

ФГБОУ ВПО
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Геотехника»

СТЕПАНОВ Максим Андреевич

МЕХАНИКА ГРУНТОВ

для обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство»

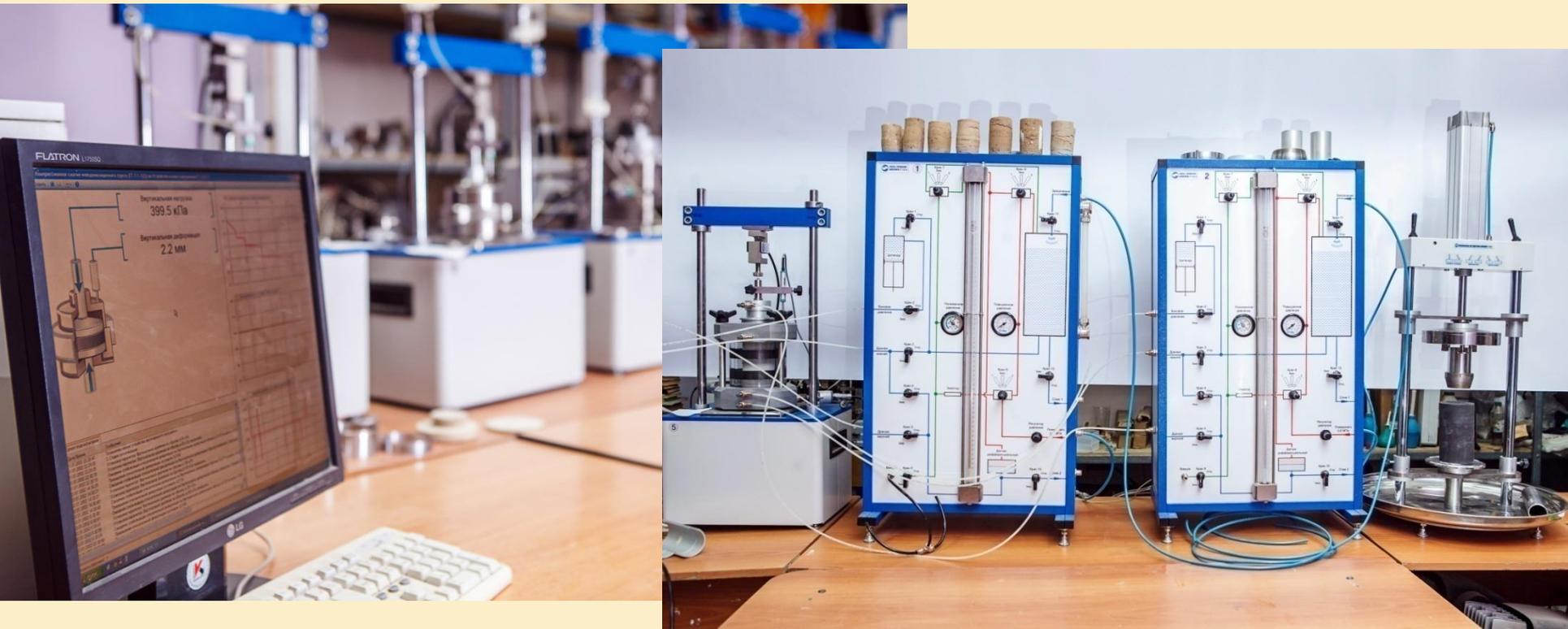




МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ГРУНТА ПОД НАГРУЗКОЙ

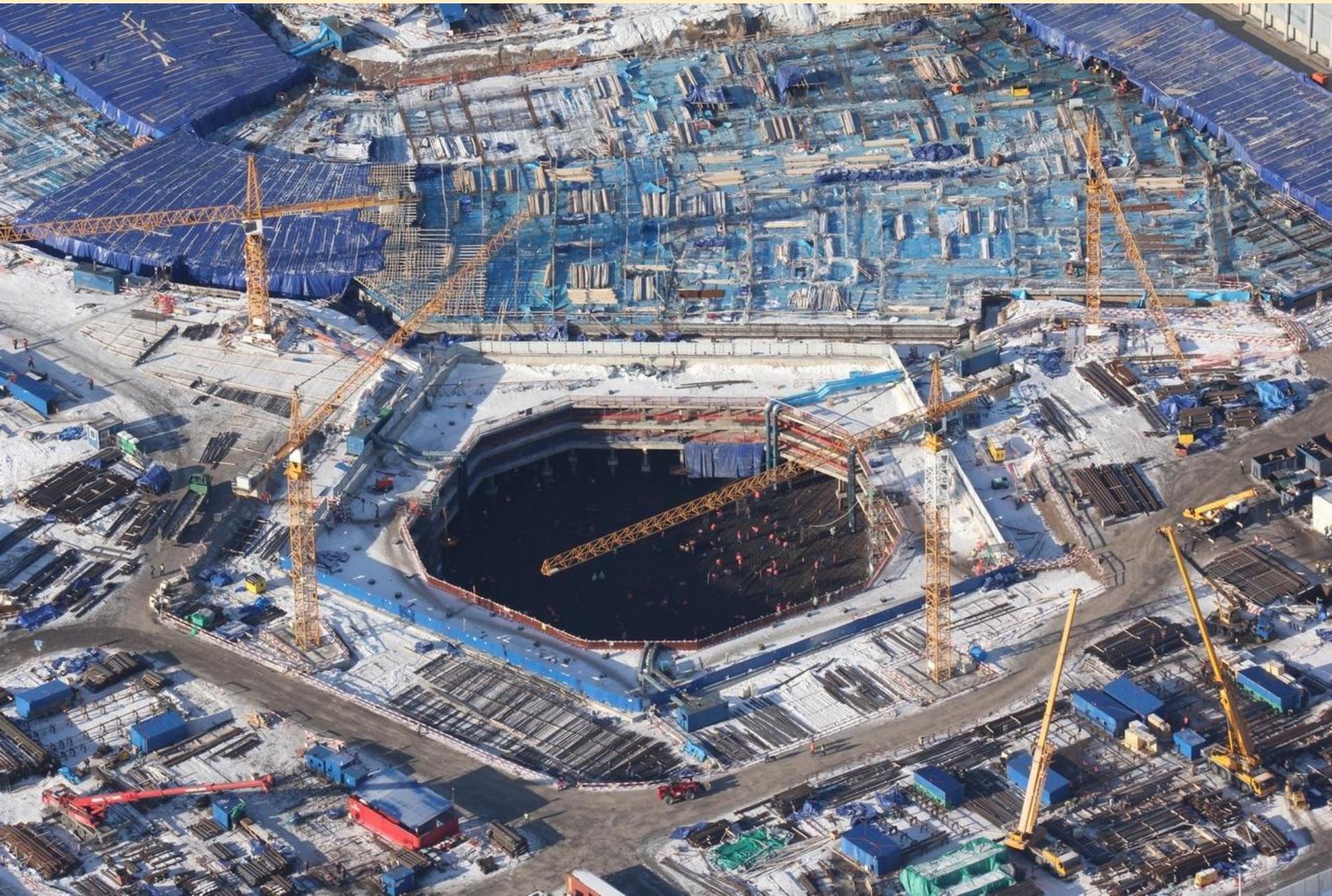
- 1) *изменение пористости, а следовательно, и водопроницаемости грунта под действием внешнего давления;*
- 2) *ухудшение водопроницаемости из-за наличия в тонкодисперсных грунтах прочно- и рыхлосвязанной воды;*
- 3) *незначительная деформируемость самих грунтовых частиц по сравнению с деформируемостью пор.*



ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ

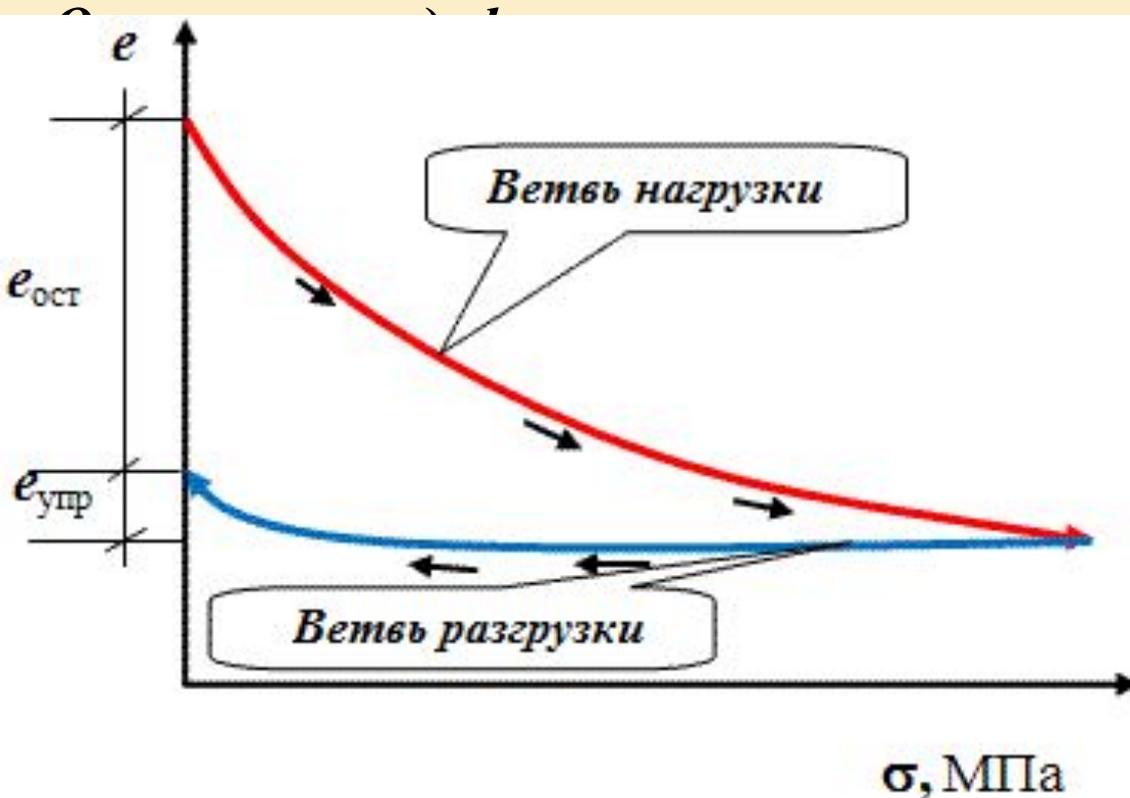
Свойство	Закономерность	Показатели	Практические приложения
Сжимаемость	Закон уплотнения	Коэффициент уплотнения	Расчет осадок фундаментов
Водопроницаемость	Закон ламинарной фильтрации	Коэффициент фильтрации	Прогноз скорости осадок водонасыщенных грунтовых оснований
Контактная сопротивляемость сдвигу	Предельное сопротивление сдвигу. Условие прочности	Коэффициент внутреннего трения и сцепление	Расчет предельной прочности, устойчивости и давления на ограждения
Структурно-фазовая деформируемость	Принцип общей и линейной деформируемости	Модули деформации	Определение напряжений и деформаций грунтов

СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ



ИЗМЕНЕНИЕ ОБЪЕМА ГРУНТА ПРИ СЖАТИИ ПРОИСХОДИТ ТОЛЬКО ИЗ-ЗА ИЗМЕНЕНИЯ ОБЪЕМА ПОР.

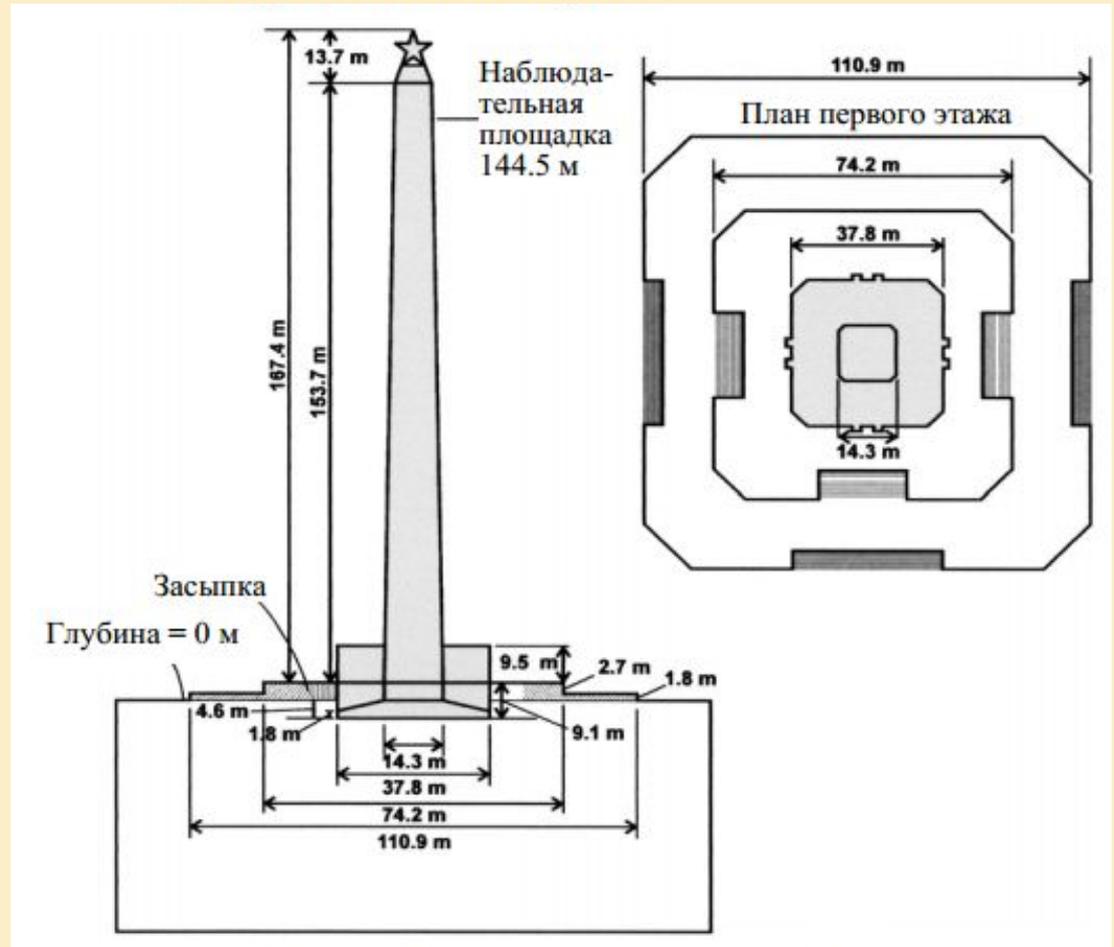
Изначально в грунте возникают *упругие деформации*, приводящие к упругому изменению объема грунта (*такие деформации во много раз меньше остаточных*).



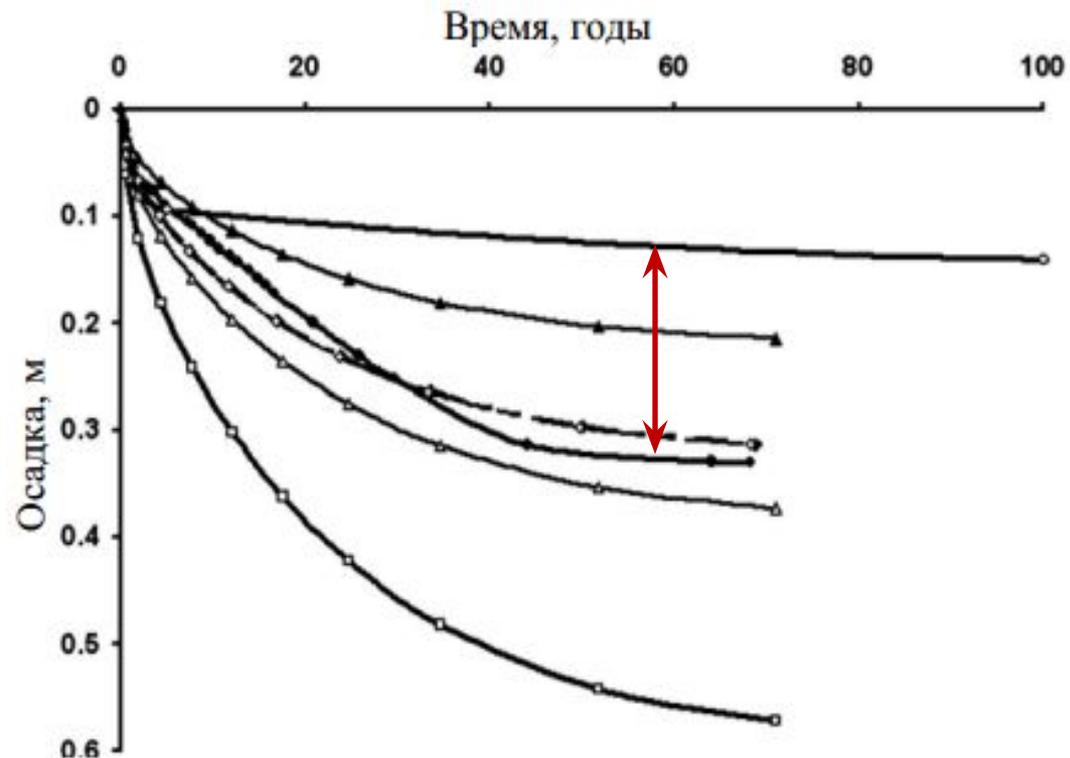
да напряжения в грунте

лению пористости.

Деформации уплотнения *глинистых грунтов* протекают медленно во времени, т.к. из пор должна быть выдавлена вода (практически несжимаемая), а данные грунты обладают малой водопроницаемостью.



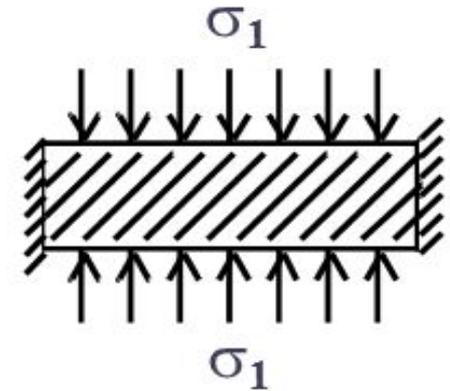
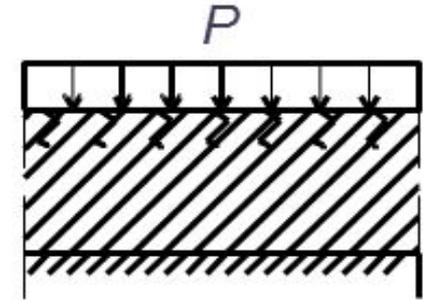
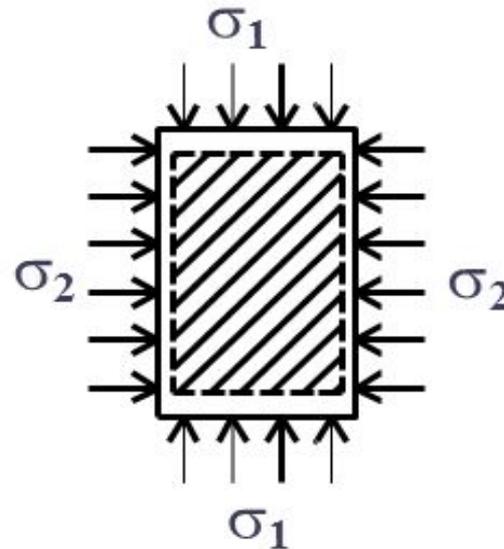
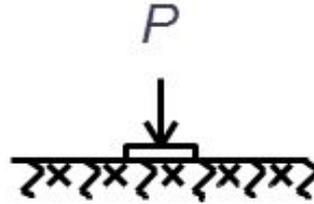
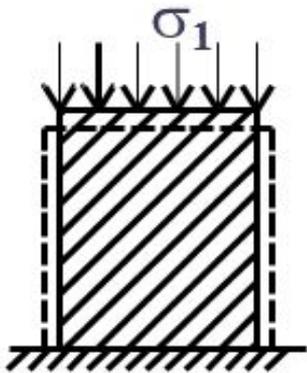
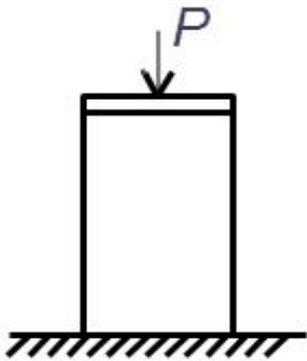
Монумент Сан-Хасинто, 1939г.



- ◆— Измеренная осадка
- Рассчитанная осадка (Dawson)
- ◆— $H_{dr}=7,6$ м, используя преобладающее значение c_v
- $H_{dr}=15,5$ м, используя среднее значение c_v
- Прогноз (случай из практики 8а – упругий фундамент)
- △— Рассчитанные (случай из практики 7а – упругий фундамент)
- ▲— Рассчитанные (случай из практики 7а – жесткий фундамент)

Монумент Сан-Хасинто, 1939г.

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА

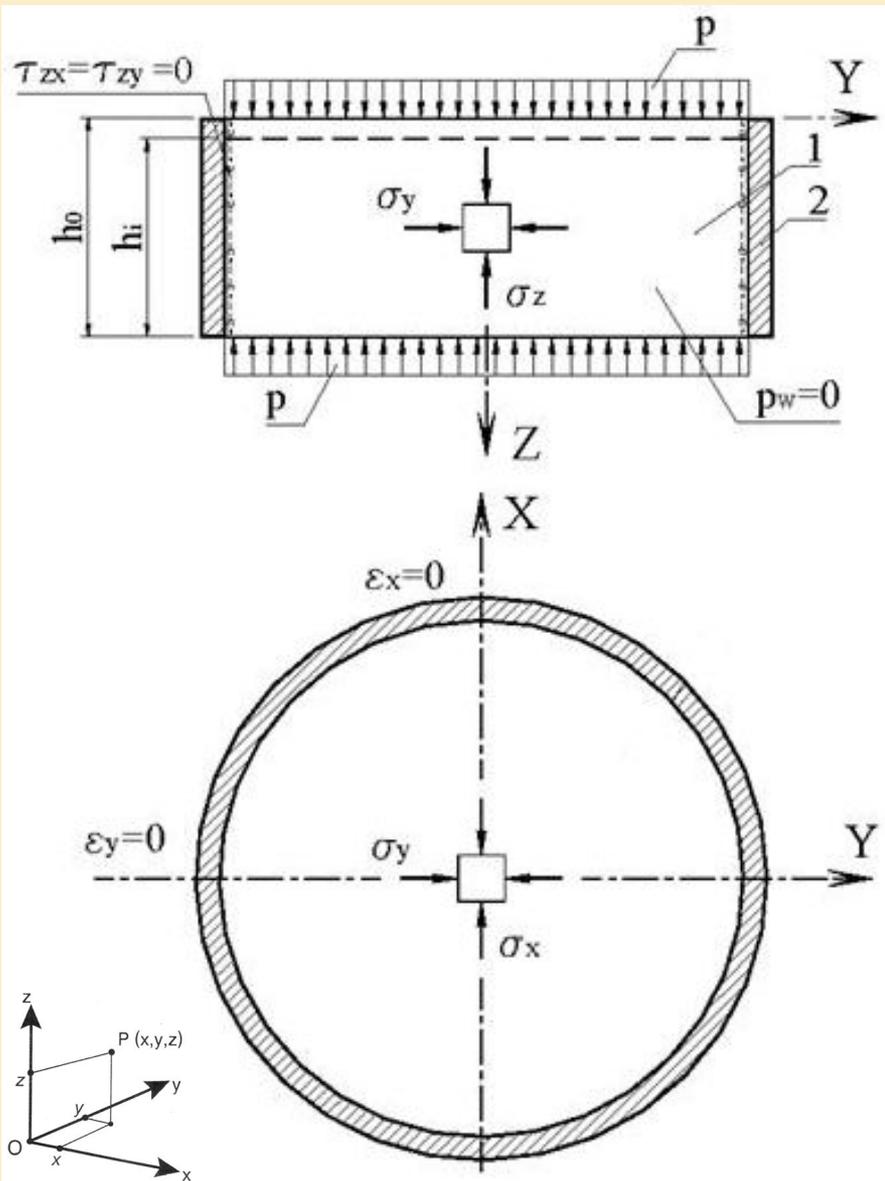


А – сжатие без ограничения возможности бокового расширения

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 (*компрессионное сжатие*)

СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ



Компрессионные испытания - это испытания грунта в условиях одноосного сжатия без возможности бокового расширения.

$$\epsilon_x = \epsilon_y = 0$$

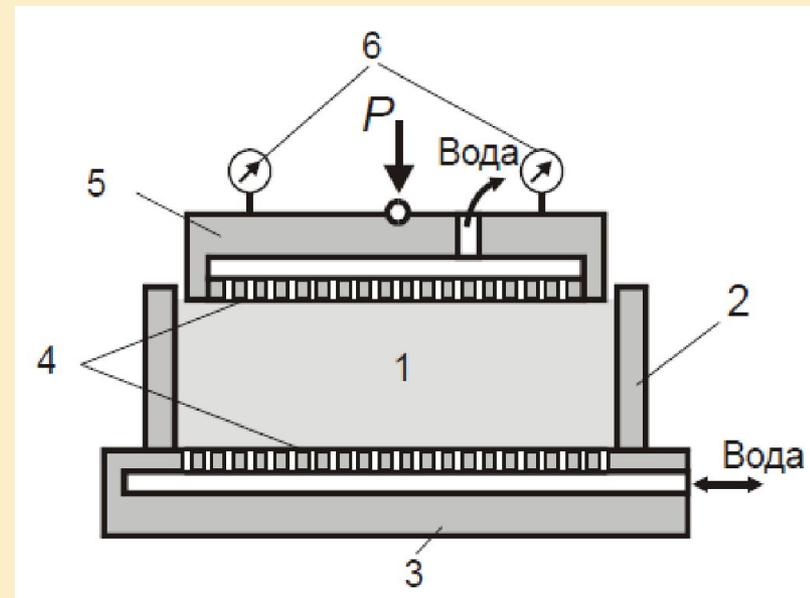
Компрессионное сжатие моделирует процесс уплотнения грунта под центром фундамента.

СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Компрессионные испытания грунтов производят в одеметрах – приборах с жесткими металлическими стенками, препятствующими боковому расширению грунта при сжатии его вертикальной нагрузкой.

При таких испытаниях разрушение образца невозможно, происходит его уплотнение за счет уменьшения объема пор и влажности (отжатия воды из пор грунта).

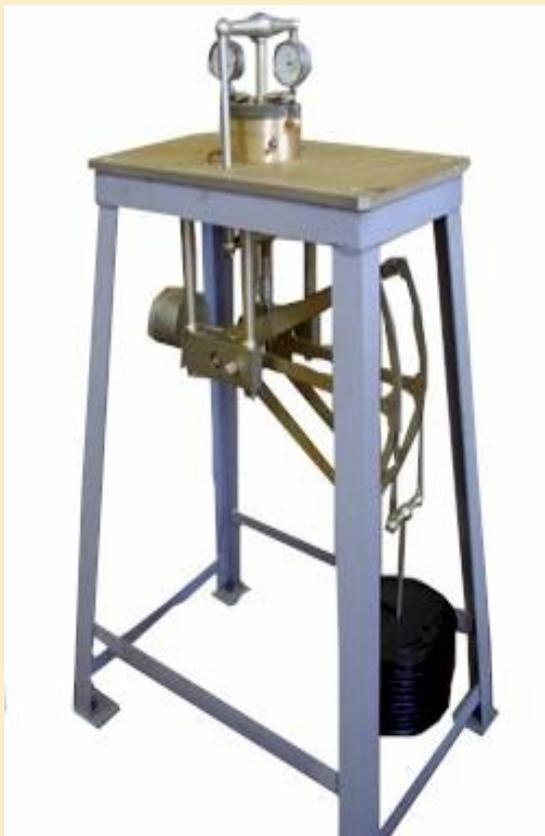
Схема одометра



- 1 – образец испытываемого грунта,
- 2 – корпус, 3 – поддон корпуса,
- 4 – перфорированные вкладыши,
- 5 – штамп, 6 – индикатор часового типа.



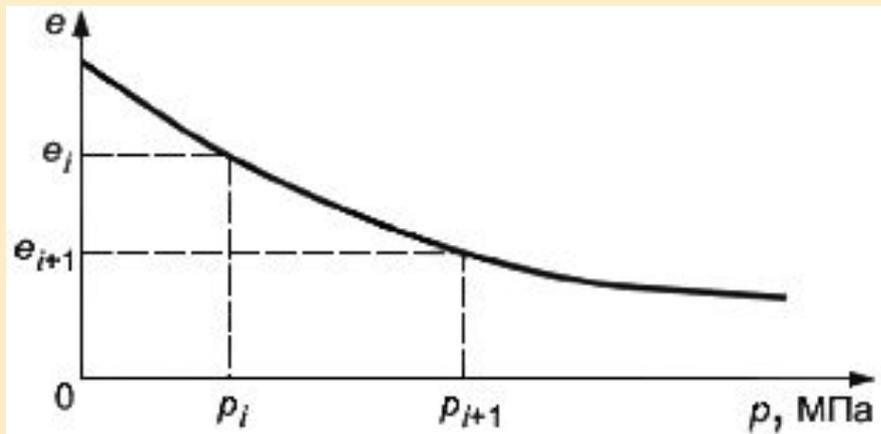
СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ



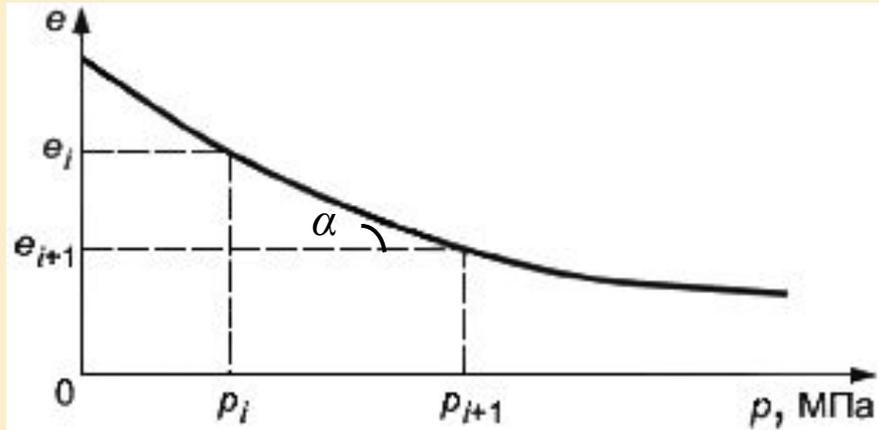
Устанавливается зависимость сжимающего давления p и относительного сжатия образца $\varepsilon_z = S_z / h$.

А исходя из того, что сжатие происходит за счет изменения объема пор грунта переходят к зависимости вертикального сжимающего давления p от коэффициента пористости e –

КОМПРЕССИОННОЙ КРИВОЙ.



СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ



Для оценки сжимаемости криволинейное очертание компрессионной кривой заменяют прямолинейной, что в случае небольшого диапазона вполне допустимо.

Уравнение прямой описывается

$$e_i = e_0 - \sigma_i \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Принимаем $m_0 = \operatorname{tg} \alpha$ - **коэффициент сжимаемости** [МПа^{-1}].

$$m_0 = \operatorname{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$$

$$de = m_0 dP$$

Закон уплотнения

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

СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ КОМПРЕССИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

Коэффициент уплотнения – важная расчетная характеристика, позволяющая определить величину осадок сооружения.

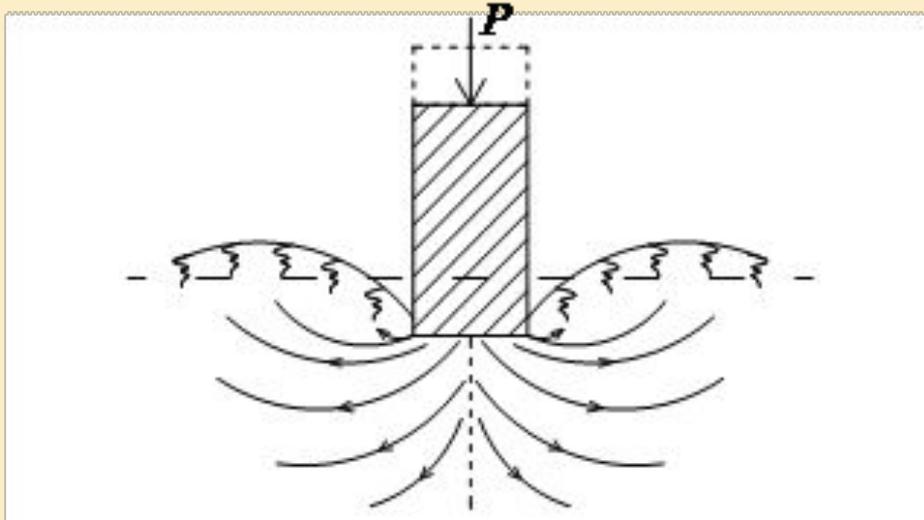
При основных строительных давлениях $p = 0,1 – 0,3 \text{ МПа}$ грунты по сжимаемости можно различать следующим образом:

$$\begin{aligned} m_0 &\leq 0,0005 \text{ МПа}^{-1} \text{ – малосжимаемые;} \\ m_0 &= 0,0005 – 0,005 \text{ МПа}^{-1} \text{ – среднесжимаемые;} \\ m_0 &> 0,005 \text{ МПа}^{-1} \text{ – сильносжимаемые.} \end{aligned}$$

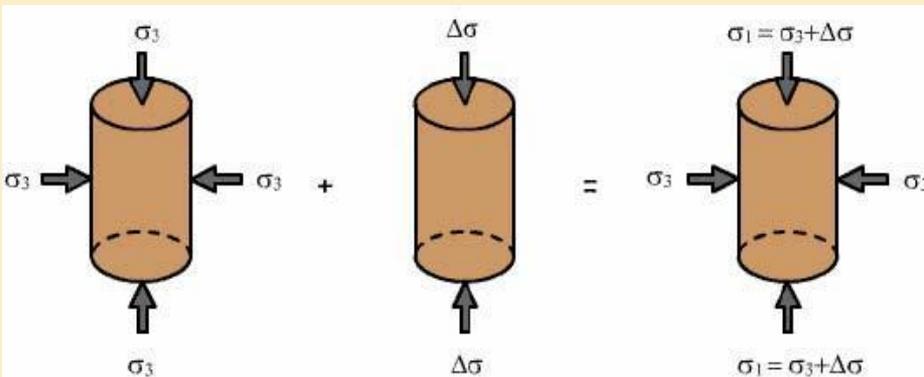


** Значения коэффициентов сжимаемости переменны даже для одного и того же грунта, так как они уменьшаются с увеличением давления (соответственно и с увеличением плотности грунта)*

СЖИМАЕМОСТЬ ГРУНТОВ ПРИ ВОЗМОЖНОСТИ БОКОВОГО РАСШИРЕНИЯ



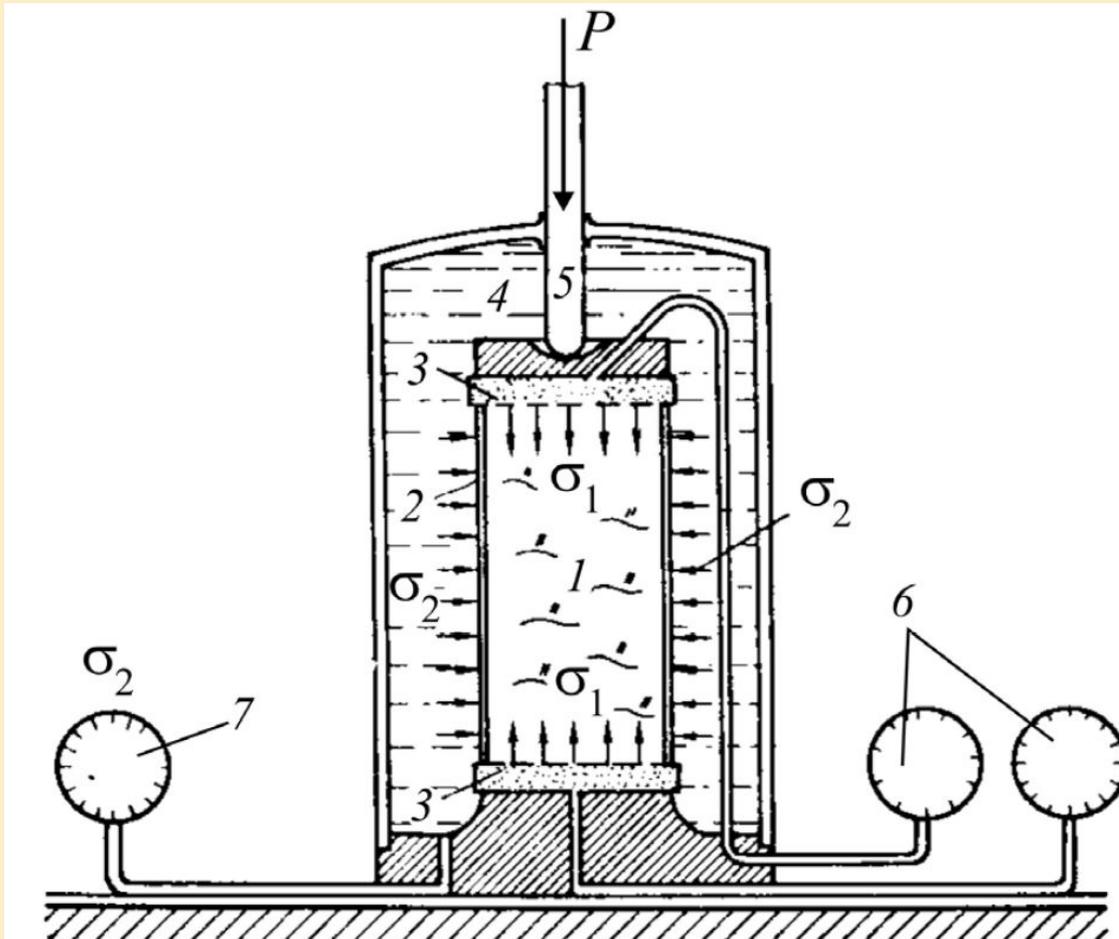
Более близкими к реальной работе грунта являются приборы **трехосного сжатия (стабилметры)**, позволяющие управлять боковыми деформациями и напряжениями.



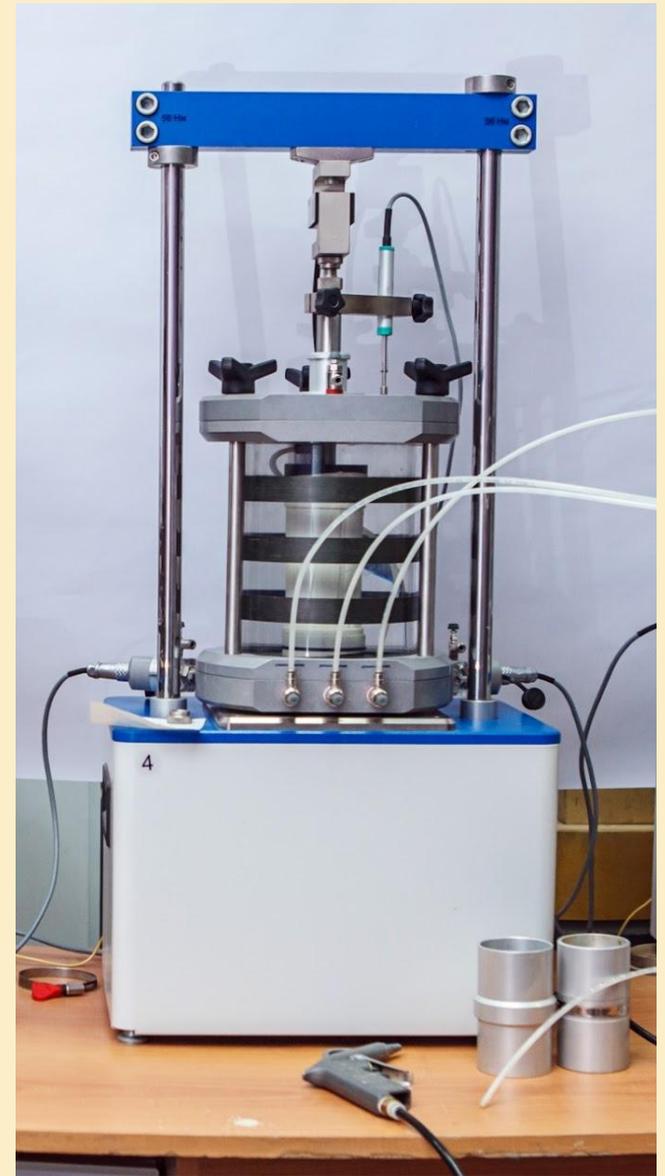
Существенным преимуществом стабилметров является возможность воссоздания в образце грунта начального напряженного состояния, адекватного существующему в естественном массиве грунта. Поэтому

полагают, что деформационные параметры E и ν , определенные из

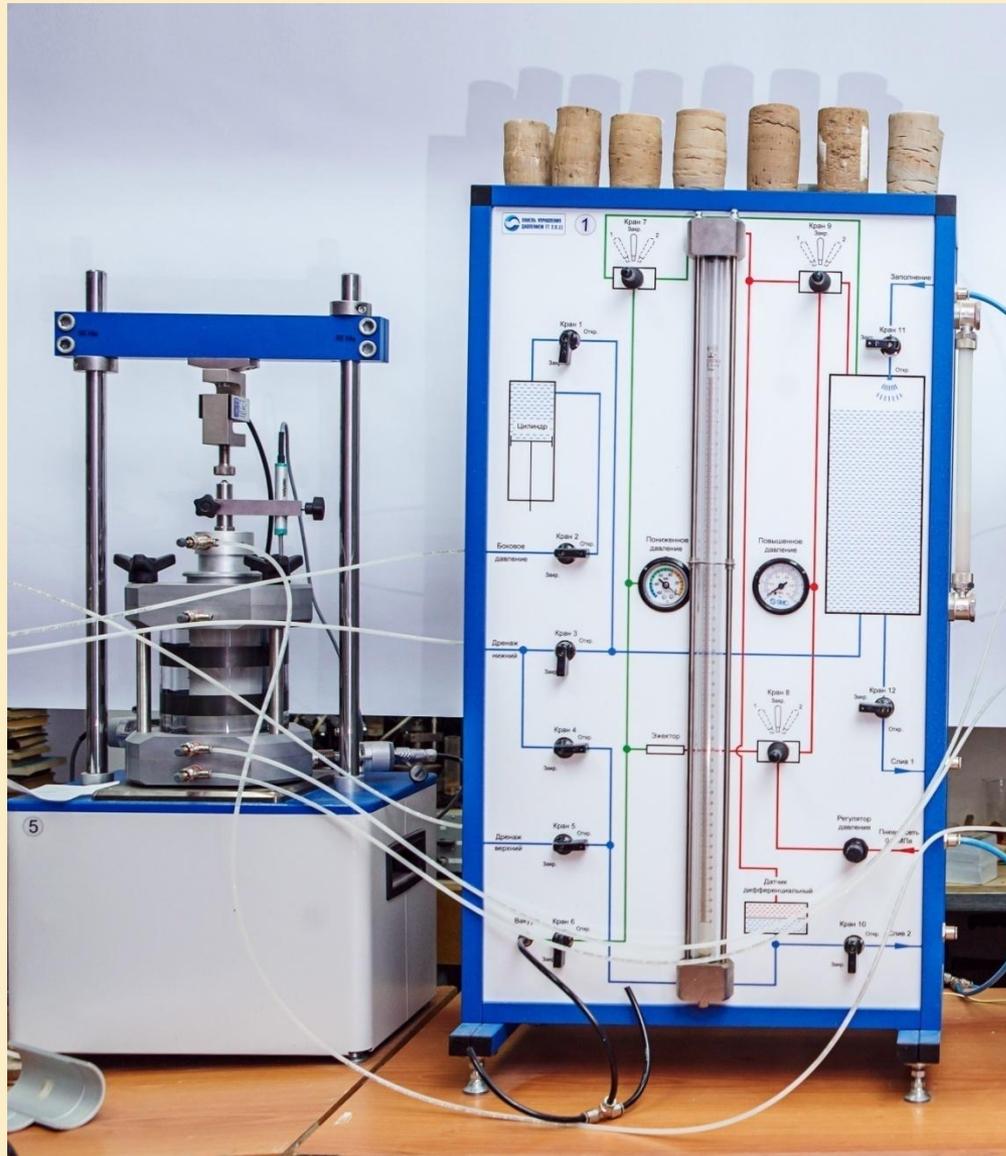
ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА В ПРИБОРЕ ТРЕХОСОСНОГО СЖАТИЯ



1 – образец грунта; 2 – эластичная оболочка;
3 – пористые штампы; 4 – камера; 5 – поршень;
6 – манометры для измерения порового давления;
7 – манометр для измерения бокового давления σ_2

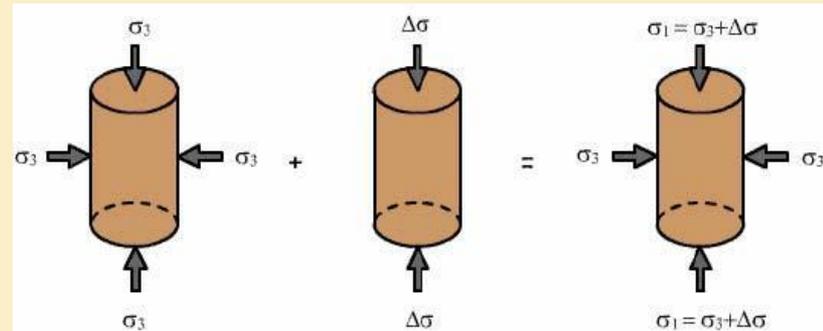


ИСПЫТАНИЯ ГРУНТА В ПРИБОРЕ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ



Особенность испытаний в *стабилометре* заключается в том, что вначале происходит равномерное обжатие образца.

А после ступенями увеличивается вертикальная нагрузка σ_1 .



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

Способность тел изменять свои размеры и форму, т.е. деформироваться под действием механических напряжений, выражается

МОДУЛЕМ ОБЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ

E_0 .

МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ
МОЖЕТ БЫТЬ ОПРЕДЕЛЕН

ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ:

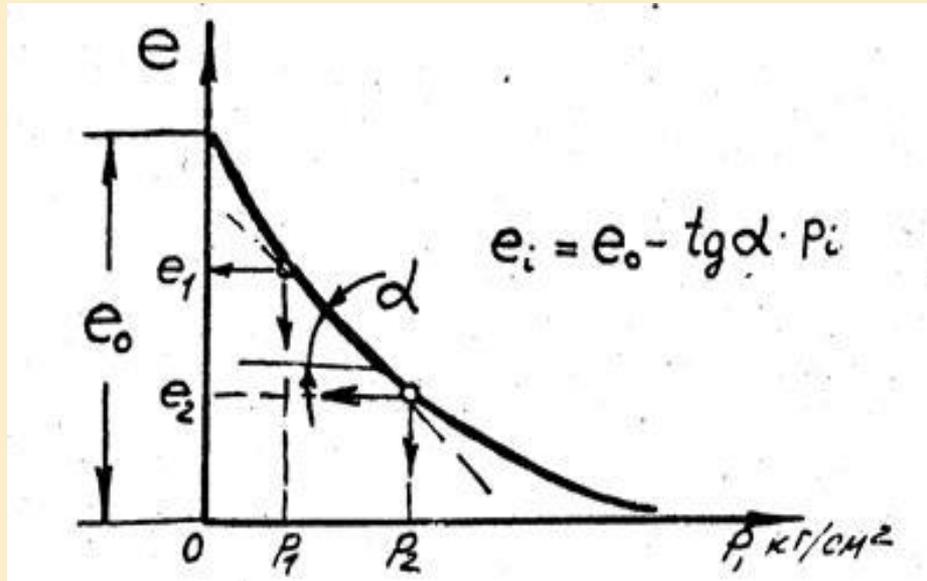
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ:

ПО ДАННЫМ ТАБЛИЦ СП «ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

в зависимости от физических характеристик грунта
(только для предварительных расчетов)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Лабораторные испытания в приборе компрессионного сжатия (одометре).*



1) Для выбранного диапазона давлений на компрессионной кривой определяется коэффициент сжимаемости m_0 [МПа^{-1}].

$$m_0 = \text{tg} \alpha = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$$

2) Определяется коэффициент относительно сжимаемости m_v [МПа^{-1}].

$$m_v = \frac{m_0}{(1 + e_0)}$$

3) Определяется β , коэффициент учитывающий невозможность бокового расширения

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}$$

где ν – коэффициент Пуассона. При отсутствии экспериментальных данных допускается принимать

β равным: 0,8 – для песков, 0,7 – для супесей, 0,6 – для суглинков, 0,4 – для глин.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Лабораторные испытания в приборе компрессионного сжатия (одомере).*

4) Модуль деформации по результатам компрессионных испытаний E_k [МПа].

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

5) Т.к. условия компрессионных испытаний отличаются от реальных условий работы основания под нагрузкой, производят его корректировку:

$$E_0 = E_k \cdot m_k$$

где m_k – корректировочный коэффициент, зависящий от вида грунта и коэффициента пористости (СП 22.13330. 2011 «Основания зданий и сооружений»).



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Лабораторные испытания в приборе трехосного сжатия (стабилометре).*



$$E_0 = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_z}$$

где $\Delta\sigma_1$ – приращение осевого давления;

$\Delta\varepsilon_z$ – приращение вертикальных деформаций.

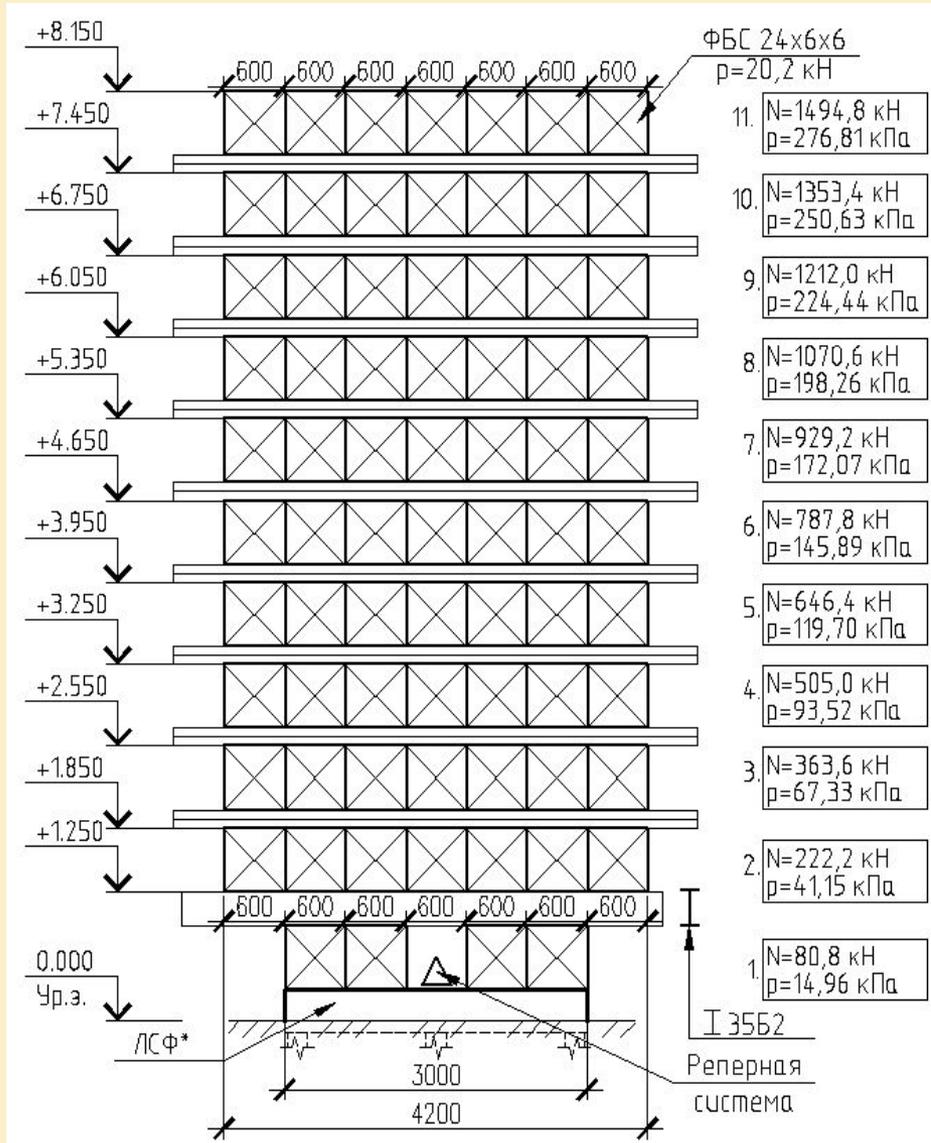
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Полевые испытания плоским штампом*



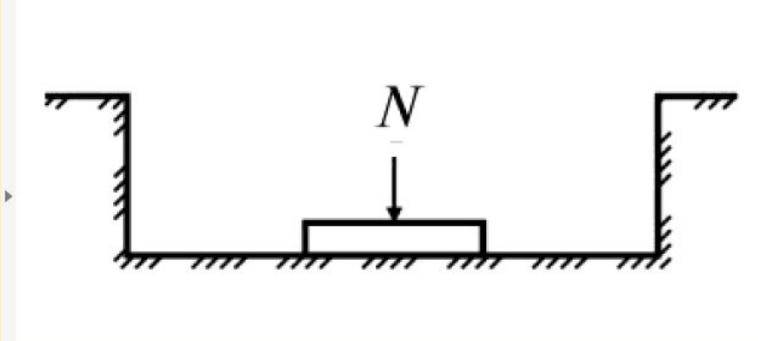
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

• Полевые испытания плоским штампом

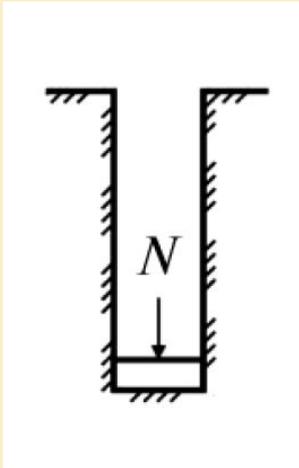


ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Полевые испытания плоским штампом*



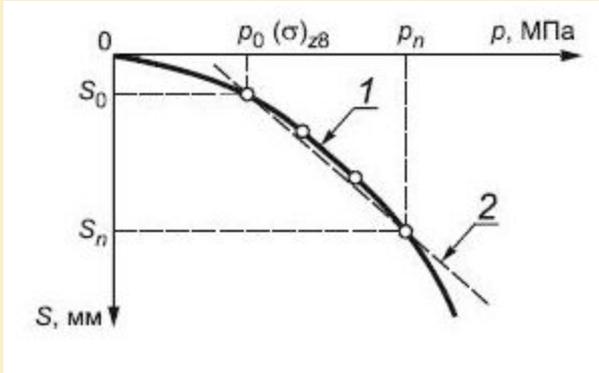
- на дне котлована или шурфа, с плоской подошвой площадью 1000, 2500, 5000 и 10000 см²



- в скважине, с плоской подошвой площадью 600 см²

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- Полевые испытания плоским штампом**



Используют график зависимости осадки от давления. И в выбранном диапазоне давлений определяют модуль деформации.

ФОРМУЛА ШЛЕЙХЕРА

$$E_{pl} = \frac{\omega \cdot P \cdot b \cdot (1 - \nu^2)}{S}$$

где ω — коэффициент формы круглого штампа, равный 0,79;

P — давление;

b — ширина (диаметр) штампа;

ν — коэффициент Пуассона;

S — осадка штампа.

ГОСТ 20276-2012

$$E_{pl} = (1 - \nu^2) \cdot K_p \cdot K_1 \cdot D \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где ν — коэффициент Пуассона,

K_p — коэффициент, принимаемый в зависимости от заглубления штампа h/D ;

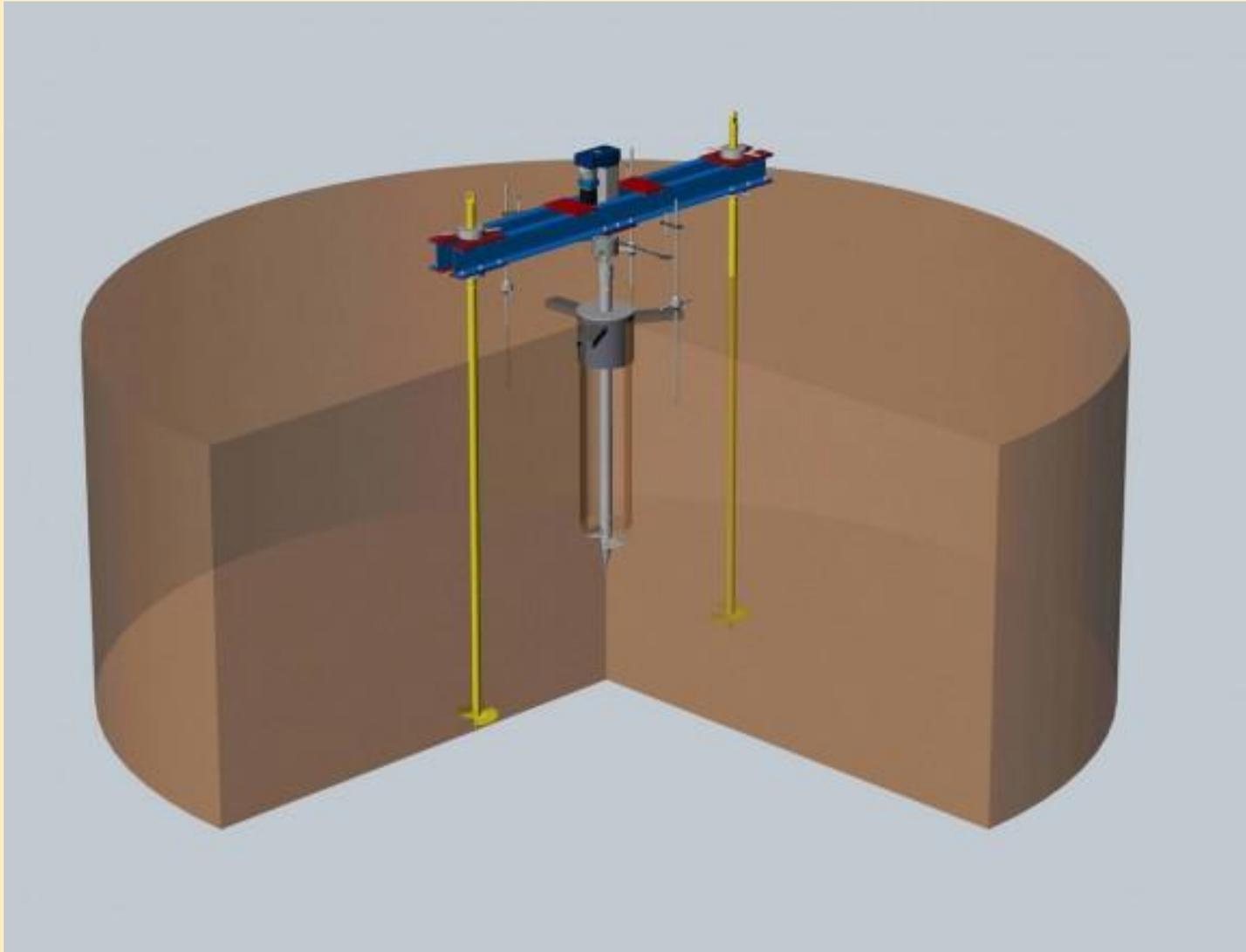
K_1 — коэффициент, принимаемый для жесткого круглого штампа равным 0,79;

ΔP — приращение давления на штамп, МПа

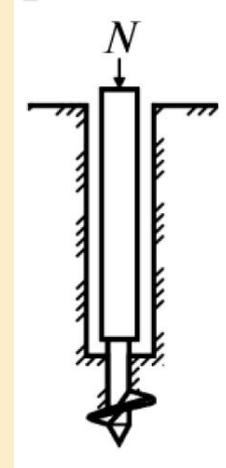
ΔS — приращение осадки штампа, см.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

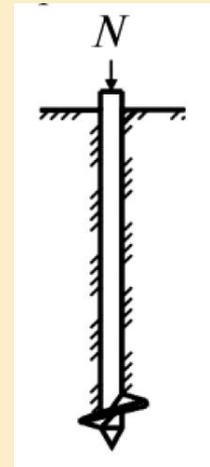
- *Полевые испытания винтовым штампом площадью 600 см^2*



Ниже забоя

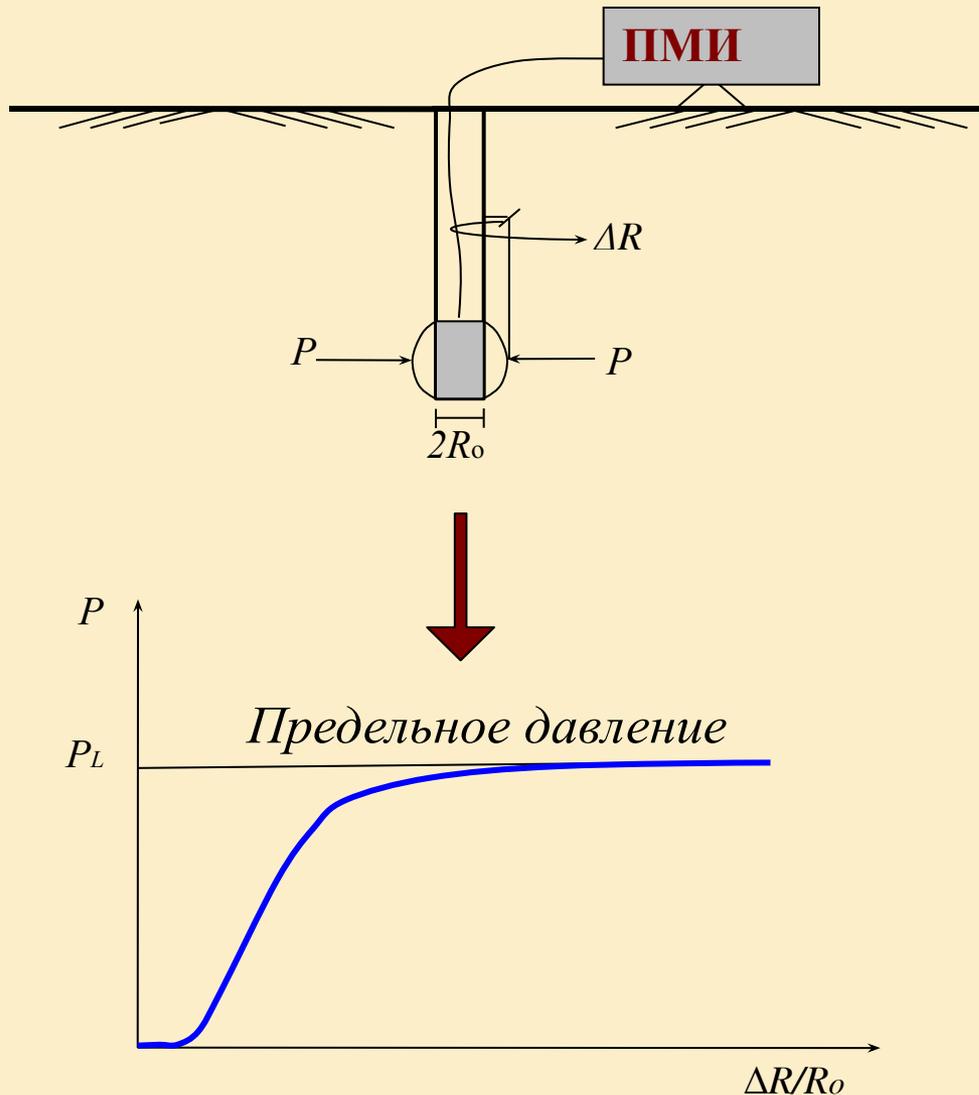


В массиве грунта



ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

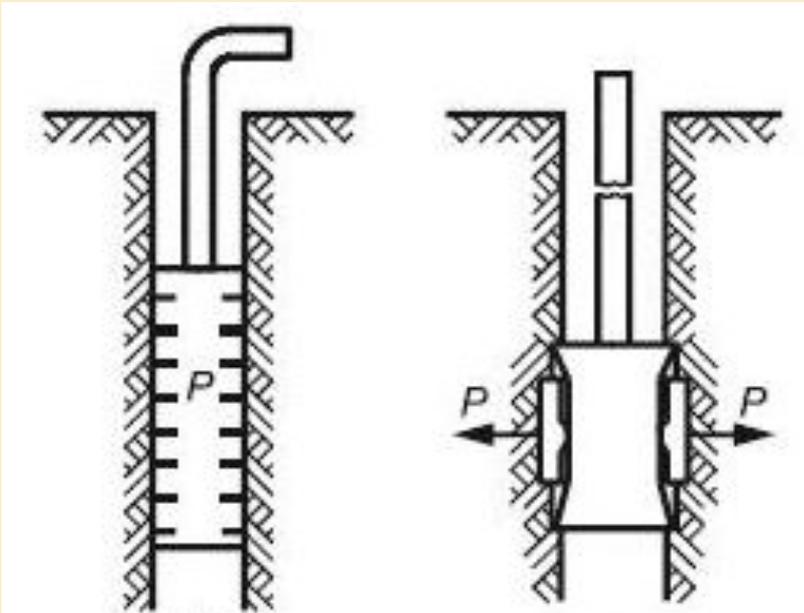
- Полевые испытания прессиометром*



**Из личного архива проф. Ж.-Л. Брюо*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Полевые испытания прессиометром*



*Модуль деформации определяется в горизонтальном направлении.

Измеряется расширение резиновой камеры при заданном давлении жидкости или воздуха.

$$E_{pr} = K_r \cdot r_0 \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r}$$

где K_r – корректирующий коэффициент, определяемый по результатам сопоставительных испытаний грунта штампами и прессиометром;

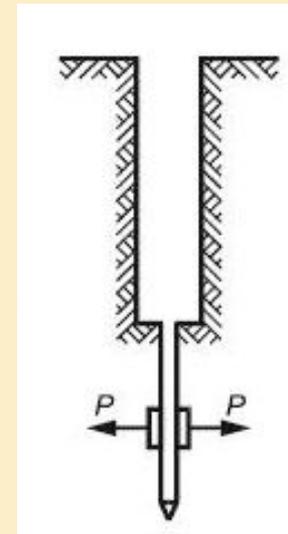
r_0 – начальный радиус скважины;

ΔP – приращение давления, МПа;

Δr – приращение перемещения стенки скважины (по радиусу), см

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТА

- *Полевые испытания расклинивающим дилатометром*



ВОДОПРОНИЦАЕМОСТЬ ГРУНТОВ



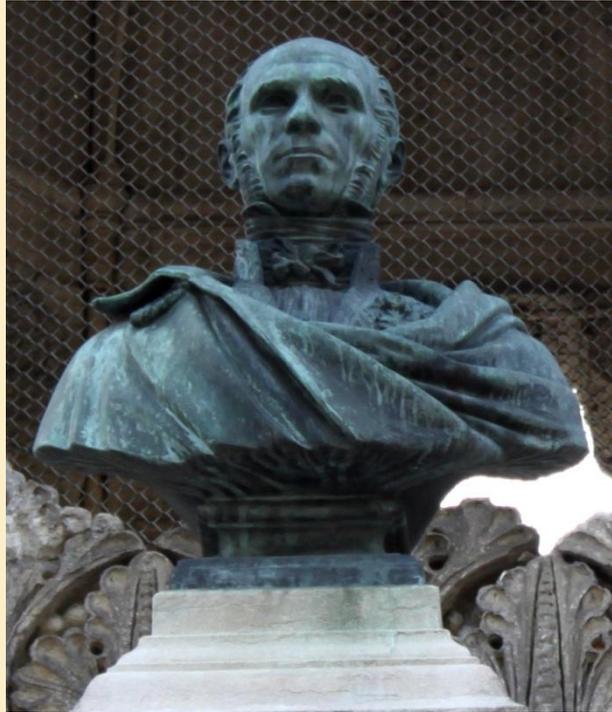
ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Фильтрацией называют движение свободной воды в порах грунта, когда поток почти полностью заполняет поры грунта.

Скорость напорного движения воды в грунтах зависит от:

- *размеров пор грунта;*
- *сопротивлений, оказываемых на пути фильтрации;*
- *величины действующих напоров.*

и характеризуется **коэффициентом фильтрации.**



Первые эксперименты
были поставлены

**Анри Филибер Гаспаром
Дарси**
(Henry Philibert Gaspard Darcy)

в 1854 г.

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Движение воды в грунтах в основном является ламинарным и подчиняется закону «Дарси», при этом количество профильтровавшейся воды Q может быть определено следующим выражением:

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

Количество профильтровавшейся воды прямо пропорционально зависит от: времени фильтрации, площади, коэффициента фильтрации и гидравлического градиента.

Обозначения принятые в формуле:

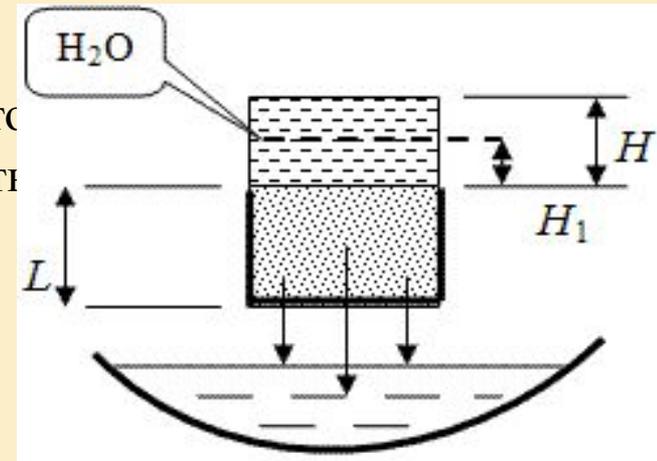
t – время;

F – площадь;

K_{ϕ} – коэффициент фильтрации;

I – гидравлический градиент.

$I = \frac{H - H_1}{L}$ определяется, как отношение напора $(H - H_1)$ к пути фильтрации L .



ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Скорость фильтрации - количество профильтровавшейся жидкости в единицу времени на единицу площади.

Т.о.

$$v_f = k_{\phi} \cdot I$$

СКОРОСТЬ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ В ПОРАХ ГРУНТА ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНА ГИДРАВЛИЧЕСКОМУ ГРАДИЕНТУ

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

Коэффициент фильтрации для различных грунтов имеет значительный диапазон изменений, так средние значения K_{ϕ} для песков и глин может отличаться на несколько порядков:

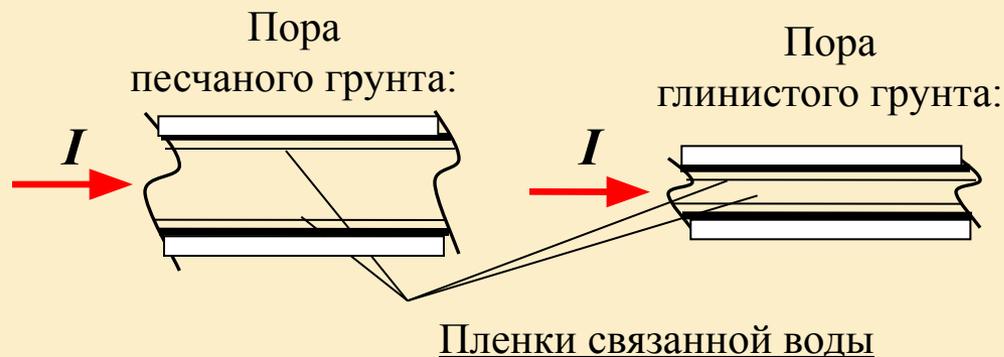
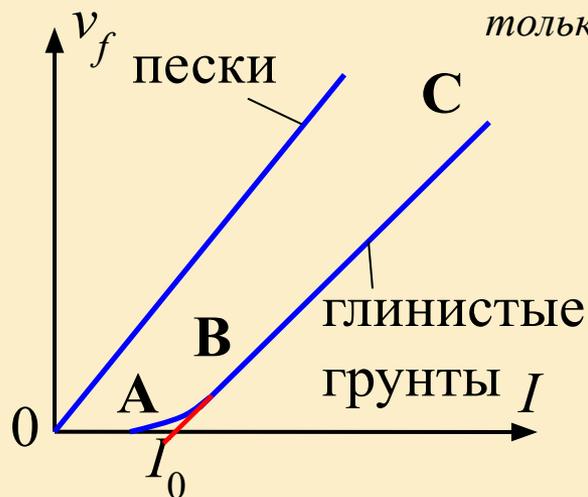
$$K_{\phi} \text{ (песок)} = 10^{-1} - 10^{-3} \text{ см/сек}$$
$$K_{\phi} \text{ (глина)} = 10^{-7} - 10^{-9} \text{ см/сек}$$

Разновидность грунта	Коэффициент фильтрации K_{ϕ} , м/сут
Неводопроницаемый	$< 0,005$
Слабоводопроницаемый	$0,005 - 0,3$
Водопроницаемый	$0,3 - 3$
Сильноводопроницаемый	$3 - 30$
Очень сильноводопроницаемый	> 30

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

ГРАДИЕНТ НАПОРА

Для глинистых грунтов в отличие от песков, фильтрация начинается только при определенном – начальном гидравлическом градиенте



Фильтрация воды в вязких глинистых грунтах имеет свои особенности, вызванные размерами пор и вязким сопротивлением водно-колоидных пленок, препятствующих движению воды.

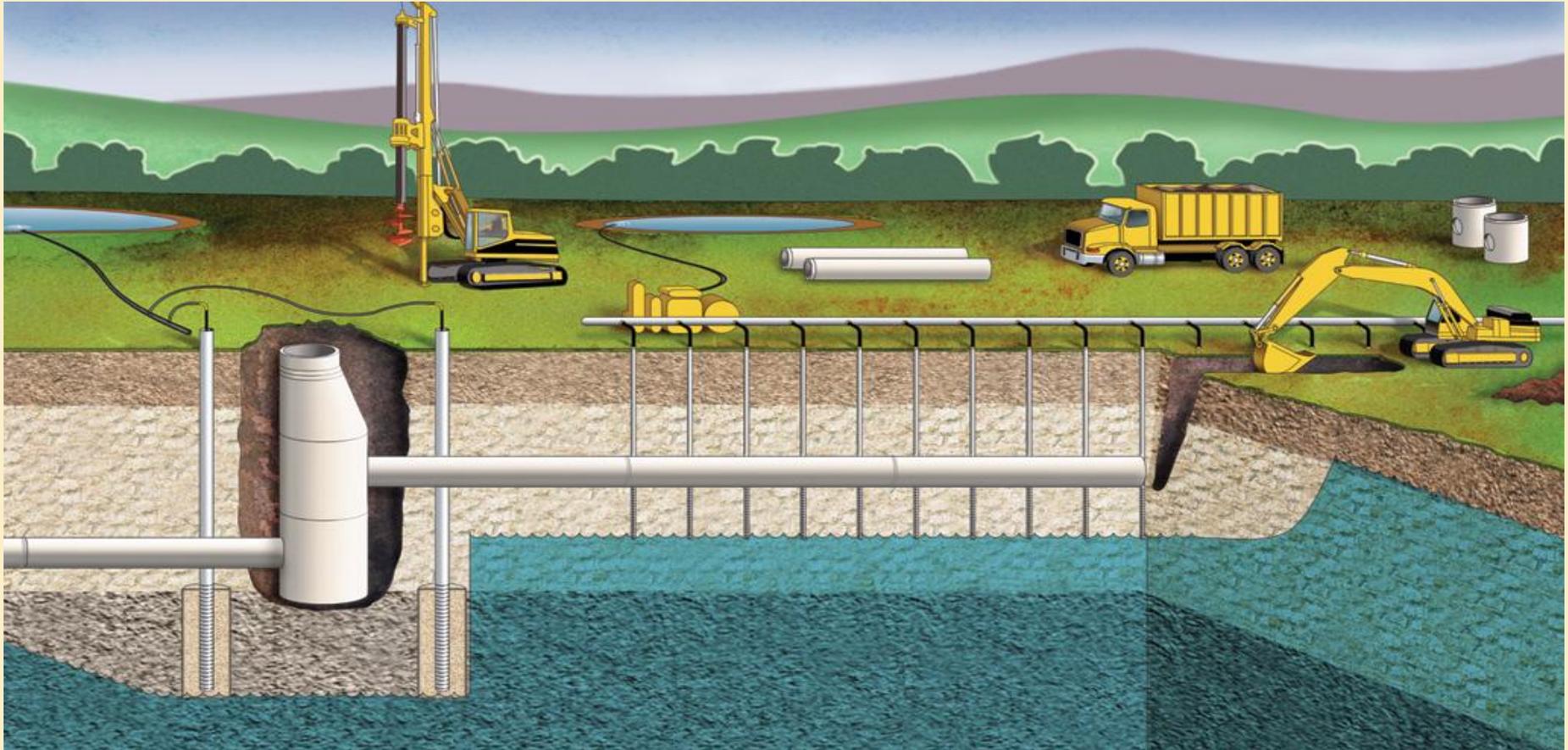
Фильтрация воды в глинистых грунтах начинается только после преодоления определенного сопротивления. Напорный градиент, соответствующий началу движения воды, называется **начальным гидравлическим градиентом** I_0 . Скорость фильтрации воды в глинистых грунтах определяется уравнением:

$$v_f = k_{\phi} \cdot (I - I_0)$$

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Фильтрационные характеристики грунтов используются при:

- Расчёте дренажа.
- Определении дебита источника подземного водоснабжения.
- Расчёте осадок сооружений (оснований) во времени.
- Искусственном понижении У.Г.В.
- Расчёте шпунтового ограждения при откопке котлованов, траншей.



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

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

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*.

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.

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

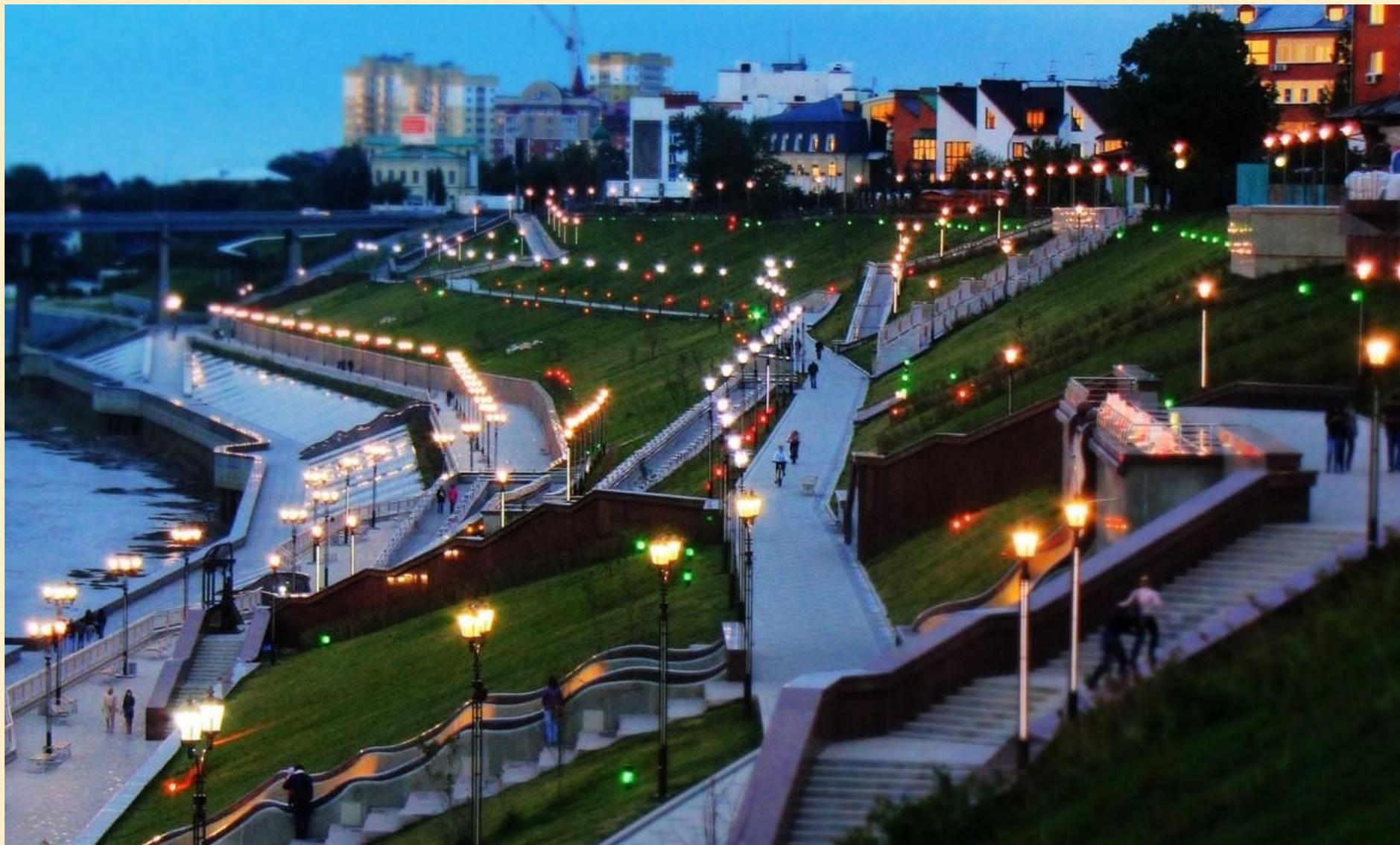
ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

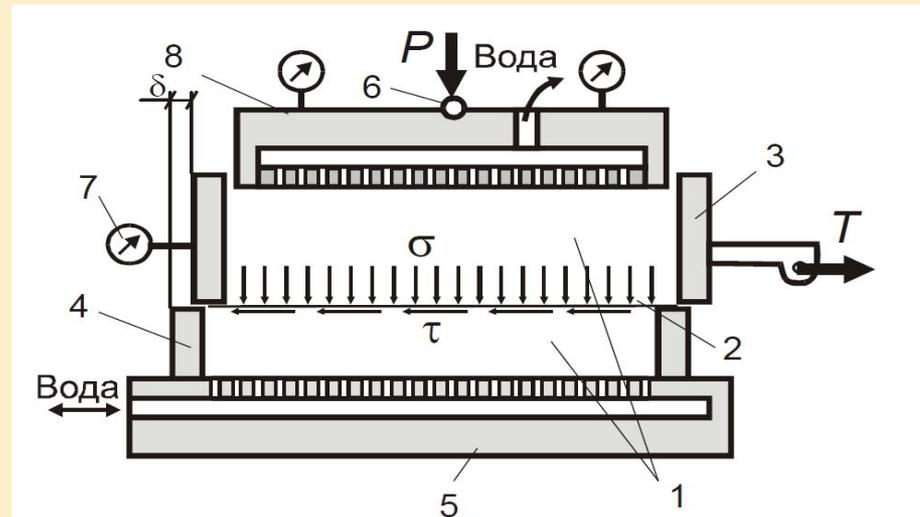


ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

При испытании грунта в сдвиговых приборах, при заданной вертикальной нагрузке экспериментально определяется сдвигающее усилие T и соответствующее этому сдвигающее напряжение $\tau_{пр}$ при котором происходит сдвиг.



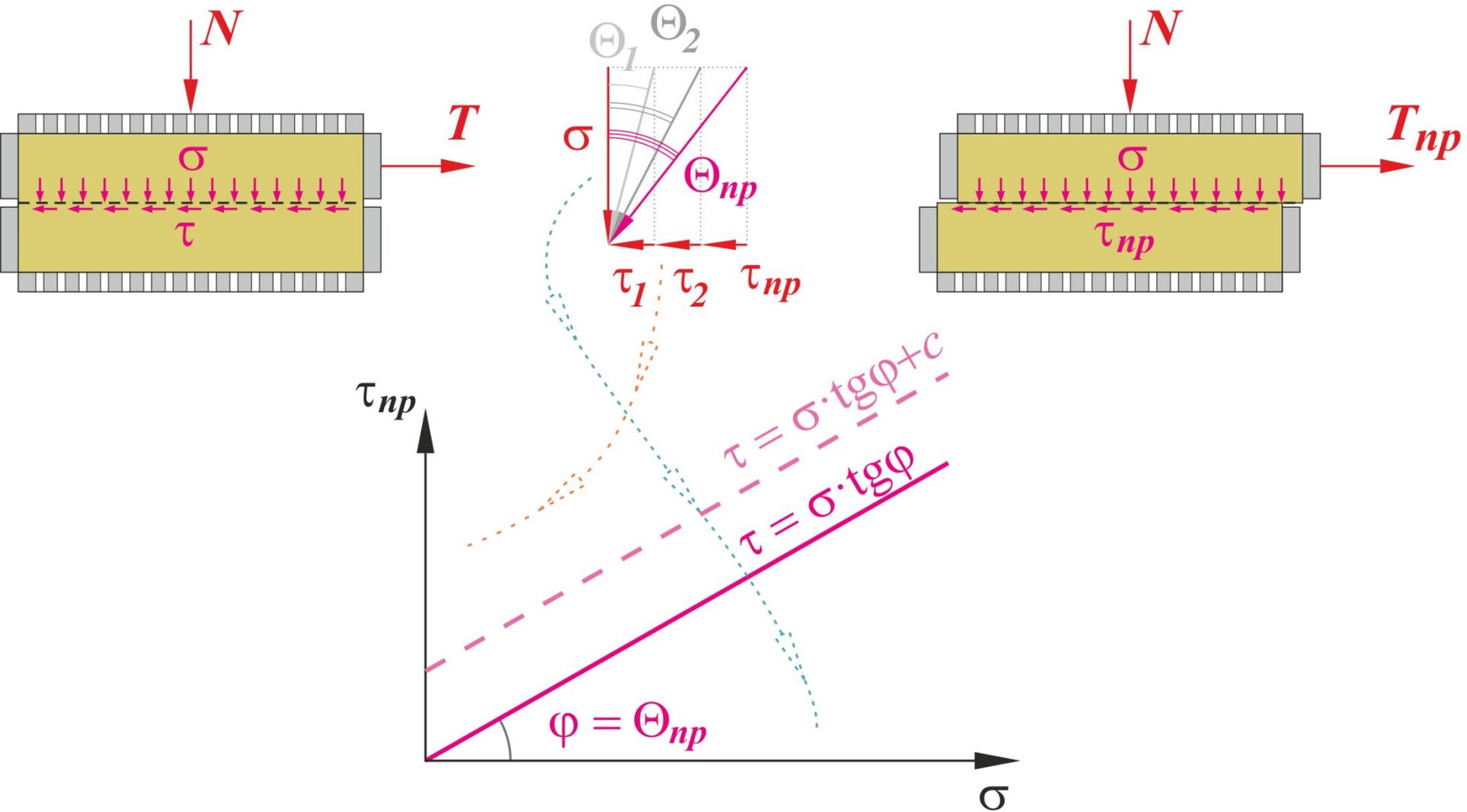
Для одного и того же грунта проводят серию испытаний при различных вертикальных давлениях



Прибор одноплоскостного среза.

1 – образец грунта, 2 – плоскость среза, 3 – подвижная обойма, 4 – неподвижная обойма, 5 – поддон корпуса, 6 – шарнир, 7 – индикатор часового типа, 8 – штамп.

ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ



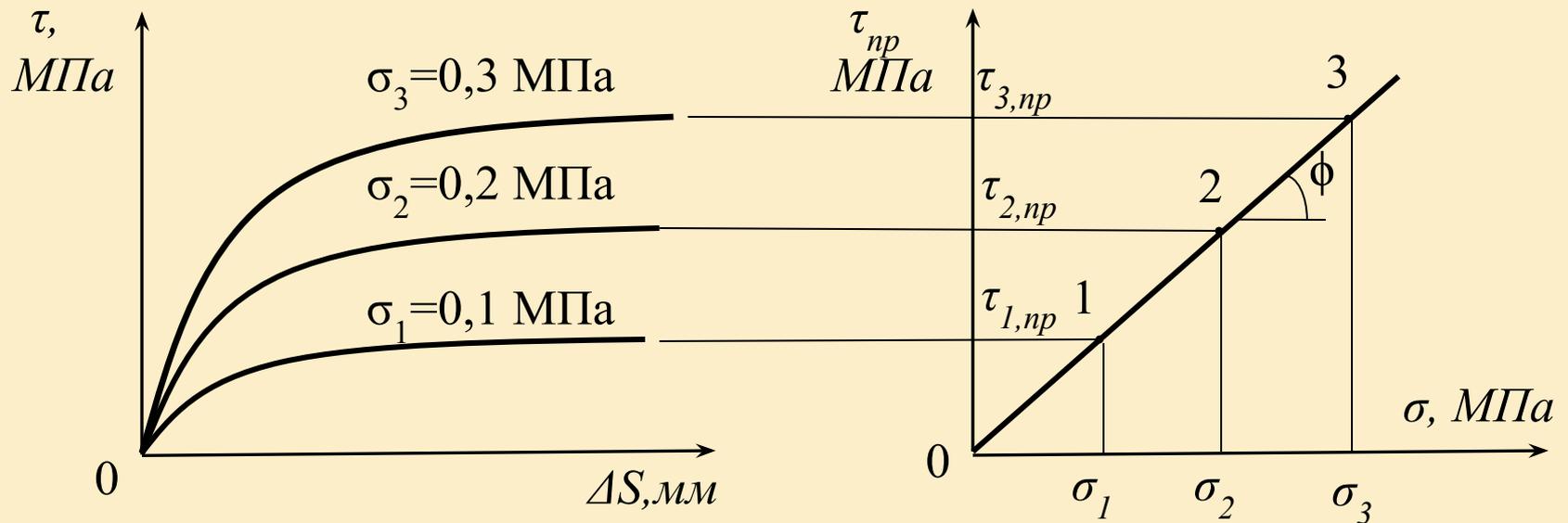
ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

ЗАКОН КУЛОНА ДЛЯ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ

(1776 г.)

$$\tau_{\text{пр}} = \sigma \cdot \tan \varphi$$

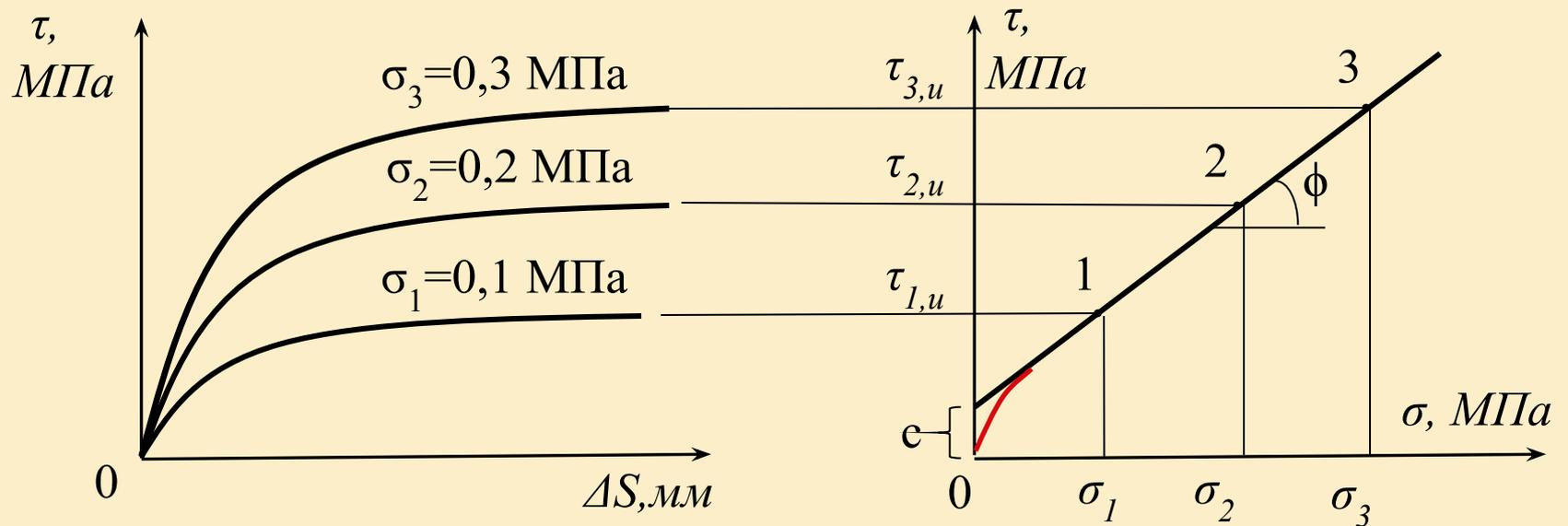
Предельное сопротивление СЫПУЧИХ ГРУНТОВ сдвигу есть сопротивление трению, прямо пропорциональное нормальному давлению.



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

ЗАКОН КУЛОНА ДЛЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

(1776 г.)



$$\tau_{\text{пр}} = \sigma \cdot \tan \varphi$$

где c – удельное сцепление грунта, МПа.

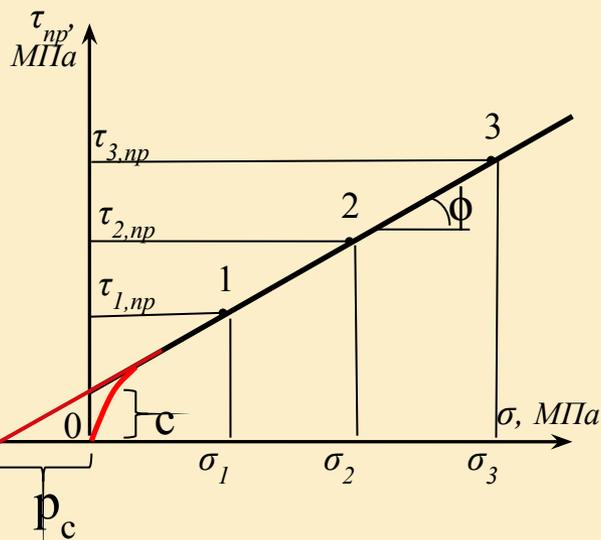
ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

ЗАКОН КУЛОНА ДЛЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

(1776 г.)

Предельное сопротивление ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ сдвигу обуславливается силами трения, прямо пропорциональными нормальному давлению и силами сцепления, не зависящими от нормального давления.

Величины удельного сцепления c и угла внутреннего трения ϕ называются ПРОЧНОСТНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ГРУНТА.



Величину P_c называют давлением
связности:

$$P_c = \frac{c}{\operatorname{tg} \phi}$$

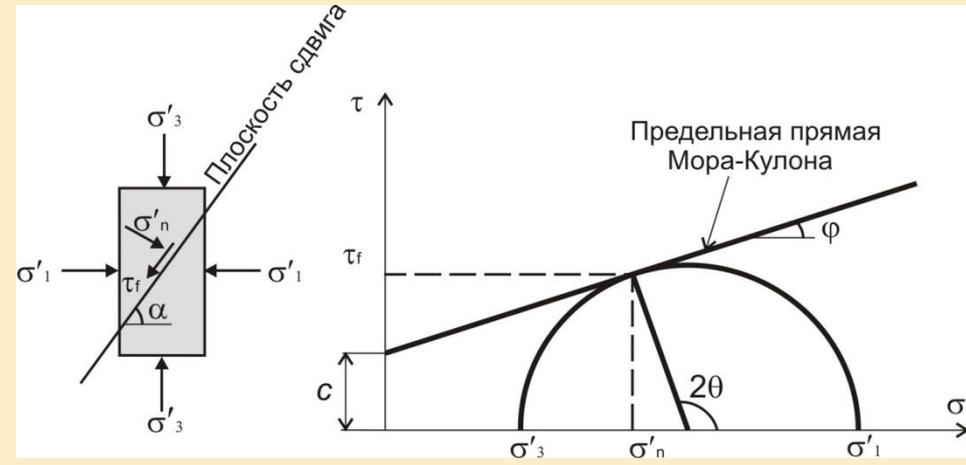
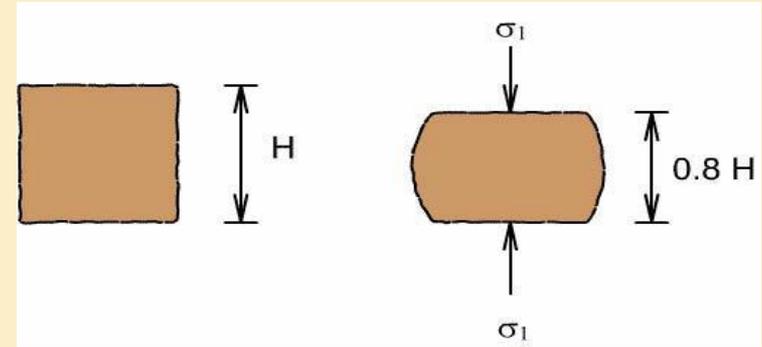
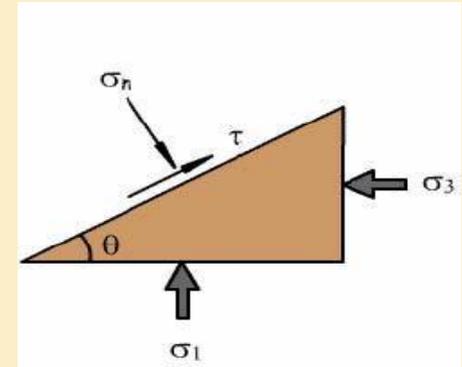
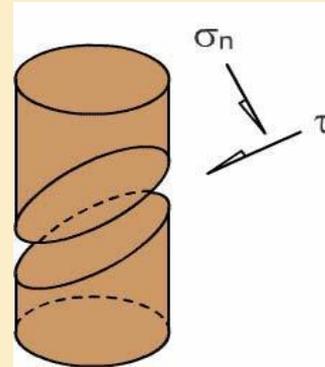
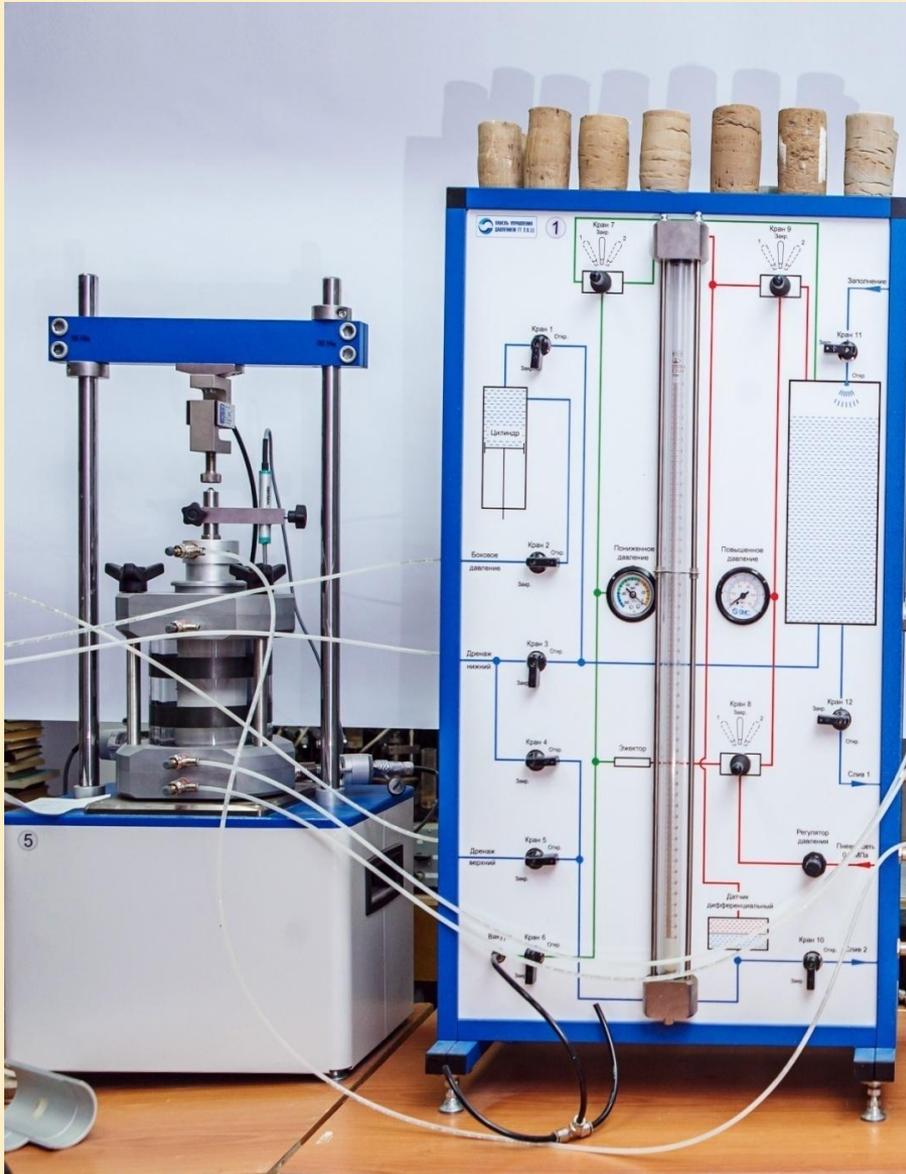
ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

Для определения сопротивления грунта сдвигу сегодня существует довольно много способов и приборов:

- Односрезные сдвиговые приборы
- Двухсрезные сдвиговые приборы.
- Приборы трехосного сжатия (Стабилометры).
- Зондирование.
- Искусственное обрушение откосов.
- Лопастные испытания (Крыльчатка).
- Метод шарового штампа (Метод Н.А. Цытовича).



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ



ПРОЧНОСТЬ ГРУНТОВ. СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ

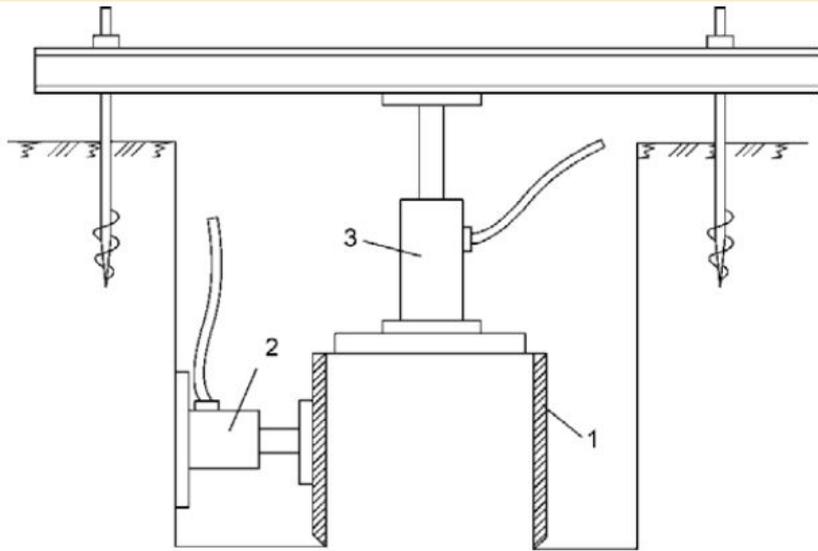
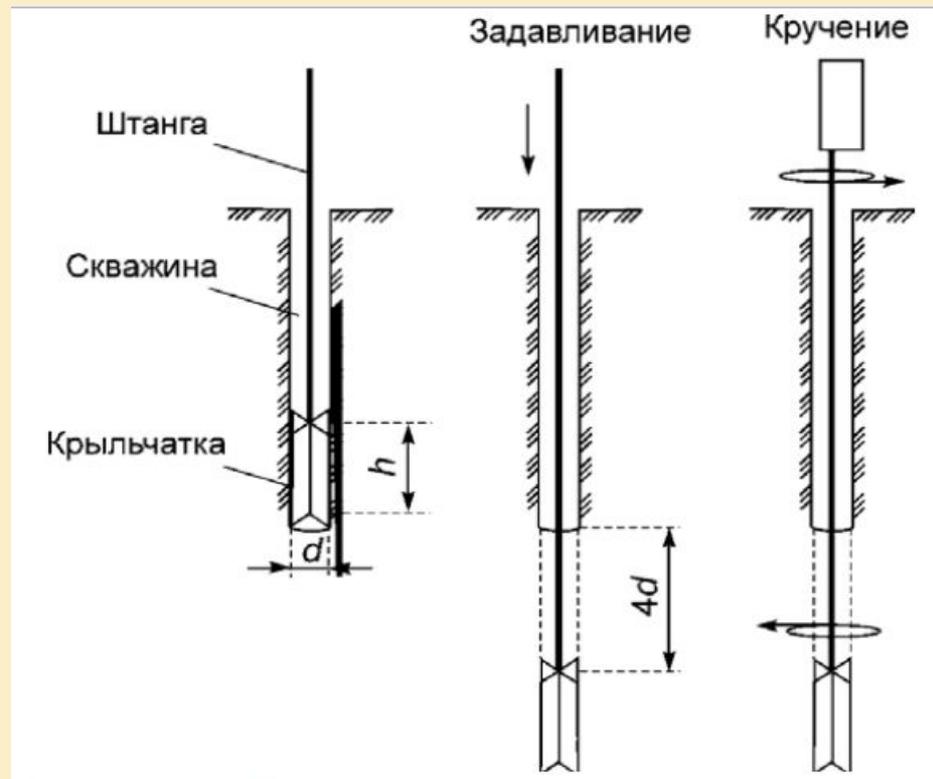


Рис. 1. Испытания блока грунта на сдвиг: 1 — стальной цилиндр; 2 — домкрат горизонтальной нагрузки; 3 — домкрат вертикальной нагрузки



Испытания блока грунта на сдвиг

1 – стальной цилиндр, 2 – домкрат горизонтальной нагрузки, 3 – домкрат вертикальной нагрузки.

Лопастные испытания грунтов





САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ

СТРУКТУРНО-НЕУСТОЙЧИВЫЕ И ОСОБЫЕ ГРУНТЫ:

- *просадочные грунты;*
- *набухающие грунты;*
- *органические и заторфованные грунты;*
- *мерзлые и вечномерзлые грунты;*
- *пывунные грунты и рыхлые пески.*

ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ:

- *суффозия и кольматация;*
- *тиксотропность;*
- *карстообразование;*
- *разжижение;*
- *электроосматическая фильтрация и др.*

ПРОМОРАЖИВАНИЕ И ОТТАИВАНИЕ ГРУНТОВ. МОРОЗНОЕ ПУЧЕНИЕ

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ.

*Состав. Проведение. Обработка
результатов. Вычисление характеристик
грунтов.*