

д.т.н., проф. Мангушев Р.А.

## Лекция 4

Закон фильтрации поровой воды  
в грунте.

Закон сопротивления грунта сдвигу.

# Водопроницаемость грунтов

Закон Дарси:  $Q = k_f A I t$  (1)

$$I = (H_2 - H_1) / l \quad (2)$$

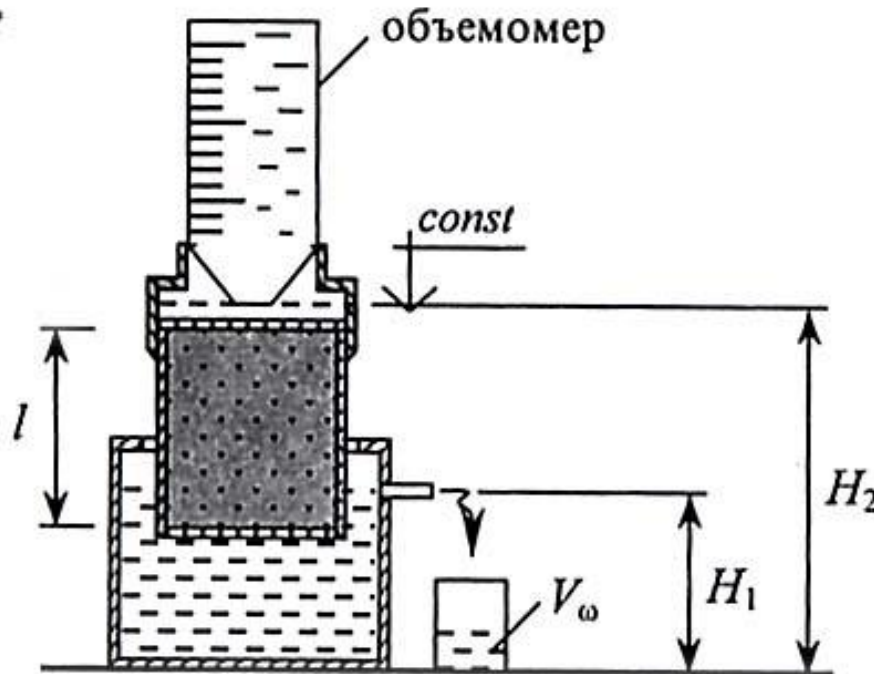
$$k_f = Q / A I t \quad (3)$$

$$V_f = k_f I \quad (4)$$

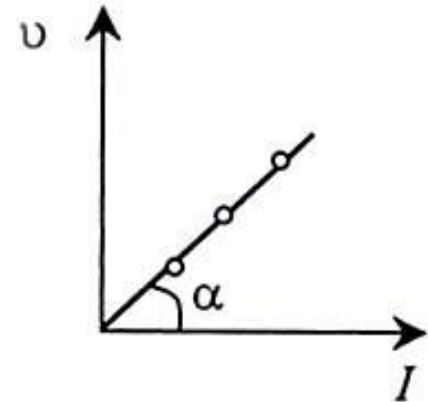


Песчаные грунты

$I = const$



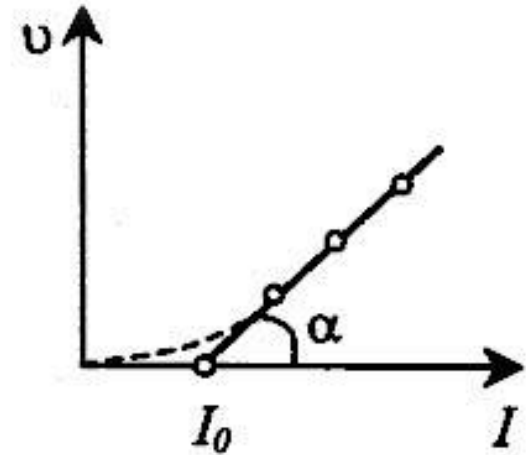
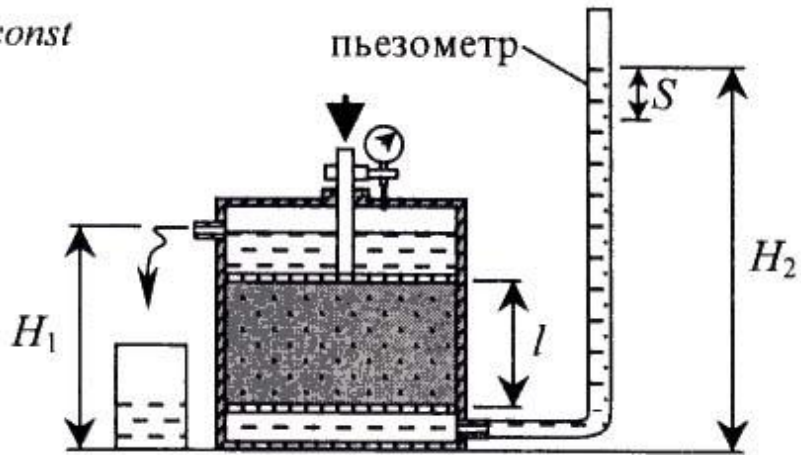
$$v = k_f I \quad (I_0 = 0)$$



# Глинистые грунты

Глинистые грунты

$I \neq const$



$$v = k_f (I - I_0)$$

$I_0$  - начальный градиент напора

# Коэффициенты фильтрации грунтов

$K_f$ , м / сут

пески  $K_f = 2 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-4}$  см/сек

супеси  $K_f = 2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-6}$  см/сек

суглинки  $K_f = 2 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-8}$  см/сек

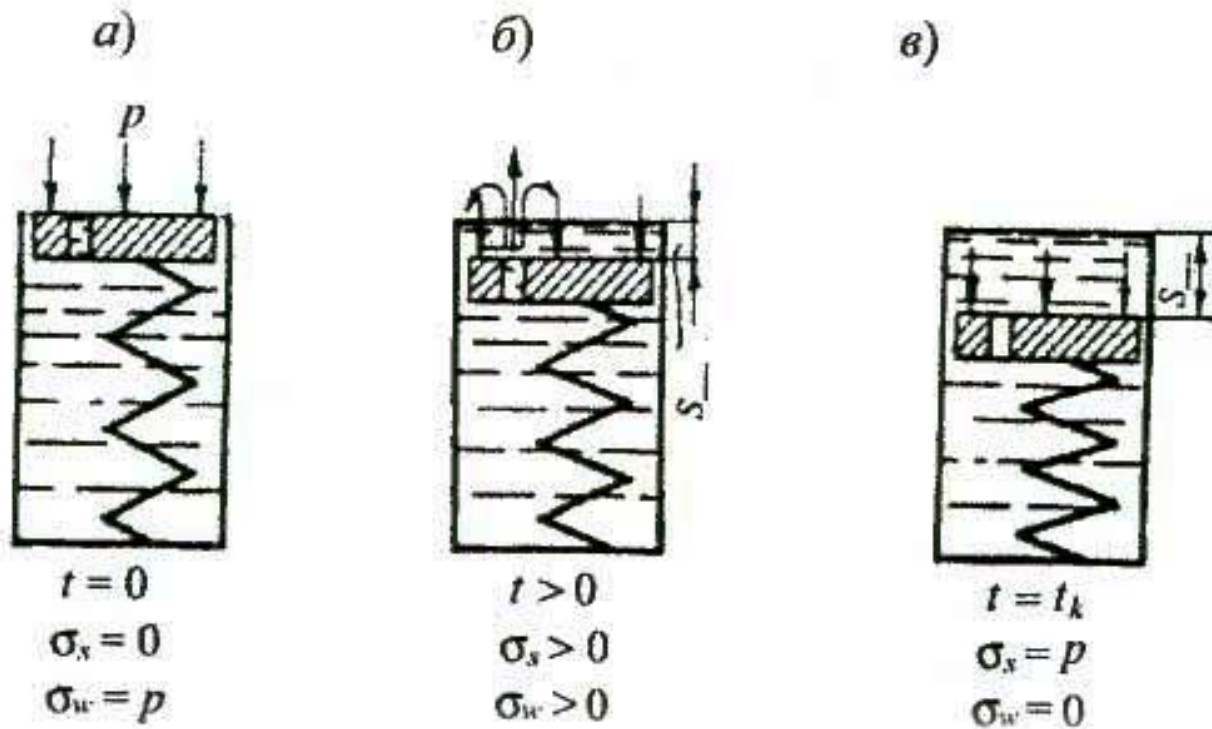
глины  $K_f = 2 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-10}$  см/сек

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| Галечниковый      | > 200       |
| Гравийный         | 100...200   |
| Песок:            |             |
| гравелистый       | 50...100    |
| крупный           | 25...75     |
| средней крупности | 10...25     |
| мелкий            | 2...10      |
| пылеватый         | 0,1...2     |
| Супесь            | 0,1...0,7   |
| Суглинок          | 0,005...0,4 |
| Глина             | < 0,005     |
| Торф              | 0,01...4    |

## Классификация грунтов по степени водопроницаемости по ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация»

| Грунт                       | $k_f$ , м/сут |
|-----------------------------|---------------|
| Неводопроницаемый           | < 0,005       |
| Слабоводопроницаемый        | 0,005...0,30  |
| Водопроницаемый             | 0,30...3      |
| Сильноводопроницаемый       | 3...30        |
| Очень сильноводопроницаемый | > 30          |

# Механическая модель сжатия водонасыщенного грунта



При  $0 < t < \infty$   $\sigma_w + \sigma_z = P;$

$\sigma_z \equiv \sigma_d;$   $\sigma_w + \sigma_d = P$  ИЛИ  $\sigma_d = P - \sigma_w$

# Схема развития напряжений и деформаций при загрузении основания

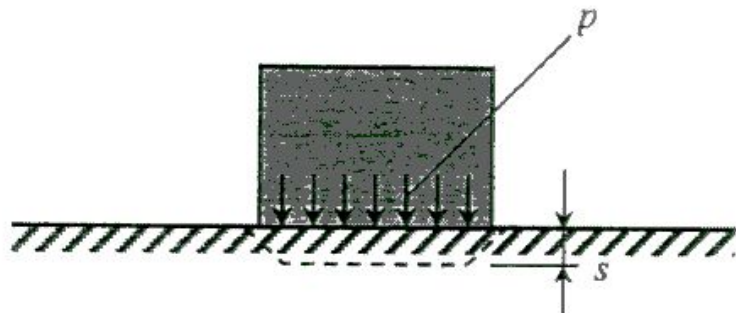
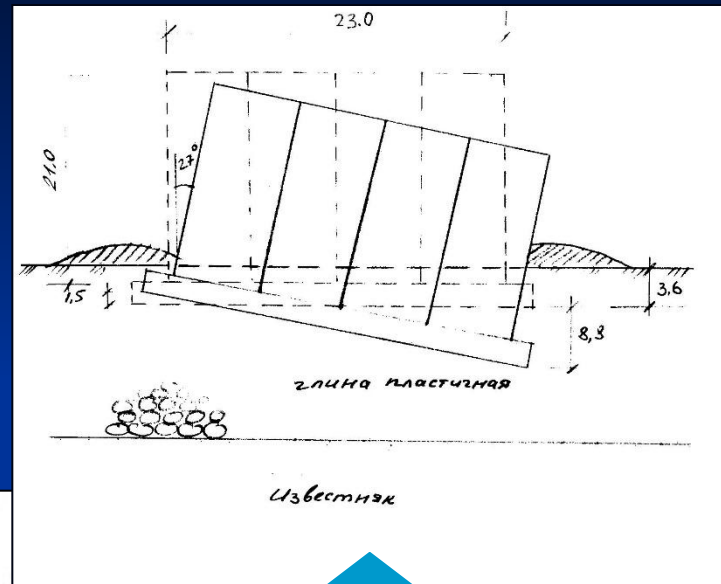
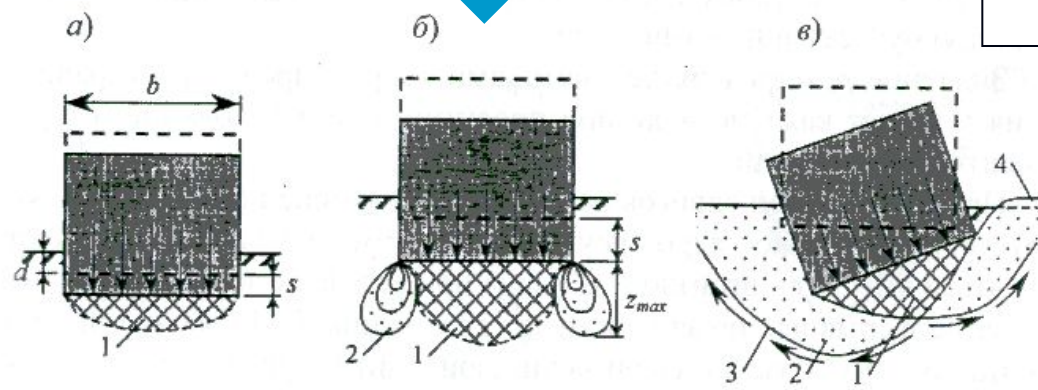


Схема передачи нагрузки на основание



Известняк



Схемы развитие деформаций в основании под подошвой жесткого штампа:

- $a$  – фаза упругих деформаций;  $b$  – фаза уплотнения и местных сдвигов;
- $в$  – фазы развития интенсивных сдвигов и выпора.
- $1$  – зона уплотнения;  $2$  – зона пластических деформаций;  $3$  – поверхности скольжения;  $4$  – выпор грунта



# Потеря устойчивости откоса (пос. Войскорово, Лен.область)





# Разрушение зданий оползнем в районе г. Варны (Болгария, 1997)



- Оползень скольжения слоев суглинка из-за водонасыщения вышележащих песчаных грунтов основания ливневыми и паводковыми водами.





Slope failure of a main highway  
(1 week before Christmas)





**Original ground below the highway embankment:  
Silty clay with residual strength  $\phi_r = 7^\circ$**



# Графоаналитические методы расчетов откосов произвольной формы

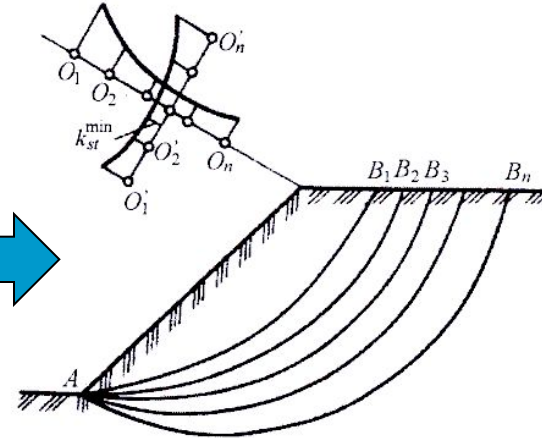
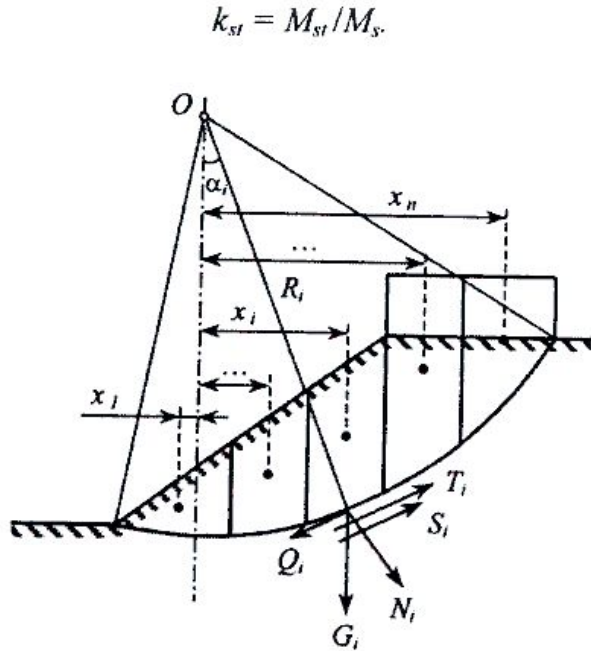


Схема для определения центра вращения наиболее опасной поверхности скольжения

Рис. 6.15. Схема к расчету устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения

$$k_{st} = (R \sum N_i \operatorname{tg} \varphi_{li} + R \sum c_i l_i) / (R \sum T_{i,sv}) \geq k_{st.u.}$$

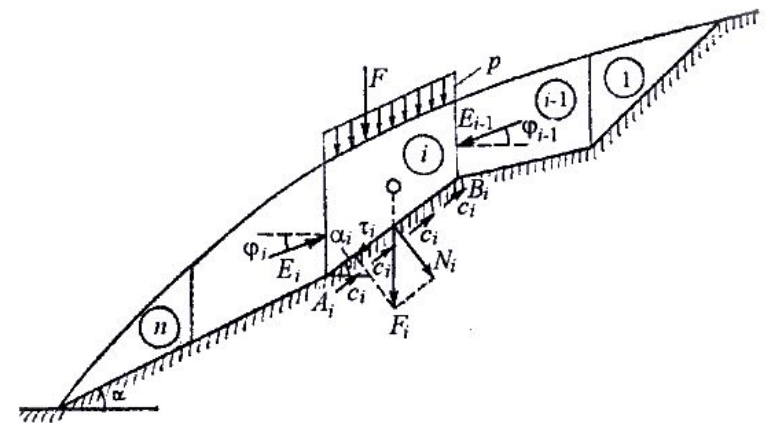
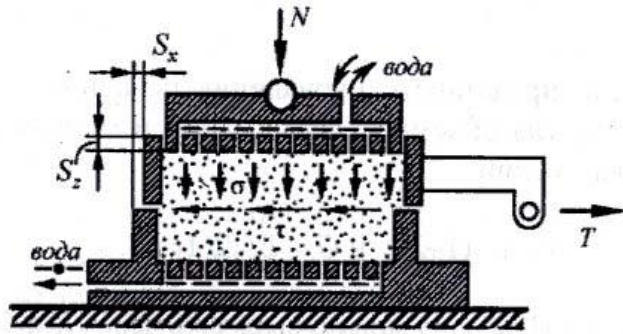


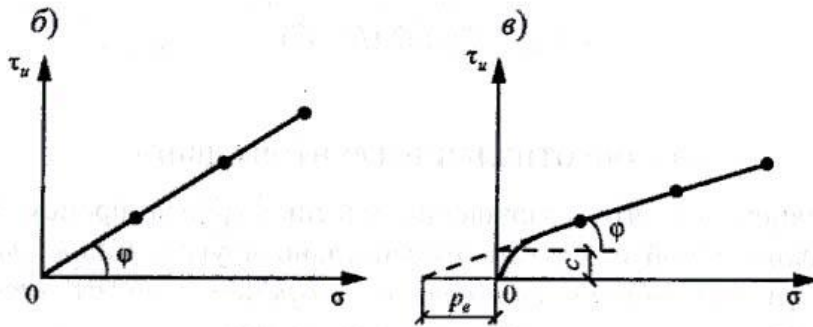
Рис. 6.16. Схема к расчету устойчивости прислоненных откосов



# Закон сопротивления грунта сдвигу (закон Кулона)



Сопротивление грунта сдвигу есть функция первой степени от нормального давления при консолидированном (состоянии грунта).



$$\tau_u = T_u / A$$

$$\sigma = N / A$$

$p_e$  – давление связности

$$\tau_u = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

$$\tau_u = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

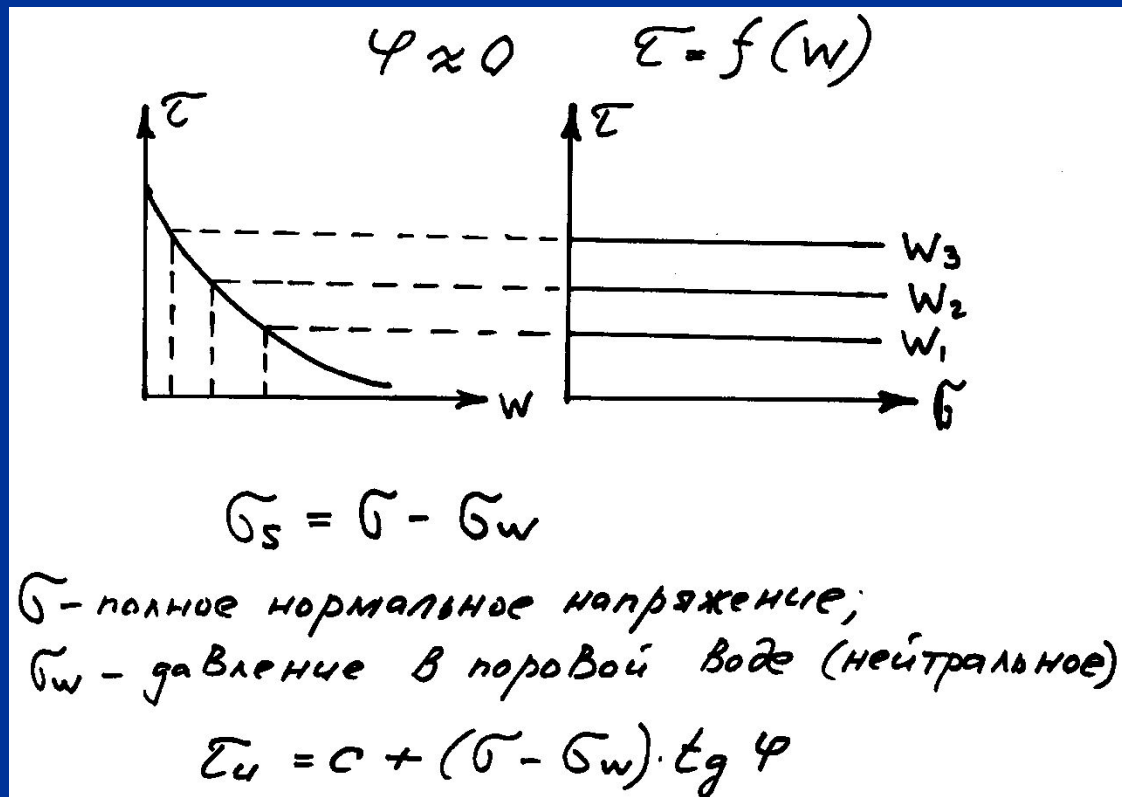
$$c = p_e \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

$$p_e = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi} = c \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (4)$$

- Для сыпучих грунтов (песков)  
 $\varphi = 24^\circ - 40^\circ$  (мелкие – крупные)
- Для глинистых грунтов  $\varphi = f(W) = 0 - 45^\circ$

**$\varphi$  - определяет прочность грунта**

Сопротивление сдвигу неконсолидированных грунтов



# Сопротивление грунтов при трехосном сжатии

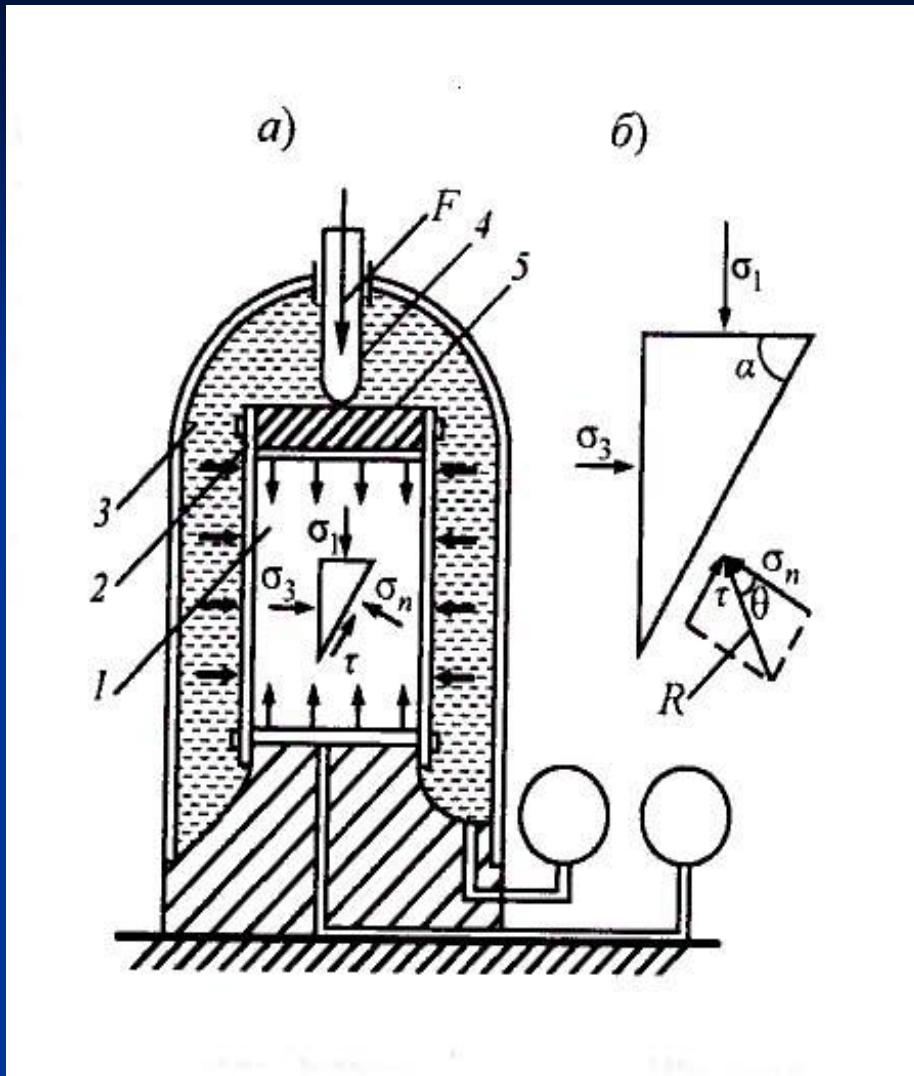
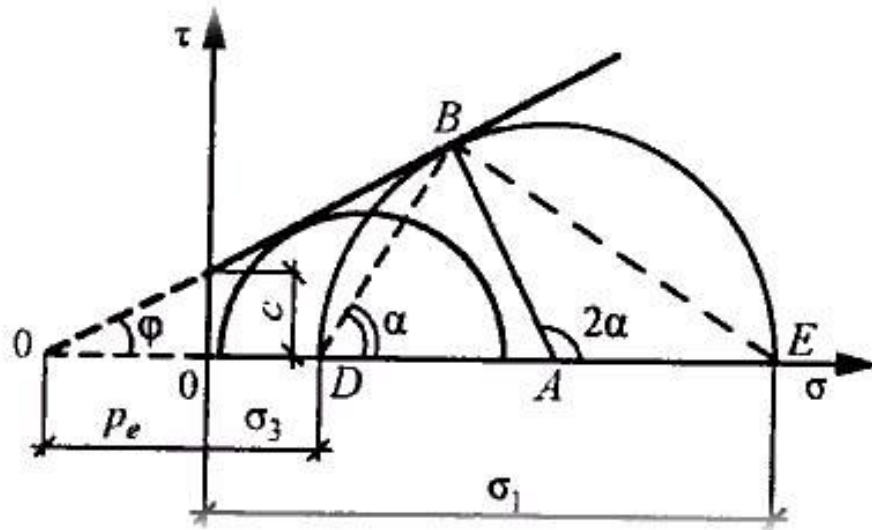


Схема и общий вид стабилометра – прибора для трехосных испытаний грунта





Условия предельного равновесия

Круги Мора, построенные по результатам испытания грунта в стабилометре

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} = \sin \theta_{max} \quad (5)$$

Для сыпучих грунтов:

$$\theta_{max} = \varphi \quad (6)$$

или

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3)} = \sin \varphi \quad (7)$$

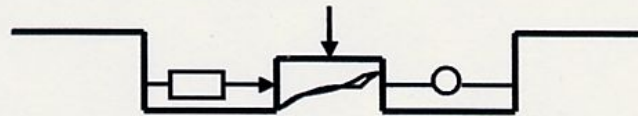
Для вязных грунтов:

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{(\sigma_1 + \sigma_3 + 2p_e)} = \sin \varphi \quad (8)$$

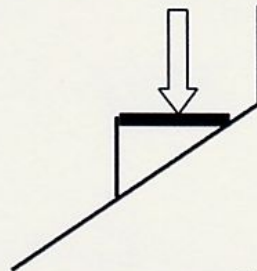
# Полевые методы определения сопротивления грунта сдвигу

## Полевые методы определения сопротивления грунта сдвигу.

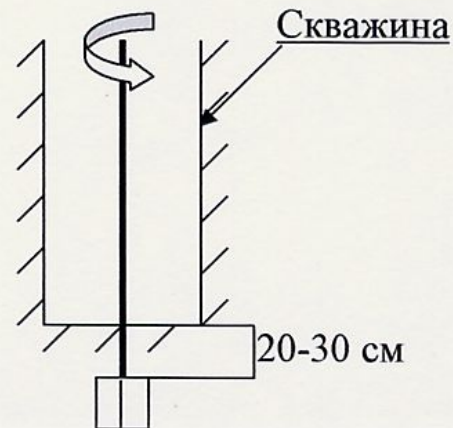
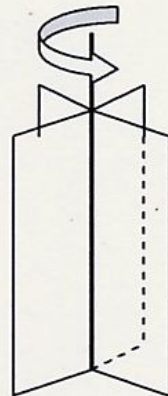
1. Полевые сдвижные установки в шурфе



2. Методы разрушения призм грунта в шурфе



3. Испытание 4-х лопастным прибором (крыльчатка)



# Полевые испытания крыльчаткой (ГОСТ 20276-99)



Фото 20 Полевые испытания грунтов