГОСТ 5180 – 2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»



$$M = m_1 + m_2 + m_3$$
$$V = V_1 + \underbrace{V_2 + V_3}_{V_{\text{пор}}}$$

The diagram shows the mass  $M$  and volume  $V$  of a soil sample. The mass  $M$  is the sum of the masses of the three components:  $m_1$  (solid particles),  $m_2$  (water), and  $m_3$  (air). The volume  $V$  is the sum of the volumes of the three components:  $V_1$  (solid particles),  $V_2$  (water), and  $V_3$  (air). The volume  $V_2 + V_3$  is grouped together and labeled as  $V_{\text{пор}}$  (pore volume). An arrow points from the  $m_3$  term in the first equation to the number 0 above it.

- Плотность грунта

$$\rho = \frac{M}{V}, \frac{г}{см^3} = \frac{т}{м^3}$$

Определяется лабораторным путем

- Плотность твердых частиц

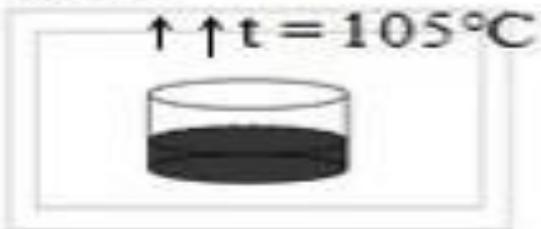
$$\rho_s = \frac{m_1}{V_1}$$

Определяется лабораторным путем

- Влажность грунта

$$W = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100, \% \text{ или } \underline{д.ед.}$$

Определяется лабораторным путем

| Усл. обозначение | Ед. измерения     | Метод   | Определение              | Расчетная формула   |
|------------------|-------------------|---|--------------------------|---|
| $W$              | Доли ед.          | Высушивания проб<br>                                    | $\frac{m_{\omega}}{m_s}$ | $\frac{M - m_d}{m_d}$   |
| $\rho$           | г/см <sup>3</sup> | Режущего кольца<br>                                     | $\frac{M}{V}$            | $\frac{M}{V}$   |
|                  |                   | Парафинирования<br>(гидростатического взвешивания)<br> |                          | $\frac{M}{\frac{(m_1 - m_2)}{\rho_{\omega}} - \frac{(m_1 - M)}{\rho_{\text{пар}}}}$ |

|          |                   |   |                   |                                      |
|----------|-------------------|---|-------------------|--------------------------------------|
| $\rho_s$ | Г/см <sup>3</sup> | пикнометр<br> | $\frac{m_s}{V_s}$ | $\frac{m_d}{m_d + m_3 - m_4} \rho_w$ |
|          |                   | Пикнометрический  |                   |                                      |

$m_d$  – масса высушенной пробы грунта

$m_1$  – масса образца, покрытого парафином

$m_2$  – масса образца, покрытого парафином и взвешенного в воде

$m_3, m_4$  – соответственно масса пикнометра с водой и пикнометра с водой и грунтом

$\rho_w, \rho_{par}$  – плотности воды и парафина соответственно равные 1 г/см<sup>3</sup> и 0,93 г/см<sup>3</sup>

- Плотность сухого грунта

$$\rho_d = \frac{m_1}{V} = \frac{\rho}{1 + w}$$

- Удельный вес грунта

$$\gamma = \rho \cdot g, \frac{\text{кН}}{\text{м}^3}, g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{сек}^2}$$

- Удельный вес твердых частиц

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g$$

- Удельный вес сухого грунта

$$\gamma_d = \rho_d \cdot g$$

- Пористость грунта

$$n = \frac{V_{пор}}{V} = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}; \text{ \%}, \text{ } \partial . e \partial .$$

- Относительное содержание в грунте твердых частиц

$$m = \frac{V_1}{V}; \text{ \%}, \text{ } \partial . e \partial .$$

$$n + m = 1 (100 \text{ \%})$$

$$m = 1 - n$$

- Коэффициент пористости

$$e = \frac{n}{m} = \frac{V_{пор}}{V_1}, \text{ д.ед.}$$

- Влагоемкость грунта – влажность, соответствующая полному водонасыщению грунта, когда все поры заполнены водой.

$$w_{sat} = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s}$$

$\rho_w$  - плотность воды;  $\rho_w = 1 \text{ г/см}^3$

- Коэффициент водонасыщения

$$S_r = \frac{W}{W_{sat}}$$

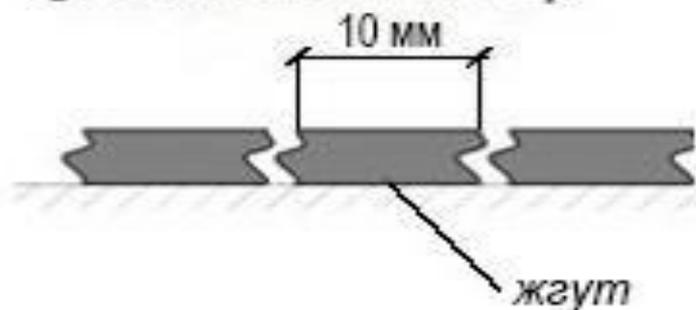
- Число пластичности грунта

$$I_P = W_L - W_P$$

$W_L$  – влажность на границе текучести, при которой стандартный конус погружается в грунт на 10 мм за 5 сек (верхний предел пластичности);

$W_P$  – влажность на границе раскатывания, при которой грунт раскатывается на жгуты  $d=3$ мм, длиной 3 – 10 мм (нижний предел пластичности)

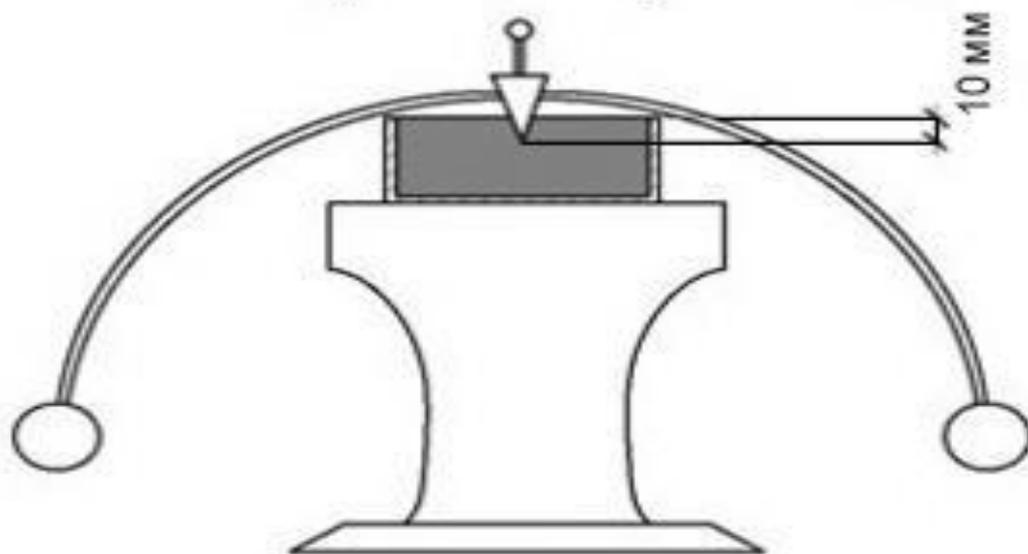
Граница пластичности  
(раскатывания)  $W_p$



Число пластичности:

$$I_p = W_L - W_p$$

Граница текучести  $W_L$

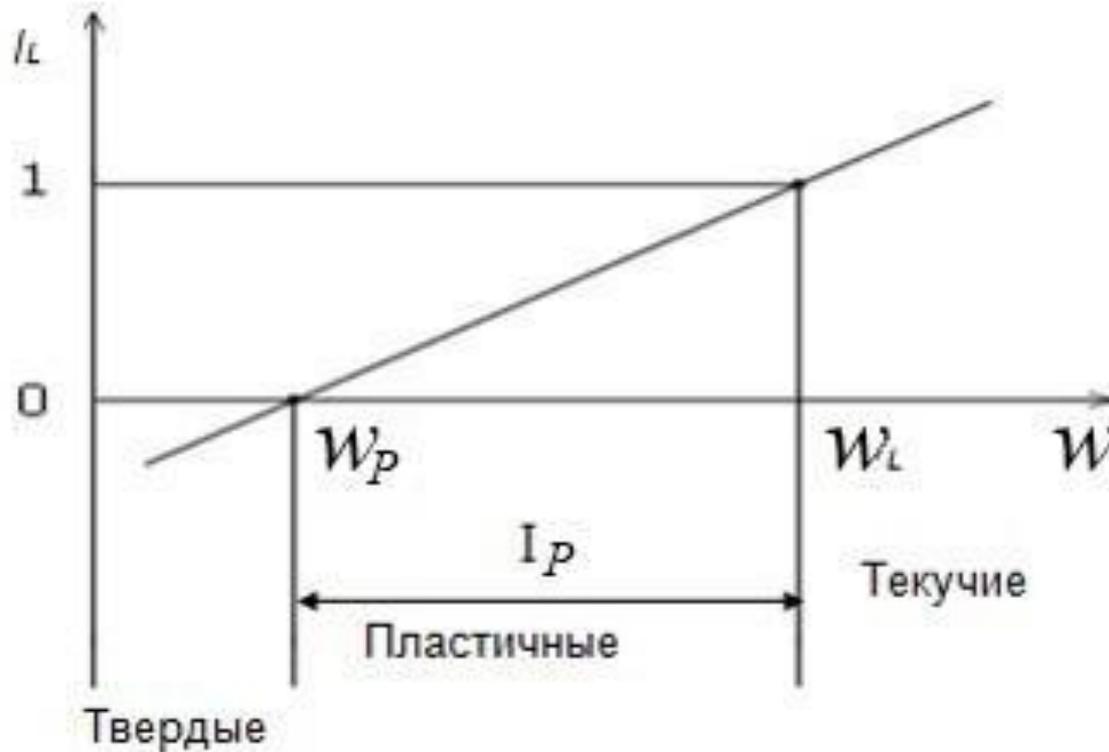


Балансирный конус  
А.М. Васильева

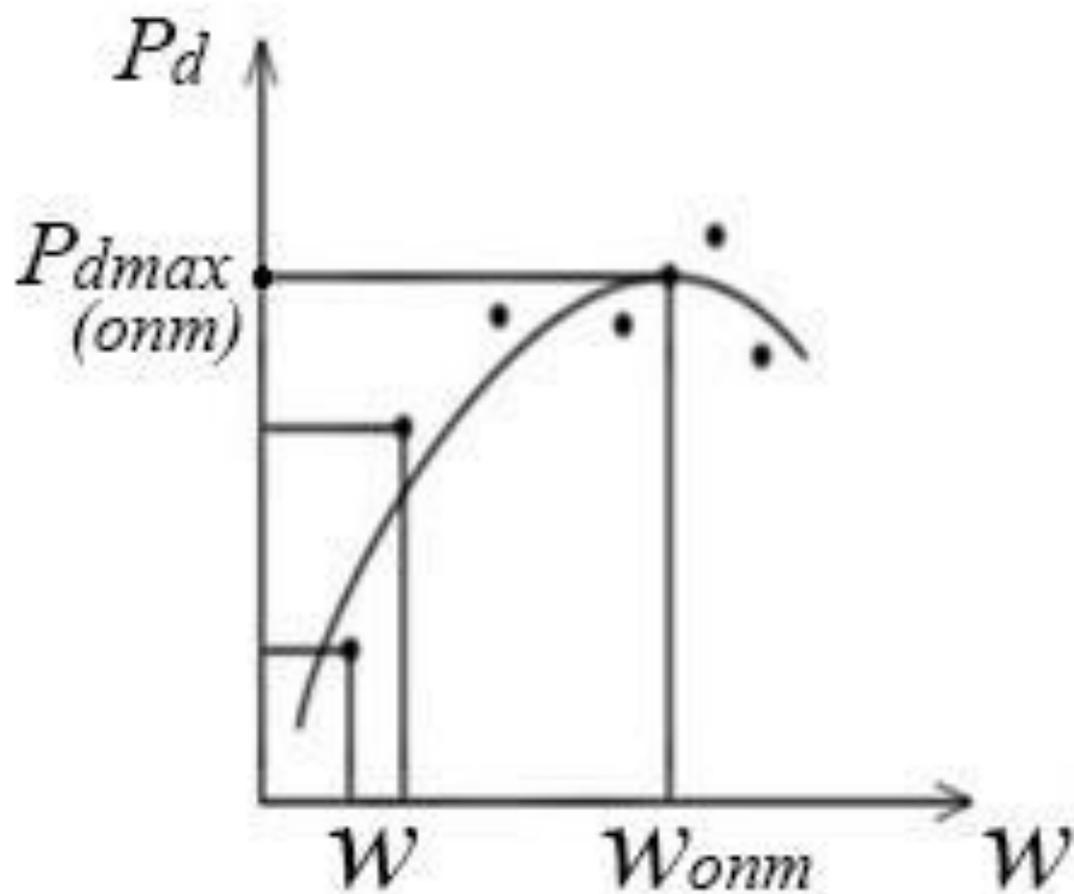
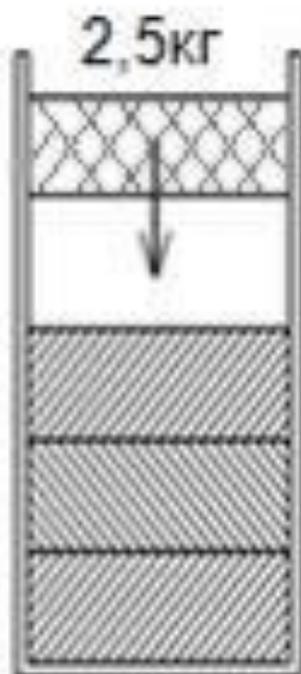


# Показатель текучести

$$I_L = \frac{w - w_P}{w_L - w_P}$$



# Максимальная (оптимальная) плотность грунта



*Грунт в 3 слоя уплотняется равным числом ударов (по 30 – 40 ударов на каждый слой) в приборе стандартного уплотнения.*

*Определяется  $\rho_d$  (плотность сухого грунта). Затем грунт заменяют на грунт большей влажности и опыт повторяют.*

*Строится зависимость  $\rho_d$  от  $w$*

*В процессе уплотнения грунта для контроля определяется коэффициент стандартного уплотнения*

$$K_s = \frac{\rho_d}{\rho_{d \max}} = 0,80 \div 0,95$$

# Классификация грунтов по ГОСТ 25100 – 2011

## ● Классификация грунтов построена по принципу:

Класс (подкласс) – по структурным связям.

Тип (подтип) – по происхождению.

Вид (подвид) - по вещественному составу.

Разновидности – по составу, свойствам и структуре грунтов.

## Основные классы грунтов.

- Скальные - это грунты с жесткими (кристаллизационными и цементационными) структурными связями.
- Дисперсные – это грунты с физико-химическими (водно-коллоидными), физическими и механическими структурными связями.
- Мерзлые – это грунты с криогенными структурными связями.

# Классификация крупнообломочных грунтов

*По гранулометрическому составу:*

| Разновидности грунтов     | Размер частиц, $d$ , мм | % содержание частиц |
|---------------------------|-------------------------|---------------------|
| <b>Крупнообломочные:</b>  |                         |                     |
| Валунный (глыбовый)       | $>200$                  | $>50$               |
| Галечниковый (щебенистый) | $>10$                   | $>50$               |
| Гравийный (дресвяный)     | $>2$                    | $>50$               |

## ***По коэффициенту водонасыщения***

$0 < S_r \leq 0,5$  – малой степени влажности  
(маловлажные);

$0,5 < S_r \leq 0,8$  – средней степени влажности  
(влажные);

$0,8 < S_r \leq 1,0$  – насыщенные водой

## Классификация песчаных грунтов

*Песок - несвязный грунт с числом пластичности  $I_p < 1\%$*

*По гранулометрическому составу*



| Разновидности грунтов | Размер частиц, $d$ , мм | % содержания частиц |
|-----------------------|-------------------------|---------------------|
| <b>Пески:</b>         |                         |                     |
| Гравелистый           | $>2$                    | $>25$               |
| Крупный               | $>0,5$                  | $>50$               |
| Средней крупности     | $>0,25$                 | $>50$               |
| Мелкий                | $>0,10$                 | $>75$               |
| Пылеватый             | $>0,10$                 | $<75$               |

Наименование грунта определяется по принципу: Сверху вниз по первому удовлетворяющему требованию.

***По коэффициенту водонасыщения***  
(аналогично крупнообломочным)

***По степени неоднородности***

- $C_u > 3$  – неоднородный
- $C_u \leq 3$  – однородный

# Классификация глинистых грунтов

**Глинистый грунт** – связный грунт, состоящий в основном из пылеватых и глинистых частиц, число пластичности грунта  $\geq 1\%$

## По числу пластичности

$I_p = 1 - 7$  – супесь

$I_p = 7 - 17$  – суглинок

$I_p > 17$  – глина

## По содержанию в грунте глинистых частиц $d < 0,002$ мм

$< 3\%$  – песок

3 – 10 % – супесь

10 – 30 % – суглинок

$> 30\%$  – глина

## ***По показателю текучести (Для супесей)***

$I_L < 0$  – твердые

$I_L = 0 \div 1$  – пластичные

$I_L > 1$  – текучие

## ***(Для суглинков и глин)***

$I_L < 0$  – твердые

$I_L = 0 \div 0,25$  – полутвердые

$I_L = 0,25 \div 0,5$  – тугопластичные

$I_L = 0,5 \div 0,75$  – мягкопластичные

$I_L = 0,75 \div 1,0$  – текучепластичные

$I_L > 1$  – текучие