

Ростовский государственный строительный университет  
Кафедра «Инженерная геология, основания и фундаменты»

Специальность «Промышленное и гражданское строительство»

# Механика грунтов

Курс лекций

д-р техн. наук, проф. А.Ю. Прокопов

[prokopov72@rambler.ru](mailto:prokopov72@rambler.ru)

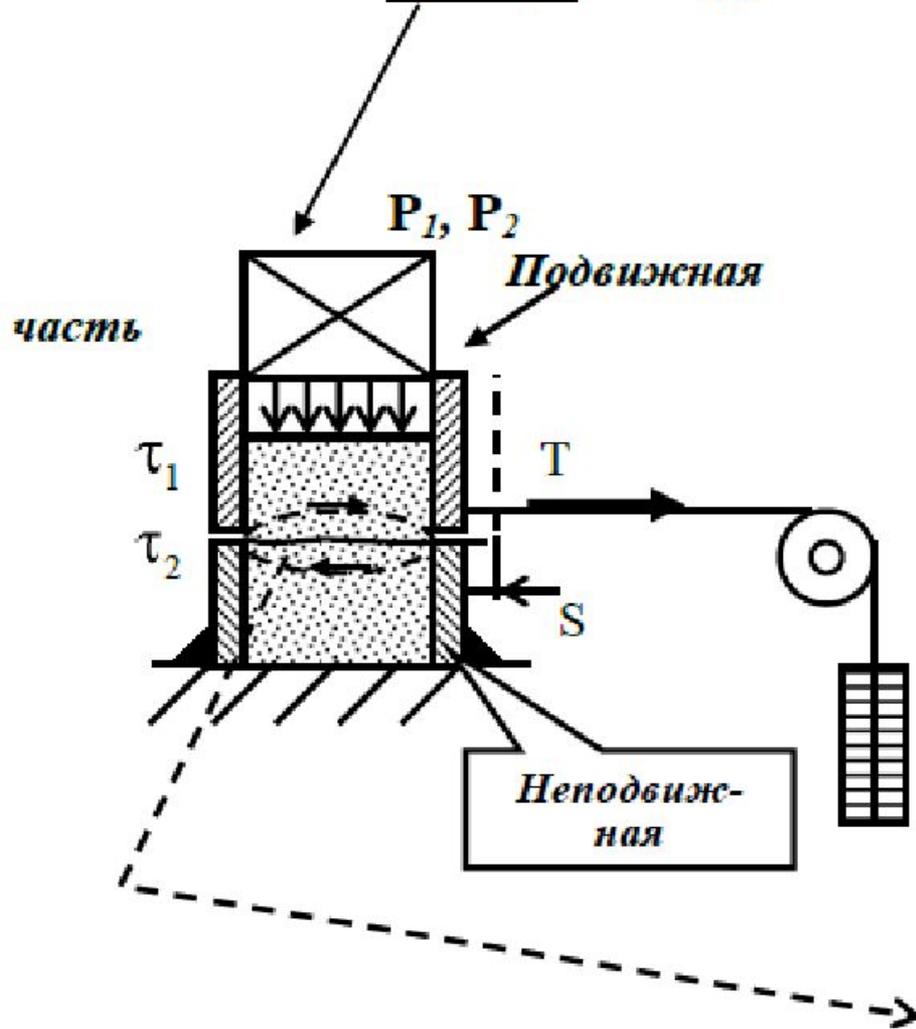
**Лекция 6. Сопротивление грунтов сдвигу:  
закономерности и испытания**

**Соппротивление грунтов сдвигу** является их важнейшим прочностным свойством, знание которого необходимо для решения разнообразных инженерно-геологических задач

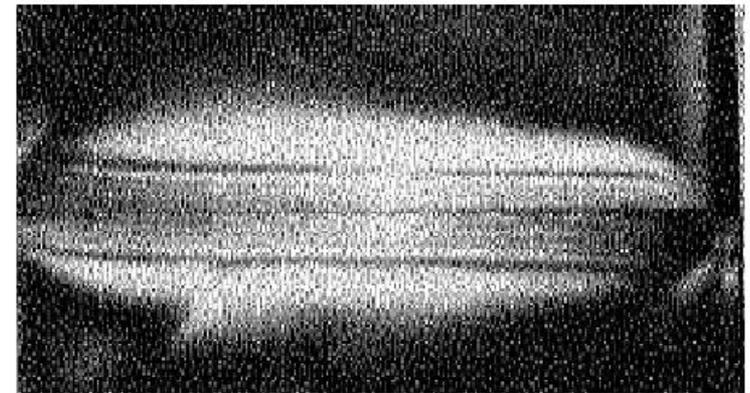


# Сопротивление грунта сдвигу

*(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  $\tau_1$ . Берем второй образец с  $P_2$  и получаем  $\tau_2$ .*

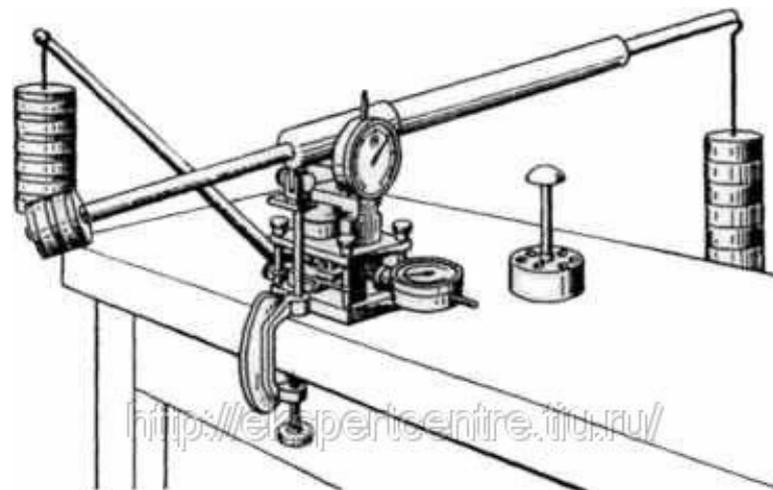


*Фотографии локализованного объема сдвига грунта в сдвиговом приборе*

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]; C --> E[Быстрый сдвиг без предварительного уплотнения]; D --> F[Для определения расчетного сопротивления грунта, а также для оценки несущей способности основания, находящегося в стабилизированном состоянии (все напряжения от внешней нагрузки восприняты скелетом грунта)]; E --> 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)

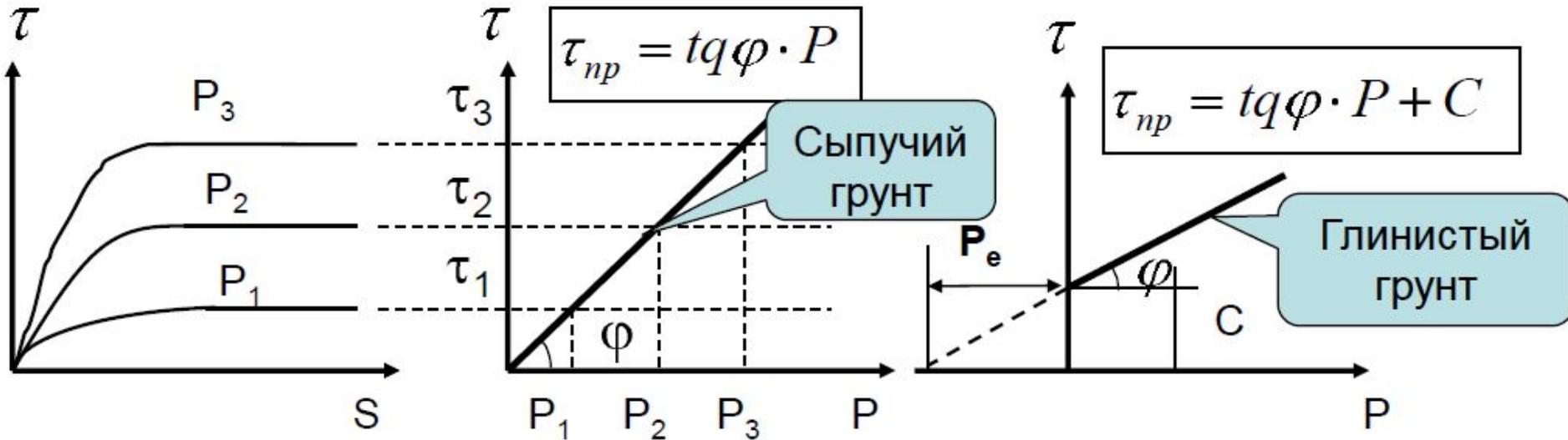
Неконсолидировано-недренированные

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



$\varphi$  - угол внутреннего трения грунта

$P_e$  – давление связности

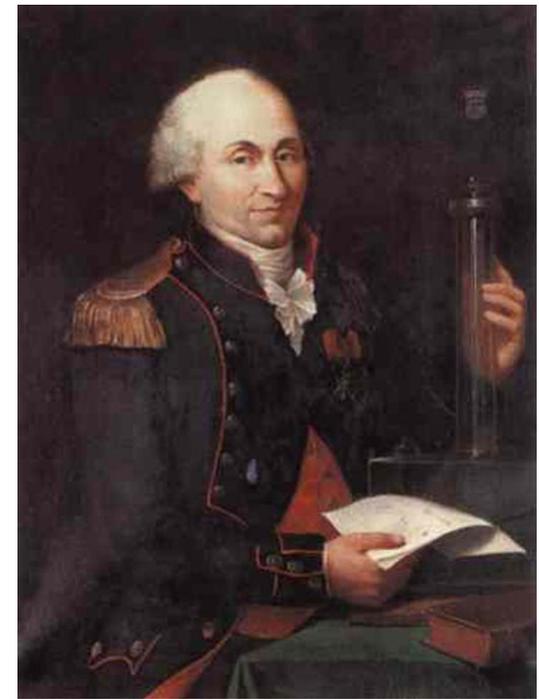
$C$  – сцепление грунта (начальный параметр прямой)

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

**Закон сопротивления грунта  
сдвигу (закон Кулона)**, может быть  
представлен зависимостью

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi$$

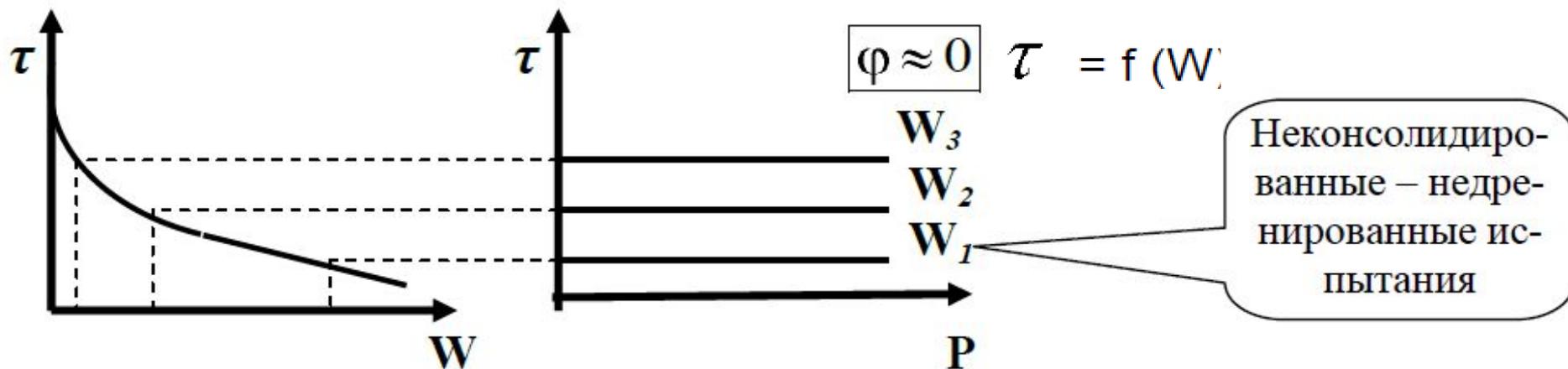
Сопротивление грунта сдвигу есть  
функция первой степени от  
нормального давления (при  
консолидированном состоянии  
грунта)



Шарль Огюстен де Кулон  
(1736 - 1806) –  
французский военный  
инженер, ученый-физик

## 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  $C = 30...50$  кПа, для глинистых -  $50...300$  кПа.

## Угол внутреннего трения $\varphi$ , °

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
$\varphi$ от $24^\circ$	$\varphi$ до $40^\circ$

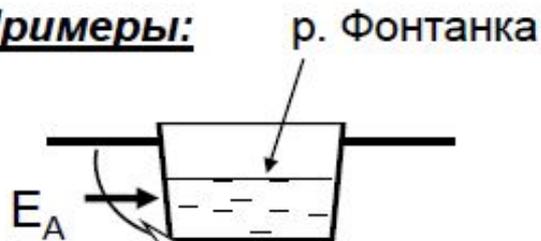
Для глинистых грунтов; $\varphi = f(W)$	
Текущее состояние	Твёрдое состояние
$\varphi = 0$	$\varphi$ до $45^\circ$

# Пример ошибочного задания угла внутреннего трения

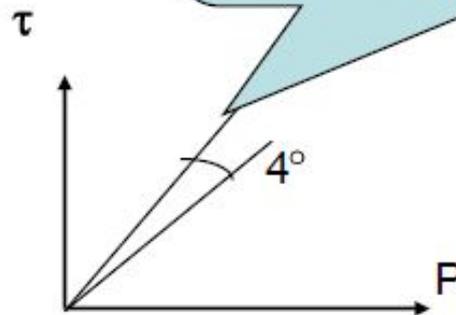
Случай возникновения аварийной ситуации при проведении ремонтных работ по береговому укреплению на набережной реки Фонтанка в Санкт-Петербурге

$\varphi$  - определяет прочность грунта

Примеры:



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

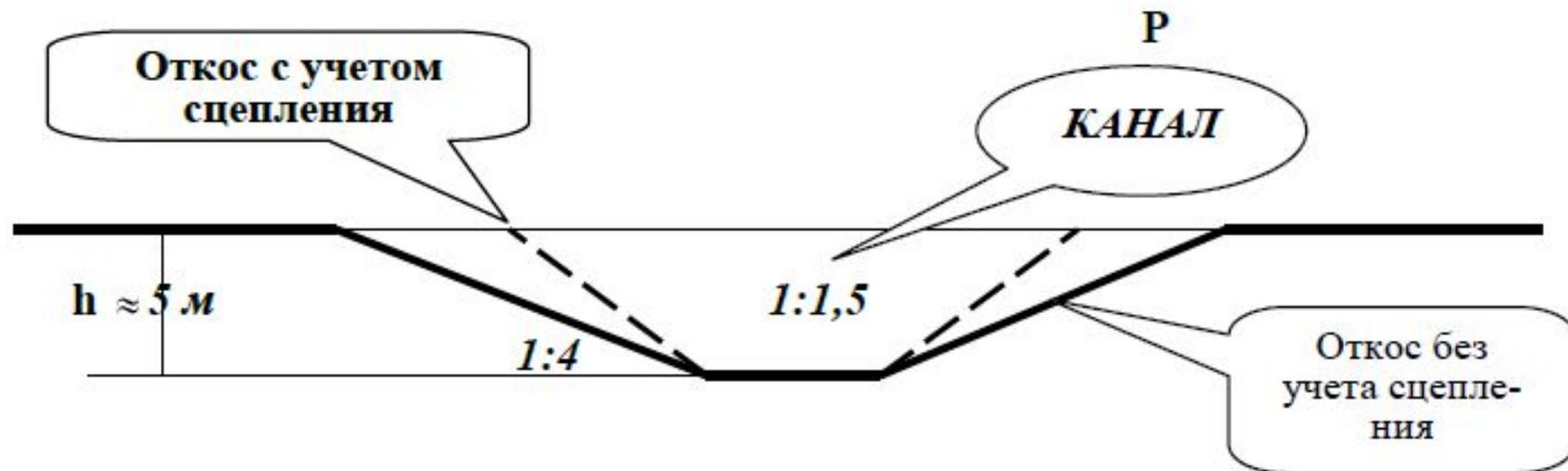


Стенка  $L \approx 200$  м упала, т.к. в проекте был принят  $\varphi = 22^\circ$ , а при дополнительных обследованиях оказалось  $\varphi = 18^\circ$

Таким образом, качество проводимых испытаний грунтов и точность определения величин  $\varphi$  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  $61000 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ км}$  канала.*

# Определение прочностных характеристик грунтов методом трехосного сжатия (в стабилометрах)

Испытания образца грунта в стабилометре доводят до момента разрушения, которое происходит либо в виде формы «бочки», либо в виде формы «скола». Результаты испытаний образцов грунта в стабилометре принципиально могут быть отнесены к 2 видам деформации, представленным на схеме.

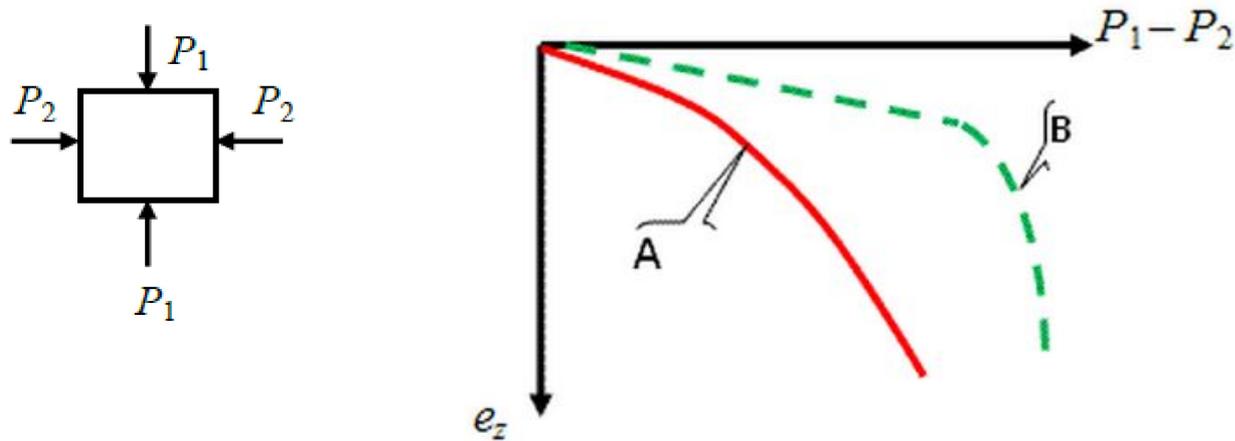


Схема результатов испытаний образцов грунта в стабилометре. На данном рисунке:

- А – кривая разрушение в форме «бочка» (рыхлый грунт);
- В – кривая разрушение в форме «скола» (плотные грунты);

# Варианты разрушения образцов при испытаниях в установках трехосного сжатия

## Triaxial testing

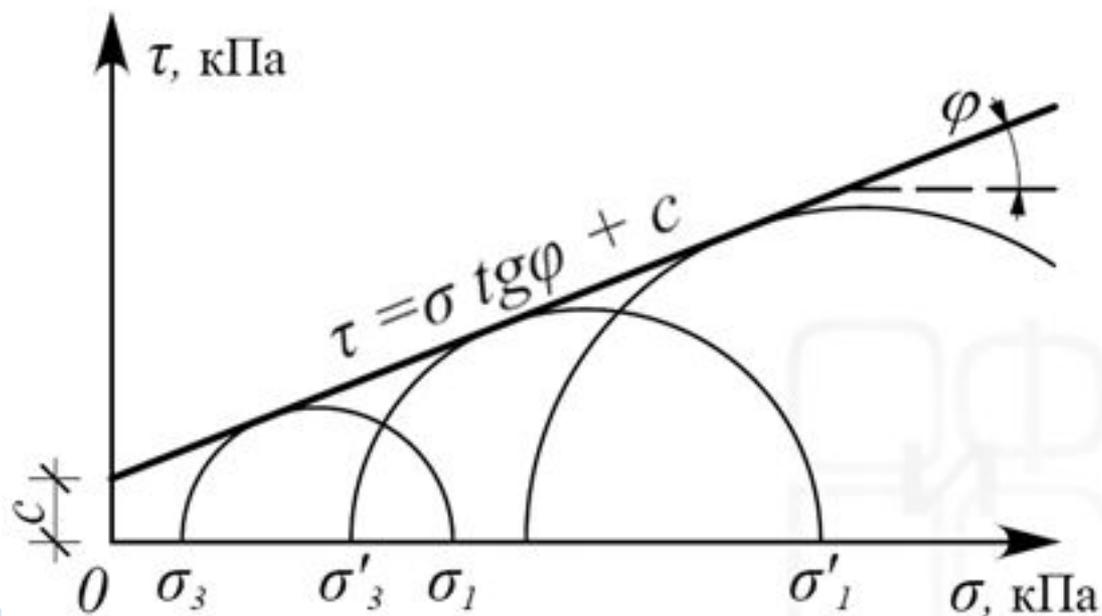


A: Typical of NC clays and loose sands

B: Typical of OC clays and dense sands

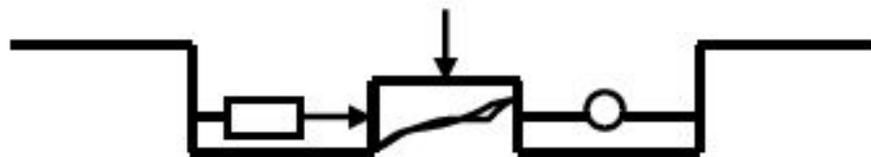
Соппротивление грунта срезу характеризуется касательными напряжениями в предельном состоянии, когда наступает разрушение грунта.

Соотношение между предельными касательными  $\tau$  и нормальными к площадкам сдвига  $\sigma$  напряжениями выражается **условием прочности Кулона-Мора**

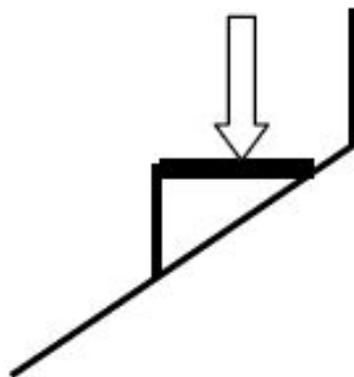


# Полевые методы определения сопротивления грунта сдвигу

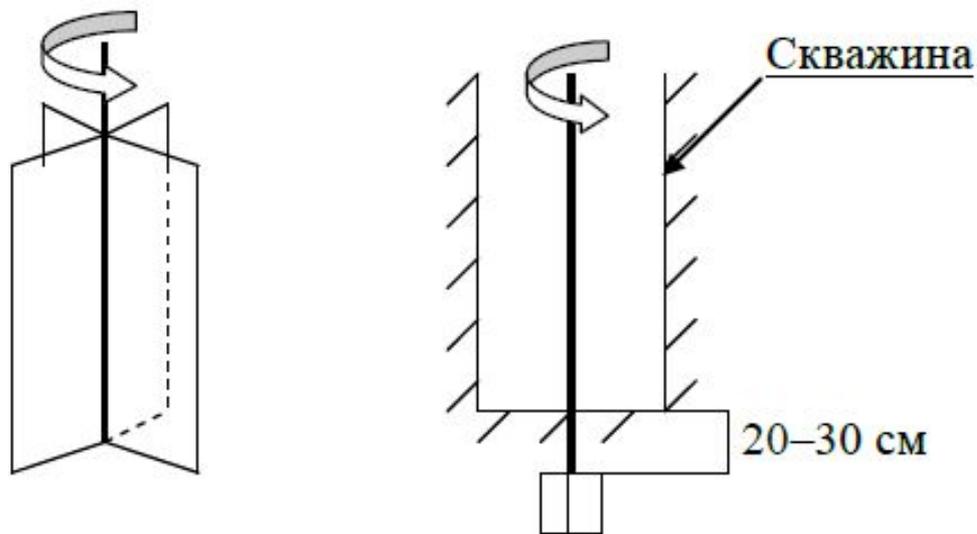
## 1. Полевые сдвижные установки в шурфе



## 2. Методы разрушения призм грунта в шурфе



### 3. Испытание 4-лопастным прибором (крыльчатка)



Полевые методы наиболее полно учитывают структурно-текстурные особенности грунта. Они незаменимы при исследовании торфов, глинисто-щебенистых или песчано-гравелистых отложений, взятие образцов ненарушенной структуры которых невозможно.

Недостатки	Достоинства
<i>дороговизна; большая трудоемкость; получение ограниченного числа характеристик</i>	<i>получение характеристик грунтов непосредственно на месте строительства объекта</i>