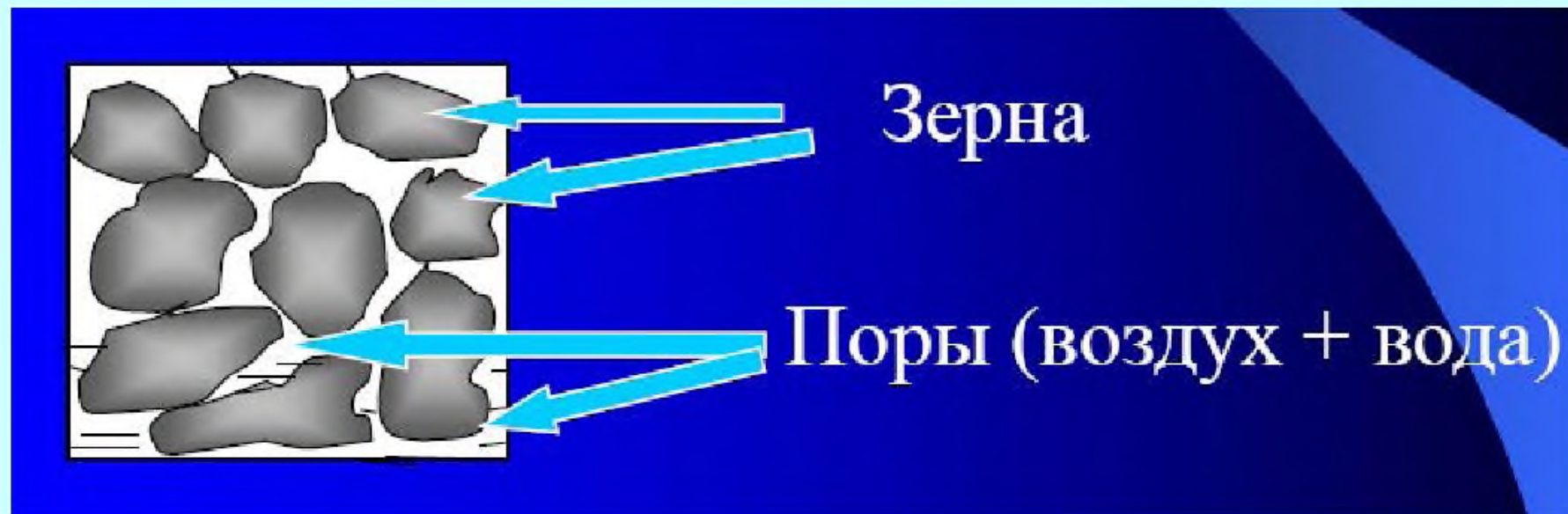


Дорожное грунтоведение

**(лекционный и практический
материал для занятий 26.10.2020)**

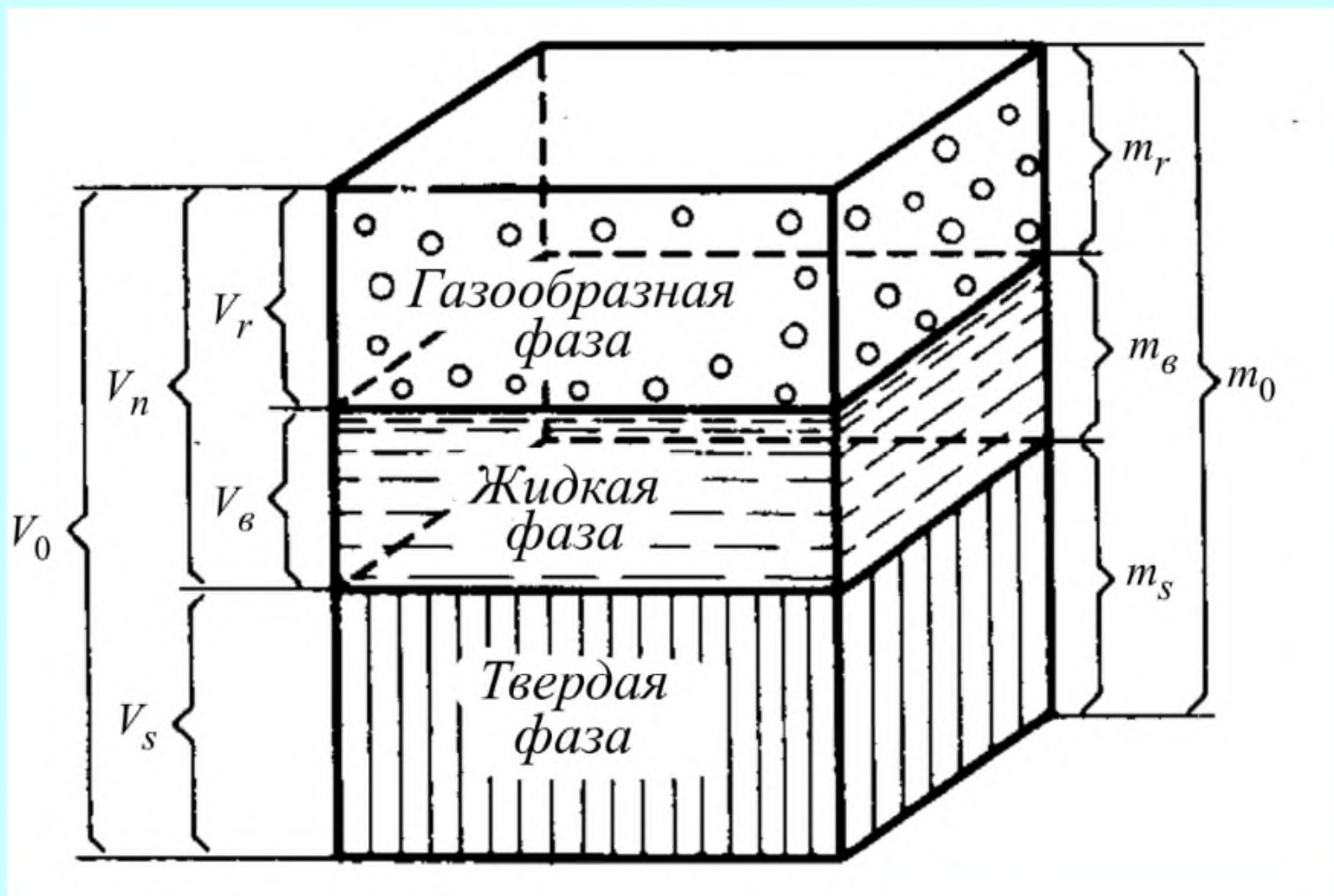
Грунт как трехфазовая модель



ГРУНТ = минеральная часть + вода + газ

От соотношения фаз зависят свойства грунтов !!!

Трехфазовая модель грунта



Основные характеристики грунтов

(определяемые опытным путем)

- Плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см³

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s}$$

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.

- **Плотность грунта ρ (г/см³) естественной (ненарушенной) структуры**

$$\rho = \frac{m_0}{V_0}.$$

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

- Весовая (естественная) влажность W грунта (%)

$$W = \frac{m_B}{m_s}.$$

Удельный вес грунта, кН/м³
(перевод ρ в систему СИ)

$$\gamma = \rho g,$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

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

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Плотность сухого грунта (г/см³)

$$\rho_d = \frac{m_s}{V_0} = \frac{\rho}{1 + W},$$

$$\rho_d \leq \rho \leq \rho_s$$

- Пористость грунта (%)

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

- **Коэффициент пористости**

$$e = \frac{V_n}{V_s} \quad (0,5-1,0) \text{ может до } 12 \text{ в торфах !!!}$$

Отношение объема твердых частиц к общему объему грунта

$$m = \frac{V_s}{V_0},$$

$$m + n = 1,$$

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

Плотность сложения песчаных грунтов (ГОСТ 25100-2011)

Разновидность песков	Коэффициент пористости e		
	Пески гравелистые крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотные	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.
Рыхлые	Свыше 0,70	Свыше 0,75	Свыше 0,80

- **Степень влажности (коэффициент водонасыщения) S_r**

$$S_r = \frac{\text{естественная влажность}}{\text{влажность при полном заполнении пор водой}} = \frac{W}{W_0}$$



$$W_0 = \frac{\text{масса воды в порах}}{\text{масса твердых частиц}} = \frac{m_6}{m_s}$$

$$S_r = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w} \text{ (д.е.)}$$

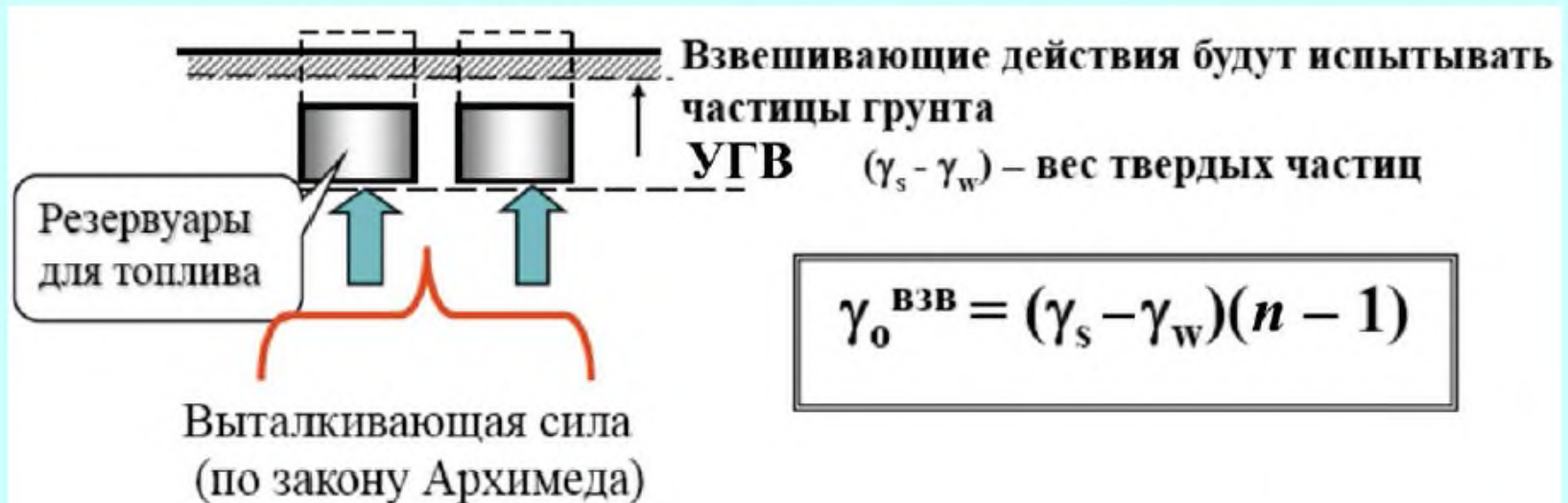
Разновидность грунтов от степени влажности (ГОСТ 25100-95)	Коэффициент водонасыщения S_r, д. е.
Малой степени водонасыщения	0—0,50
Средней степени водонасыщения	0,50—0,80
Насыщенные водой	0,80—1,00

Если $0 < S_r < 1$ – трехфазовая система.

Если $S_r = 0$ или $S_r = 1$ – двухфазовая система

Удельный вес с учетом взвешивающего действия воды $\gamma_0^{\text{ВЗВ}}$

Для грунтов, находящихся ниже уровня грунтовых вод – УГВ !!!

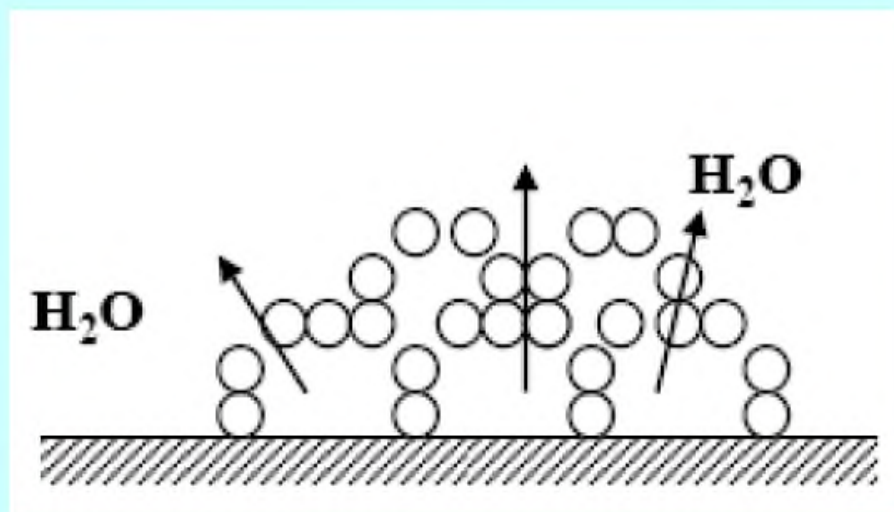


$$\gamma_0^{\text{ВЗВ}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$

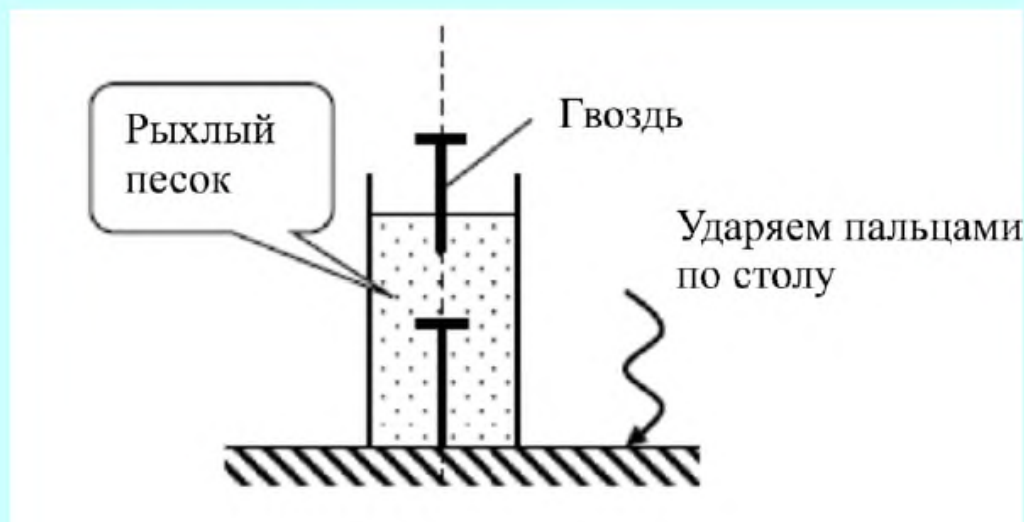
- Индекс плотности (относительная плотность) – **только для песков**

Для оценки песчаных грунтов как основания для сооружений плотность имеет решающее значение.

Отложения песка в воде (на дне водоемов) всегда находятся в рыхлом состоянии (морские отложения).



СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83*) запрещает строить на рыхлых основаниях . Такие грунты воспринимают довольно значительную статическую нагрузку, но при передаче на них динамических воздействий они теряют свою структуру (в водонасыщенном состоянии) и переходят в текучее состояние (плавун).

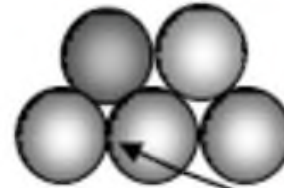


Изменение структуры песка в процессе уплотнения



Рыхлый песок

$n = 42 \%$

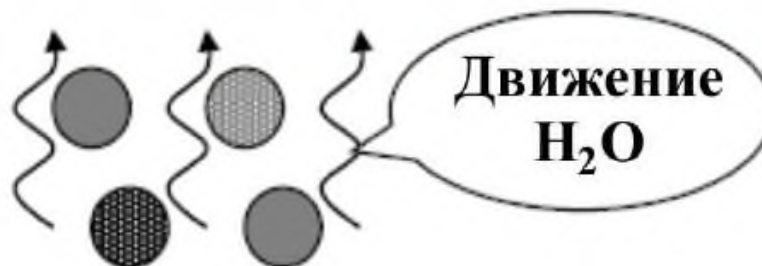


Плотный песок

$n = 23 \%$

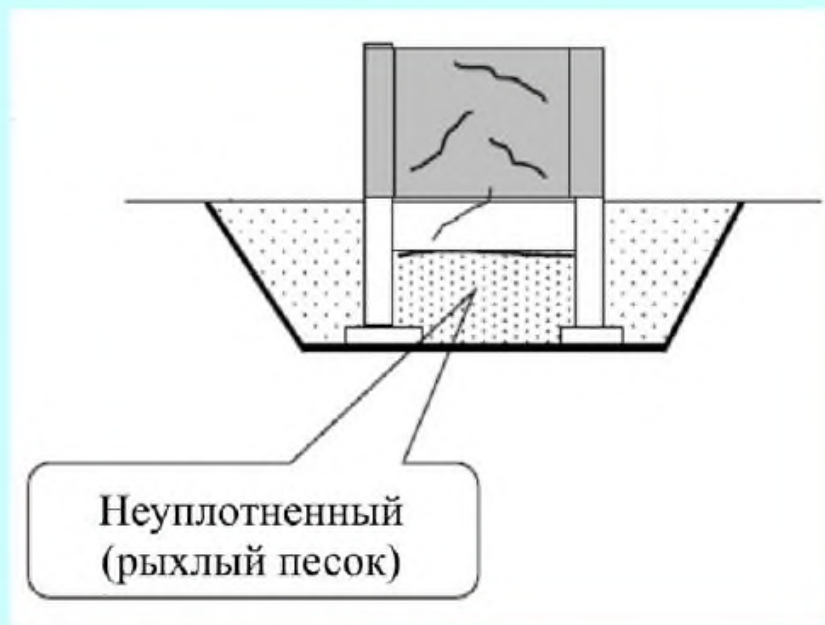
уменьшение до $1/5$ объема

..... увлажнения



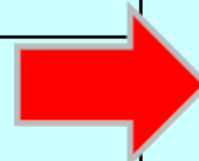
**Если $H = 10$ м, то возможная осадка
составит $S \approx 2$ м**

Значение плотности песка в практике строительства



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

Разновидность песков По ГОСТ 25100-95	Степень плотности I_D , д. е.
Слабоуплотненный	0–0,33
Среднеуплотненный	0,33–0,66
Сильноуплотненный	0,66–1,00



Строить
нельзя !!!

$R \approx 250$ КПа

$R \approx 500$ КПа

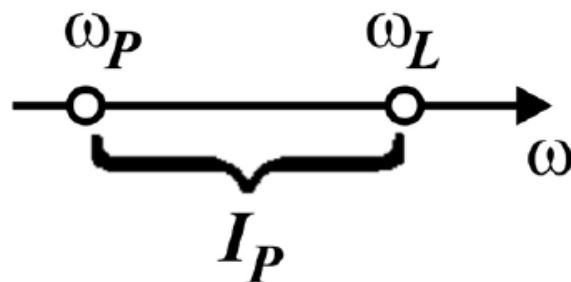
- **Число пластичности**

– ТОЛЬКО ДЛЯ ГЛИН

$$I_p = W_L - W_p$$

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.



Глинистый Грунт по ГОСТ 25100-95	Число пластичности I_p , %	Содержание <u>глинистых</u> частиц <u>$d < 0,005$ мм, %</u>
Супесь	1–17	3–10
Суглинок	7–17	10–30
Глина	>17	>30

- Показатель текучести I_L – **ТОЛЬКО** для **глин**

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



ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ



По величине e и I_L оцениваются деформационные и прочностные характеристики грунтов (c , E , φ) (табл. приложения Б СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений)

$$J_L < 0$$

$$R \approx 4 \text{ кг/см}^2 = 0,4 \text{ МПа}$$

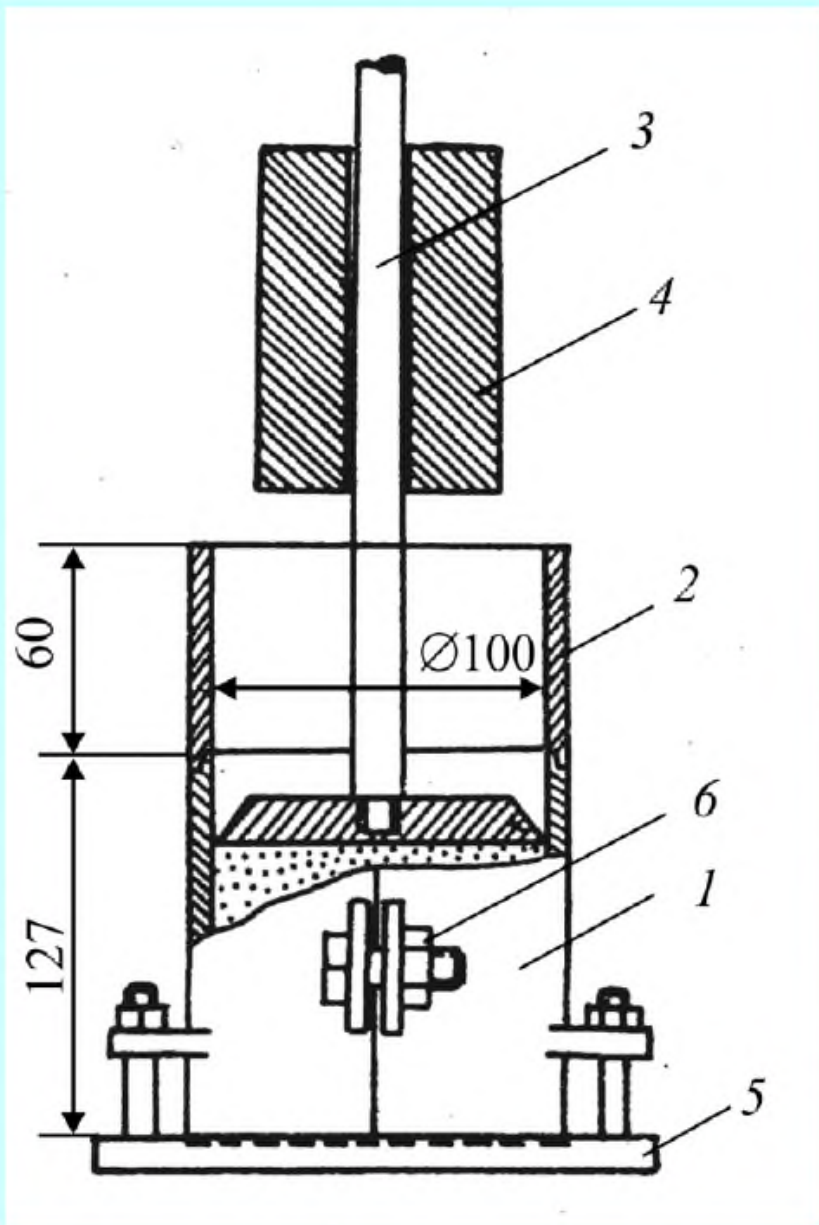
$$0 < J_L < 1$$

$$R \approx 0,2 \text{ МПа}$$

$$J_L > 1$$

$$R \approx 0 \text{ (строить практически невозможно)}$$

• Коэффициент уплотнения



$$K_{\text{com(упл)}} = \frac{\rho_d}{\rho_{d \text{ max}}}$$

1 – цилиндр;

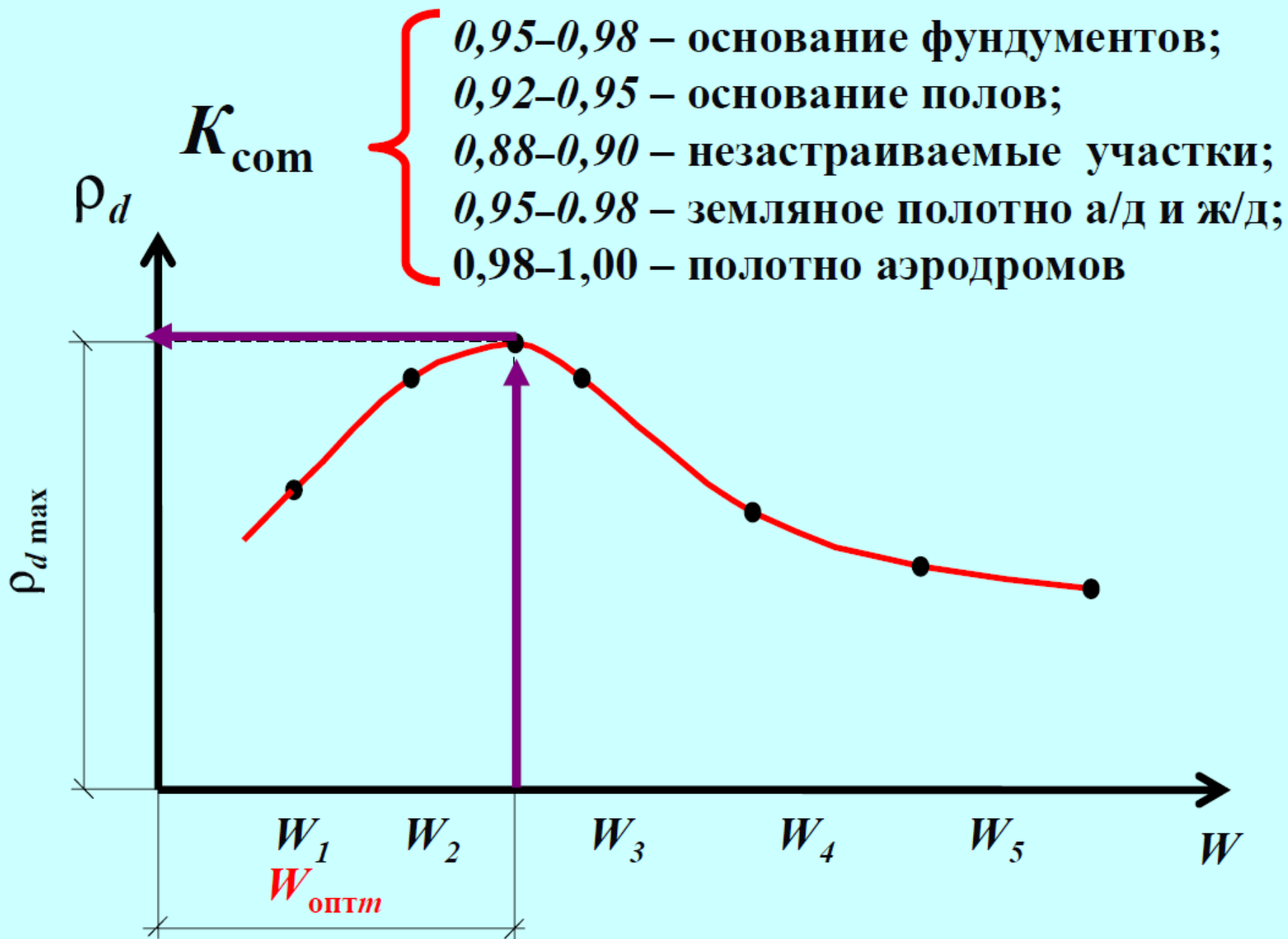
2 – насадка;

3 – стойка;

4 – груз 2,5 кг, падает с
высоты 30 см (75–120 ударов);

5 – постамент;

6 – зажимы





МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Основные особенности поведения
грунтов под нагрузкой:

- 1. Изменение пористости, а, следовательно, и водопроницаемости под действием внешнего давления.*
- 2. Ухудшение водопроницаемости из-за наличия в тонкодисперсных грунтах прочно- и рыхлосвязанной воды.*
- 3. Незначительная деформируемость самих минеральных частиц по сравнению с деформируемостью пор*

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_0) – коэффициент сжимаемости основания $\left(\frac{\text{см}^2}{\text{кг}} \right) \quad \left[\frac{\text{м}^2}{\text{кН}} \right], \text{ МПа}^{-1}.$

(m_v) – относительный коэффициент сжимаемости основания.

E_0 – модуль общей деформации $\left(\frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \right), \text{ МПа}.$

II гр. – для оценки фильтрационных свойств грунта.

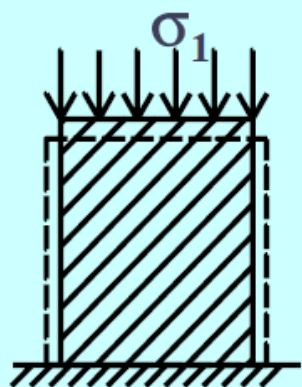
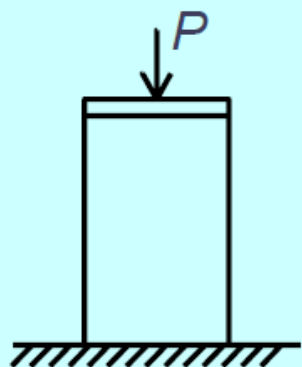
K_f – коэффициент фильтрации (см/сут, м/с)
 I – гидравлический градиент

III гр. – для оценки прочностных свойств грунтов.

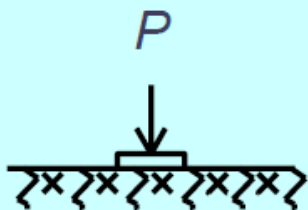
φ – угол внутреннего трения грунта (град)
 C – удельное сцепление грунта (МПа)

Сжимаемость грунтов

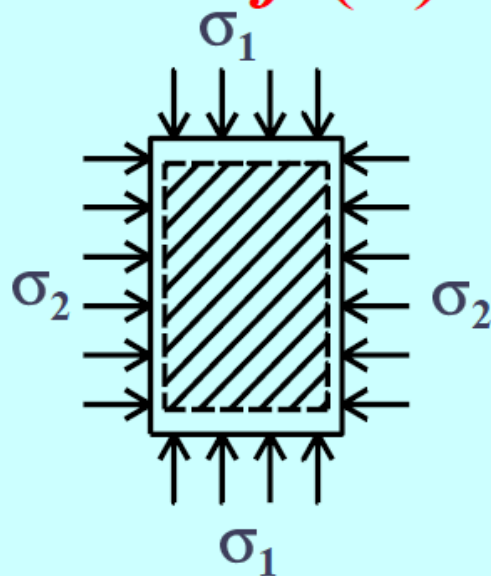
СХЕМЫ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА



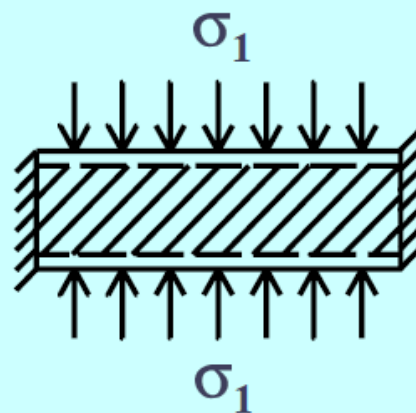
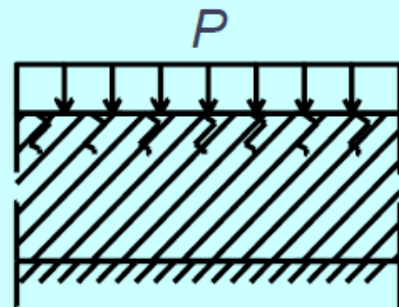
А – сжатие без ограничения возможности бокового расширения



$$\varepsilon = f(P)$$

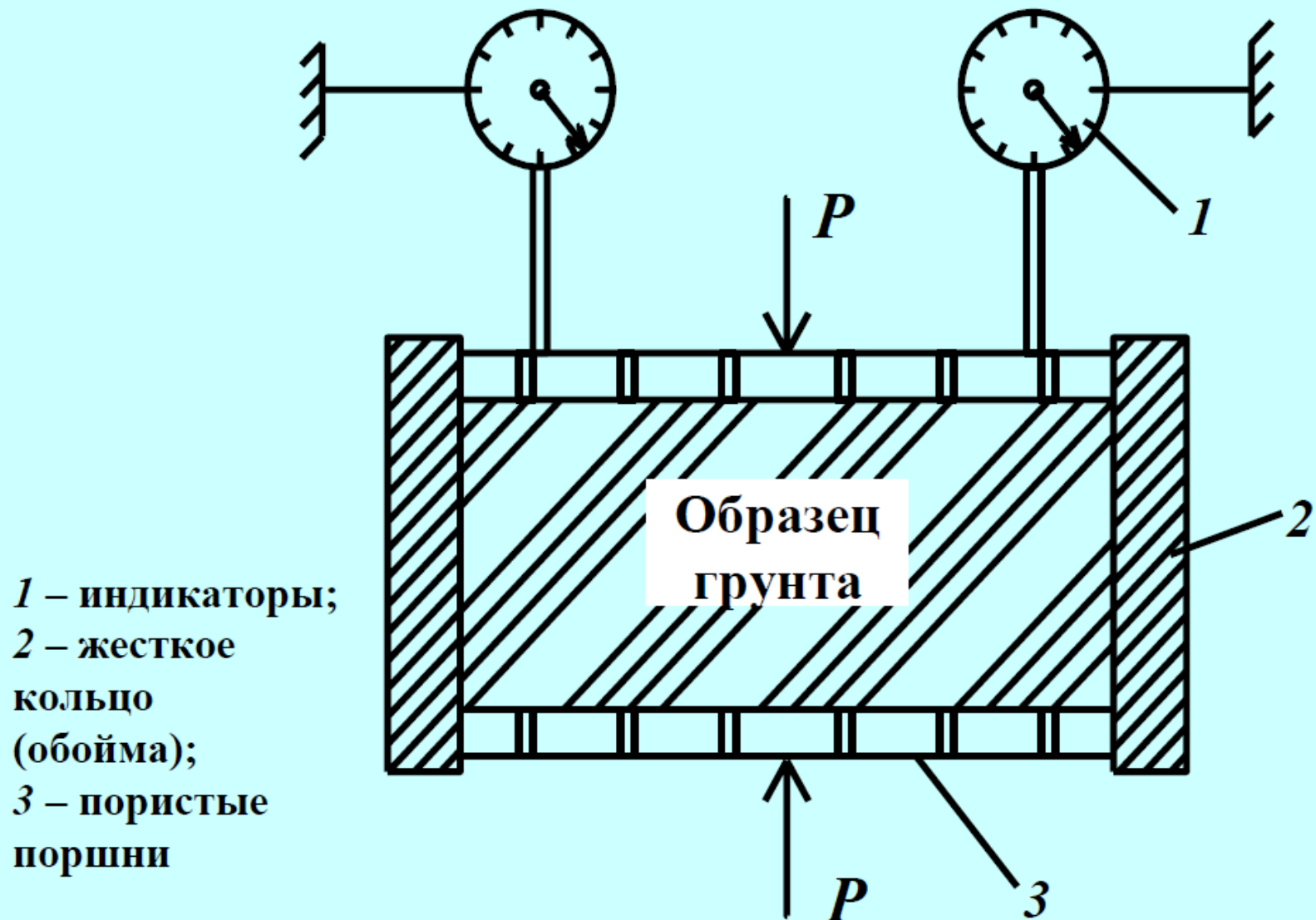


Б – сжатие под нагрузкой, передаваемой на часть поверхности грунта при ограниченной возможности бокового расширения



В – сжатие грунта нагрузкой, равномерно распределенной по контуру без возможности бокового расширения

СХЕМА КОМПРЕССИОННОГО ПРИБОРА (ОДОМЕТРА)



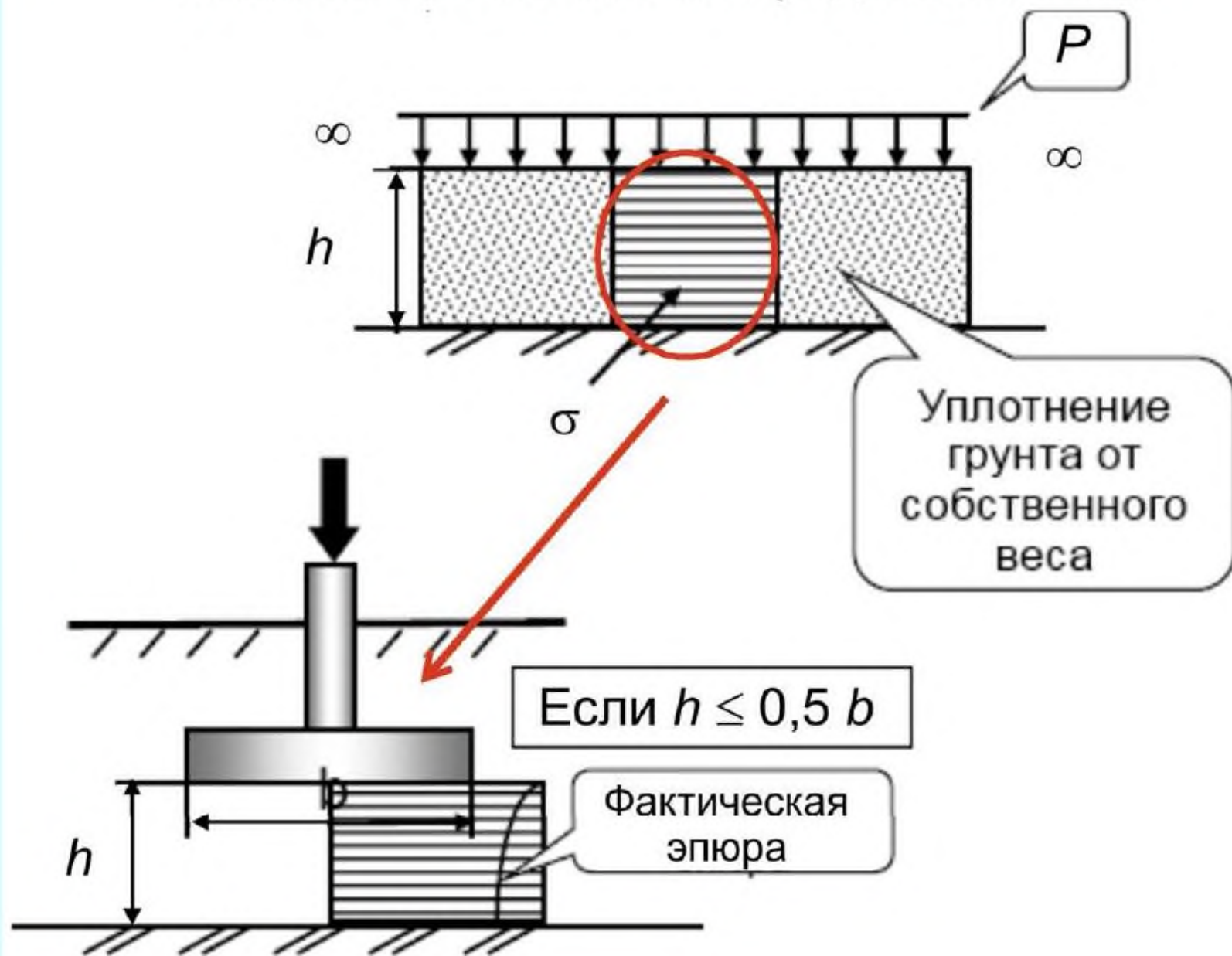
Общий вид компрессионного прибора



Компрессия грунта – сжатие грунта без возможности его бокового расширения.

- Нагрузку на грунт передают ступенями, выдерживая каждую ступень до полного затухания деформаций.
- Замер деформаций производят индикаторами.
- По изменению высоты образца грунта Δh определяют изменение коэффициента пористости e .
- Зависимость между величинами давления P и величинами коэффициента пористости e грунта наносят на график. Соединяя опытные точки, получают компрессионную кривую.

Схематично это можно представить так:



КОМПРЕССИОННАЯ КРИВАЯ

При уплотнении грунта под нагрузкой происходит выдавливание воды из пор, а если, кроме того, поры заполнены воздухом, то выдавливается и воздух.



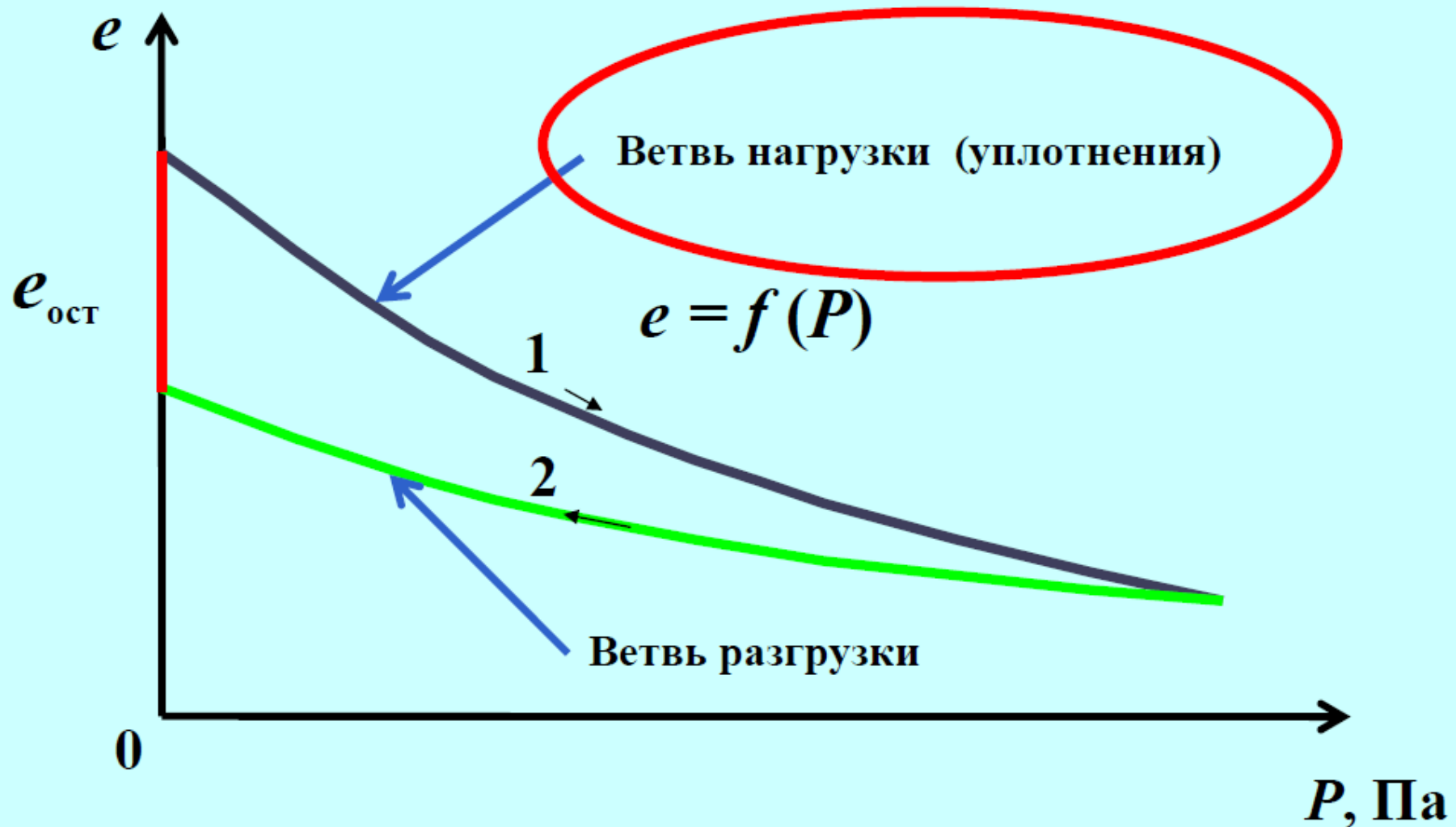
Требования к проведению компрессионных испытаний

- необходимо применять образцы со следующим отношением диаметра к высоте:**

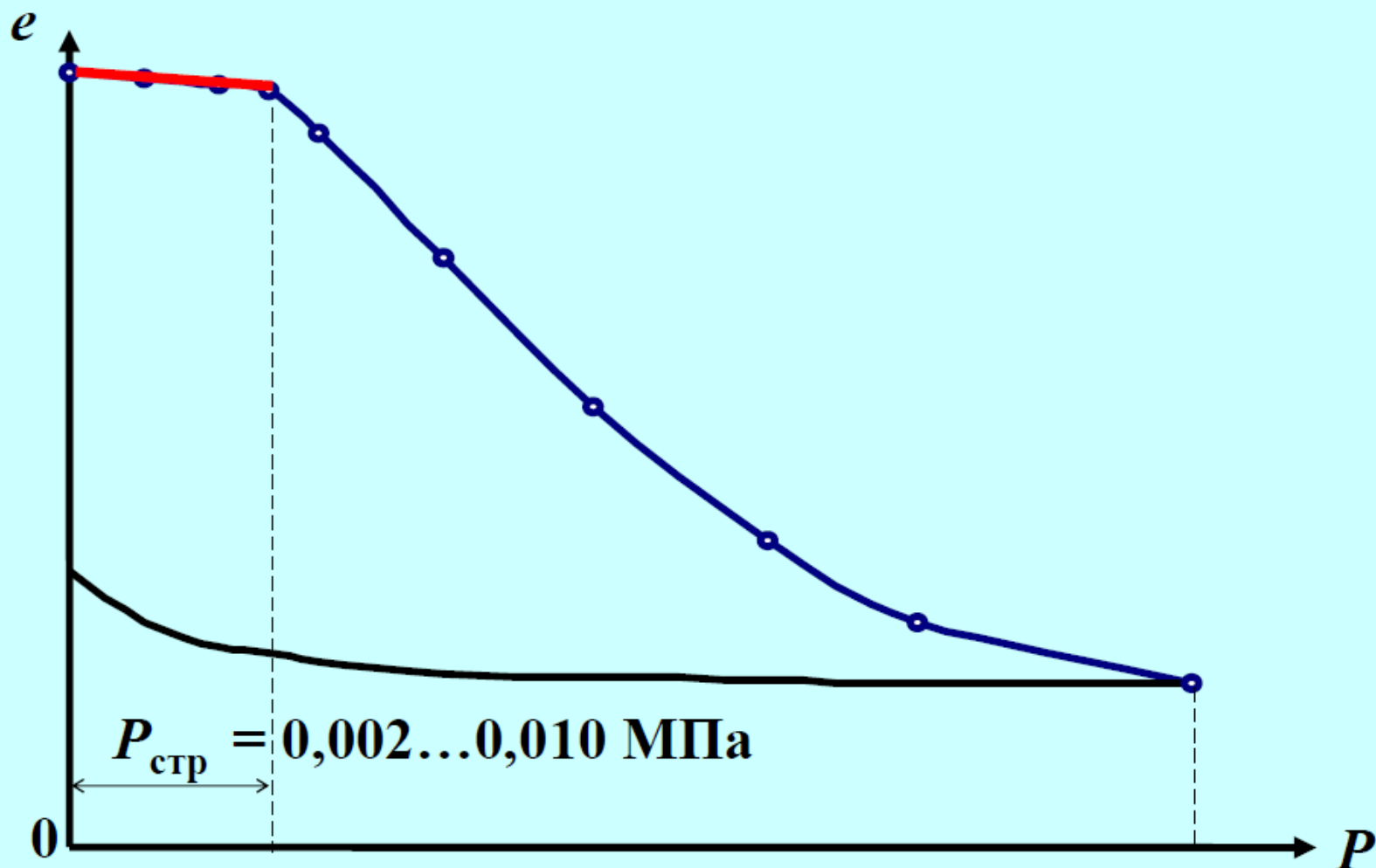
$$\frac{d}{h} \leq 3 \div 4;$$

- перед началом испытания обжать образец давлением от собственного веса грунта («бытовым давлением»);**
- при испытании полностью водонасыщенных грунтов нужно перед началом испытания подвести к образцу воду для снятия с поверхности образца капиллярного давления менисков**

ГРАФИК ЗАГРУЗКИ И РАЗГРУЗКИ ОБРАЗЦА



КОМПРЕССИОННАЯ КРИВАЯ ДЛЯ ГРУНТА НЕНАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ



Вывод уравнения компрессионной кривой
(на основе испытания образца в компрессионном приборе)

$$V_{so} = \frac{F h}{1 + e_0}, \quad (1)$$

$$V_{s1} = \frac{F h_1}{1 + e}, \quad (2)$$

$$S = h - h_1, \quad (3)$$

$$S = \frac{e_0 - e}{1 - e_0} h, \quad (4)$$

$$e_i = e_0 - \frac{(1 + e_0) S_i}{h}. \quad (5)$$

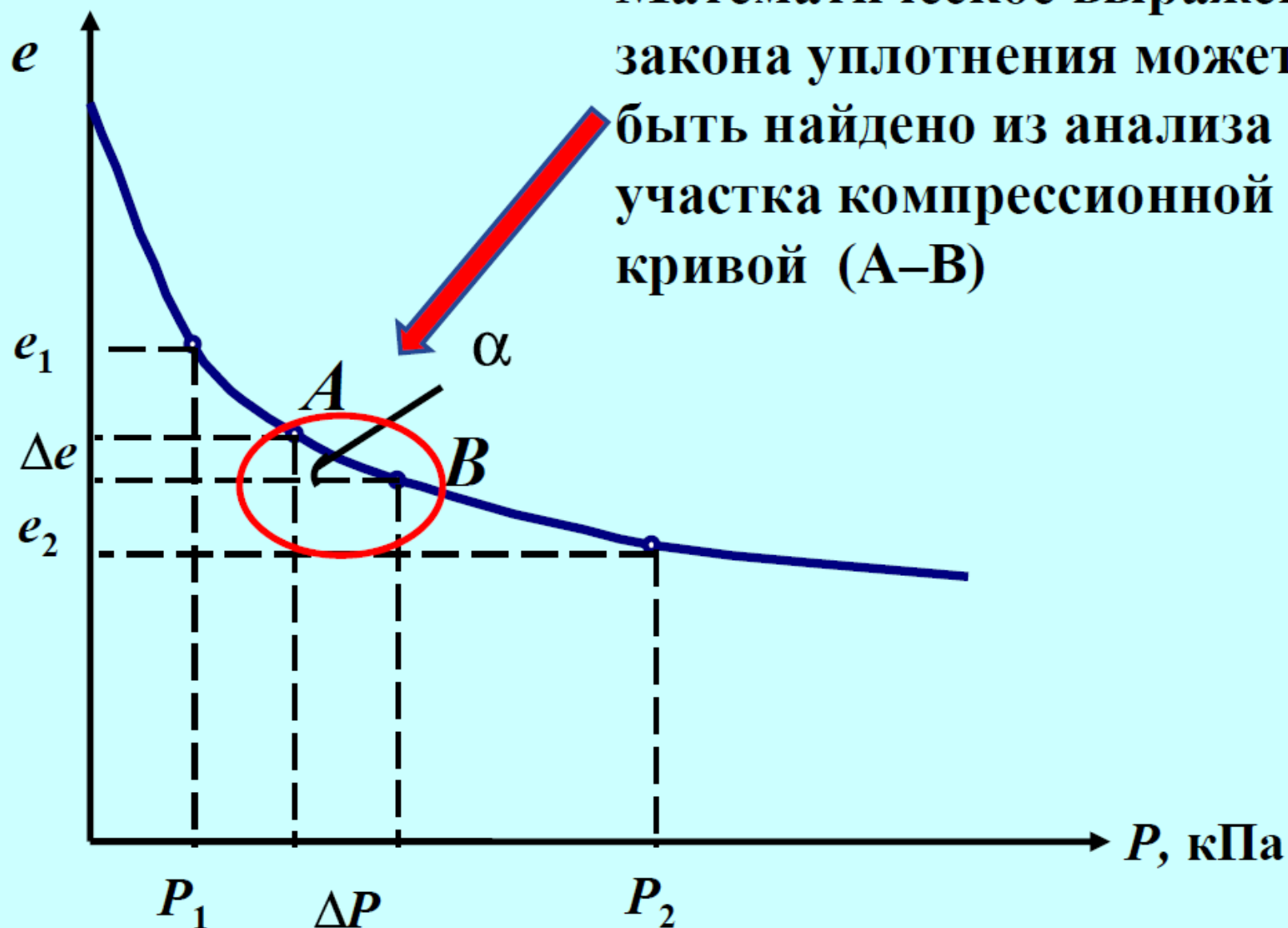
Получено уравнение компрессионной кривой
(уравнение К. Терцаги)

Карл Терцаги (1883–1963)



ЗАКОН УПЛОТНЕНИЯ

Математическое выражение закона уплотнения может быть найдено из анализа участка компрессионной кривой (A–B)



$$\lim \frac{\Delta e}{\Delta P} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (6)$$

$$\text{Примем } m_0 = \operatorname{tg} \alpha, \quad (7)$$

m_0 – коэффициент сжимаемости грунта.

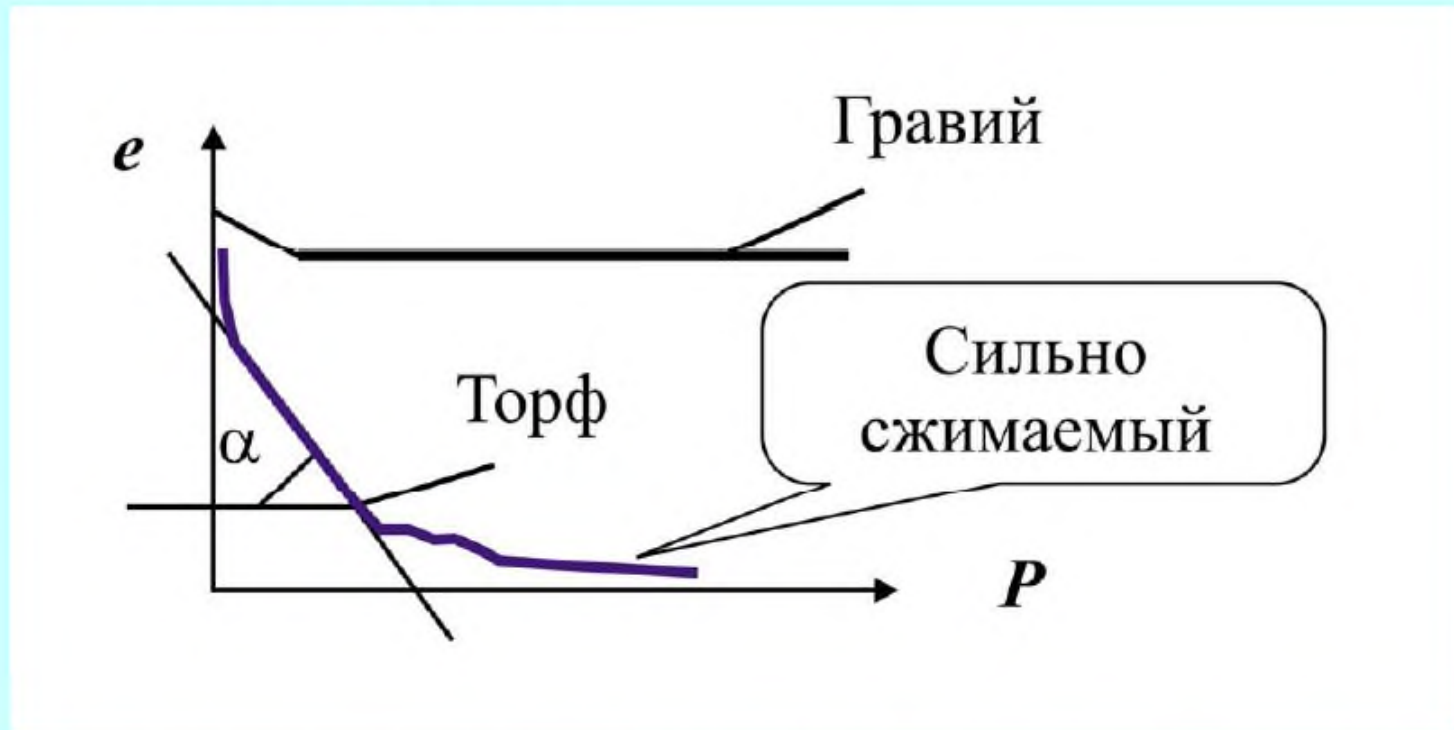
$$\text{Тогда } \frac{de}{dP} = m_0, \quad (8)$$

$$de = m_0 dP$$

– закон уплотнения

«Бесконечно малое изменение объема пор прямо пропорционально изменению внешнего давления»

Компрессионная кривая позволяет судить о сжимаемости грунта



α – может характеризовать сжимаемость грунта

При $\Delta P = 0,1 \dots 0,3$ МПа –
«строительные» давления

Примем участок компрессии линейным:

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P_2 - P_1} \quad (9)$$

при $P_2 - P_1 = P,$

$$m_0 = \frac{e_1 - e_2}{P} \quad (10)$$

$$e_i = e_0 - m_0 P_i \quad (11) - \text{уравнение компрессии}$$

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e_0} \quad \text{– коэффициент относительной сжимаемости}$$

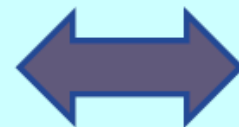
Сравним два выражения:

$$e_0 - e_i = m_0 P_i \qquad e_0 - e_i = \frac{(1 + e_0) S_i}{h}$$

$$m_0 P_i = \frac{(1 + e_0) S_i}{h}$$

$$m_v = \frac{S_i}{h P_i}$$

Закон уплотнения



$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Коэффициент уплотнения аналогичен обратной величине модуля упругости

при $P = 0,2 \dots 0,3$ МПа

- $m_o < 0,0005$ 1/МПа – малосжимаемые;
- $m_o = 0,0005 \text{--} 0,005$ 1/МПа – среднесжимаемые;
- $m_o > 0,005$ 1/МПа – сильносжимаемые.

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

Итак:

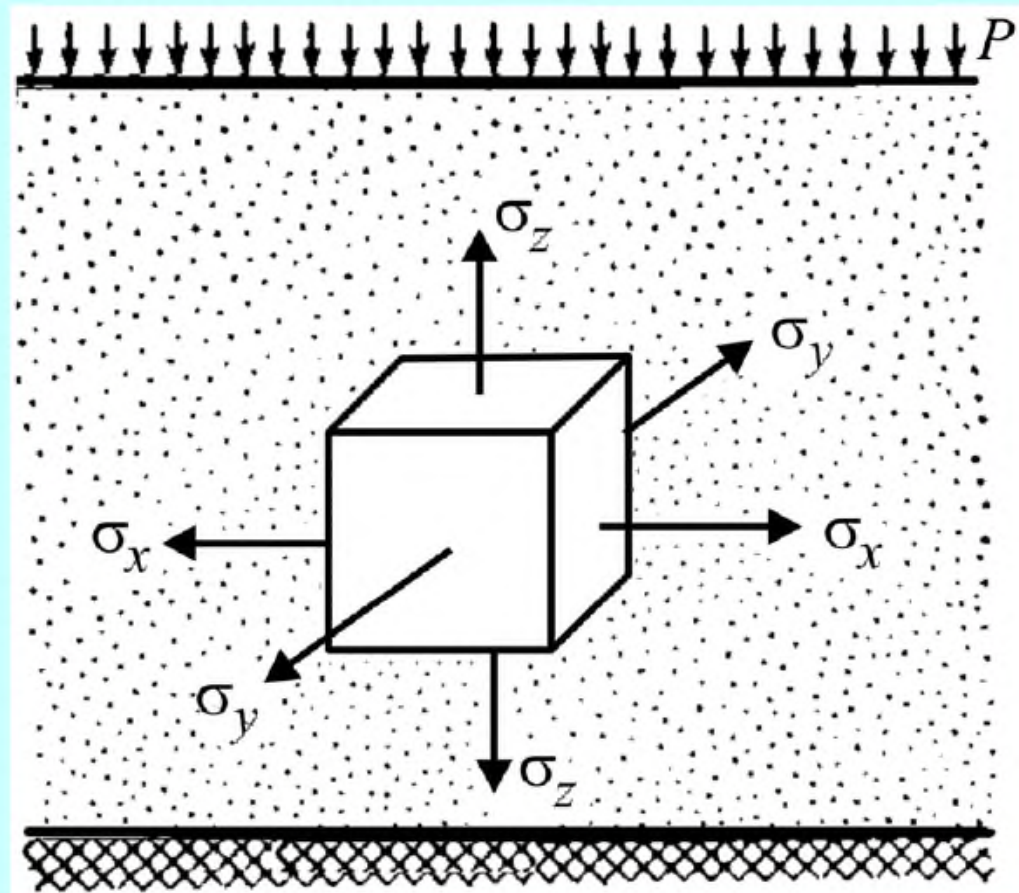
1. При изысканиях отбирают пробы грунта, строят график компрессионной кривой и определяют m_0 – это делают инженеры-геологи, а строители оценивают свойства грунта по показателям, полученным от геологов.

2. Основной расчет оснований по 2-му предельному состоянию – по деформациям. В формулу расчета осадки входит величина коэффициента относительной сжимаемости грунта.

$S = h m_v P$ – прямо пропорциональная связь

$$m_v = \frac{m_0}{1 + e}$$

***Общий случай компрессионной зависимости
(действуют все компоненты напряжений
в грунте)***



Примем $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$, $\sigma_y = \sigma_x$, $\sigma_z = P$.

Относительные горизонтальные деформации в грунте определим как

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E_0} - \frac{\nu_0}{E_0} (\sigma_y + \sigma_z).$$

Подставив значения $\sigma_y = \sigma_x$, $\sigma_z = P$ и $\varepsilon_x = 0$,

получим $\sigma_x = \sigma_y = \xi_0 P$,

где

$$\xi_0 = \frac{\nu_0}{1 - \nu_0} = \frac{\sigma_x}{\sigma_z} \quad - \text{коэффициент бокового давления,}$$
$$0 \leq \xi \leq 1,$$

для песков $\xi_0 = 0,25 \dots 0,37$,

для глинистых грунтов – $0,11 \dots 0,82$.

Коэффициент поперечного расширения (коэффициент Пуассона)

$$\nu_0 = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} \leq 0,5$$

$$\nu_0 = \frac{\xi_0}{1 + \xi_0}$$

Для песков $\nu_0 = 0,30 \dots 0,35$

Для супесей $\nu_0 = 0,35 \dots 0,4$

Для суглинков $\nu_0 = 0,40 \dots 0,45$

Для глин $\nu_0 = 0,45 \dots 0,50$

Определение модуля деформации грунта

Относительная вертикальная деформация может быть определена из закона Гука:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E_0} - \frac{\nu_0}{E_0} (\sigma_x + \sigma_y).$$

Из закона уплотнения известно: $\varepsilon_z = \frac{S_i}{h} = m_v P.$

Тогда $\sigma_z = P, \sigma_x = \sigma_y = \frac{P\nu_0}{1 - \nu_0}.$

$$m_v P = \frac{P}{E_0} \left(1 - \frac{2\nu_0^2}{1 - \nu_0} \right)$$

$$\beta = 1 - \frac{2\nu_0^2}{1 - \nu_0} \longrightarrow \begin{cases} \text{Глина} - 0,39 \\ \text{Суглинок} - 0,62 \\ \text{Супесь и песок} - 0,74 \\ \text{Крупнообломочные грунты} - 0,80 \end{cases}$$

$\beta \leq 1$ – коэффициент, учитывающий невозможность бокового расширения

$$m_v = \frac{\beta}{E_0}$$

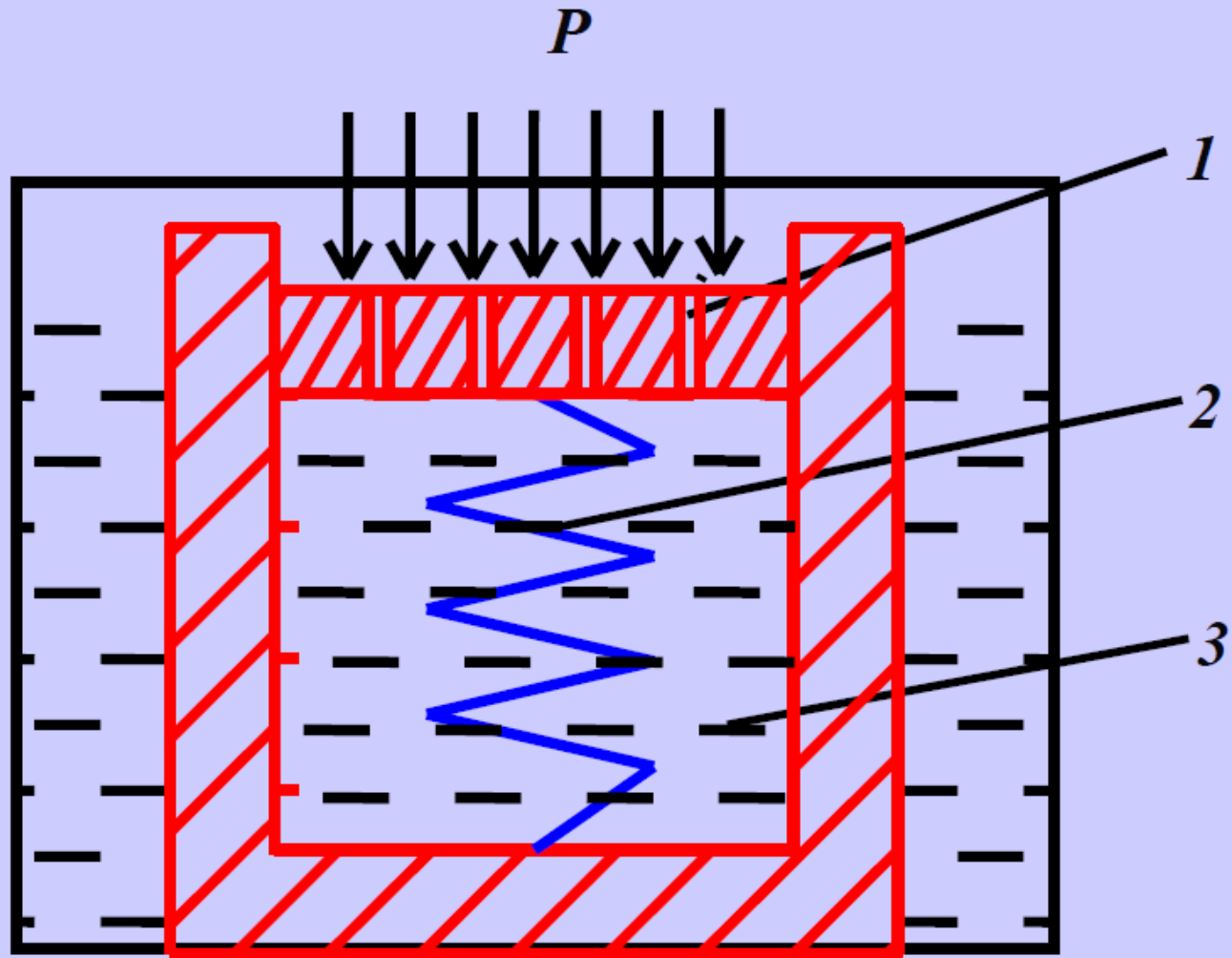
$$E_0 = \frac{\beta}{m_v} \quad (\text{МПа})$$

Модуль общей деформации грунта (E_o) является характеристикой сжатия (деформативности) основания и характеризует как упругие, так и остаточные деформации.

Модуль деформации всегда определяется на ветви нагружения (первичная ветвь) компрессионной кривой. Также модуль деформации можно определить полевыми методами испытаний, например, штамповыми или прессиометрическими, а в лаборатории – трехосными испытаниями.

Модуль деформации используется для расчета осадок грунтовых оснований сооружений.

Модель грунтовой массы (модель Н.М. Герсегова)



1 – пористый поршень; 2 – пружина; 3 – жидкость

$$T \rightarrow 0 \qquad P = P_w$$

$$T \neq 0 \qquad P = P_z + P_w,$$

$$T \rightarrow \infty \qquad P = P_z$$

В любой момент $P = P_z + P_w$

P_z – давление в скелете грунта – эффективное давление, уплотняет и упрочняет грунт

P_w – давление в поровой воде – нейтральное давление, создает напор в воде, вызывая её фильтрацию

Равенство напряжений в грунте

$$\sigma = \bar{\sigma} + u,$$

где σ – полные напряжения в грунте;

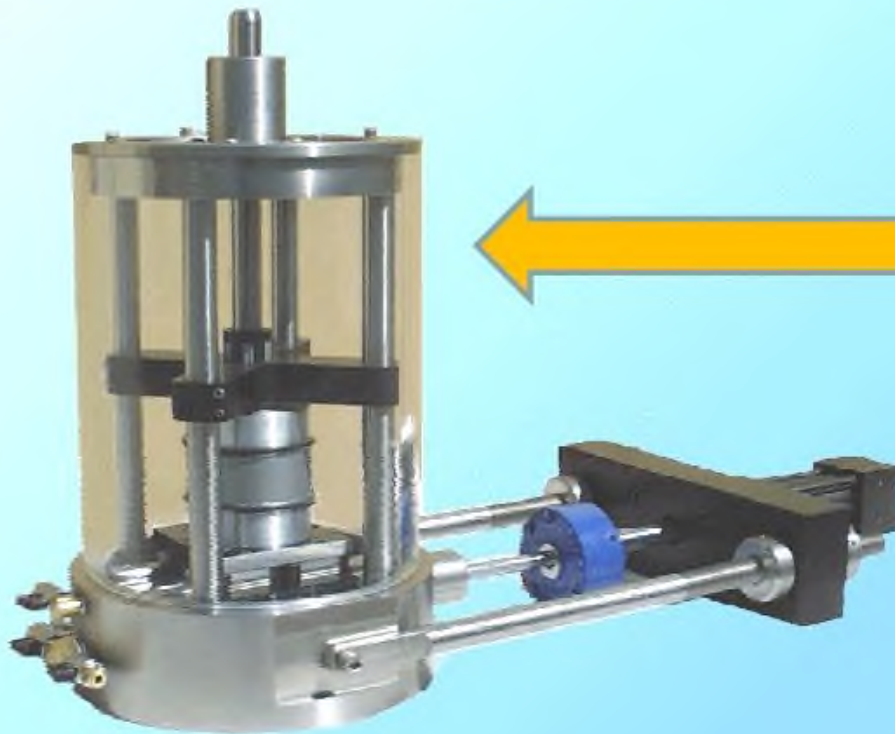
$\bar{\sigma}$ – эффективное напряжение в грунте;

u – нейтральное напряжение в грунте.

Если нейтральное давление u положительное (сверх гидравлического), то его называют поровым.

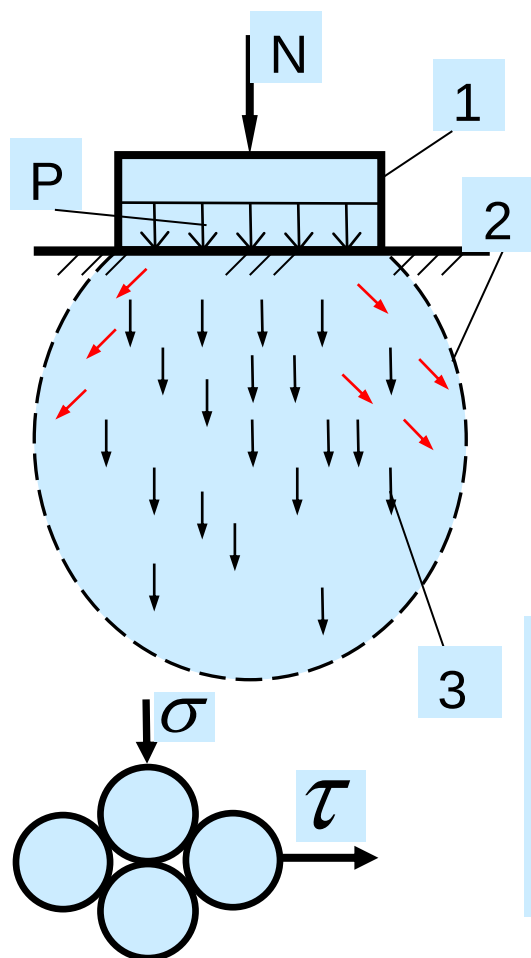
СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТОВ СДВИГУ

Сопротивление грунтов сдвигу – важнейший показатель прочности грунта, обусловленный трением между частицами и структурными связями между ними.



Сопротивление грунтов сдвигу определяют в лаборатории чаще всего по срезу грунта в срезных приборах

Сопротивление грунтов сдвигу



1 – фундамент; 2 - деформируемая зона;

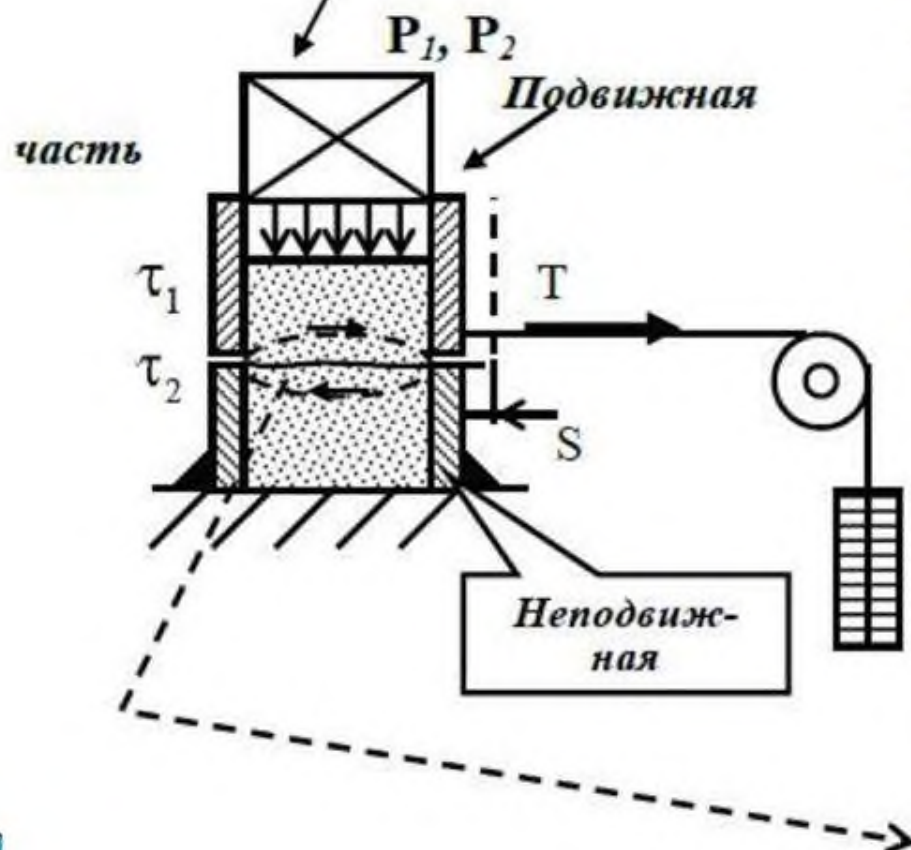
3 – направление движения твердых минеральных частиц

У *песчаных грунтов* внутреннее сопротивление сдвигу обеспечивается трением, которое возникает между частицами.

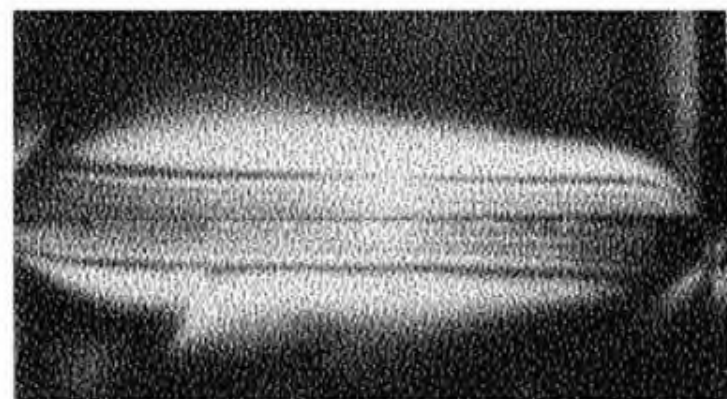
В *глинистых грунтах* сопротивление сдвигу обуславливается также внутренним трением и, кроме того, сцеплением между частицами.

Сопротивление грунта сдвигу

(Определяется в лаборатории опытным путем с использованием сдвигового прибора, для грунтов ненарушенной структуры.)



Прикладываем P_1 , затем прикладываем ступенями сдвигающую нагрузку (T), происходит сдвиг (разрушение образца) при τ_1 . Берем второй образец с P_2 и получаем τ_2 .

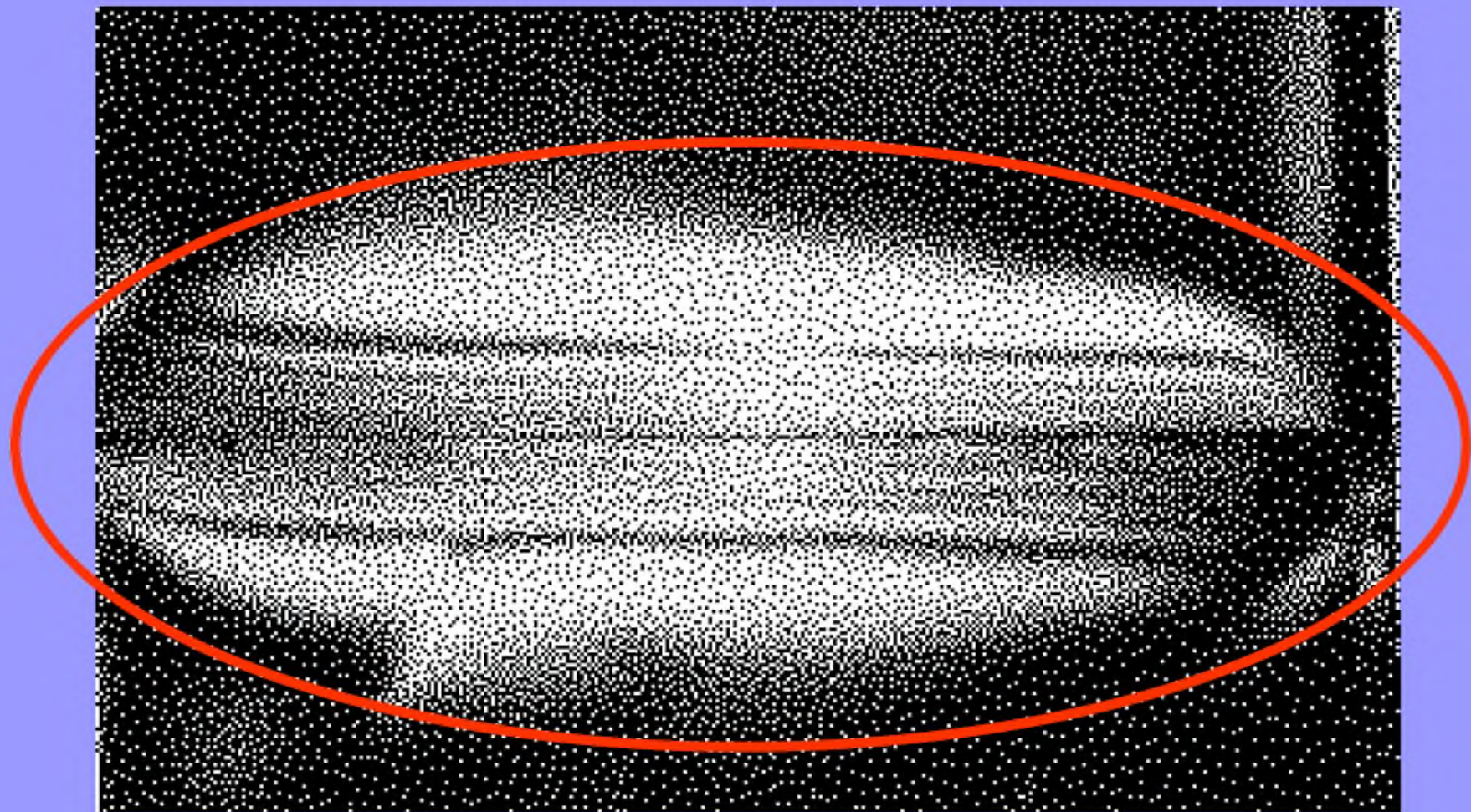


Фотографии локализованного объема сдвига грунта в сдвиговом приборе

Под действием внешней нагрузки в отдельных точках (областях) грунта эффективные напряжения могут превзойти внутренние связи между частицами грунта, при этом возникнут скольжения (сдвиги) одних частиц или агрегатов по другим и может нарушиться сплошность грунта в некоторой области, т.е. прочность грунта будет превзойдена.

Определение сопротивления сдвигу грунтов непосредственно связано с задачами несущей способности и устойчивости оснований.

ОБРАЗОВАНИЕ ЗОНЫ СДВИГА В СРЕЗНОМ ПРИБОРЕ



Деформации сдвига – это смещение одной части грунта по другой, вызванное действием касательных напряжений от внешней нагрузки.

Для **сыпучих** грунтов сопротивление сдвигу – сопротивление внутреннего трения.

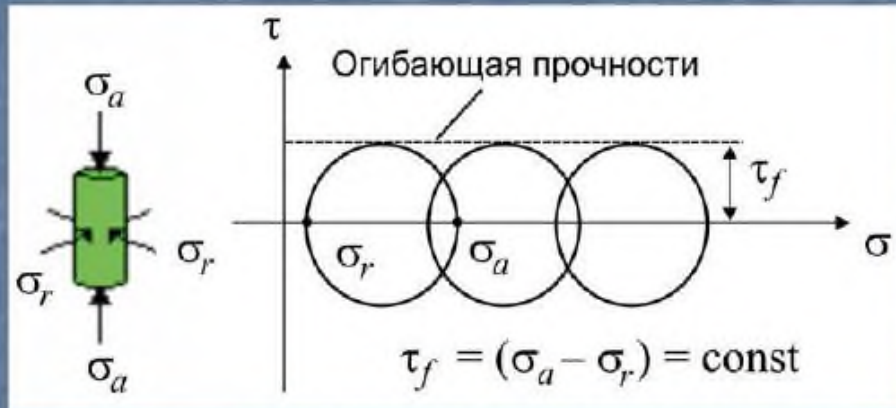
Для **связанных** грунтов – трение со сцеплением.

Существуют две схемы испытаний на сдвиг:

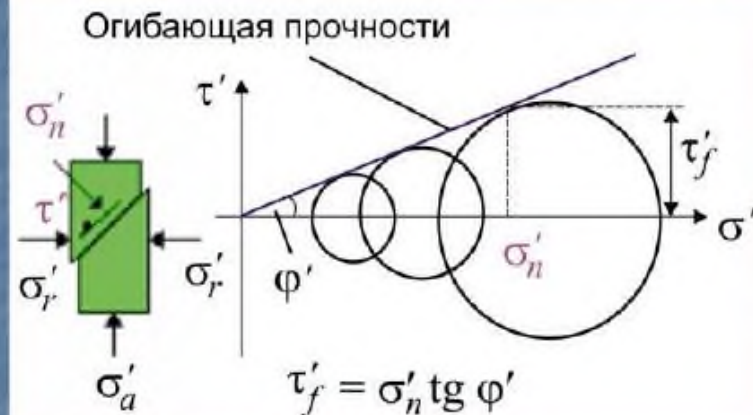
- 1-я схема – *неконсолидированный – недренированный сдвиг (закрытая схема)*. Испытания проводятся при отсутствии фильтрации воды из грунта. Плотность и влажность не меняются – «быстрый сдвиг». Испытания для сыпучих грунтов.
- 2-я схема – *консолидированно-дренированный сдвиг (открытая схема испытаний)*. Испытания проводят после предварительного уплотнения грунтов. Вода в грунте во время испытаний под действием уплотняющих давлений имеет возможность отфильтровываться. Испытания для связных грунтов.

Критерии прочности

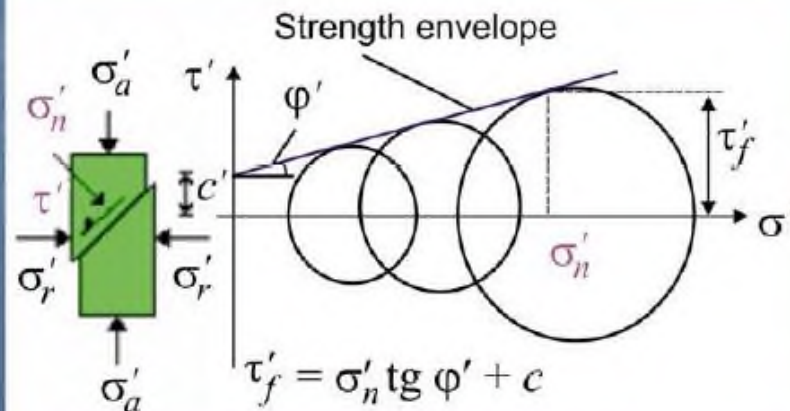
Недренированная прочность. Не зависит от нормальных напряжений. Критерий Треска.



Критерий прочности Мора – Кулона.
Песчаные грунты



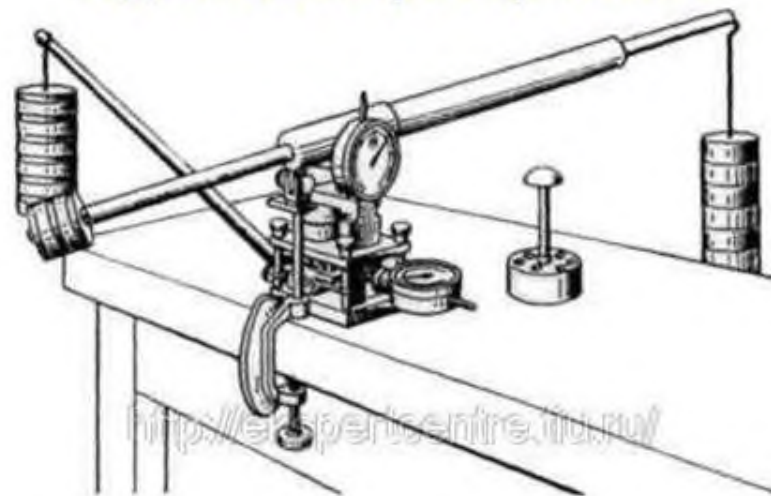
Критерий прочности Мора – Кулона.
Глинистые грунты



Сдвиговой прибор ПСГ-2м для
испытания глинистых грунтов



Сдвиговой прибор П-10С



Автоматизированный сдвиговой прибор

Общий вид



Вид сверху



Методы сдвиговых испытаний грунтов

Испытания



```
graph TD; A[Испытания] --> B[Консолидировано-дренированные]; A --> C[Неконсолидировано-недренированные]; B --> D[Медленный сдвиг образца грунта, предварительно уплотненного до полной консолидации]; D --> E[Для определения расчетного сопротивления грунта, а также для оценки несущей способности основания, находящегося в стабилизированном состоянии (все напряжения от внешней нагрузки восприняты скелетом грунта)]; C --> F[Быстрый сдвиг без предварительного уплотнения]; F --> G[Для определения несущей способности медленно уплотняющихся водонасыщенных суглинков и глин, илов, сапропелей, заторфованных грунтов и торфов. В таких грунтах возможно возникновение нестабилизированного состояния (наличие избыточного давления в поровой воде) вследствие их медленной консолидации];
```

Консолидировано-дренированные

Медленный сдвиг образца грунта, предварительно уплотненного до полной консолидации

Для определения расчетного сопротивления грунта, а также для оценки несущей способности основания, находящегося в стабилизированном состоянии (все напряжения от внешней нагрузки восприняты скелетом грунта)

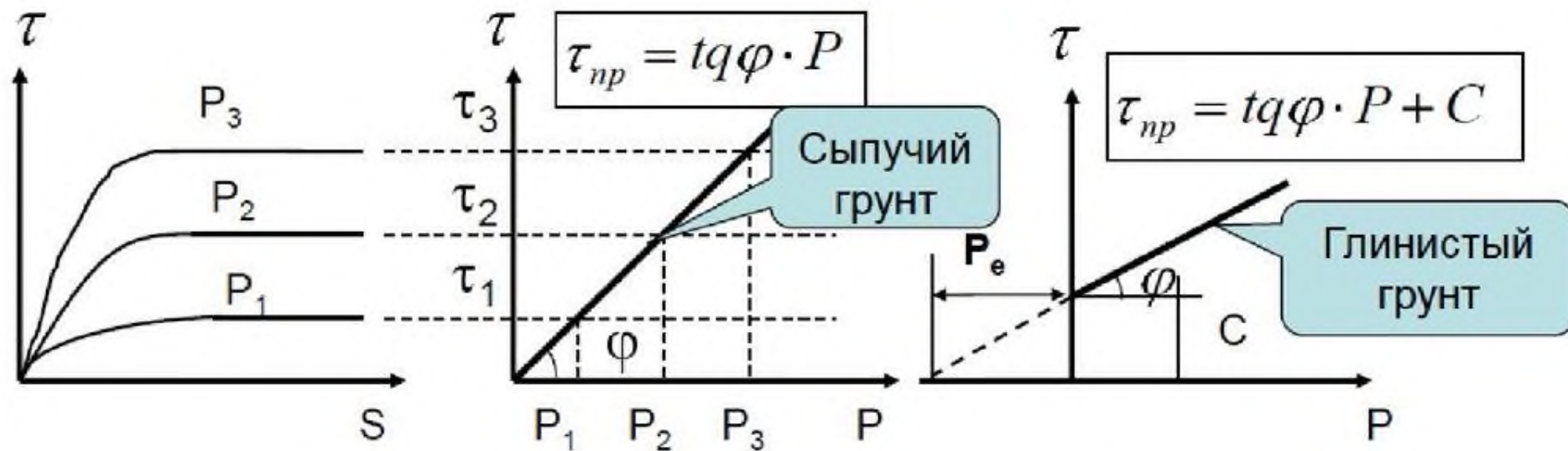
Неконсолидировано-недренированные

Быстрый сдвиг без предварительного уплотнения

Для определения несущей способности медленно уплотняющихся водонасыщенных суглинков и глин, илов, сапропелей, заторфованных грунтов и торфов. В таких грунтах возможно возникновение нестабилизированного состояния (наличие избыточного давления в поровой воде) вследствие их медленной консолидации

Консолидировано-дренированные испытания

Результаты испытаний



φ - угол внутреннего трения грунта

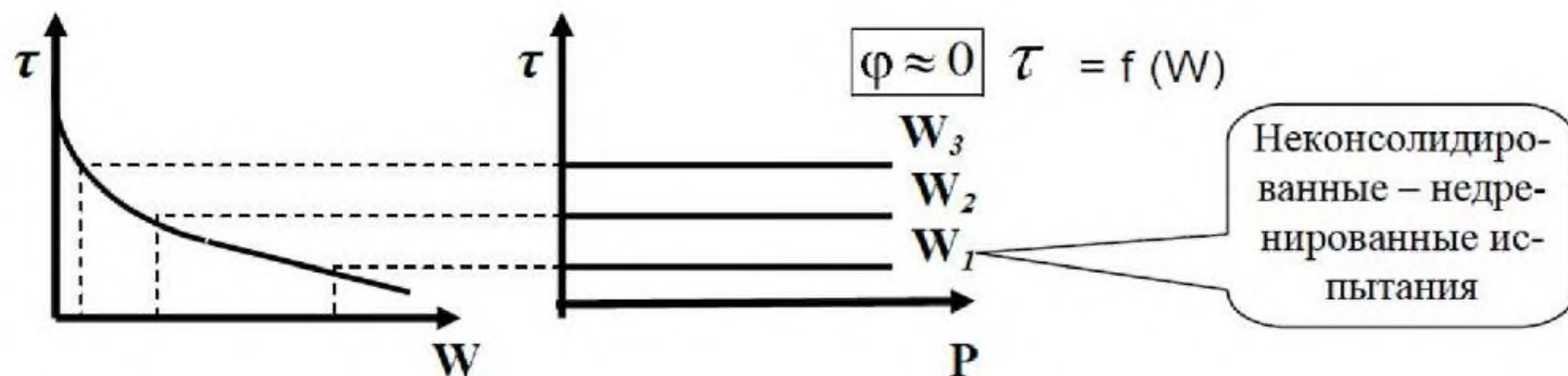
P_e – давление связности

C – сцепление грунта (начальный параметр прямой)

Представленные зависимости отражают работу грунта при консолидировано-дренированных испытаниях, что чаще всего отвечает работе возводимых сооружений.

Неконсолидировано-недренированные испытания

Сопротивление быстрому сдвигу связных водонасыщенных грунтов зависит в основном только от влажности W . Такие грунты будут обладать лишь параметром сцепления (C) при практическом значении угла внутреннего трения равного нулю $\varphi \approx 0$.



Главные прочностные характеристики грунтов

Сцепление C , кПа

Характеристика грунта, определяющая связь между частицами вследствие молекулярных сил притяжения

Характеризуется начальным сопротивлением сдвигу, зависит от вида грунта и его влажности

Для песчаных грунтов $C = 30 \dots 50$ кПа, для глинистых - $50 \dots 300$ кПа.

Угол внутреннего трения φ , °

Характеристика, определяющая силы внутреннего трения в грунте и зависящая от крупности, минералогического состава, пористости и в значительно меньшей степени от влажности

Для сыпучих грунтов (песков)

Мелкие пески	Крупные пески
φ от 24°	φ до 40°

Для глинистых грунтов; $\varphi = f(W)$

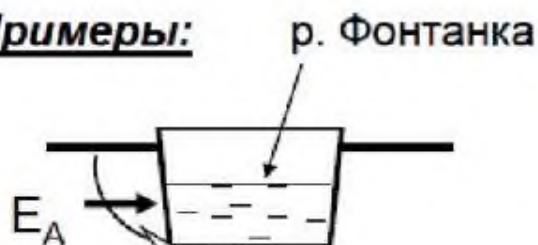
Текущее состояние	Твёрдое состояние
$\varphi = 0$	φ до 45°

Пример ошибочного задания угла внутреннего трения

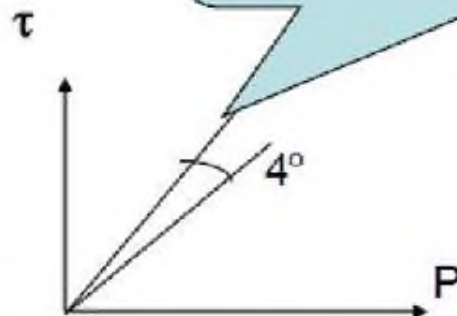
Случай возникновения аварийной ситуации при проведении ремонтных работ по береговому укреплению на набережной реки Фонтанка в Санкт-Петербурге

φ - определяет прочность грунта

Примеры:



$$E_A = \frac{\gamma h^2}{2} \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

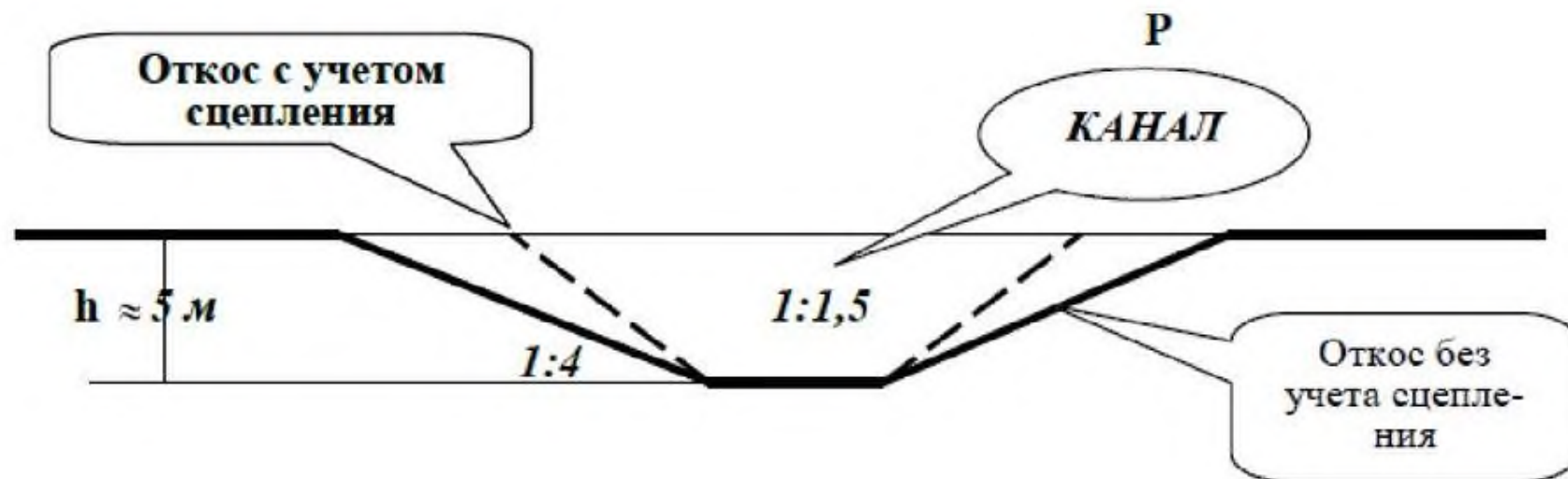


Стенка $L \approx 200$ м упала, т.к. в проекте был принят $\varphi = 22^\circ$, а при дополнительных обследованиях оказалось $\varphi = 18^\circ$

Таким образом, качество проводимых испытаний грунтов и точность определения величин φ имеют решающее значение при расчете сооружений по устойчивости, прочности

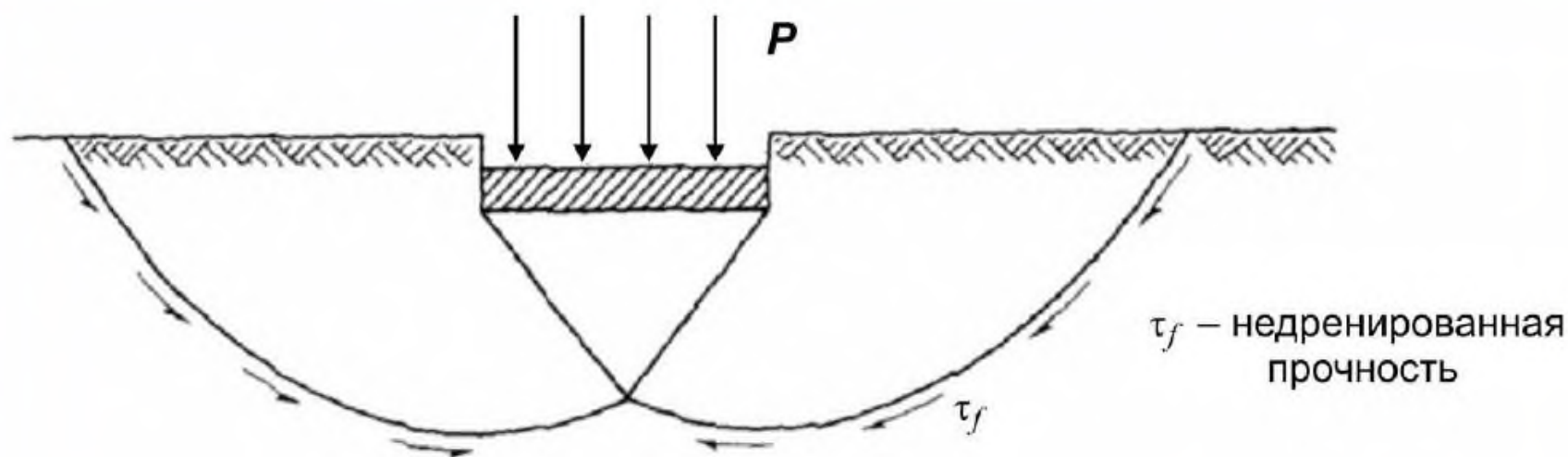


Важность точного учета величины сцепления грунтов



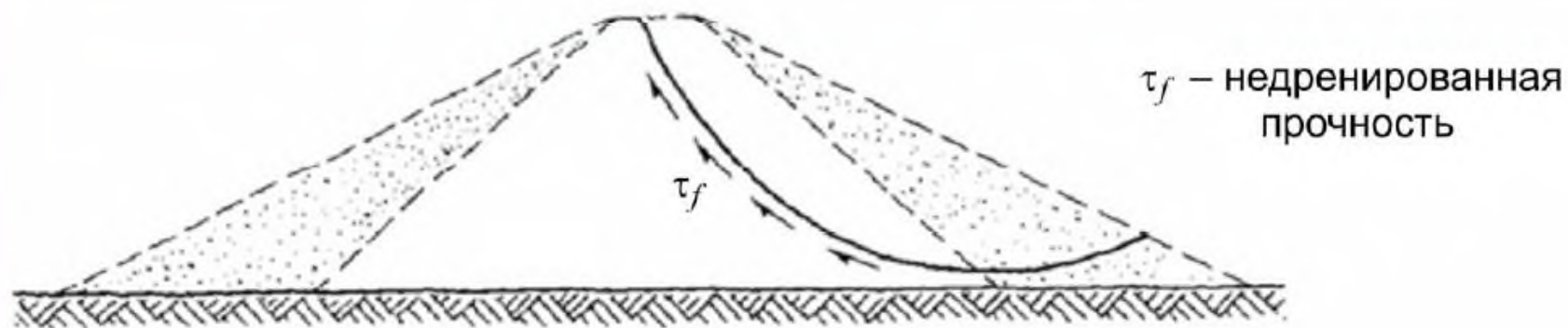
Откос при учете сцепления $C = 0,005 \text{ МПа}$ получил заложение $1 : 1,5$, что позволило сократить объем земляных работ $\approx$ на 61000 м^3 на 1 км канала.

Применение недренированной прочности



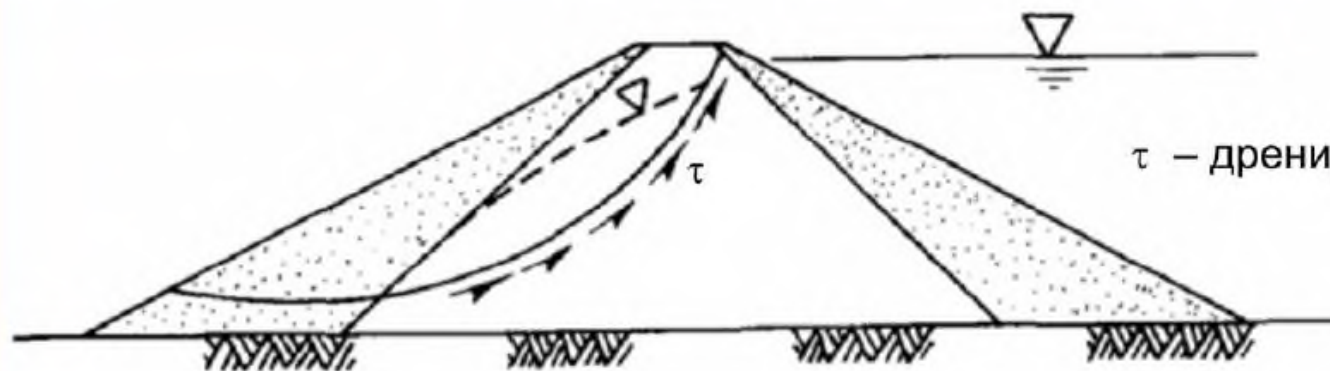
Быстрое строительство здания

Применение недренированных параметров прочности



Быстрые темпы возведения насыпи

Применение консолидировано-дренированных параметров прочности



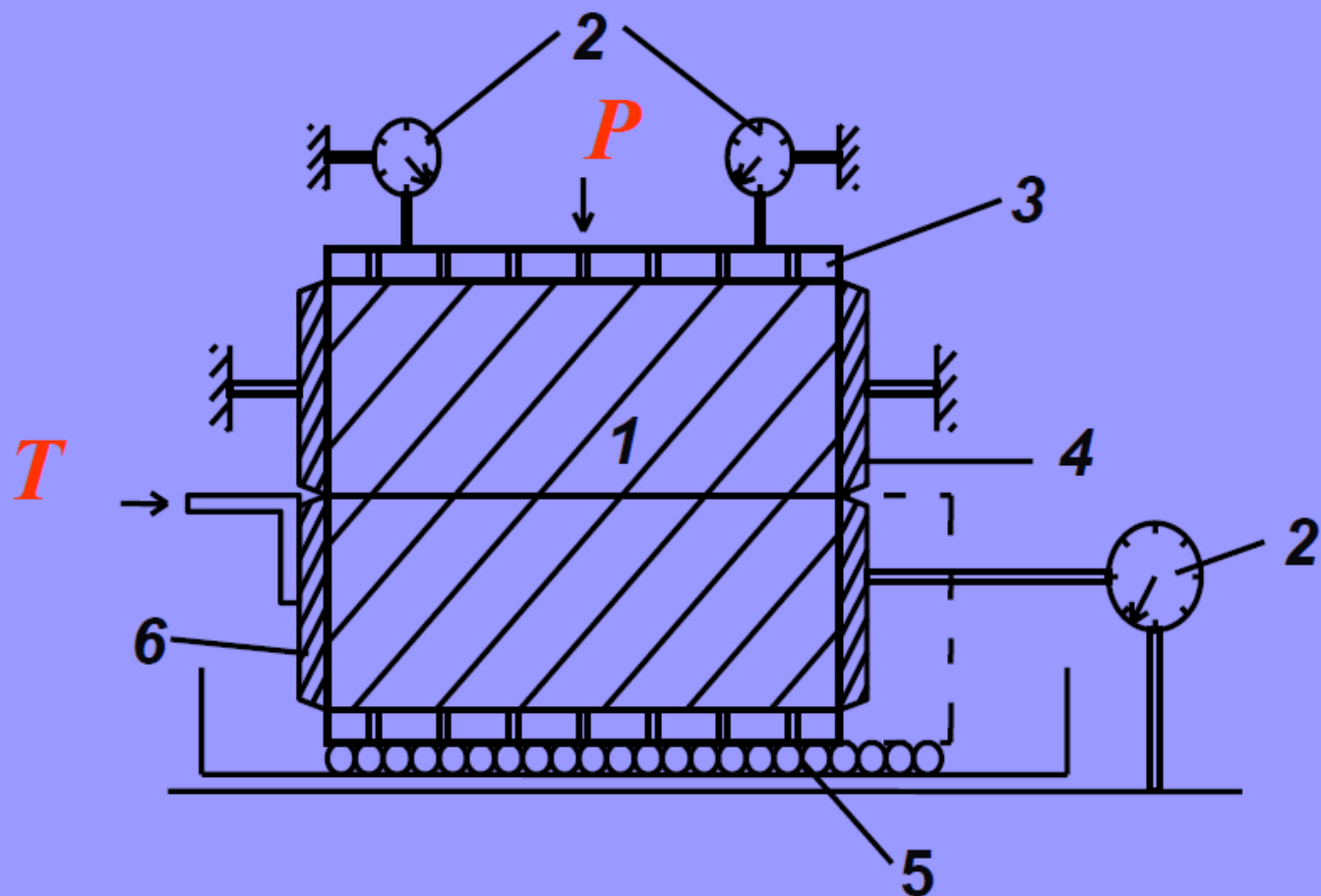
τ – дренированная прочность

Земляная дамба с установившейся фильтрацией

Применение консолидировано-дренированных параметров прочности



Схема срезного прибора

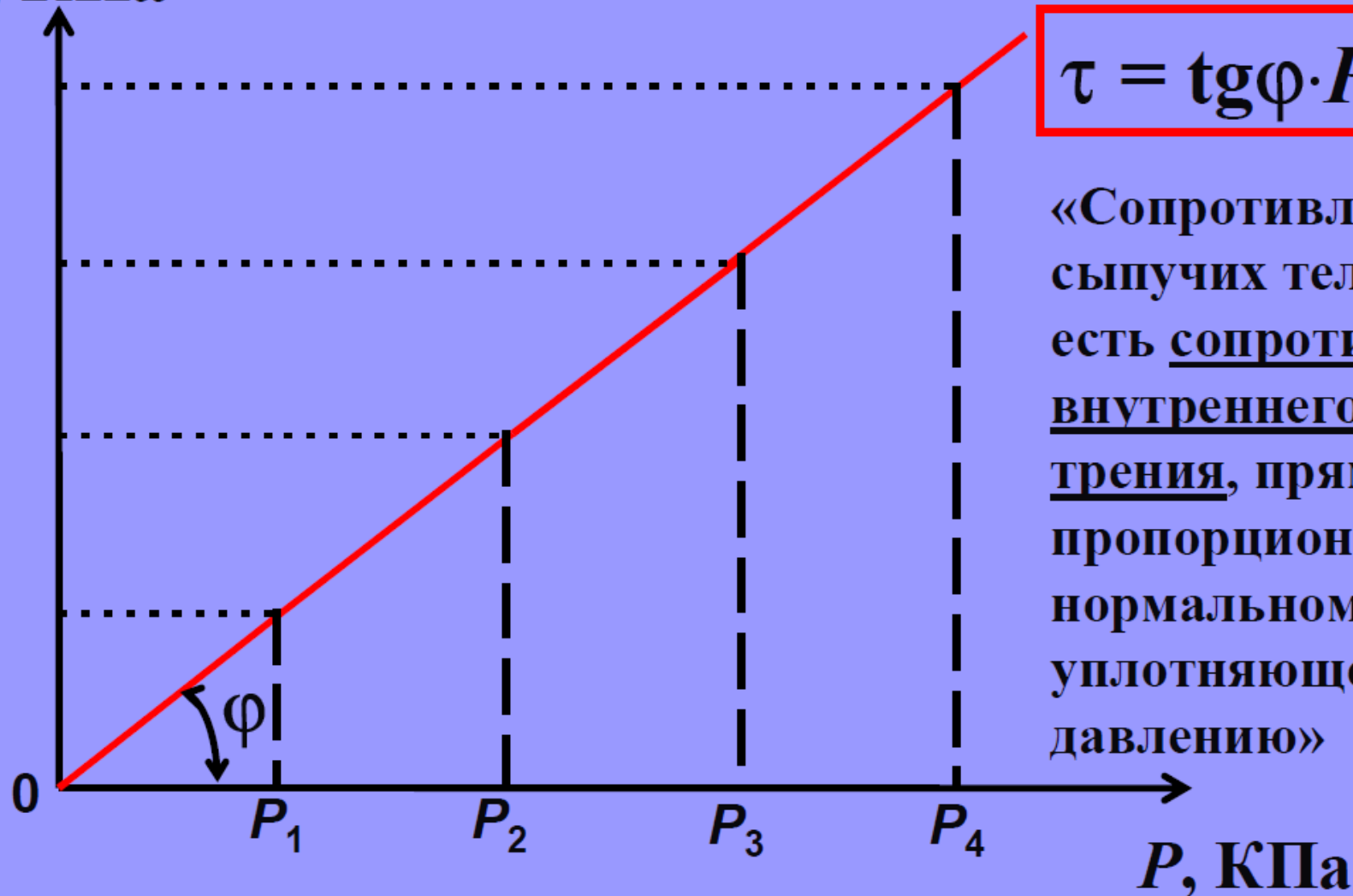


1 – образец грунта; 2 – индикаторы; 3 – пористый поршень; 4 – неподвижная часть обоймы; 5 – ролики; 6 – подвижная часть обоймы.

- Вначале прикладывается уплотняющее давление P .
- После стабилизации осадки к подвижной обойме прибора прикладывают небольшими ступенями горизонтальное усилие T до наступления незатухающей деформации сдвига по зазору между кольцами прибора.
- Испытания проводят на нескольких (3–5) образцах грунта с целью получения ряда экспериментальных точек для построения графической зависимости между величиной давления P , нормального к поверхности сдвига, и сопротивлением грунта сдвигу τ .
- $\tau = f(P)$

Закон Кулона для песчаных грунтов (1776 г.)

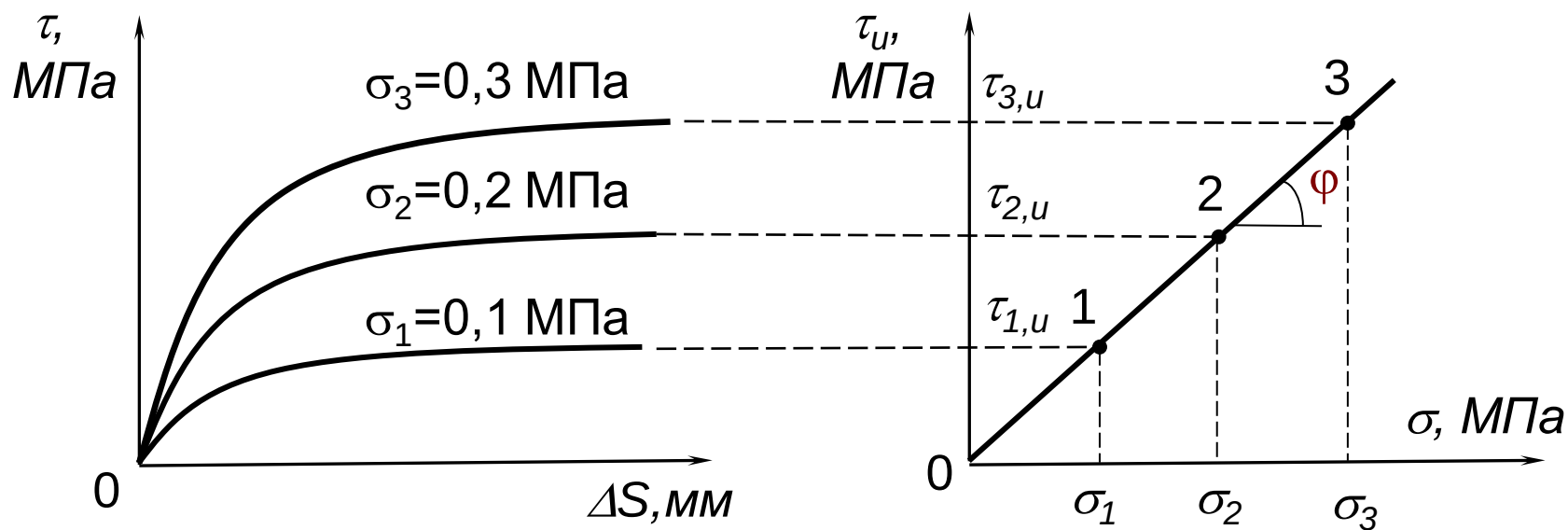
τ , КПа



«Сопротивление сыпучих тел сдвигу есть сопротивление внутреннего трения, прямо пропорциональное нормальному уплотняющему давлению»

Закон Кулона для сыпучих грунтов

После проведения сдвиговых испытаний строится график зависимости сдвигающего усилия τ от σ .



φ - угол внутреннего трения грунта.

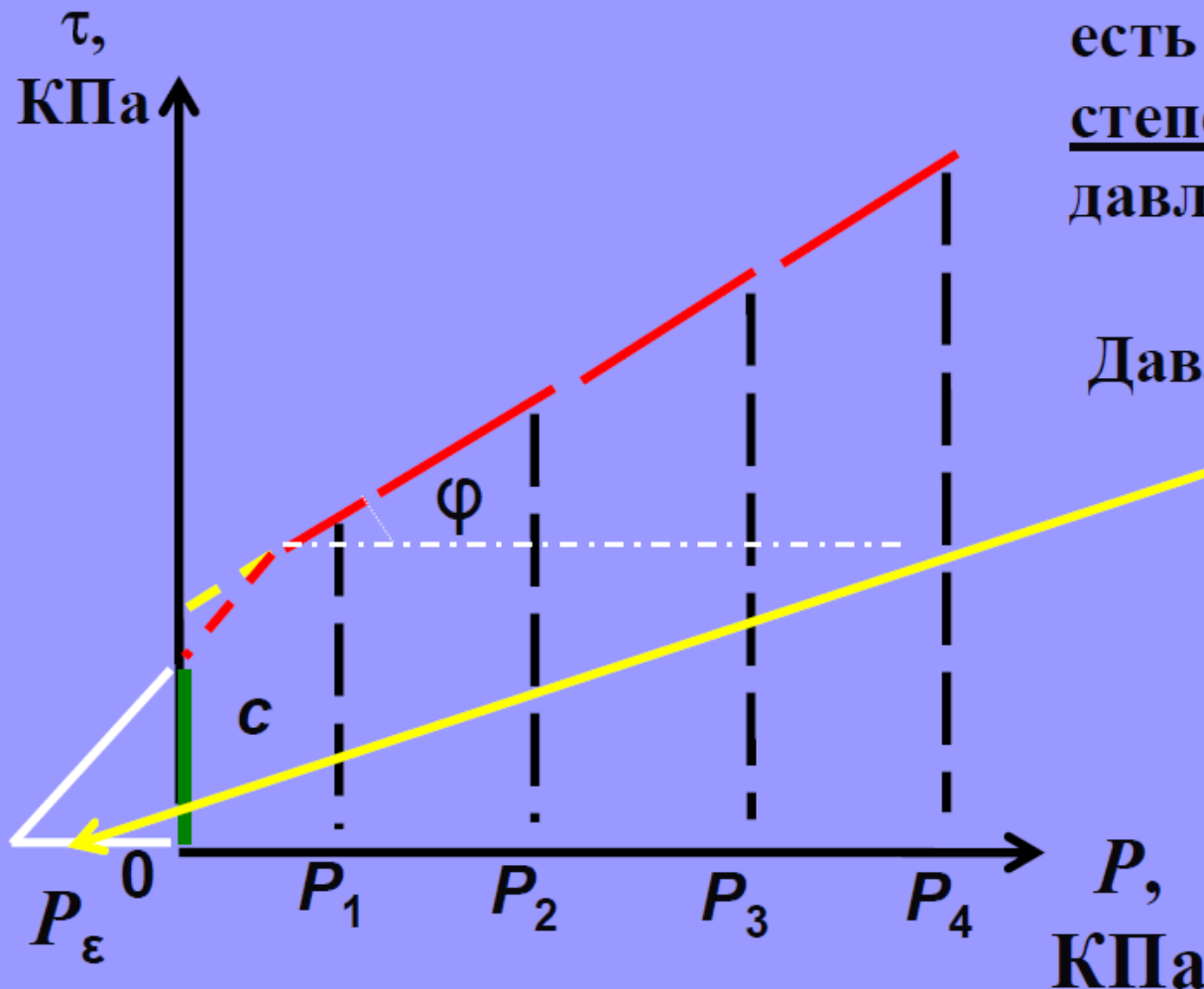
Шарль Огустен Кулон (1736–1806)



Закон Кулона для связных грунтов

$$\tau = \operatorname{tg} \varphi \cdot P + c$$

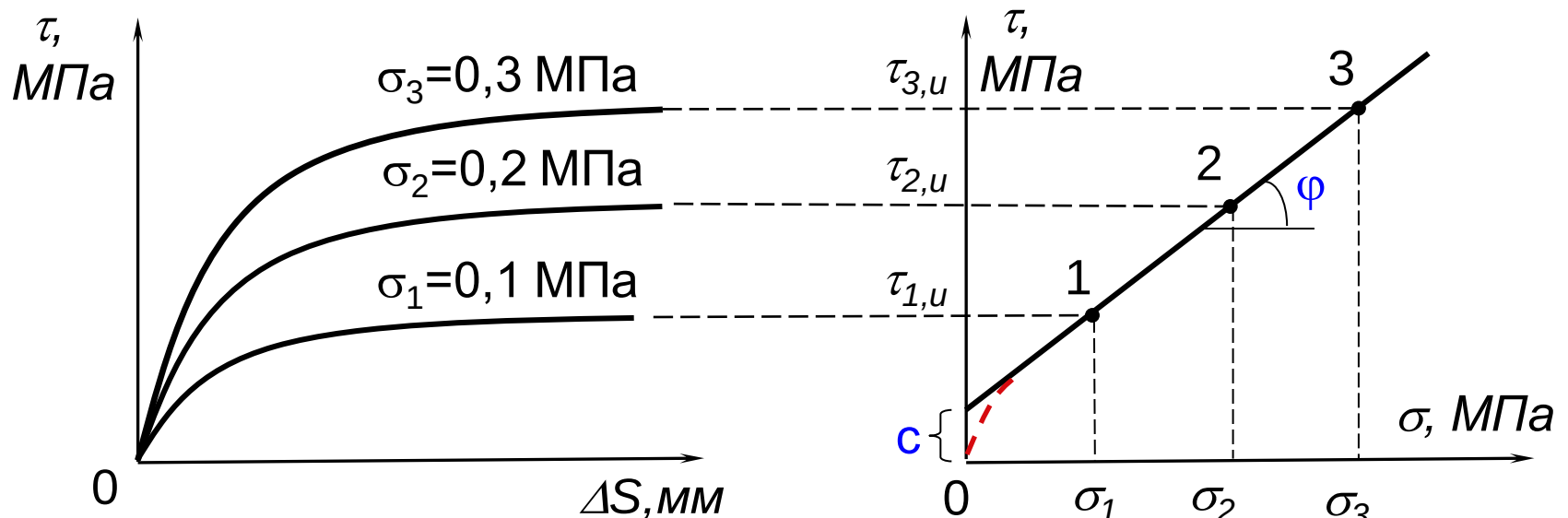
«Сопротивление связных грунтов сдвигу есть функция первой степени от нормального давления»



Давление связности

$$P_\varepsilon = \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi}$$

Закон Кулона для связных грунтов



Опыты показывают, что диаграмму сдвига глинистых грунтов можно описать уравнением прямой линии:

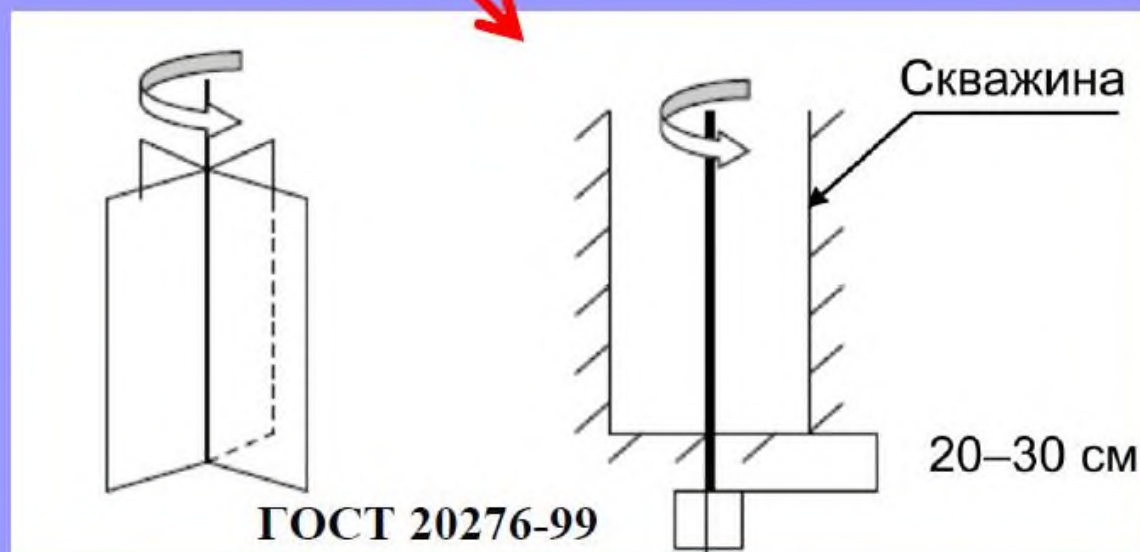
$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c, \quad (3.12)$$

где c – удельное сцепление грунта, МПа.

Для определения сопротивления грунта сдвигу сейчас существует довольно много приборов:

- односрезные сдвиговые приборы;
- двухсрезные сдвиговые приборы;
- приборы трехосного сжатия (стабилометры);
- зондирование;
- искусственное обрушение откосов;
- лопастные испытания (крыльчатка);
- метод шарикового штампа.

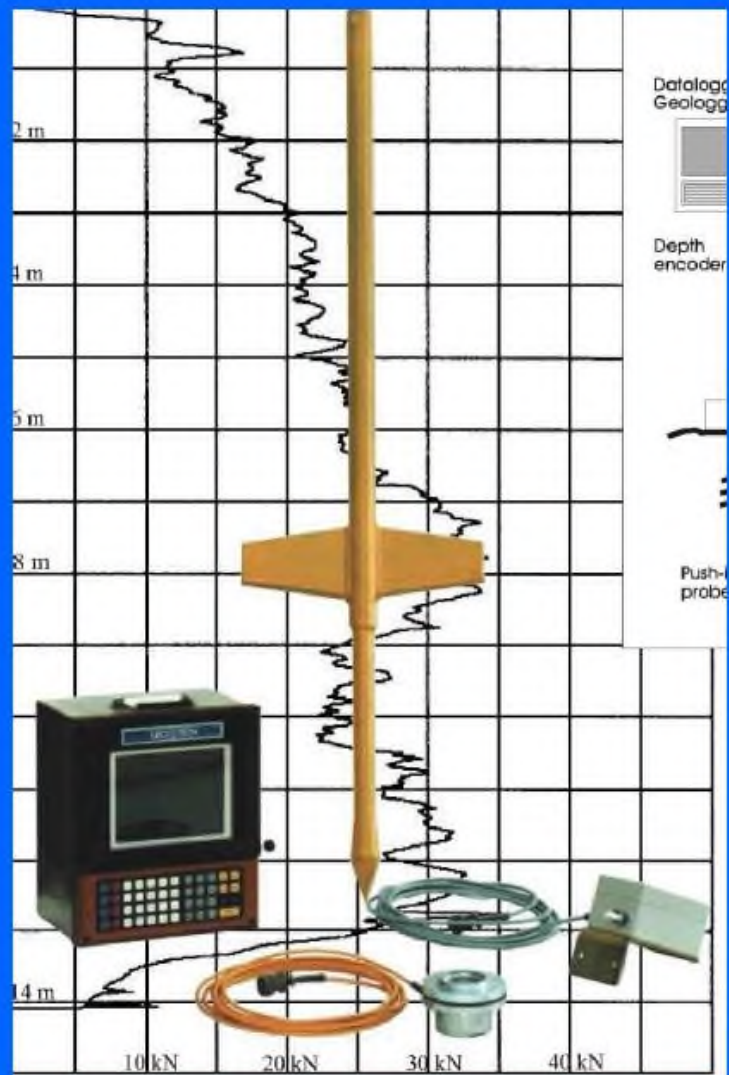
См.
литературу



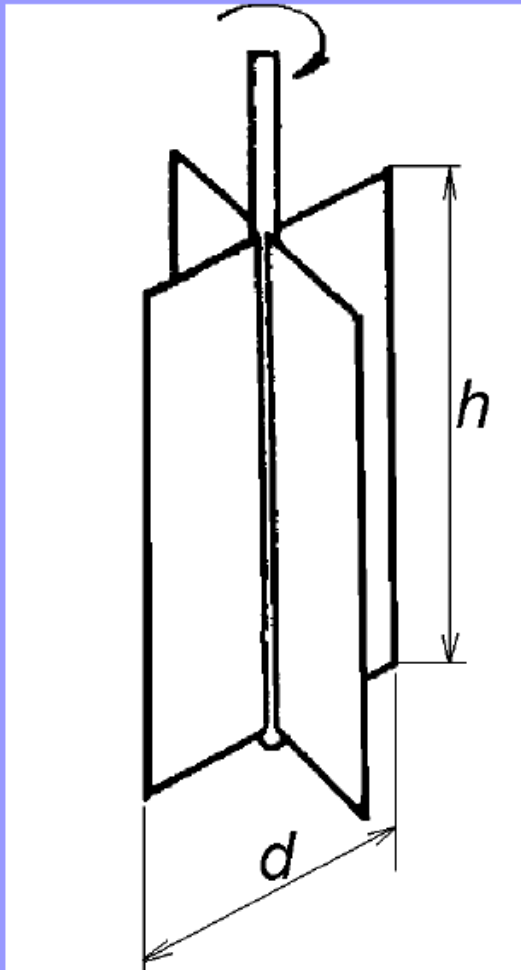


**Трехосные (стабилометрические) испытания.
ГОСТ 12248-2010**

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА



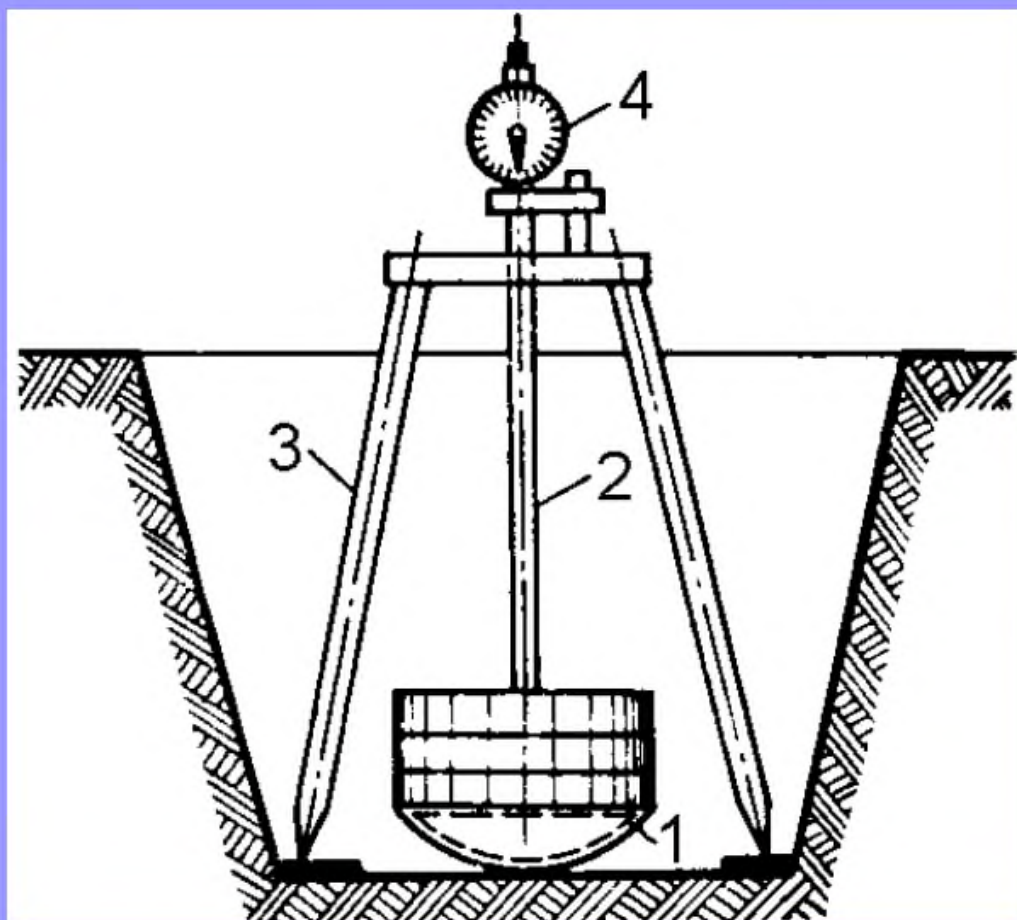
Лопастные испытания на сдвиг при кручении



$$\tau_s = \frac{2M_{\text{кр}}}{\pi d^2 h \left(1 + \frac{d}{3h} \right)}$$

При расчетах принимают $\tau_s \approx c$, т.е. сопротивление сдвигу равно силам сцепления.

Испытания по методу шарового штампа (метод Н.А. Цытовича) ГОСТ 20276-99



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

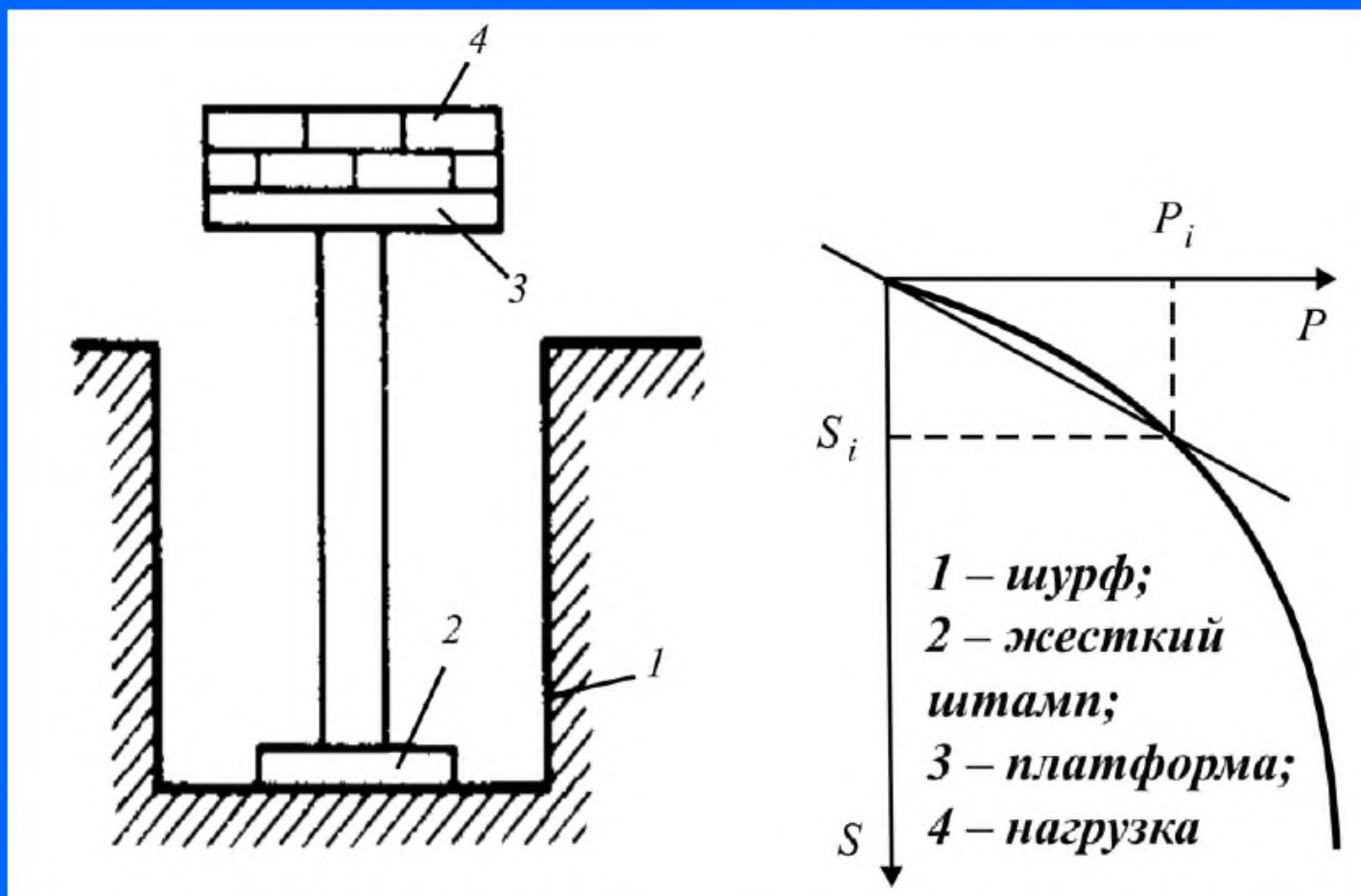
$$c_{\text{ш}} = \frac{0,18P}{\pi DS}$$

$$S/D \leq 0,1$$

МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ

Определение модуля деформации возможно:

1) по данным испытания грунта статической нагрузкой в шурфе или скважине ($F \geq 5000 \text{ см}^2$).



Формула Шлейхера – Буссинеска

$$E_0 = \frac{wd \left(1 - \nu_0^2\right) \Delta P}{\Delta S},$$

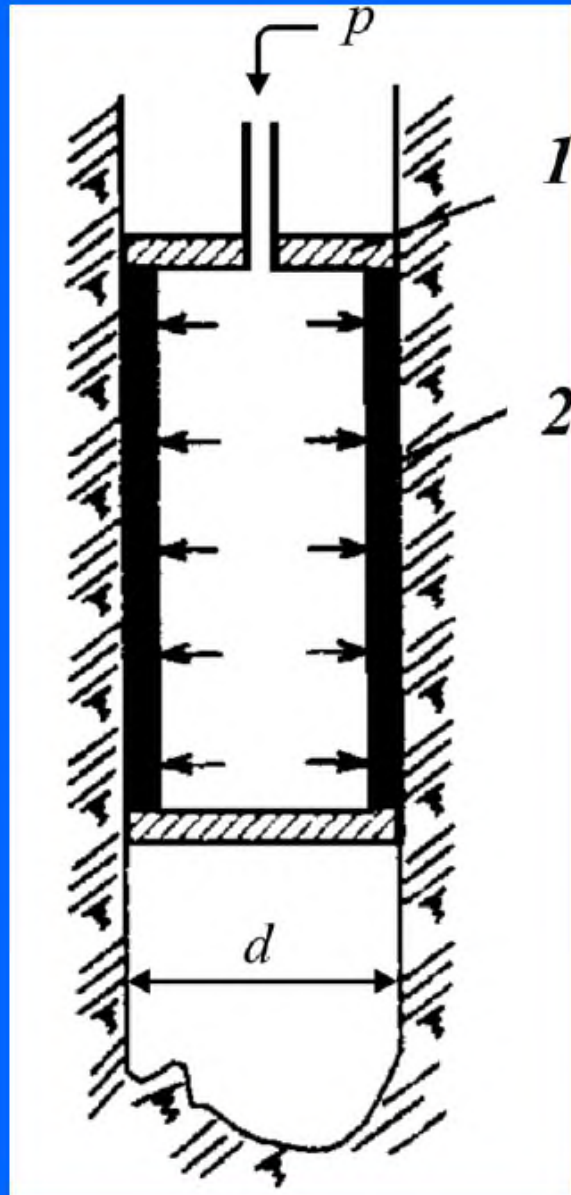
где w – коэффициент, принимаемый для круглых жестких штампов равным 0,8;

d – диаметр штампа;

ΔP – приращение нагрузки;

ΔS – приращение осадки штампа при изменении давления на ΔP ;

2) по данным прессиометрических испытаний.



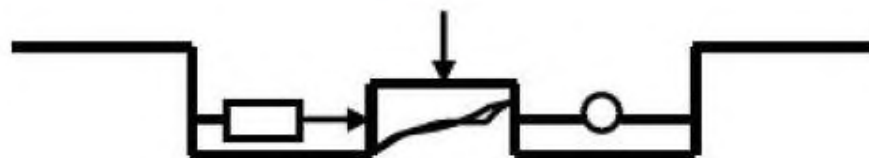
1 – прессиометр;

2 – резиновая оболочка

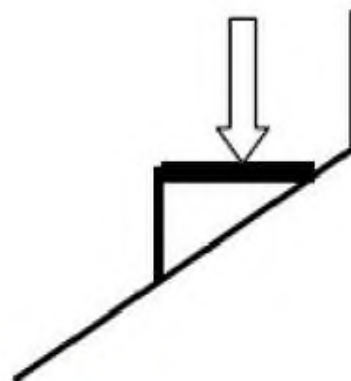
$$E_0 = (1 + \nu) d \frac{\Delta P}{\Delta d}$$

Полевые методы определения сопротивления грунта сдвигу

1. Полевые сдвижные установки в шурфе



2. Методы разрушения призм грунта в шурфе



Некоторые нормативные значения прочностных характеристик грунтов

<i>Вид грунтов</i>	<i>C, кПа</i>	<i>$\varphi, \dots^{\circ}$</i>
Пески	0...5	25...35
Глинистые грунты	10...50	5...20
Торфы	10...30	5...15