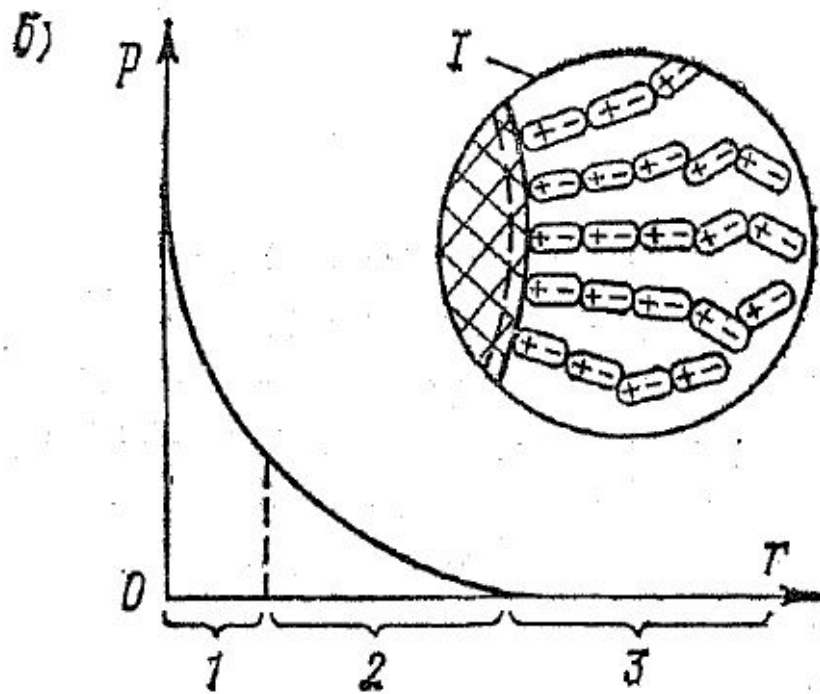
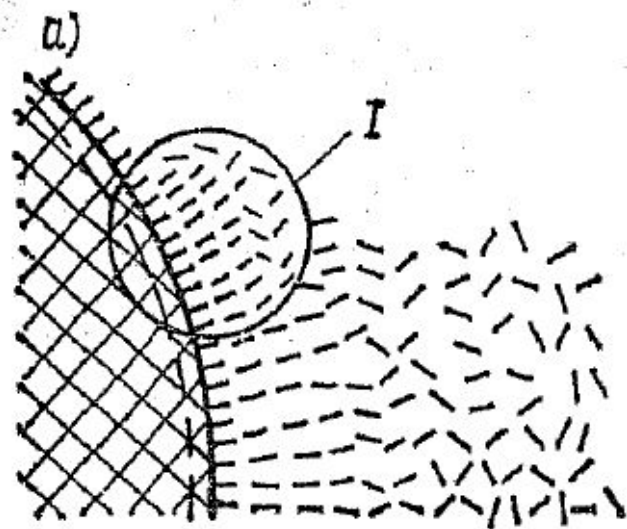


№ п/п	Наименование частиц	Поперечный размер (мм)
1	Галечные (щебень)	$> 10$ (20)
2	Гравистые	$2 \div 10$ (20)
3	Песчаные	$0,05 \div 2$
4	Пылеватые	$0,005 \div 0,05$
5	Глинистые	$< 0,005$

## Классификация грунтов (простейшая).

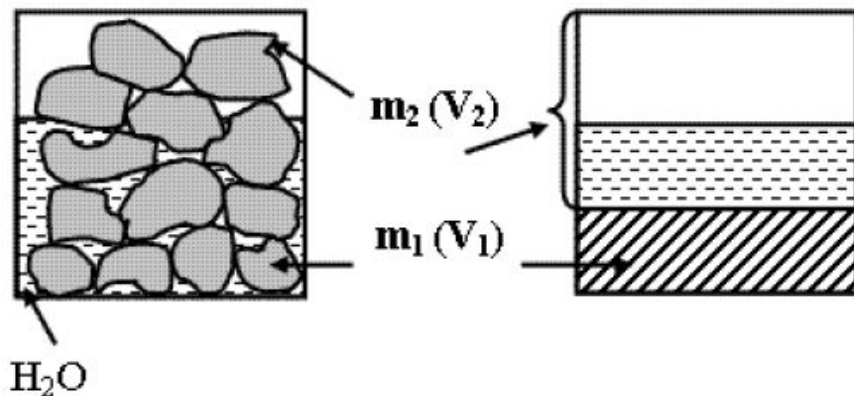
№ п/п	Наименование грунта	Содержит частиц < 0,005 (%)	Число пластичности $J_p$
1	Глины	> 30	> 0,17
2	Суглинок	10 ÷ 30	0,07 ÷ 0,17
3	Супесь	3 ÷ 10	0,01 ÷ 0,07
4	Песок	< 3	Не пластичный



# Характеристики физических свойств грунтов.

Для оценки строительных свойств грунтов пользуются рядом его характеристик.

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



$V_1$  – объем твердых частиц грунта

$m_1$  – масса твердых частиц грунта;  
 $m_2$  – масса воды в порах (массу воздуха не учитываем)

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

# I<sup>ая</sup> группа характеристик, определяемых опытным путем

1

Плотность грунта  
ненарушенной (естественной)  
структуры

$$\rho = \frac{\text{масса}}{\text{объем}} = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2} \quad (\text{т/м}^3)$$

Удельный вес  
грунта

$$\gamma = \rho \cdot q \quad (\text{кН/м}^3)$$

[15...22 кН/м<sup>3</sup>]

2

Плотность твердых частиц  
грунта

$$\rho_s = \frac{\text{масса минер. част.}}{\text{объем минер. част.}} = \frac{m_1}{V_1} \quad (\text{т/м}^3)$$

Удельный вес  
твердых частиц

$$\gamma_s = \rho_s \cdot q \quad (\text{кН/м}^3)$$

[25...28 кН/м<sup>3</sup>]



### 3 Весовая влажность грунта

$$W = \frac{\text{масса воды}}{\text{масса минер. частиц}} = \frac{m_2}{m_1} \% \text{ (изменяется в широких пределах и особенно важна для глинистых грунтов)}$$

## II<sup>ая</sup> группа характеристик, определяемых расчетами

### 1 Плотность сухого грунта                      Удельный вес сухого грунта

$$\rho_c = \frac{\text{масса минер. частиц}}{\text{объем грунта}} = \frac{m_1}{V_1 + V_2} \text{ (т/м}^3\text{)} \quad \gamma_c = \rho_c \cdot g \text{ (кН/м}^3\text{)}$$

[10...19 кН/м<sup>3</sup>]

$$W = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\rho - \rho_c}{\rho_c} ; \text{ отсюда}$$

$$\rho_c = \frac{\rho}{1 + W}$$

(1)

## 2. Пористость грунта

$$\Pi = \frac{\text{объем\_пор}}{\text{весь\_объем}} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \cdot 100\%$$

$$n + m = 1$$

## 3. Коэффициент пористости грунта



$$e = \frac{n}{m} \quad (0,5 \dots 1)$$

Если обозначить:

**n**- объем пор в единице объема грунта;  
**m**- объем твердых частиц в единице объема грунта

$$m = \frac{\rho_c}{\rho_s} \quad \text{тогда} \quad e = \frac{1-m}{m} = \frac{1 - \frac{\rho_c}{\rho_s}}{\frac{\rho_c}{\rho_s}} = \frac{\rho_s - \rho_c}{\rho_c} \quad (2)$$

$$e = \frac{n}{m} = \frac{n}{1-n} \quad n = \frac{e}{1+e} \quad (3) \quad m = \frac{1}{1+e} \quad (4)$$

## Характеристики физического состояния грунтов.

### 1. Коэффициент водонасыщения грунта (степень влажности).

$$G = \frac{\text{природная \_ влажность}}{\text{влажн. \_ при \_ полном \_ заполнении \_ пор \_ водой}} =$$

$$= \frac{W}{W_o(\text{полная \_ влагоемкость})}$$



$W_0$  – влажность, при которой все поры заполнены водой

$$W_0 - ? \quad W_0 = \frac{\text{масса воды в об. пор}}{\text{масса тв. частиц}} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{n \cdot \rho_w}{m \cdot \rho_s} = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s}$$

$$W_0 = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s} \quad (5) \quad W_0 = \frac{e}{\rho_s} \quad e = W_0 \cdot \rho_s \quad (6) \quad G = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} \quad (7)$$

$$0 \leq G \leq 1$$

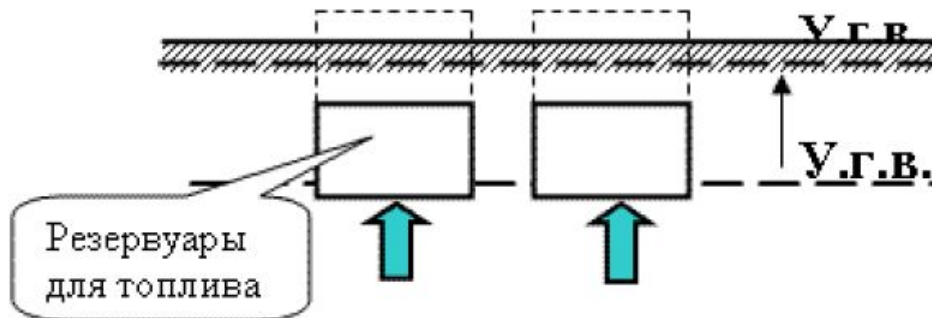
при  $G = 0$   
 $G = 1$

} 2<sup>x</sup> фазная система

$0 \leq G \leq 1$       3<sup>x</sup> фазная система

Для песчаных грунтов,  
согласно СНиП 2.02.01-83\*  
 **$G \leq 0,5$  – маловлажные**  
 **$0,5 < G \leq 0,8$  – влажные**  
 **$0,8 < G \leq 1$  – насыщенные**

Если грунт находится в природном состоянии ниже уровня грунтовых вод, то на него будет действовать взвешивающее действие воды ( $H_2O$ ).



Выталкивающая сила (по закону Архимеда)

Взвешивающие действия будут испытывать частицы грунта  
У.Г.В.  $(\gamma_s - \gamma_w)$  – вес твердых частиц

$$\gamma_o^{B3B} = (\gamma_s - \gamma_w)(n - 1)$$

$$\gamma_o^{B3B} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} \quad (8)$$

## Коэффициент относительной плотности (индекс плотности)

$$D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (9)$$

$e_{\max}$  – коэффициент пористости грунта в max рыхлом его состоянии

$e_{\min}$  – коэффициент пористости грунтов в min рыхлом его состоянии

$e$  – коэффициент пористости грунтов в естественном состоянии

Если

$1/3 < D \leq 2/3$  – средняя плотность

$2/3 < D \leq 1$  – плотное состояние

$0 \leq D \leq 1/3$  – рыхлое состояние

}  $R \approx 0,25$  МПа  
}  $R \approx 0,5$  МПа  
}  $R \approx 0$  (строить нельзя)

**В полевых условиях плотность грунтов часто определяют методом зондирования (пенетрации).**

3. Критерием физического состояния глинистых грунтов является ( $J_p ; J_L$ ) (обозначения по СНиП 2.02.01 – 83\*)

число пластичности -  $J_p$

$$J_p = W_L - W_p \quad (10)$$

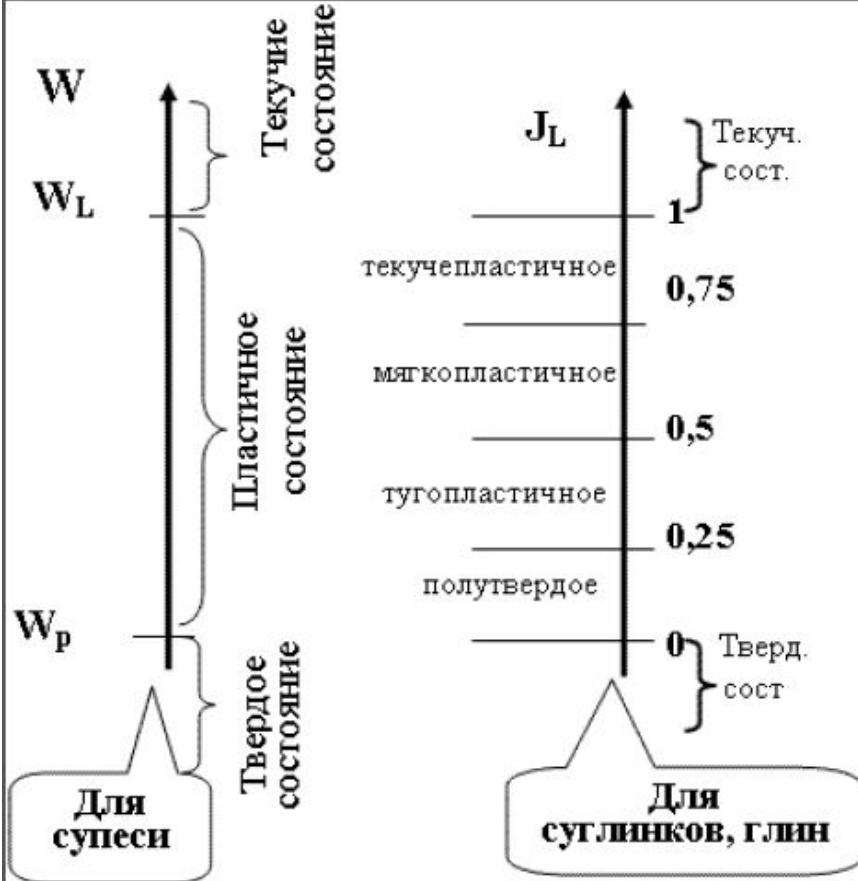
показатель текучести –  $J_L$

$$J_L = (W - W_p) / (W_L - W_p) \quad (11)$$

$W_L$  - граница текучести соответствует такой влажности, при незначительном увеличении которой, грунт переходит в текучее состояние.

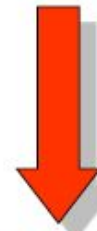
$W_p$  - граница раскатывания соответствует такой влажности, при незначительном уменьшении которой, грунт переходит в твердое состояние.





По величине  $e$  и  $J_L$  в СНиП приводятся величины расчетного сопротивления грунтов, т.е. оцениваются их прочностные свойства, необходимые для возведения сооружения.

### Практическое применение:



От  $J_L$  - зависит расчетное сопротивление грунта нагрузкам -  $R$  (см. табл. СНиП 2.02.01-83\*)

$J_L < 0$	$R \approx 4 \text{ кг/см}^2 = 0,4 \text{ МПа}$
$0 < J_L < 1$	$R \approx 0,2 \text{ МПа}$
$J_L > 1$	$R \approx 0$ (строить практически невозможно)



# Механические свойства грунтов.

*Механическими называются те свойства грунтов, которые характеризуют их поведение под нагрузкой.*

Все механические характеристики грунта делятся на 3 группы:

I гр. – для оценки деформационных 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.**

**$K_{\text{ф}}$**  – коэффициент фильтрации  $\left(\frac{\text{см}}{\text{сек.}}\right) \left(\frac{\text{м}}{\text{сут.}}\right)$

**$I$**  – гидравлический градиент

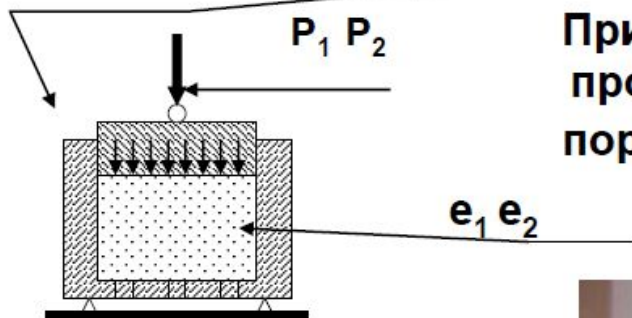
**III гр. – для оценки прочностных свойств грунтов.**

**$\varphi$**  - угол внутреннего трения (град.).

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

**Для определения деформативных свойств грунтов  
проводятся компрессионные испытания.**

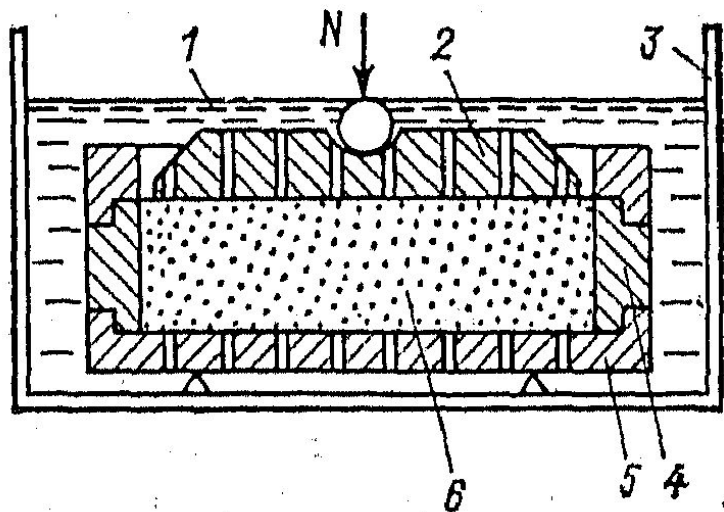
Исследуем грунт ненарушенной структуры, помещая его в одометр



Прикладываем нагрузку  $P_1$  -  
произойдет уплотнение грунта и коэф.  
пористости станет  $e_1$ . Нагрузка  $\rightarrow P_2$   $e_2$ .  
и т.д. (4 – 5 ступеней)

Общий вид  
компрессионного  
прибора



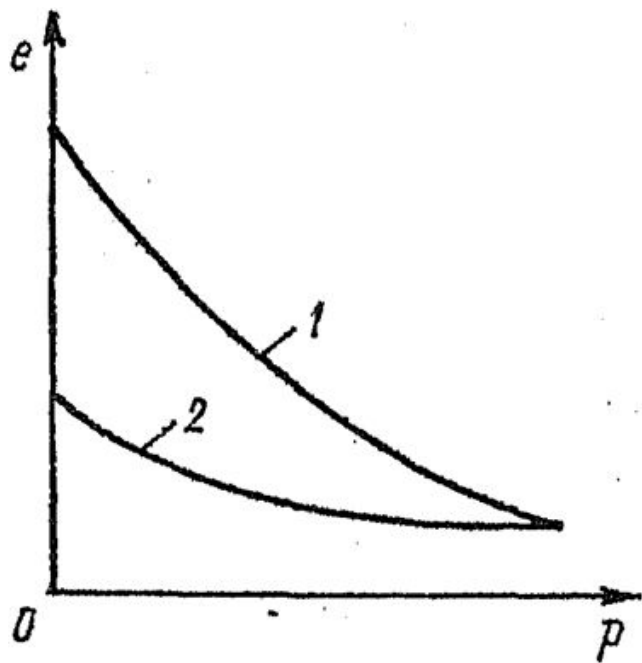


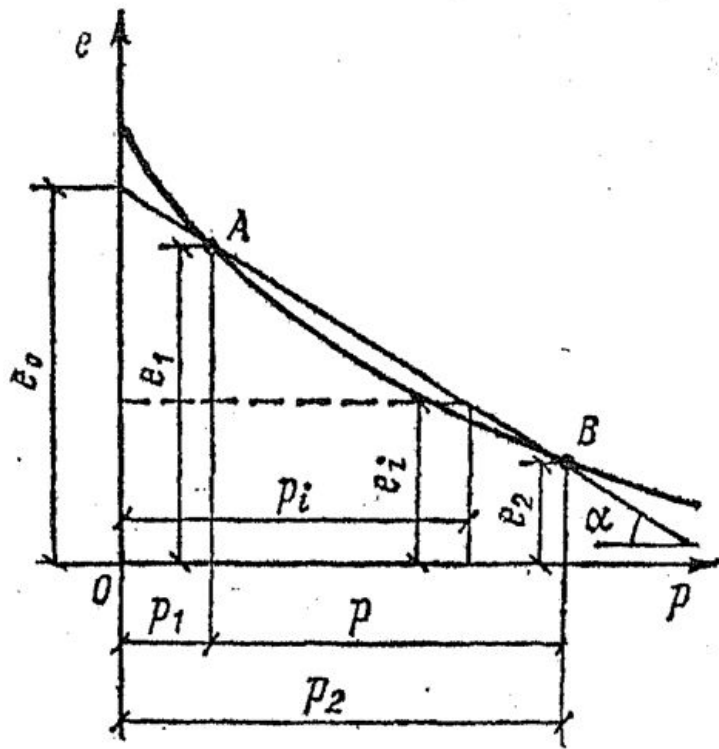
$$\Delta n_i = s_i A / h A = s_i / h,$$

$$m = 1 / (1 + e_0)$$

$$\Delta e_i = (1 + e_0) s_i / h.$$

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) s_i / h.$$





$$e_i = e_0 - p_i \operatorname{tg} \alpha.$$

$$\operatorname{tg} \alpha = m_0$$

$$m_0 = (e_1 - e_2)/(p_2 - p_1) = (e_1 - e_2)/p,$$

$$e_i = e_0 - m_0 p_i.$$

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) s_i / h$$

$$m_0 p_i = (1 + e_0) s_i / h$$

$$m_0 / (1 + e_0) = s_i / (h p_i)$$

$$m_v = s_i / (h p_i) = m_0 / (1 + e_0)$$

$$m_0 < 0,005$$

- грунт мало сжимаем

$$m_0 = 0,005 - 0,05$$

- грунт средне сжимаем

$$m_0 > 0,05 \text{ [МПа}^{-1}\text{]}$$

- грунт сильно сжимаем



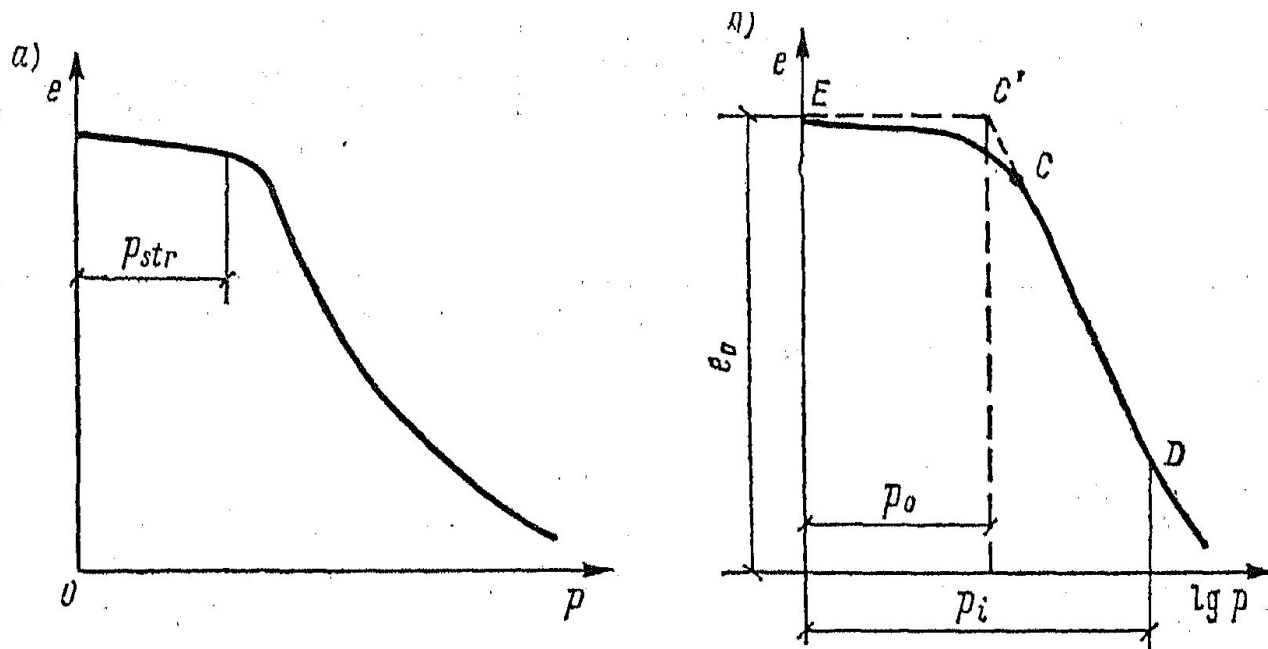


Рис. 2.3. Компрессионные кривые грунта, обладающего структурной прочностью, в простой (а) и полулогарифмической (б) системе координат

$$e_i = e_0 - C_c \lg (p_i/p_0)$$

$$de = - m_0 dp$$

$$\varepsilon_x = \sigma_x/E_0 - (\nu/E_0) (\sigma_u + \sigma_z)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = [\nu/(1 - \nu)] p = \xi p$$

$$\xi = \nu/(1 - \nu)$$

$$\varepsilon_z = \sigma_z/E_0 - (\nu/E_0) (\sigma_x + \sigma_y)$$

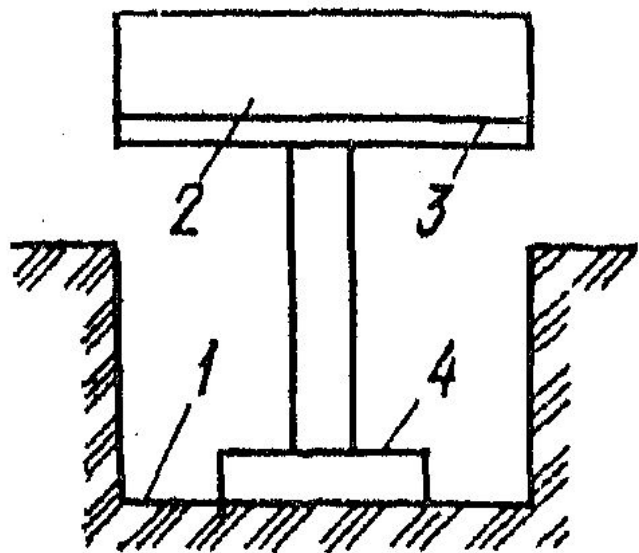
$$\varepsilon_z = s_i/h = m_v p$$

$$m_v p = \frac{p}{E_0} [1 - 2\nu^2/(1 - \nu)]$$

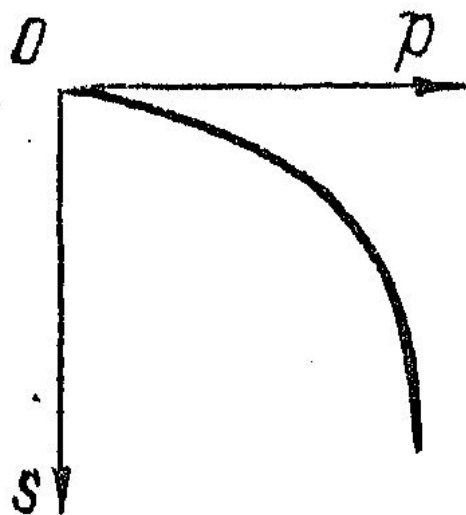
$$\beta = 1 - 2\nu^2/(1 - \nu)$$

$$m_v = \beta/E_0, \quad \text{или} \quad E_0 = \beta/m_v.$$

a)



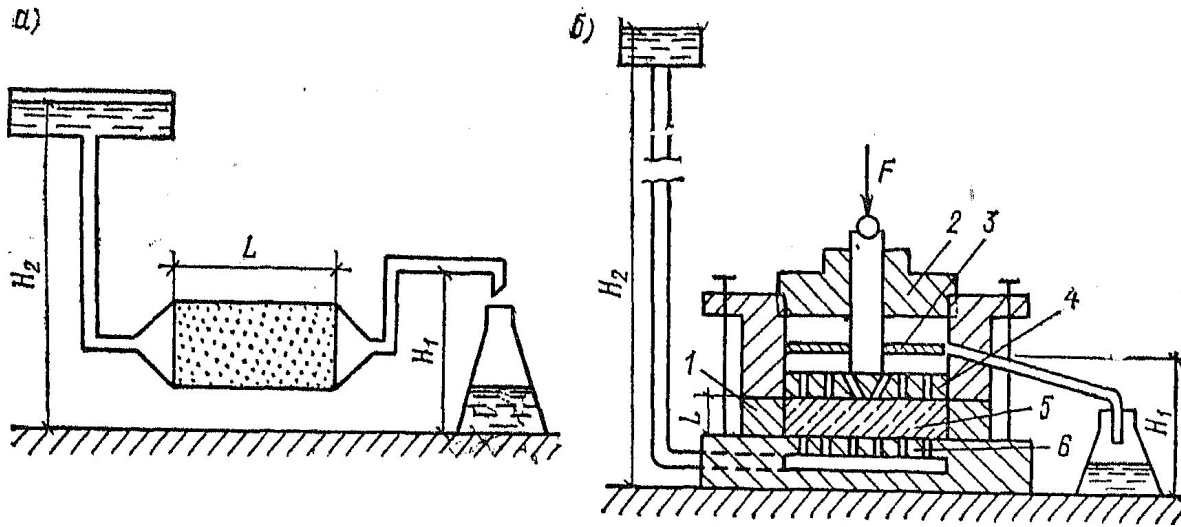
b)



$$S = \frac{\omega \cdot P \cdot \epsilon \cdot (1 - \mu^2)}{E_0}$$

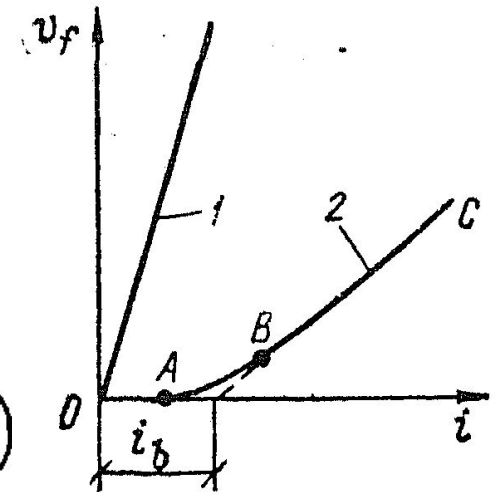
$$E_0 = \frac{\omega \cdot P \cdot \epsilon \cdot (1 - \mu^2)}{S}$$

# Водопроницаемость грунтов



Закон ламинарной фильтрации (Дарси)

$$v_f = k_f i \quad k_f = V / Ait$$



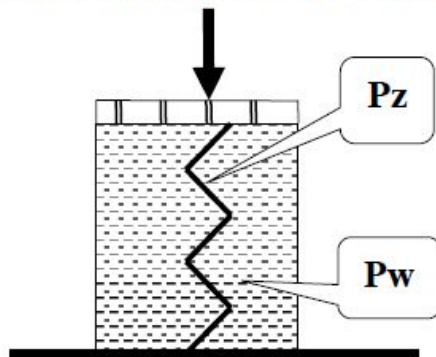
$$v_f = k'_f (i - i_b)$$

## 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

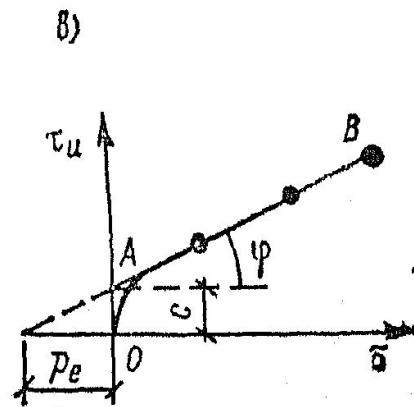
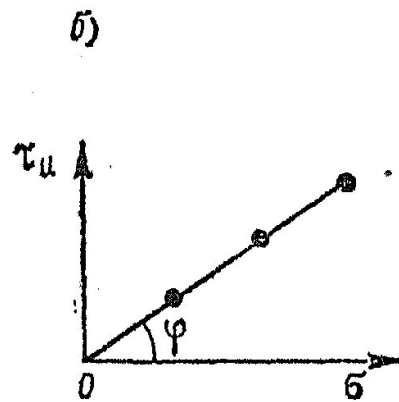
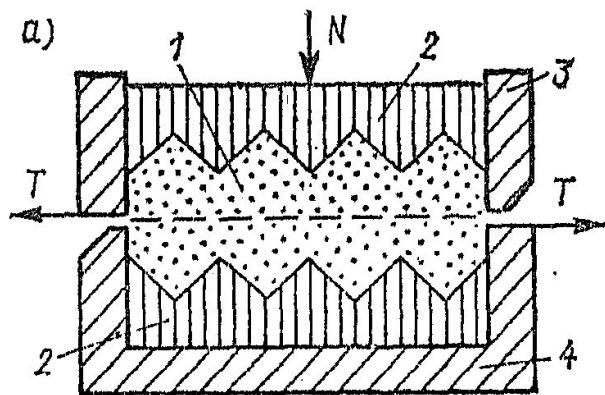


При  $t = 0$   $P = P_w$

При  $t = t_1$   $P = P_w + P_z$

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

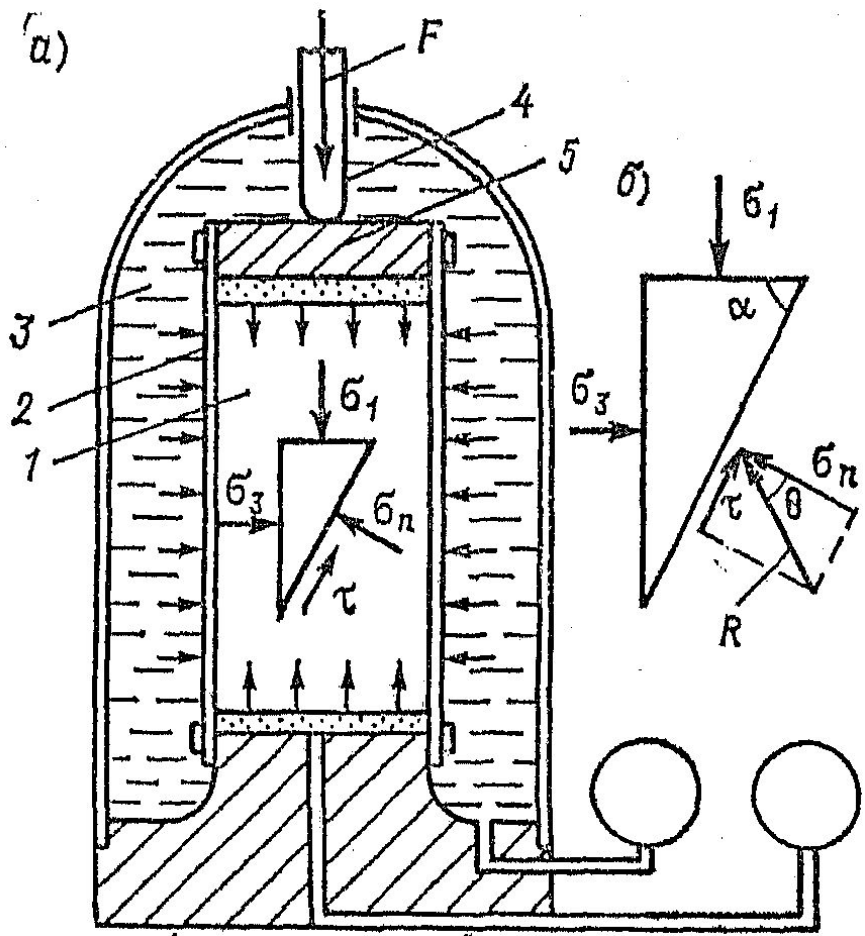


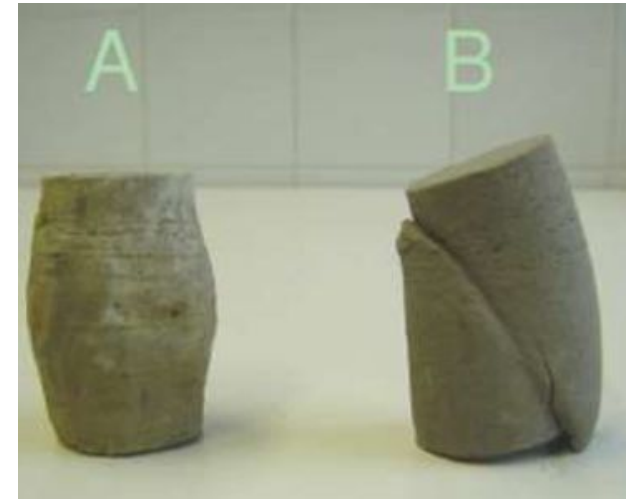
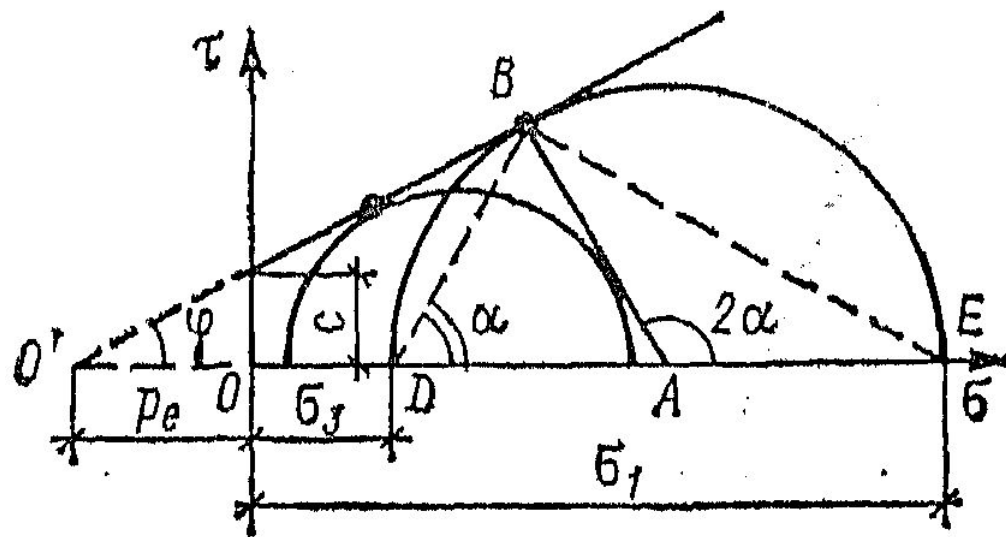


$$\tau_{ul} = \sigma_l \operatorname{tg} \varphi, \quad \tau_{ul} = c + \sigma_l \operatorname{tg} \varphi,$$

$$c = p_e \operatorname{tg} \varphi,$$

$$p_e = c / \operatorname{tg} \varphi = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi$$





$$AB = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$$

$$O'A = p_e + \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = p_e + (\sigma_1 + \sigma_3)/2$$

$$\sin \angle AO'B = AB/O'A = (\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3 + 2p_e)$$

$$\angle AO'B = \varphi$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 + \sigma_3 + 2p_e) = \sin \varphi$$