

Тема №3: Механические свойства грунтов

Механические свойства - это их способность сопротивляться изменению объема и формы в результате физических воздействий.

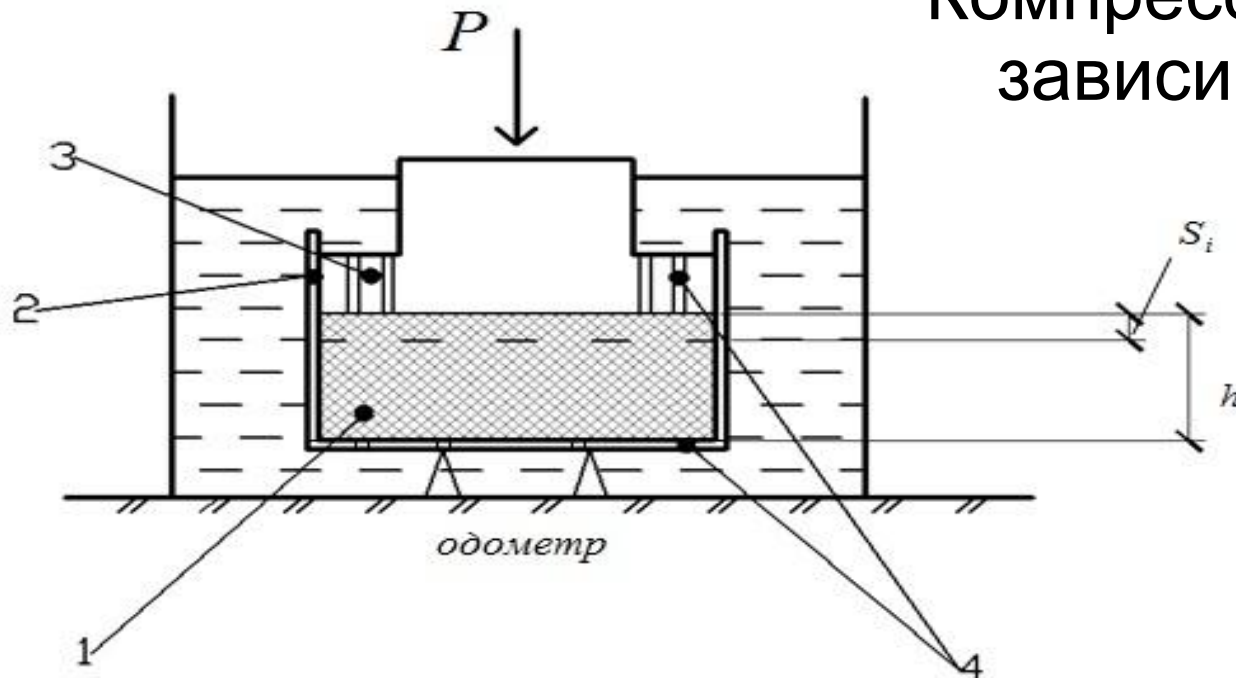
Различают свойства грунтов:

- 1. Деформационные** – способность грунта сопротивляться развитию деформаций.
- 2. Прочностные** - способность грунта сопротивляться разрушению.
- 3. Фильтрационные** - способность грунта пропускать и отжимать воду из пор под действием нагрузки

Механические свойства грунтов определяются в соответствии с ГОСТами:

- **ГОСТ 12248-96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».**
- **ГОСТ 20276-99 «Методы полевого определения характеристик деформируемости».**
- **ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний»**

Компрессионная зависимость



Колба

Датчик силы

Датчик линейных
перемещений

Одометр
фильтрационный

Устройство
осевого нагружения



Полностью водонасыщенный образец грунта (1) помещают в кольцо (2) и с помощью поршня (3) прикладывают силу P . Сжатие образца в одомере происходит за счет уменьшения объема пор $V_{пор}$ и отжатия воды через отверстия (4)

Изменение пористости:

$$\Delta n = \frac{\Delta V_{пор}}{V} = \frac{A \cdot S_i}{A \cdot h} = \frac{S_i}{h}$$

$$e_i = e_o - (1 + e_o) \frac{S_i}{h}$$

e_i – текущий коэффициент пористости;

A – площадь сечения, м²;

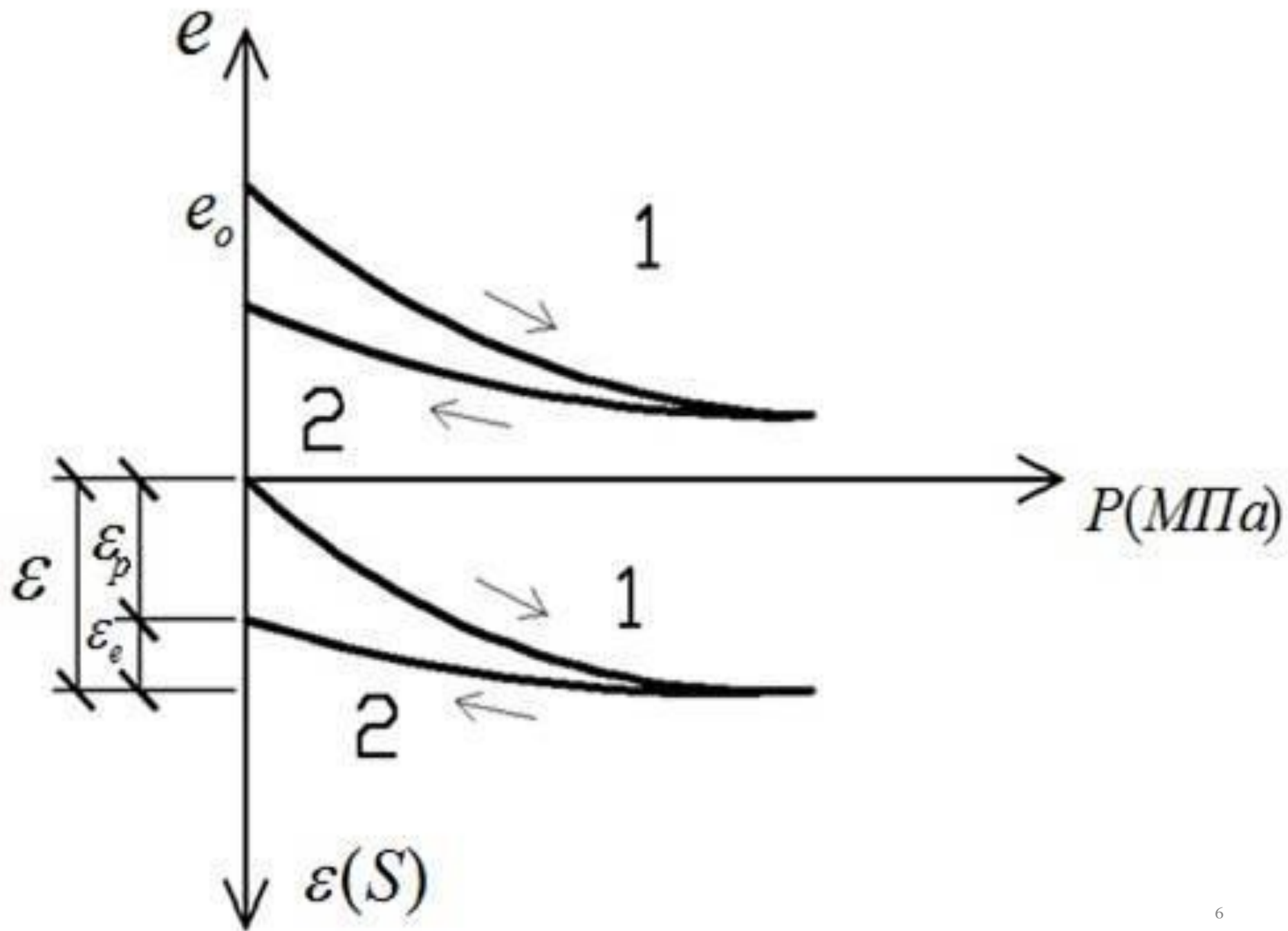
h – первоначальная высота образца, мм;

e_o – начальный коэффициент пористости;

S – осадка грунта, мм;

ε – относительная деформация сжатия.

$$\varepsilon = \frac{S}{h}$$



1 - Компрессионная ветвь (при приложении нагрузки) отображает уменьшение пористости при возрастании нагрузки

2 - Декомпрессионная ветвь (после удаления нагрузки) отображает обратный процесс - увеличение V , т.е. набухание

Расположение ветви набухания ниже ветви сжатия свидетельствует о том, что грунт обладает значительной остаточной (пластической) ε_p деформацией

Ветвь набухания обусловлена упругими деформациями ε_e

Виды и причины деформаций

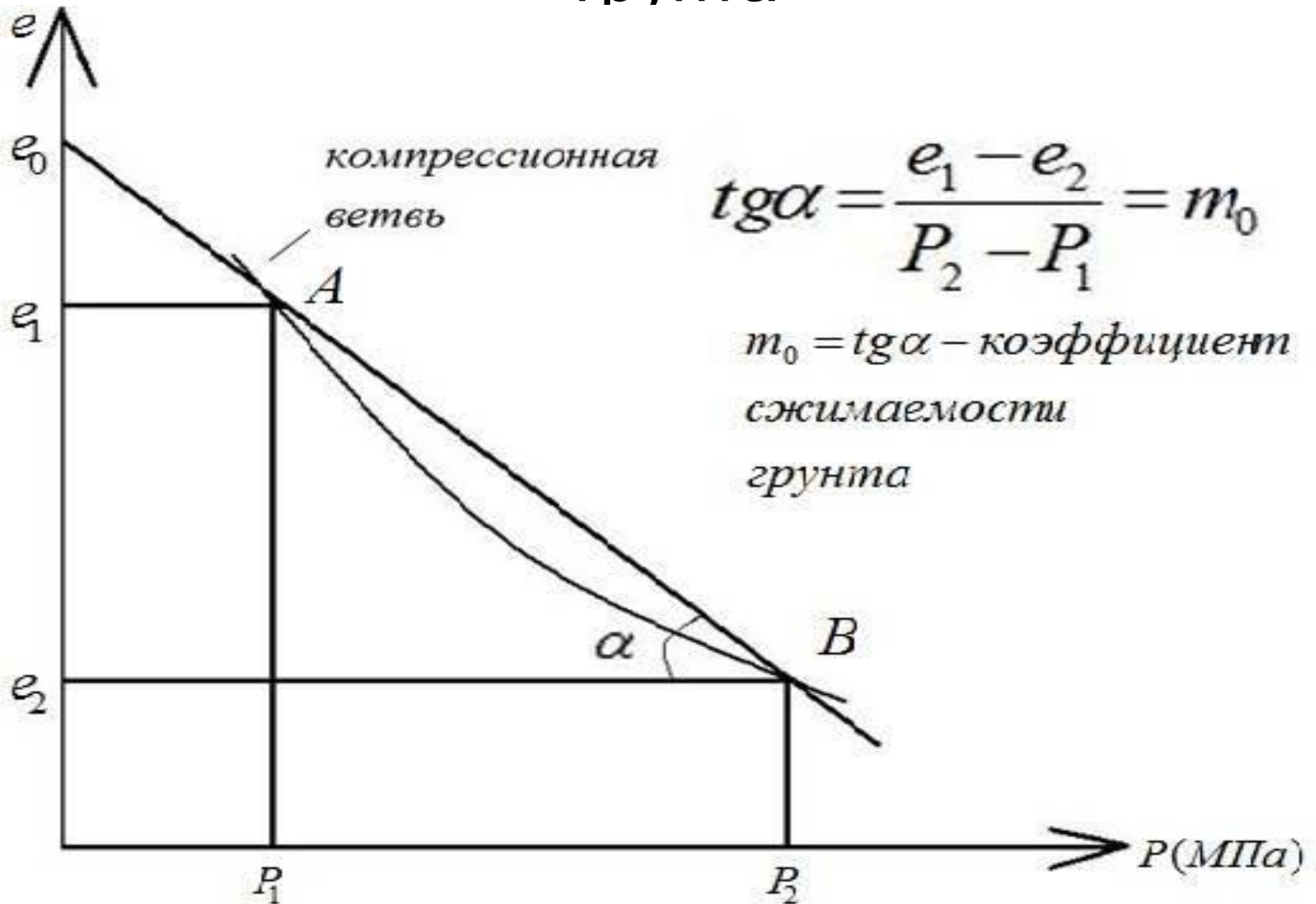
Физические причины упругих деформаций:

- упругость минеральных частиц;*
- упругость воды;*
- упругость замкнутых пузырьков воздуха.*

Физические причины остаточных деформаций:

- уплотнение грунта;*
- сдвиги частиц грунта;*
- разрушение частиц в точках контакта.*

Определение коэффициентов сжимаемости грунта



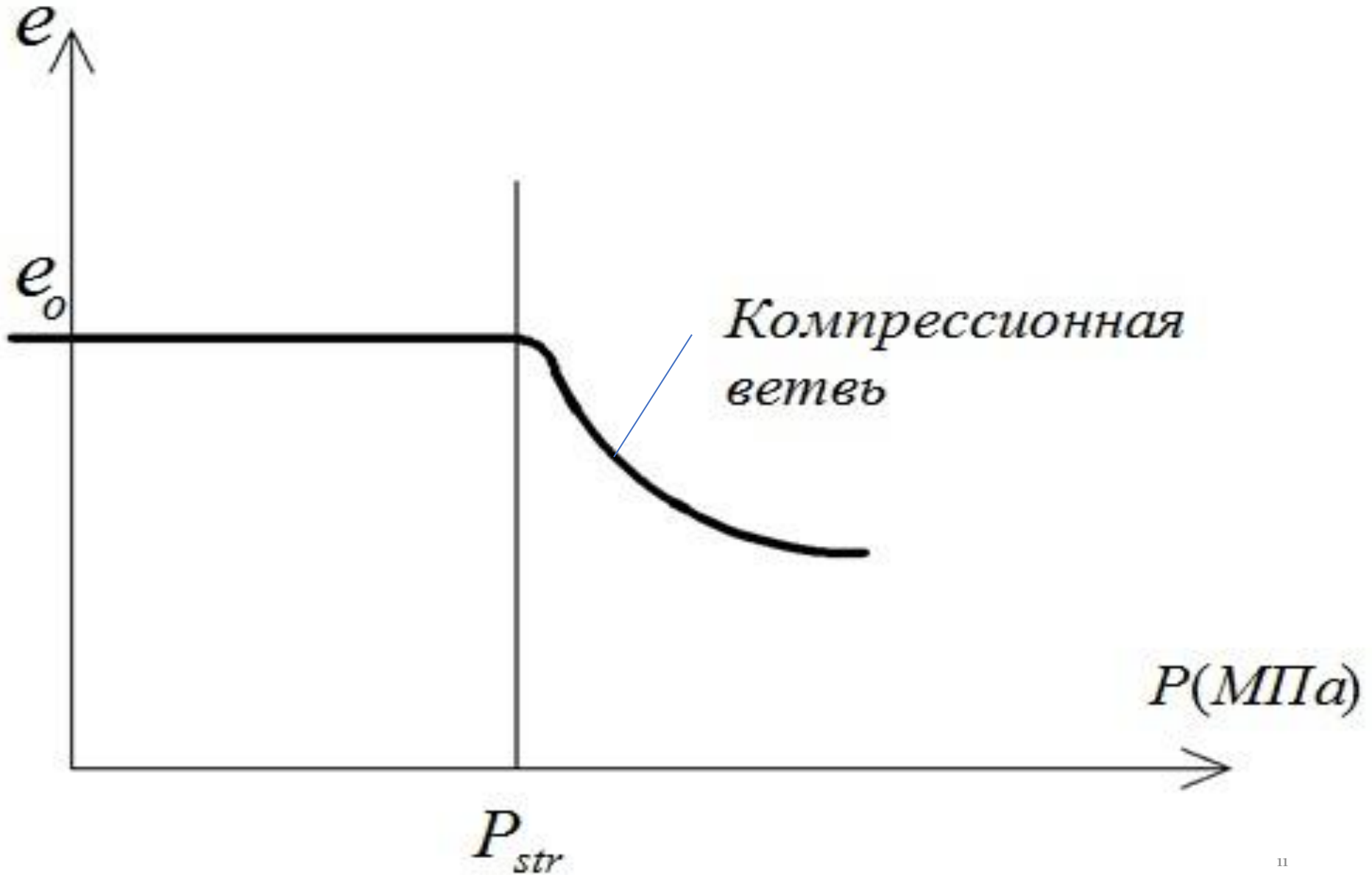
Из-за криволинейного характера графика компрессионных испытаний коэффициент сжимаемости будет зависеть от интервала выбранных напряжений.

При одинаковых значениях P_1 и P_2 более сжимаемым будет тот грунт, у которого m_0 будет больше $\frac{m_0}{1 + e_0}$ m_v - коэффициент относительной сжимаемости грунта

Закон компрессионного уплотнения

При небольшом изменении сжимающих напряжений уменьшения коэффициента пористости пропорционально увеличению сжимающего напряжения $\Delta e = m_0 \Delta P$

Структурная прочность грунта



Многие грунты природного сложения, кроме скальных, могут быть уплотнены, что сопровождается возникновением в них хрупких кристаллизационных связей. Эти связи придают грунту некоторую прочность, которая называется **структурной прочностью грунта**.

При $P < P_{str}$ процесс уплотнения в грунте практически не развивается

При $P > P_{str}$ происходит резкое уплотнение или разрушение грунта

Структурную прочность иногда используют для ограничения мощности сжимаемой толщи под подошвой фундамента, полагая, что при напряжениях в основании, не превышающих P_{str} , уплотнения грунта не происходит.

Способы определения модуля деформации грунта

В качестве деформационной характеристики зависимости между напряжениями и деформациями используют модуль деформации E , который является основной деформационной характеристикой.

1) Определение модуля деформации с помощью компрессионной кривой.

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta S} h \cdot \beta$$

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

ΔP – приращение нагрузки, МПа;

ΔS – приращение осадки, мм;

h – первоначальная высота образца, мм;

β – коэффициент бокового расширения грунта

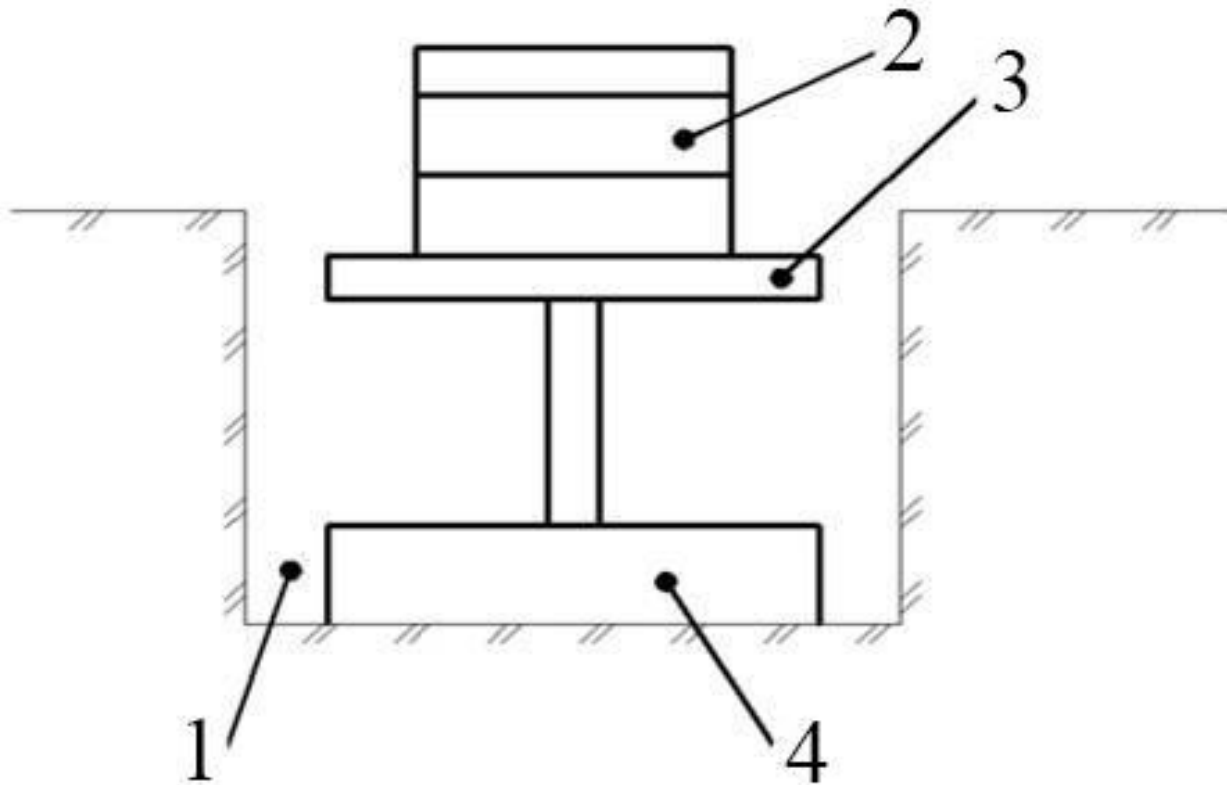
*При решении пространственной задачи
используют*

$$G = \frac{E}{[2(1+\nu)]} - \text{модуль сдвига}$$

$$K = \frac{E}{1-2\nu} - \text{модуль объемной деформации}$$

ν – коэффициент Пуассона

2) Испытание статической нагрузкой



На дно шурфа (1) устанавливают штамп (4), к платформе (3) прикладывают ступенями нагрузку (2), фиксируют осадку грунта.

Формула Шлейхера:

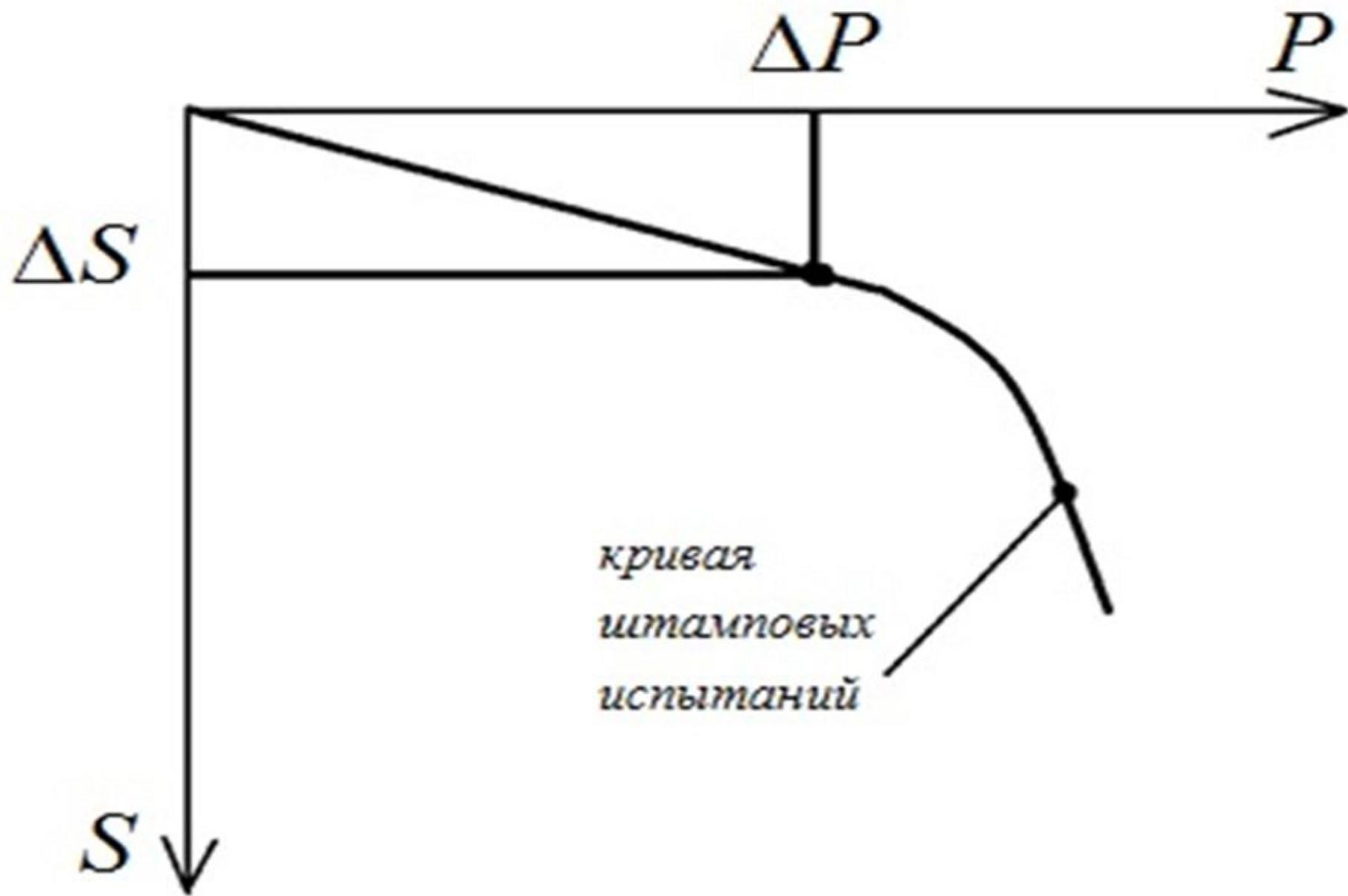
$$E = \omega \cdot d (1 - \nu^2) \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

ω – коэффициент, для круглых штампов равен 0,8;

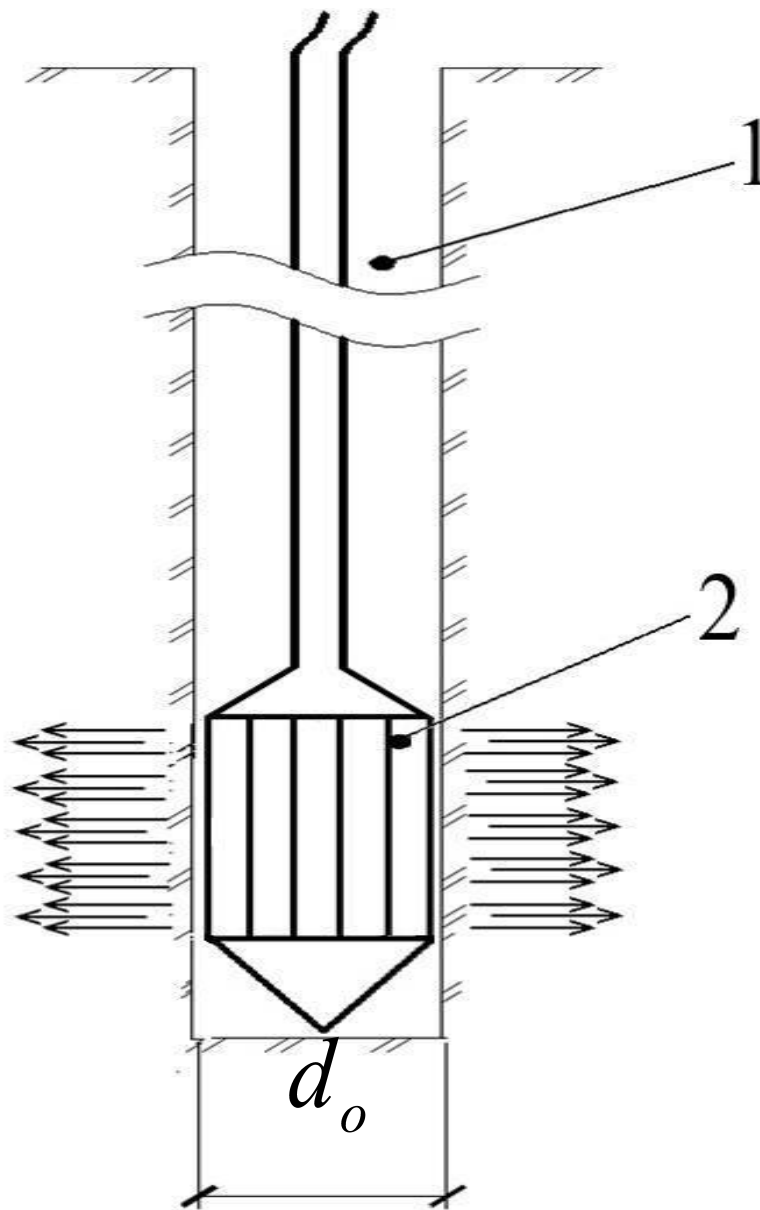
d – диаметр штампа, мм;

ν – коэффициент Пуассона.

$$\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$



3) При помощи прессиометра



В скважину (1) опускают цилиндрический резиновый баллон, заполненный жидкостью, т.е. прессиометр (2). Давление жидкости в баллоне увеличивают, оно передается на стенки скважины и уплотняет окружающий грунт. С помощью датчиков фиксируется давление и деформация грунта

$$E = \frac{\Delta P}{\Delta S} \cdot (1 + \nu) d_o$$

Применяется только для изотропных грунтов

Водопроницаемость грунта

Это свойство водонасыщенного грунта под действием разности напоров пропускать через свои поры сплошной поток воды. Зависит от:

- гранулометрического состава;*
- минерального состава;*
- пористости;*
- градиента напора.*

Закон ламинарной фильтрации Дарси

Фильтрация – это неразрывное течение воды по всему сечению пор.

Ламинарный - это параллельно – струйчатый характер движения воды.

$$V_f = k_f \cdot i$$

V_f – скорость фильтрации, см/сек, м /час; определяется объемом воды, проходящей через единицу площади за единицу времени.

i – гидравлический градиент или градиент напора

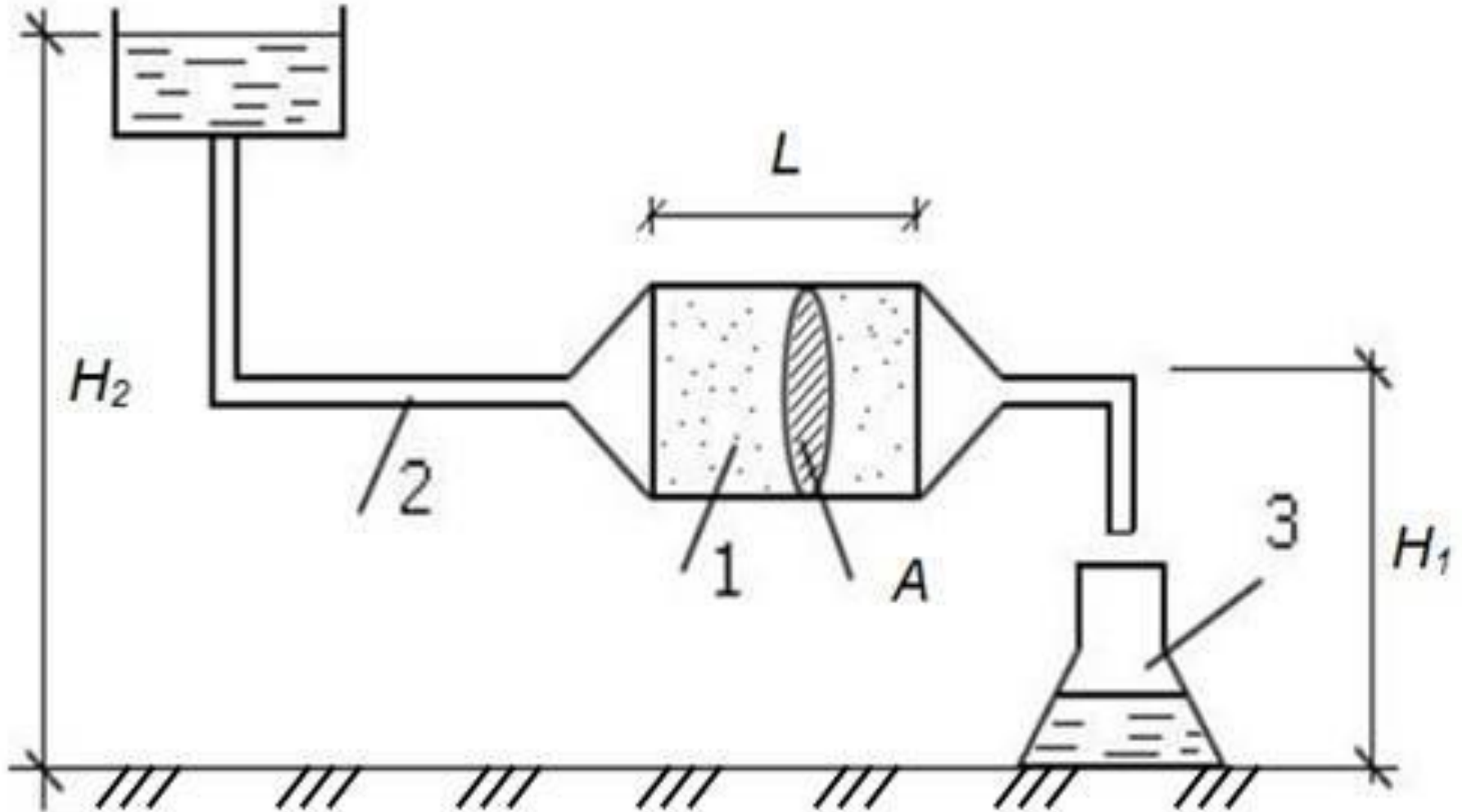
$$i = \frac{\Delta H}{L} = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

ΔH – перепад высот, м;

L – длина пути фильтрации, м;

k_f – коэффициент фильтрации, см/сек, м/час, м/сут.
(определяется экспериментально).

Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов



Грунт (1) помещается в трубку с поперечным сечением A и длиной L ; по подводящей трубке (2) к грунту подводится вода, фильтруется через грунт и собирается в колбе (3).

Коэффициент фильтрации определится как:

$$K_f = \frac{V}{A \cdot i \cdot t}$$

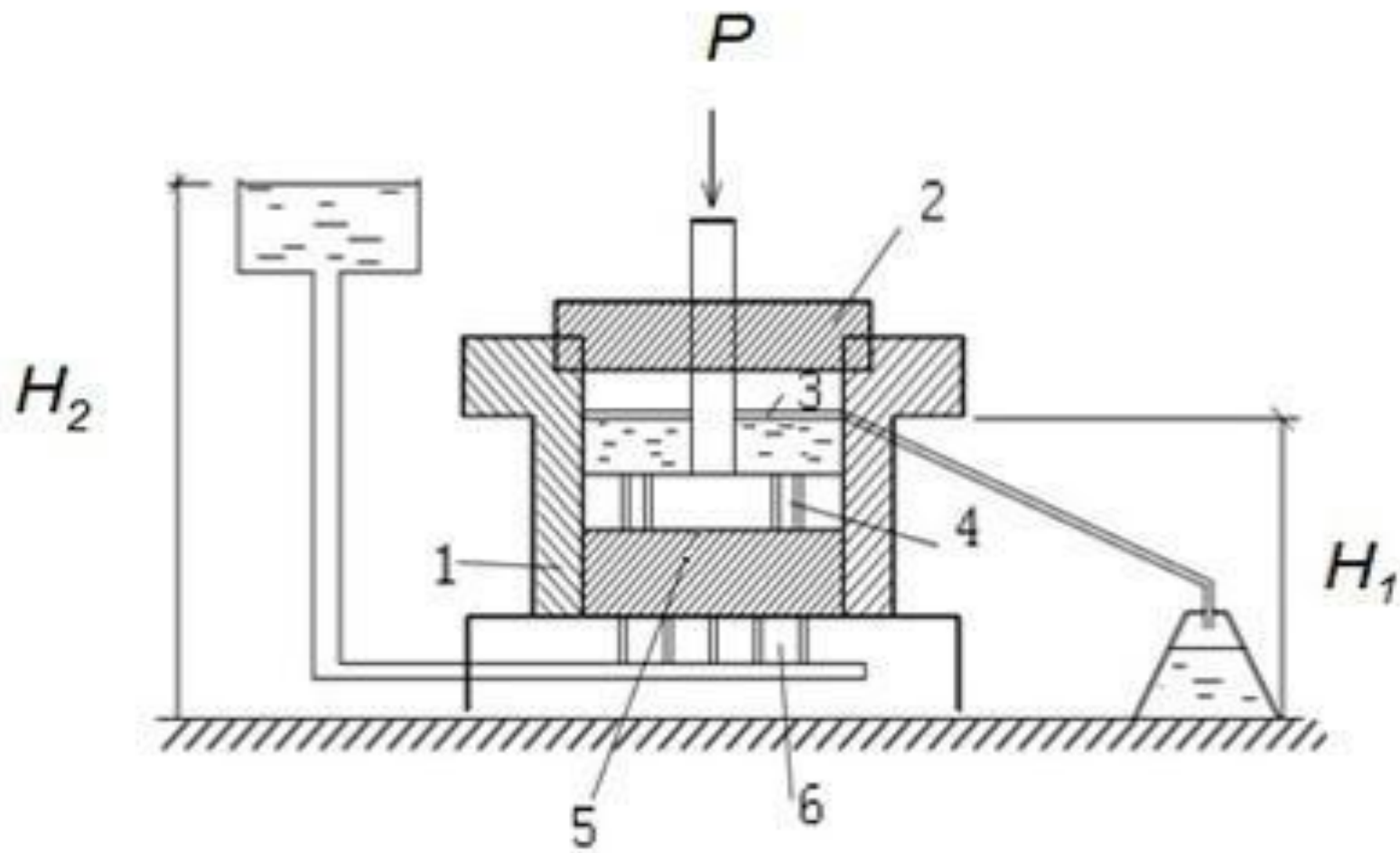
K_f – коэффициент фильтрации

V – объем профильтровавшейся воды

t – время фильтрации

Определение коэффициента фильтрации глинистых грунтов

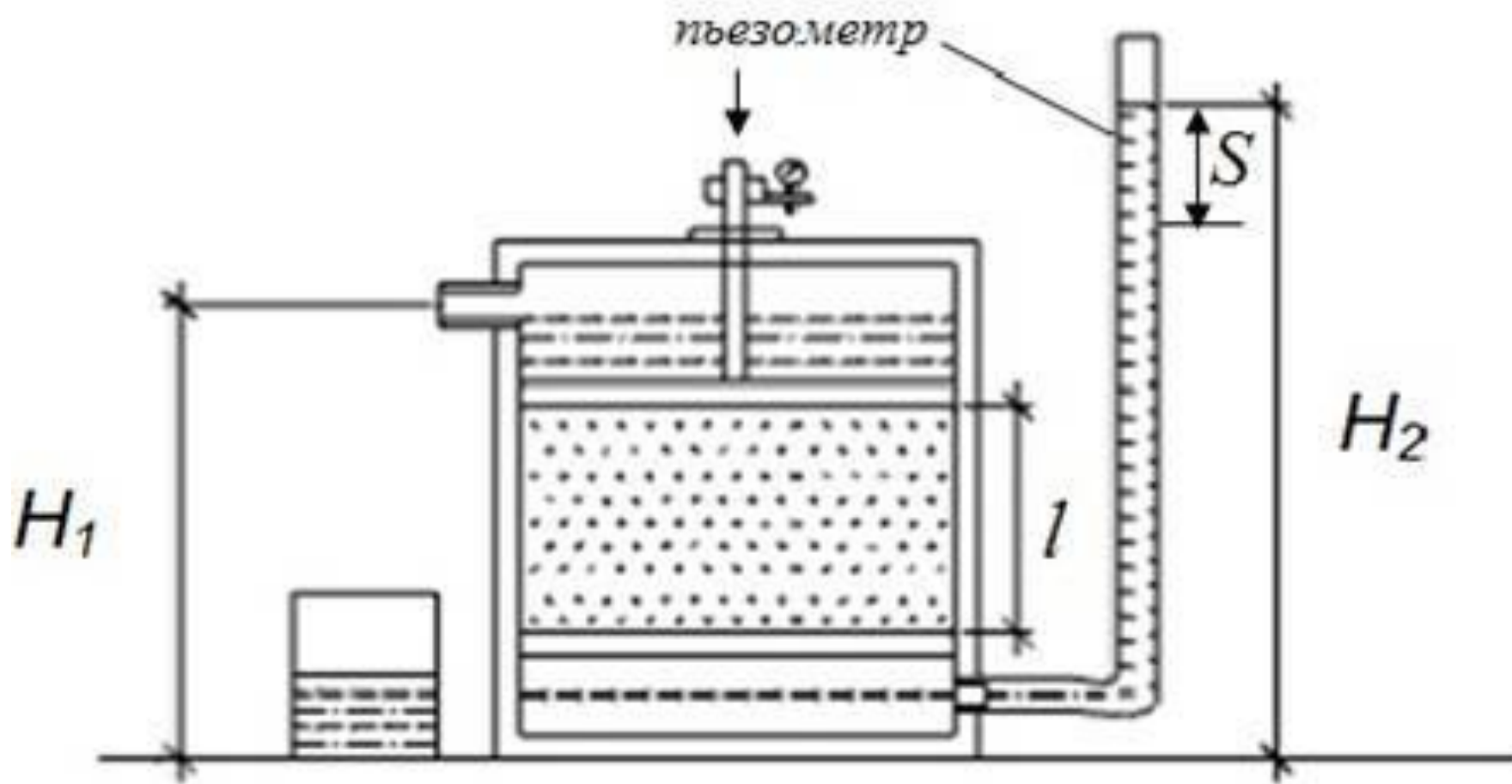
Производится на приборе Б.И. Далматова



Образец грунта (5) помещается в кольцо (1), установленное на фильтрующем днище (6). Сверху устанавливается поршень (4) и на него наливается вода до слива в колбу. Для предотвращения образования мениска на уровне сливного отверстия предусмотрена пластинка (3). Прибор герметично закрывается крышкой (2).

$$K_f = \frac{V}{A \cdot i \cdot t}$$

Компрессионно-фильтрационный прибор



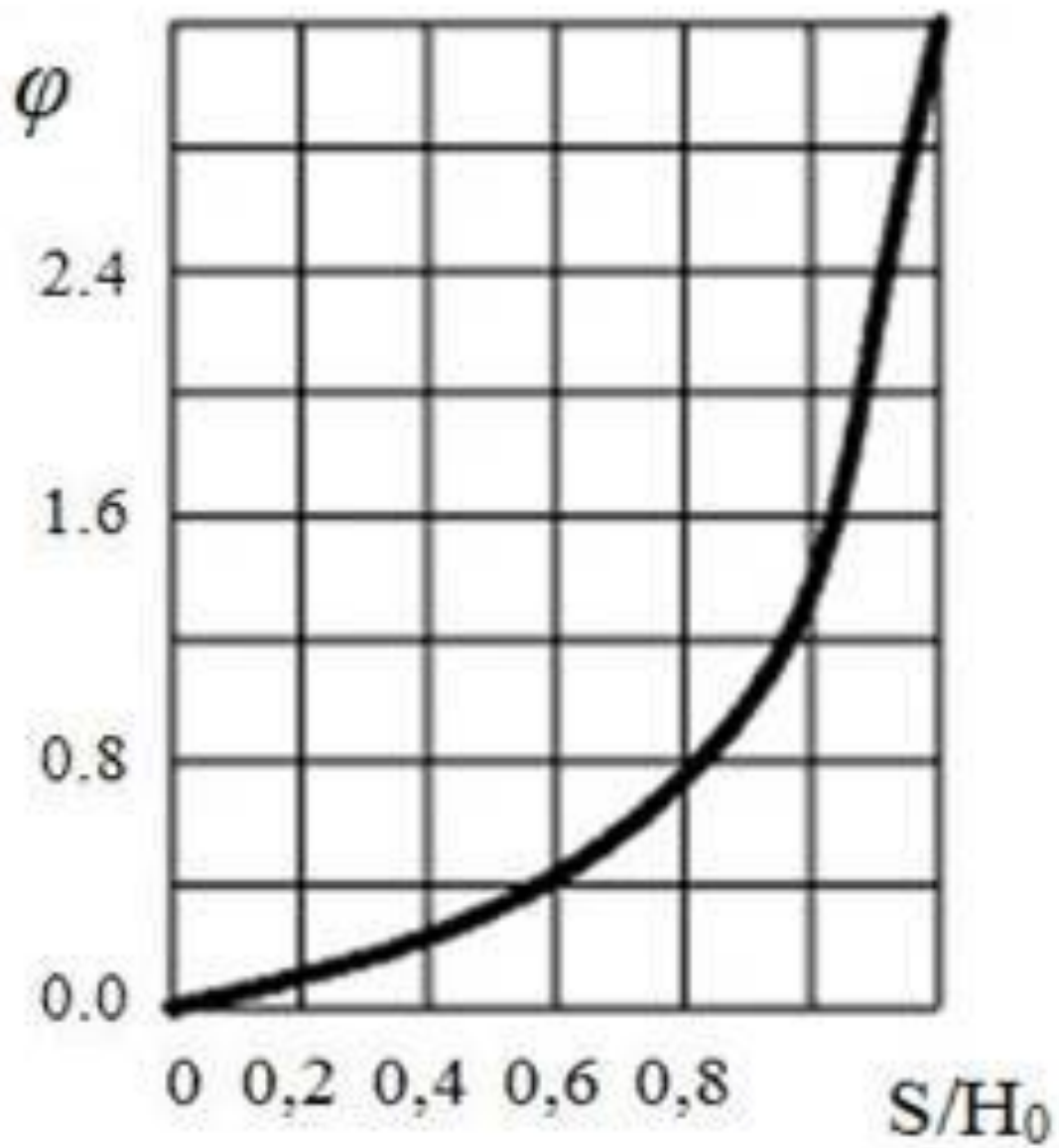
$$K_f = \varphi \frac{al}{At}$$

φ – коэффициент, зависящий от величины падения столба воды в трубке (S), определяемый по графику или формуле

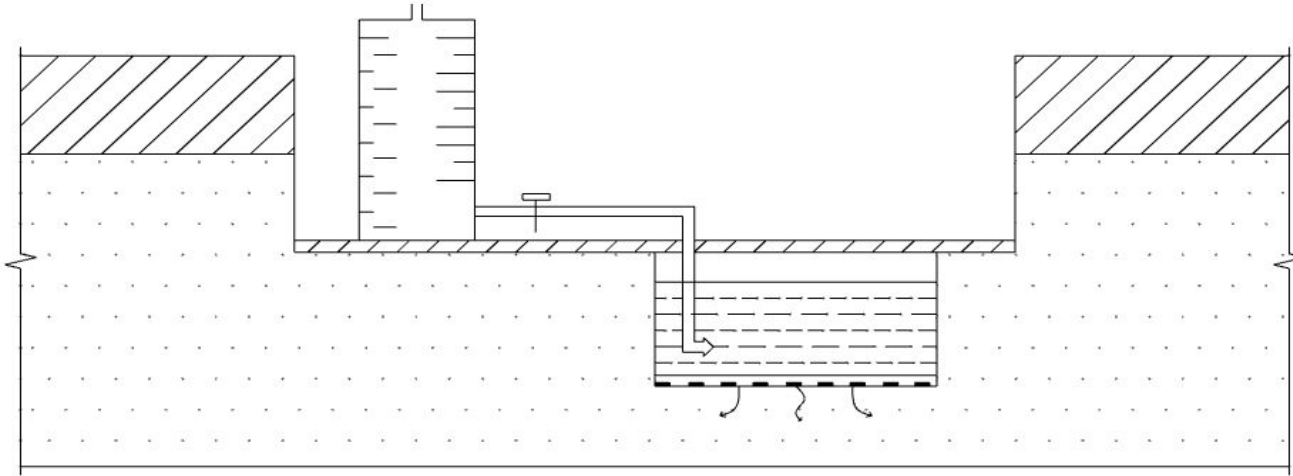
$$\varphi = -\ln\left(1 - \frac{S}{H_0}\right)$$

$$H_0 = H_2 - H_1$$

a – площадь поперечного сечения трубки (пьезометра)



Полевые испытания

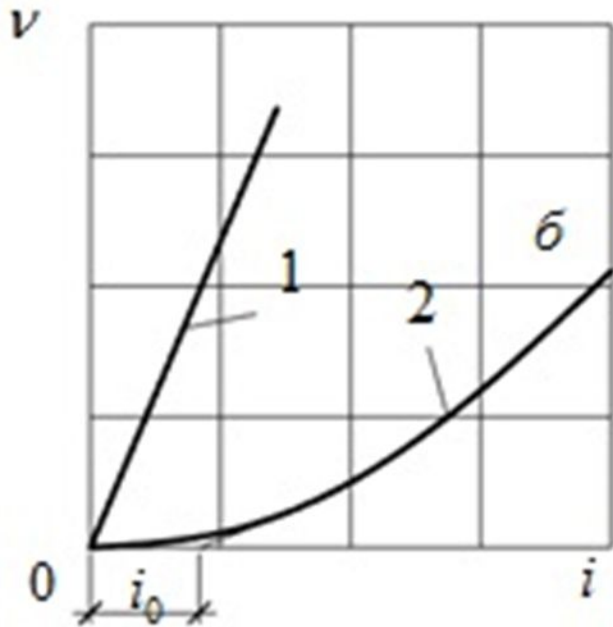


Метод налива воды в шурф (метод А. К. Болдырева)

Принимают $i \approx 1$, $v \approx k_f$

$$K_f = \frac{V_{\omega}}{A_K}$$

A_K - площадь кольца в шурфе



Исленные опыты по
 в песчаных
 от полную
 на Дарси (кривая
 с глинистыми
 систематическое
 этого закона (кривая 2).
 тах, особенно плотных, при

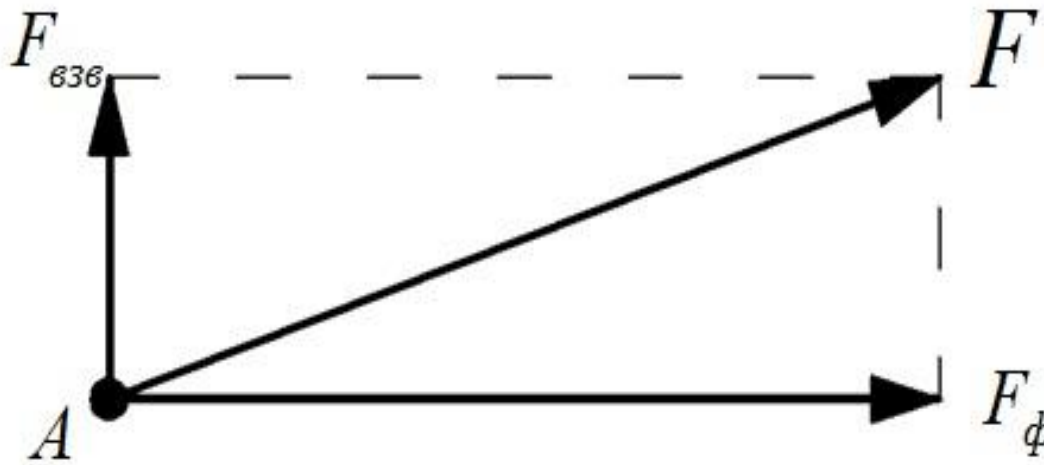
относительно небольших значениях градиента
 напора фильтрация может не возникать (начальный
 участок кривой 2). Увеличение градиента приводит к
 постепенному, очень медленному развитию
 фильтрации. Наконец, при некоторых значениях
 гидравлического градиента устанавливается
 постоянный режим фильтрации.

Закон ламинарной фильтрации для глинистых грунтов принимают в виде

$$v = k' (i - i_0),$$

где k' – коэффициент фильтрации глинистого грунта, определяемый в интервале зависимости между точками а и б;

i_0 – начальный градиент напора, т.е. участок на оси i , отсекаемый продолжением отрезка прямой аб до пересечения с этой осью.



Твердая частица

На каждую твердую частицу A , находящуюся в фильтрационном потоке, действует сила F , которая раскладывается на составляющие:

- F_{ϕ} – фильтрационная сила (сила гидродинамического движения воды) – стремящаяся переместить твердую частицу грунта с потоком воды;
- $F_{взв}$ – взвешивающая (Архимедова сила) – оказывающая взвешивающее воздействие на твердую частицу.

При движении воды в грунтах происходят процессы, осложняющие строительство:

- **Механическая суффозия** – перенос мелких частиц с потоком воды. Приводит к увеличению пористости, увеличению скорости фильтрации и разрушению стенок котлованов.

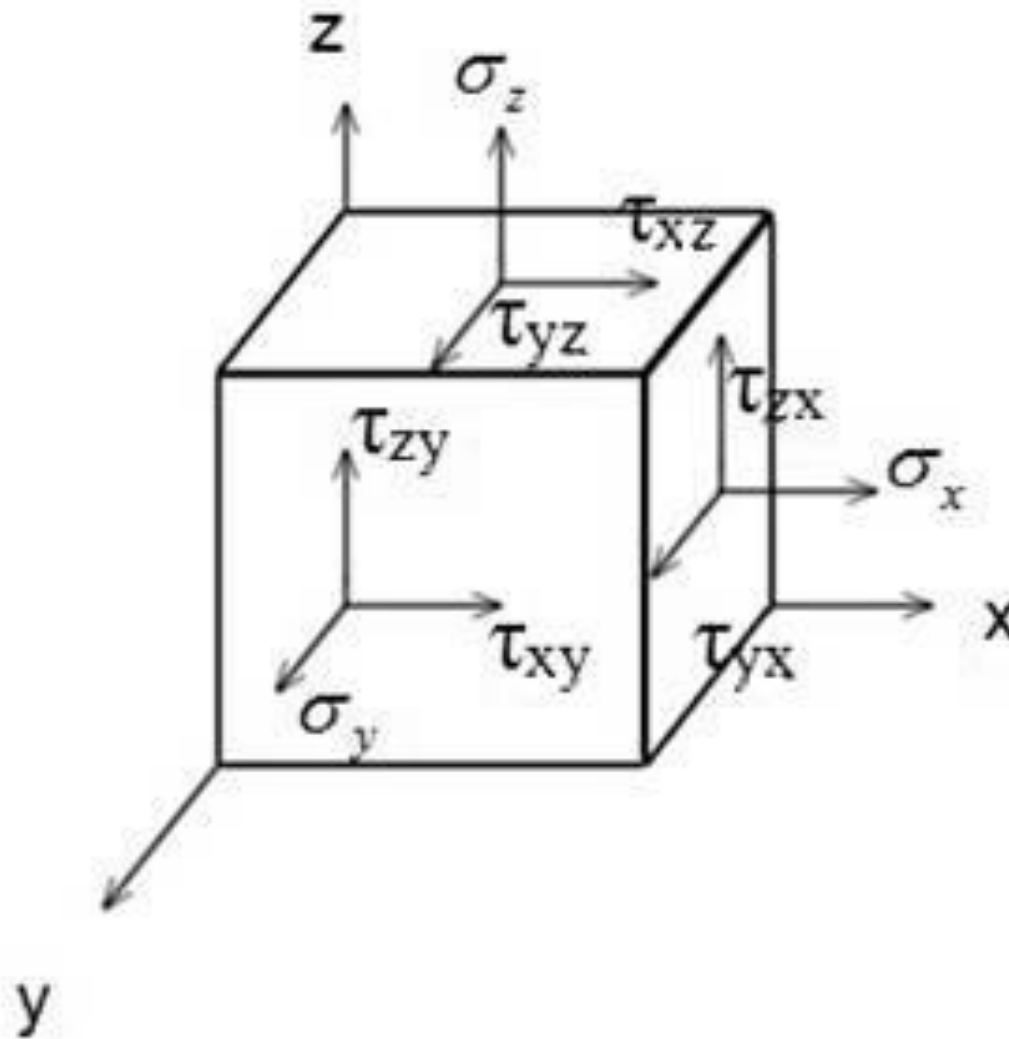
- **Кольматация** – отложение мелких частиц. Приводит к уменьшению пористости, уменьшению скорости потока воды, повышению устойчивости стенок котлованов, но способствует закупорке дренажных устройств.

Различают давление в водонасыщенных грунтах:

- **Эффективное** – давление в скелете грунта;

Сопротивление грунтов сдвигу

Закон Кулона

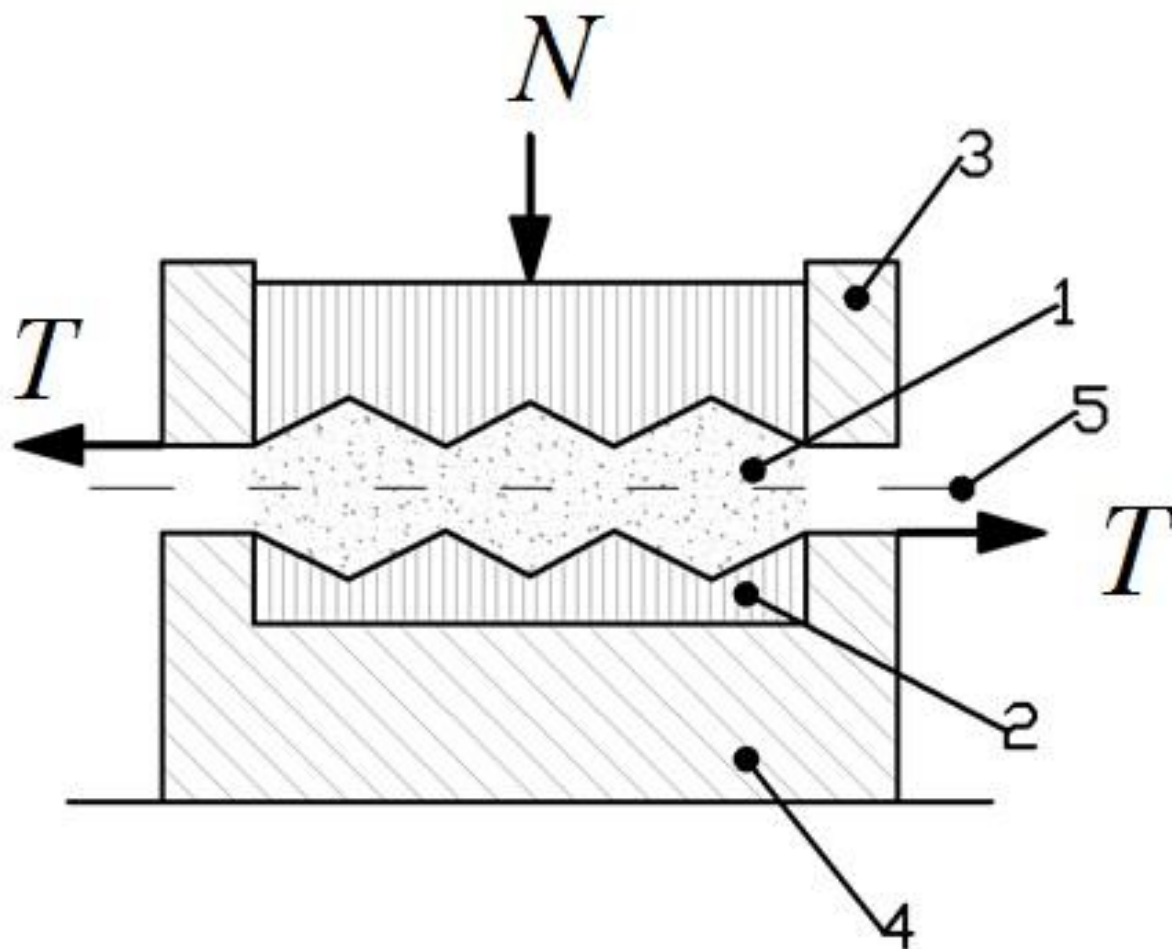


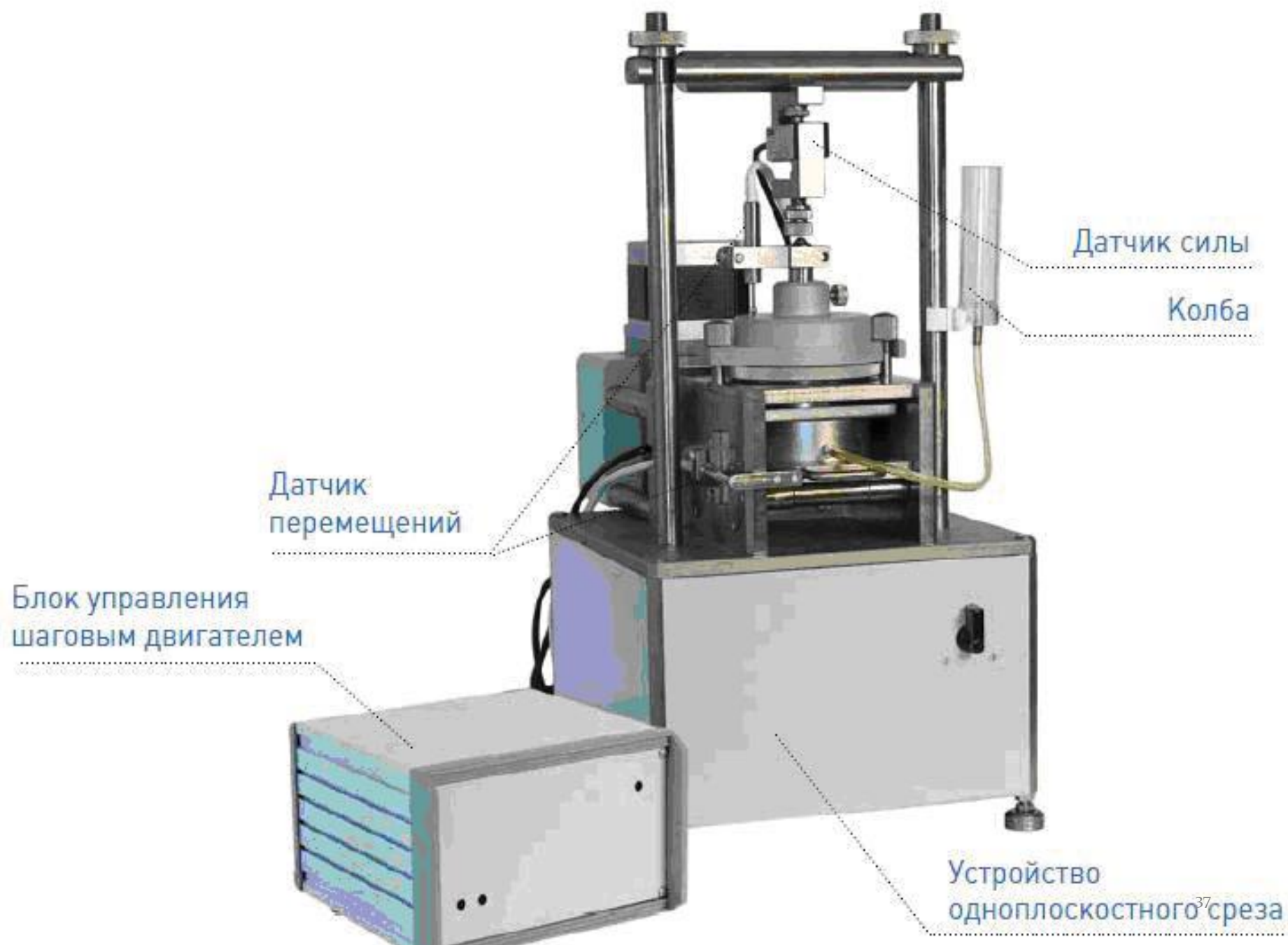
Грунты в основании сооружений испытывают воздействие не только нормальных (сжимающих) напряжений σ , но и касательных (сдвигающих) напряжений - τ .

Предельное значение касательных напряжений τ , при которых начинается разрушение грунта, называется **сопротивлением сдвигу**, которое является основной сдвиговой (прочностной) характеристикой.

Способы испытания грунтов на сдвиг

1) Испытание грунтов на прямой сдвиг в сдвиговом приборе





Образец грунта (1) помещают в сдвиговой прибор с площадью поперечного сечения A , состоящий из нижней неподвижной обоймы (4) и верхней подвижной (3). Грунт укладывается между зубчатыми фильтрующими пластинами (2) и к нему прикладывается сила N . При этом в грунте возникают нормальные (сжимающие) напряжения.

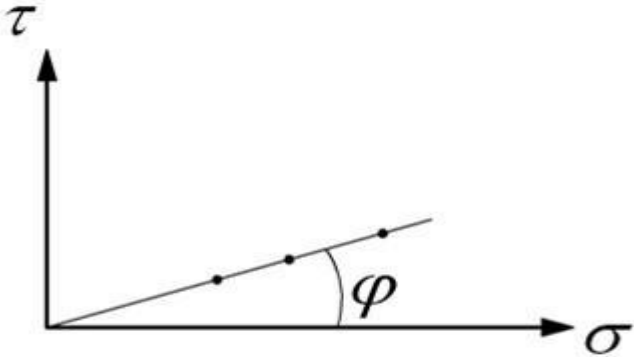
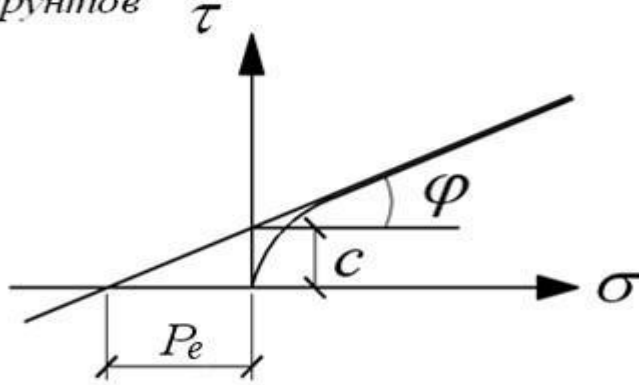
$$\sigma = \frac{N}{A}$$

При $\sigma = \text{const}$ прикладывается сдвигающая сила T , в результате чего в некоторой плоскости (5) в грунте возникают касательные (сдвигающие) напряжения τ .

$$\tau = \frac{T}{A}$$

При $\tau = \tau_{\text{пред}}$ происходит сдвиг грунта в плоскости 5.

$\tau_{\text{пред}}$ называется **сопротивлением грунтов сдвигу**. По результатам испытаний строятся графики

<i>Несвязные (песчаные)</i>	<i>Связные (глинистые)</i>
<p data-bbox="285 197 821 278"><i>Закон Кулона для песчаных грунтов</i></p>  $\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$ $\operatorname{tg} \varphi = f$ $\tau = \sigma f$	<p data-bbox="975 197 1535 278"><i>Закон Кулона для глинистых грунтов</i></p>  $\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi$ $\tau = c + \sigma f$

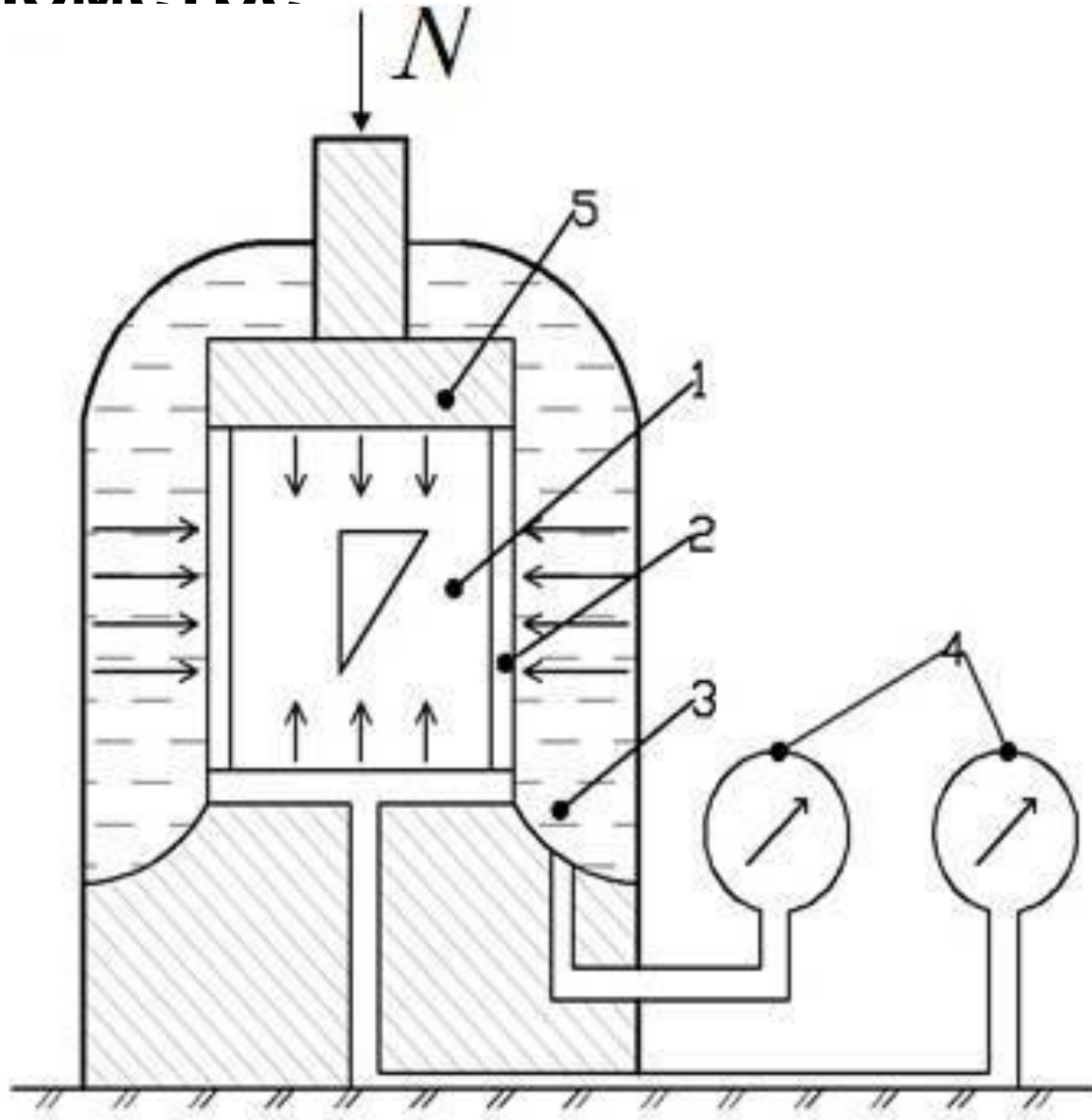
φ – угол внутреннего трения грунта, град;

f – коэффициент внутреннего трения грунта;

c – удельное сцепление грунта, КПа;

p_e – давление связности, КПа.

2) Испытание грунтов на трехосное сжатие в стабилометре



Панель управления давлением

Датчик перемещений

Датчик силы

Камера трехосного сжатия тип А

Устройство осевого нагружения

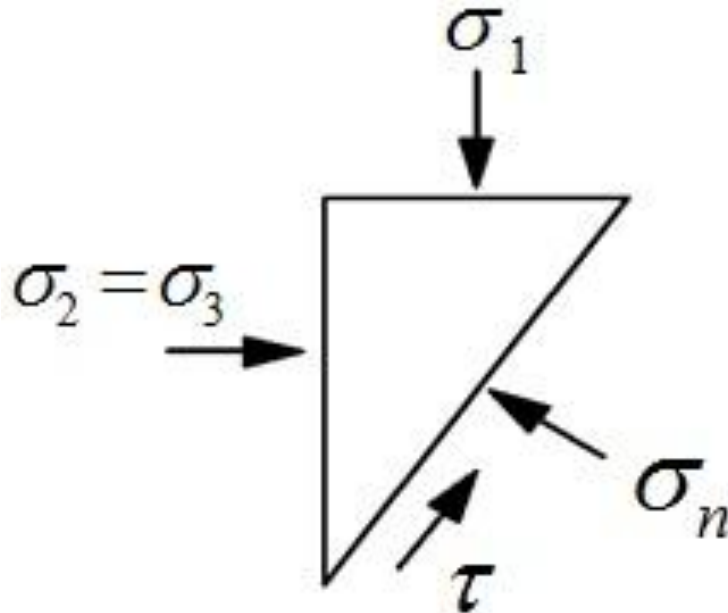
Блок электронно-преобразующий

Камера трехосного сжатия тип Б



С целью приближения лабораторных условий к естественным используют прибор для трехосного сжатия **стабилометр**

Образец грунта (1) в резиновой оболочке (2) помещают в колбу с жидкостью (3) и при помощи поршня (5) прикладывают силу N



Образец грунта подвергается всестороннему сжатию

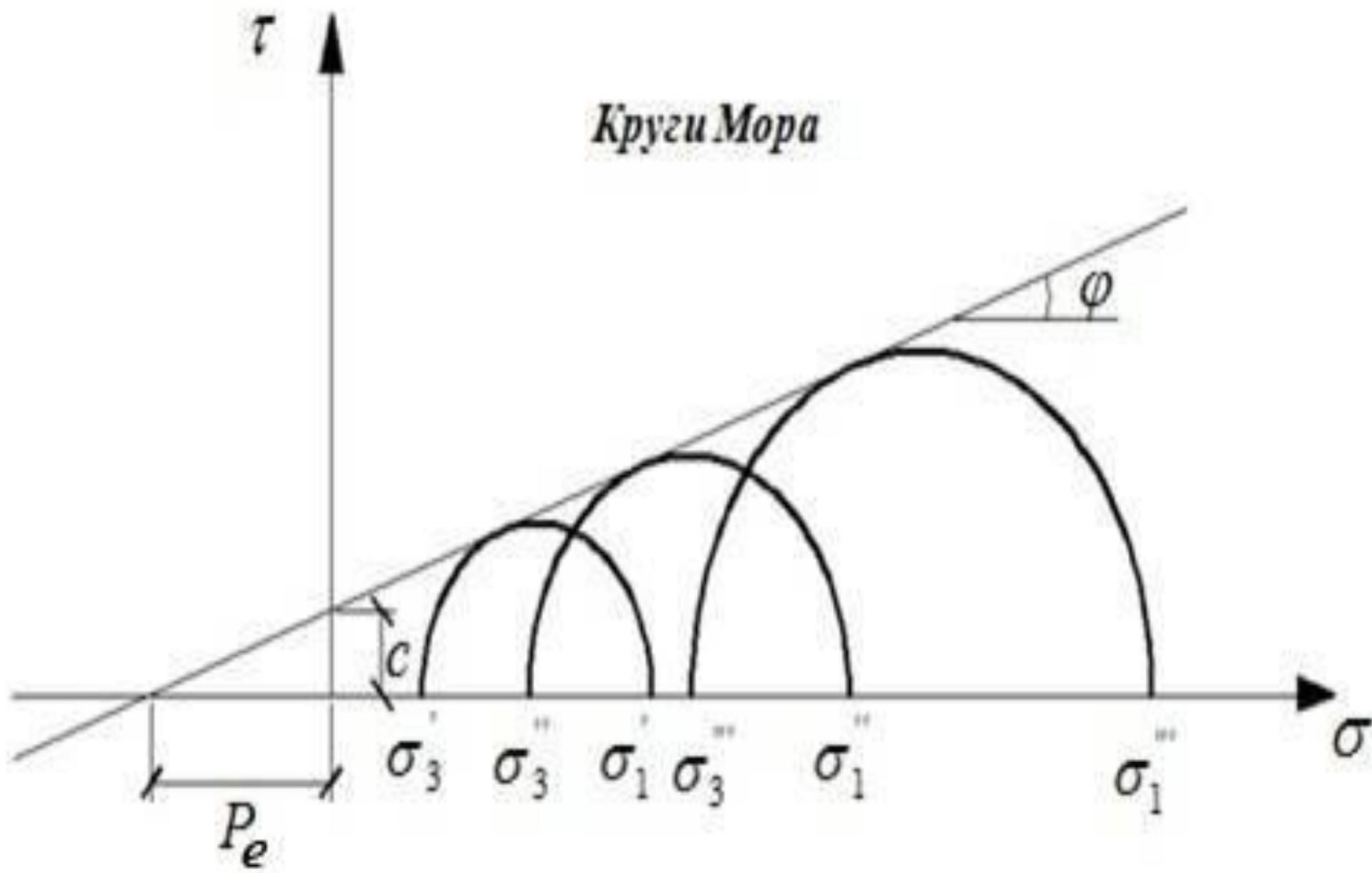
*Давление сооружений имитируется силой N ,
давление соседних грунтов - давлением
жидкости в колбе.*

Опыт проводят на 3 – х образцах

1 опыт: $\sigma_2' = \sigma_3' \longrightarrow \sigma_1'$

2 опыт: $\sigma_2'' = \sigma_3'' \longrightarrow \sigma_1''$

3 опыт: $\sigma_2''' = \sigma_3''' \longrightarrow \sigma_1'''$



Условие предельного равновесия

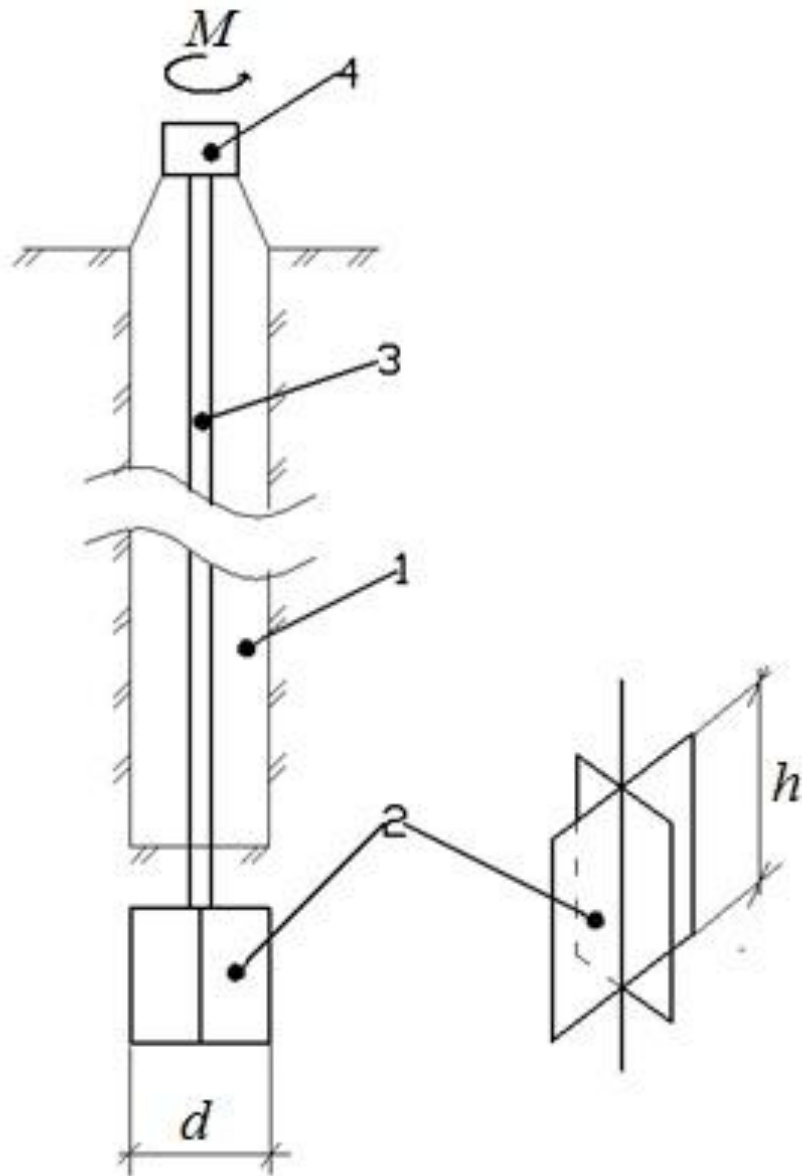
сыпучие грунты:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}$$

связные грунты:

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3 + 2P_e}$$

3) Испытание грунтов на срез с помощью крыльчатки



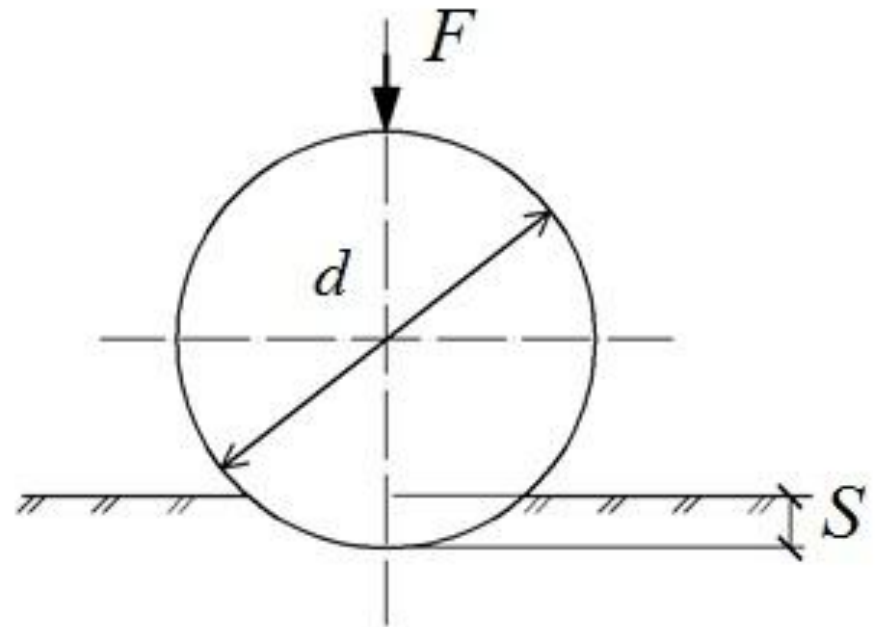
Через скважину (1) в грунт погружается крыльчатка (2). С помощью штанги (3) и вращательного устройства (4) она приводится в движение. Фиксируют максимальный крутящий момент M_{max}

$$\tau = \frac{M_{\max}}{B} \quad B = \frac{\pi d^2 h}{2} \left(1 + \frac{d}{3h}\right)$$

B – постоянная крыльчатки (в паспорте прибора)

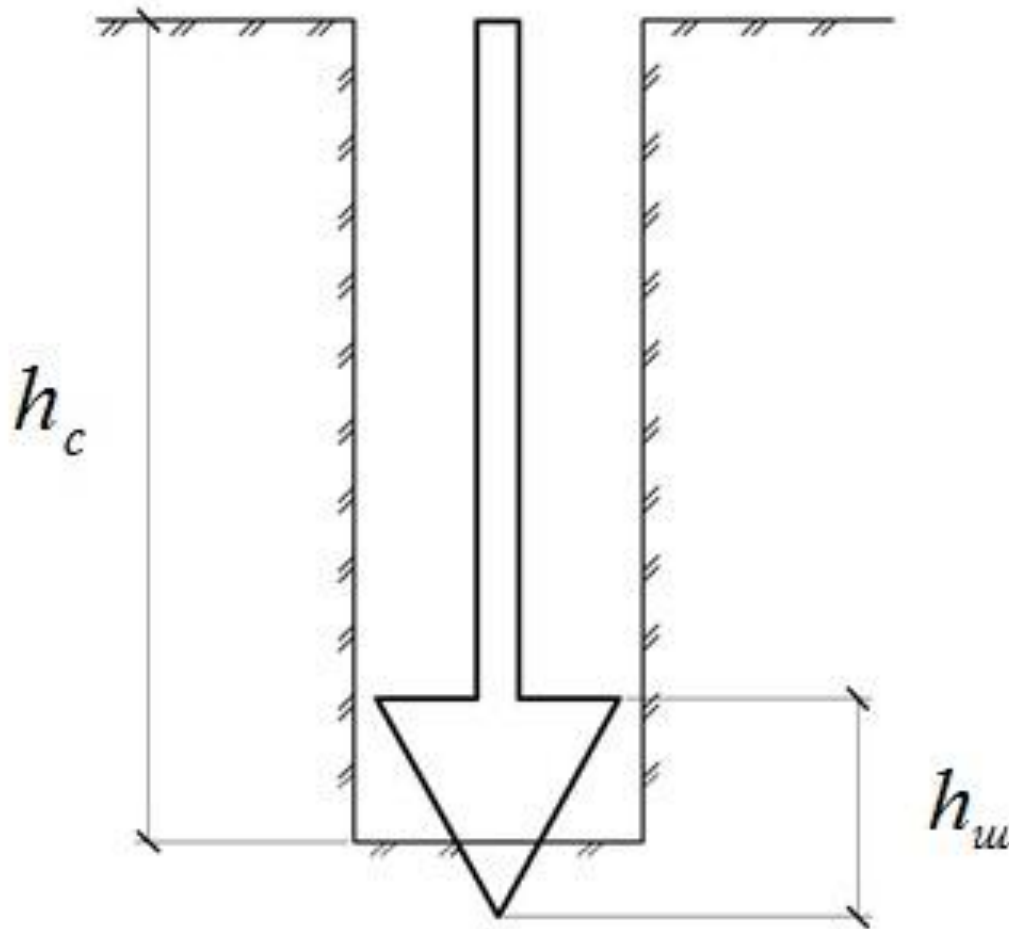
4) Вдавливание штампов

Используется для грунтов с известным углом внутреннего трения φ



$$c = 0,18 \frac{F}{\pi d S}$$

Виды испытаний вдавливанием штампов



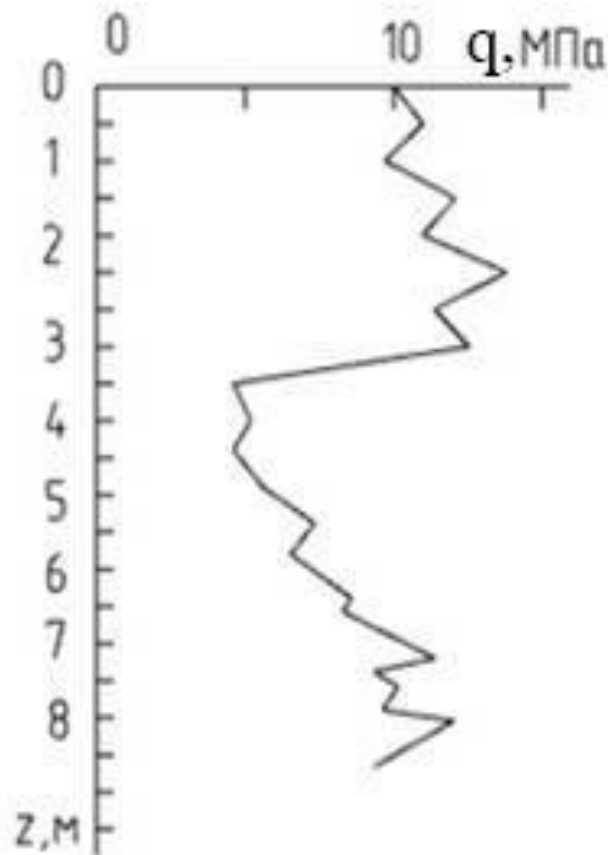
$h_c > h_{ш}$ – глубинное зондирование

$h_c < h_{ш}$ – пенетрация

Методы зондирования

- ***Статическое:*** заключается в медленном задавливании в грунт стандартного зонда.
- ***Динамическое:*** производится путем забивки или ударно- вращательного погружения в грунт зонда с коническим наконечником

Статическое зондирование



$$q_s = \frac{N}{A}$$

$$A = 10 \text{ см}^2$$

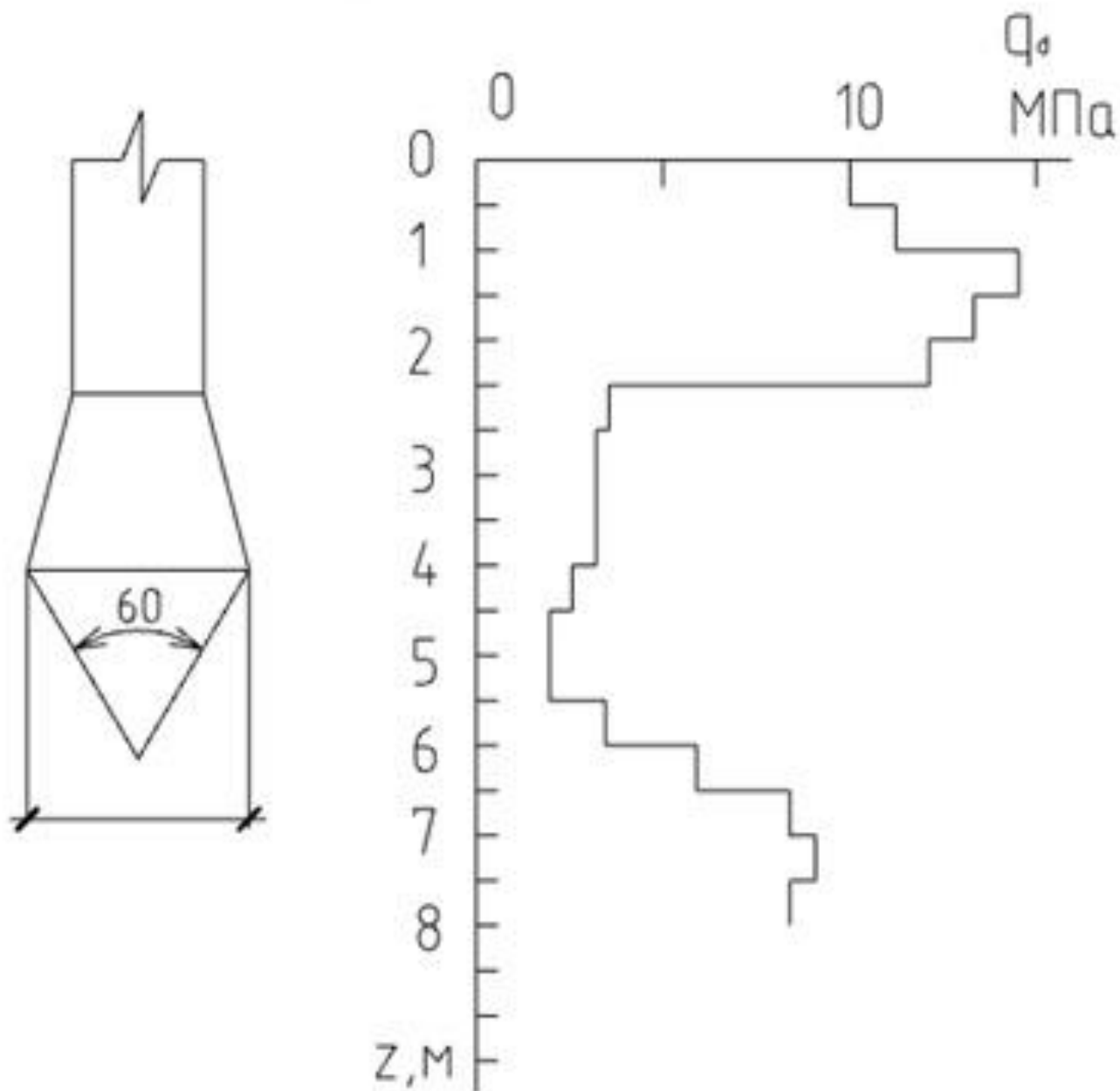
$$E = 3q_s - \text{для песчаных грунтов}$$

$$E = 7q_s - \text{для суглинков и глин}$$

$$\text{tg} \varphi = 0.045 q_s + 0.26$$

$$c = 0.011 q_s + 0.125$$

Динамическое зондирование



$$q_d = \zeta \frac{An}{h}$$

$$E = mq_d$$

<i>m</i>	<i>Песок природного сложения</i>	
<i>14...16</i>	<i>Гравелистый Крупный Средней крупности</i>	
<i>10...12</i>	<i>Мелкий</i>	<i>$S_r \leq 0.5$</i>
<i>6...8</i>		<i>$S_r > 0.8$</i>
<i>8...10</i>	<i>Пылеватый</i>	<i>$S_r \leq 0.5$</i>
<i>5-6</i>		<i>$0.5 < S_r \leq 0.8$</i>
<i>3-4</i>		<i>$S_r > 0.8$</i>
<i>6</i>	<i>Суглинки и глины</i>	

A – удельная энергия зондирования, определяемая в зависимости от типа установки, Н/см

p – количество ударов молота

h - глубина погружения зонда, см

ζ - коэффициент, учитывающий потерю энергии при ударе молота о наковальню

q – удельное сопротивление погружению конуса