

Физико-механические свойства

проявляются при взаимодействии с внешними нагрузками

Нагрузки:

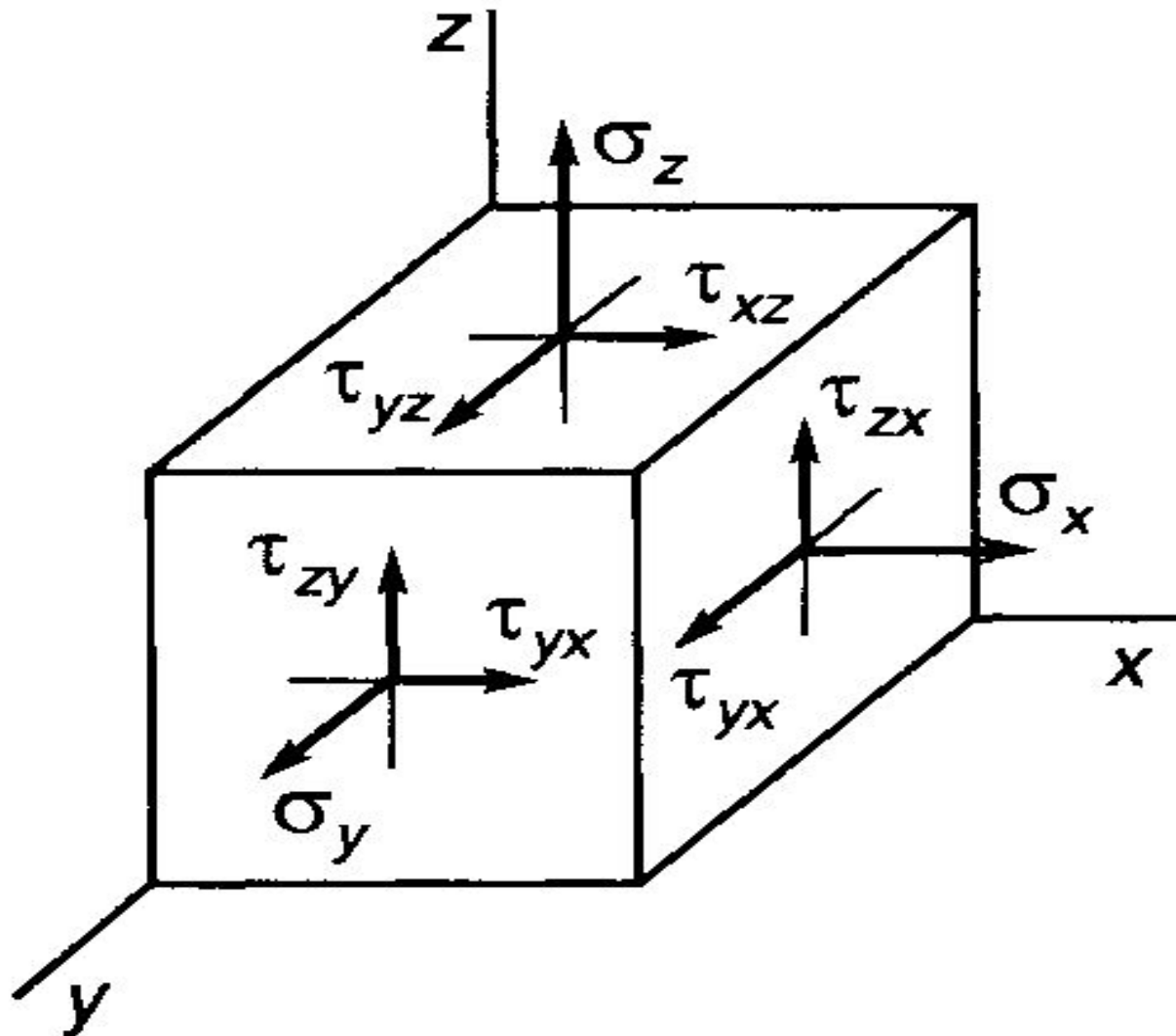
- Статические
- Динамические

Нагрузки (Р, н):

- Поверхностные
- Объемные

Напряжения (МПа= n/m^2):

- σ – нормальные (положительные и отрицательные)
- τ – касательные



Компоненты касательных ($\tau_{i,j}$) и нормальных (σ_i) напряжений (Грунтоведение, 2005)

- **Деформационные свойства** – при нагрузках ниже критических, т.е. не приводящих к разрушению
- **Прочностные свойства** – при нагрузках выше критических, т.е. при разрушении
- **Реологические свойства** – при действии статических нагрузок во времени

Деформационные свойства

Виды деформаций

1. Линейные ε (положительные, отрицательные)

$$\varepsilon = \frac{l_0 - l}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Δl - абсолютная линейная деформация,

l_0 - первоначальная длина

2. Касательные , или сдвиговые $\gamma = \frac{S}{l} = \operatorname{tg} \alpha$

$\operatorname{tg} \alpha$ - тангенс угла перекоса

3. Объемные $\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V}$

ΔV - абсолютная объемная деформация,

V - первоначальный объем

4. Изгиб

5. Кручение

Закон Гука

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

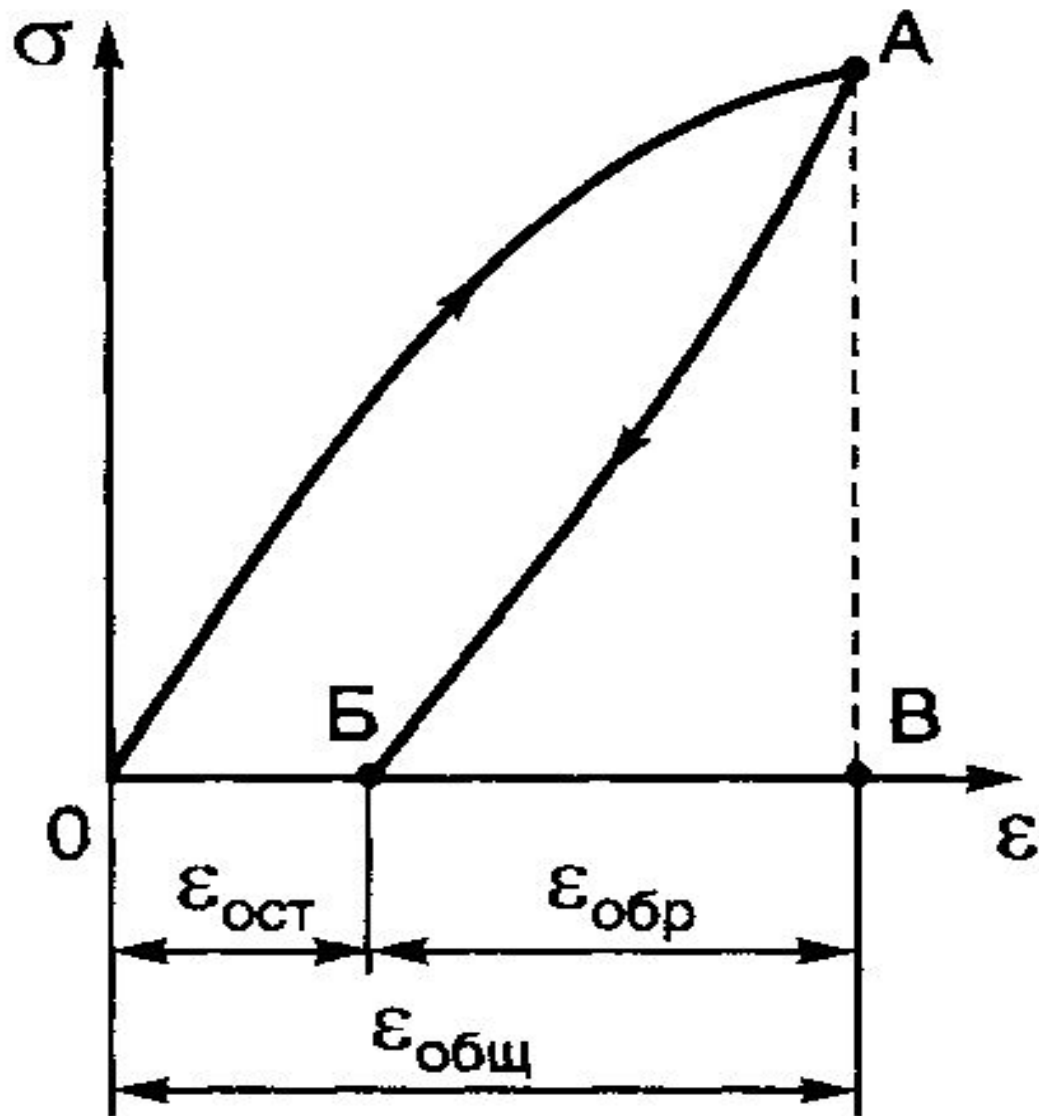
E – модуль Юнга, Па

σ – напряжение (нормальное)

$$\varepsilon_x = -\mu \varepsilon_z$$

μ – коэффициент Пуассона

ε_x и ε_z – поперечная и продольная деформации



Зависимость напряжения и деформации образца при нагрузке (ОА) и разгрузке (АВ)(Грунтоведение, 2005)

Деформации:

- Обратимая (упругая), $\epsilon_{\text{обр}}$
- Остаточная (пластическая), $\epsilon_{\text{ост}}$
- Общая, $\epsilon_{\text{общ}}$

$$\epsilon_{\text{общ}} = \epsilon_{\text{обр}} + \epsilon_{\text{ост}}$$

E – модуль Юнга (модуль упругости)

E_0 – модуль общей деформации

•

$$E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_{\text{обр}} + \epsilon_{\text{ост}}} = \frac{\sigma}{\epsilon_{\text{общ}}}$$

$$E_0 < E$$

Деформационные свойства скальных грунтов

$$\varepsilon_{\text{обр}} \gg \varepsilon_{\text{ост}}$$

E, μ

Упругие константы основных типов скальных грунтов (Грунтоведение, 2005)

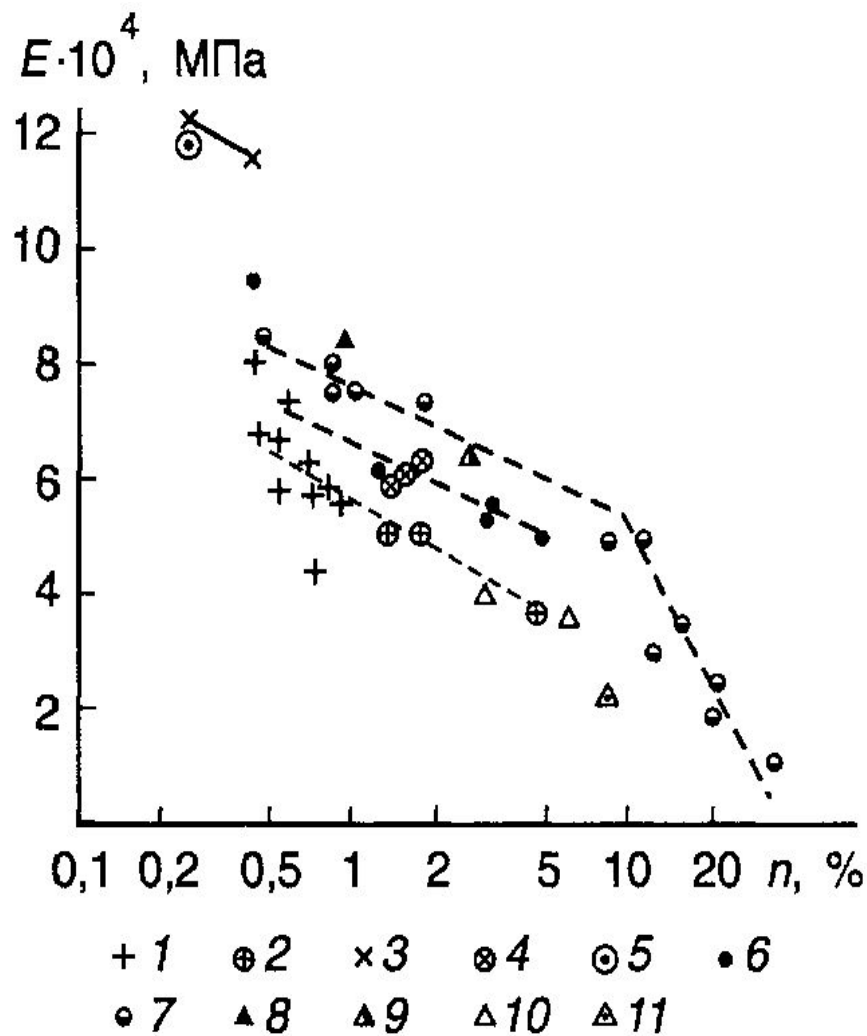
| Грунт | Модуль упругости, Е, ГПа | Модуль сдвига, G, ГПа | Коэффициент Пуассона |
|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Магматические интрузивные грунты | | | |
| Граниты | 39—78,0 | 12—29,2 | 0,12—0,29 |
| Граниты порфировидные | 47—64 | 20—27 | 0,20—0,28 |
| Гранодиориты | 55—73 | 15—32 | 0,14—0,29 |
| Сиениты | 60—65 | 24—26 | 0,22 |
| Габбро | 86—105 | 40—46 | 0,24 |
| Габбро-нориты | 88—96 | 30—36 | 0,22—0,29 |
| Диабазы | 21—120 | 11—48 | 0,26—0,32 |
| Бронзититы | 140—146 | 59—66 | 0,22 |
| Оливиниты | 150—159 | 59—64 | 0,25 |
| Перидотиты | 152—160 | 60—62 | 0,23—0,26 |
| Пироксениты оливиновые | 160—166 | 64—69 | 0,23—0,24 |
| Осадочные сцементированные грунты | | | |
| Известняки | | | |
| хемогенные | 44—87 | 19—34 | 0,25—0,33 |
| ракушечники | 4—10 | 1,8—4,0 | 0,17—0,23 |
| органогенные | 5—70 | 2,4—26 | 0,23—0,30 |
| кавернозные | 1—7 | 0,6—3,2 | 0,27—0,28 |
| глинистые | 0,3—12 | 0,14—5,9 | 0,26—0,30 |
| Доломиты | 3—43 | 4,1—19 | 0,25—0,31 |
| Мергели | 1,1—6,0 | 0,9—2,8 | 0,28—0,31 |
| Песчаники | | | |
| кварцевые | 18—68 | 22—46 | 0,09—0,19 |
| карбонатные | 0,4—29 | 0,19—0,45 | 0,23—0,24 |
| глинистые | 0,6—28 | 0,3—12,8 | 0,18—0,30 |
| Алевриты | 7—30 | 3,3—14,5 | 0,20—0,30 |
| Каменная соль | 27—29 | 10—12 | 0,27—0,28 |

Е скальных грунтов **зависит от:**

- Минерального состава
- Пористости
- Трещиноватости
- Заполнителя трещин
- Водонасыщенности
- Величины нагрузки, скорости приложения
- Масштабного фактора
- Температуры

Рис. 14.6. Зависимость модуля упругости (E) грунтов разного состава от пористости (n) (по Б.П.Беликову, 1970):

1 — мигматиты и гранитоиды; 2 — граниты; 3 — габбро и диабазы; 4 — лабрадориты; 5 — железистые кварциты; 6 — кварциты и песчаники; 7 — карбонатные грунты; 8, 9, 10 — основные, средние и кислые эффузивы; 11 — туфы и туфобрекчии



Деформационные свойства дисперсных грунтов

- $\epsilon_{\text{ост}} \gg \epsilon_{\text{обр}}$

$$E_{\text{общ}} = \frac{\sigma}{\epsilon_{\text{обр}} + \epsilon_{\text{ост}}}$$

Модули общей деформации некоторых дисперсных грунтов (Грунтоведение,
2005)

| Грунт | Модуль общей деформации, МПа |
|------------------|------------------------------|
| Песчаные грунты | |
| Пески | |
| гравелистые | 45—70 |
| крупные | 35—56 |
| средние | 26—62 |
| мелкие | 18—50 |
| пылеватые | 11—39 |
| мелкие глинистые | 30—200 |
| Глинистые грунты | |
| Супеси | |
| твердые | 10—39 |
| пластичные | 2—36 |
| Суглинки | |
| твердые | 10—40 |
| полутвердые | 5—32 |
| тугопластичные | 11—28 |
| пластичные | 8—12 |
| текучепластичные | 4—19 |
| лёссовидные | 20—40 |
| Глины | |
| твердые | 24—350 |
| полутвердые | 16—240 |
| тугопластичные | 7—26 |
| мягкопластичные | 5—15 |
| текучепластичные | 2—7 |

Коэффициент сжимаемости $a = \frac{\Delta e}{\Delta \sigma}$ МПа⁻¹

Δe - изменение коэффициента пористости, $\Delta \sigma$ - диапазон нагрузок (определяется в условиях компрессии)

$a > 1$ МПа⁻¹ – сильносжимаемые

$a = 1 - 0,1$ МПа⁻¹ - повышенносжимаемые

$a = 0,1 - 0,05$ МПа⁻¹ - среднесжимаемые

$a < 0,05$ МПа⁻¹ – слабосжимаемые

Сжимаемость крупнообломочных – песчаных зависит от:

- Размера и формы частиц
- Исходной плотности
- Заполнителя (у крупнообломочных)
- Влажность - не влияет практически

Сжимаемость пылеватых и глинистых зависит от:

- Прочности структурных связей
- Примеси органики
- Пористости
- Влажности
- Состава обменных катионов
- Состава и концентрации порового раствора
- Температуры

Прочность грунтов

Механическая прочность –

Её параметры определяются при
предельных нагрузках

3 вида внешних нагрузок:

1. Одноосное сжатие

параметр – $R_{сж}$ – временное
сопротивление сжатию

$$R_{сж} = \frac{P_{сж}}{S} \text{ Па (МПа)}$$

$P_{сж}$ – предельная нагрузка на образец

S – площадь образца

2. Одноосное растяжение

параметр – R_p – временное сопротивление
растяжению

$$R_p = \frac{P_p}{S} \text{ Па (МПа)}$$

P_p – предельная нагрузка на образец

S – площадь образца

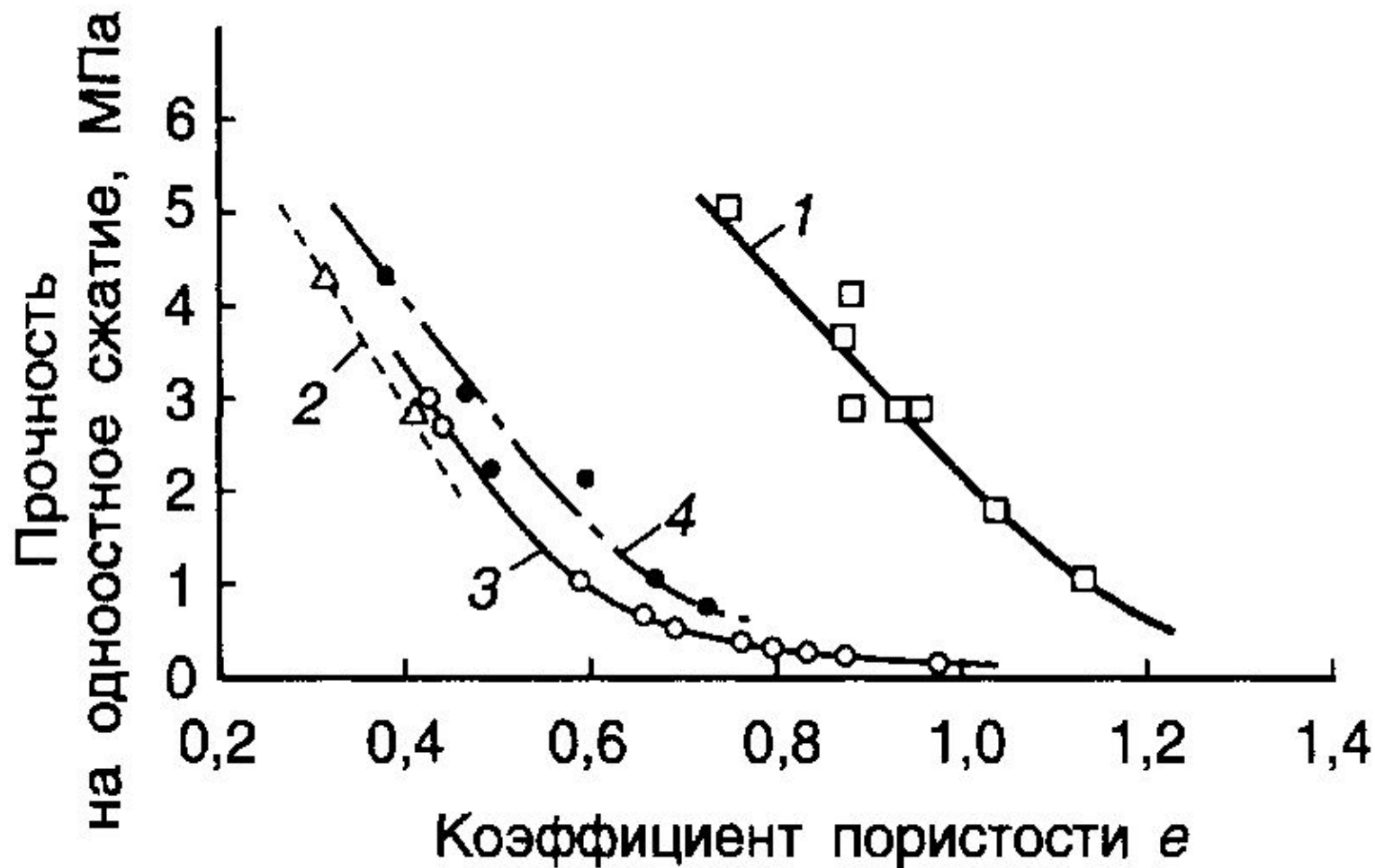
$$R_{сж} > R_p$$

Временное сопротивление сжатию некоторых типов скальных грунтов
(Грунтоведение, 2005)

| Группы скальных грунтов | Подгруппы и типы грунтов | Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, МПа |
|-------------------------|--------------------------|---|
| Магматические | Интрузивные: | |
| | граниты | 80—380 |
| | диориты | 140—310 |
| | сиениты | 100—220 |
| | габбро | 190—320 |
| | Эффузивные | |
| | порфириты | 130—260 |
| | андезиты | 80—260 |
| | базальты | 90—460 |
| Осадочные | Доломиты | 12—150 |
| | Известняки: | |
| | кремнистые | 140—240 |
| | хемогенные | 5—95 |
| | глинистые | 24—35 |
| | Песчаники | 5—150 |
| | Алевролиты | 12—40 |
| | Аргиллиты | 16—51 |
| | Каменная соль | 26—28 |
| | Ангидрит | 69—87 |

Прочность на одноосное сжатие глинистых грунтов в зависимости от их консистенции (Грунтоведение, 2005)

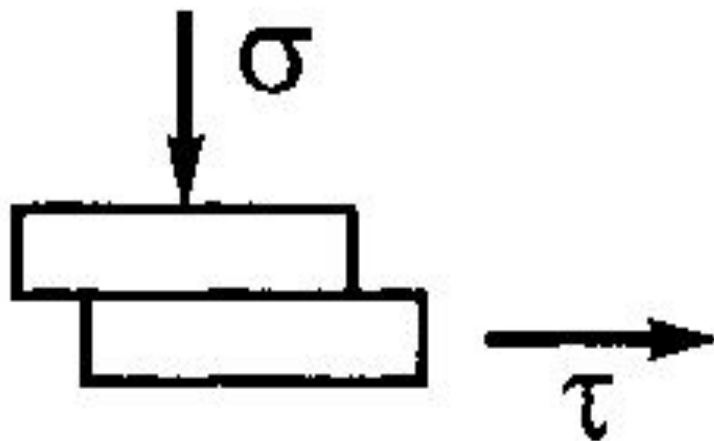
| Консистенция грунта | Временное сопротивление сжатию $R_{сж}$, МПа |
|----------------------------|--|
| Текучая | < 0,025 |
| Текучепластичная | 0,025—0,05 |
| Мягкопластичная | 0,05—0,1 |
| Тугопластичная | 0,1—0,2 |
| Полутвердая | 0,2—0,4 |
| Твердая | > 0,4 |



Зависимость прочности на одноосное сжатие глин от коэффициента пористости: 1 – монтмориллонитовая глина, 2 – каолинитовая глина, 3 – гидрослюдистая глина, 4 – полиминеральная, преимущественно гидрослюдистая морская глина (Грунтоведение, 2005)

3. Плоскостной сдвиг (срез)

Прочность на сдвиг зависит не только от сдвигающей, но и от сжимающей нагрузки



Закон Кулона

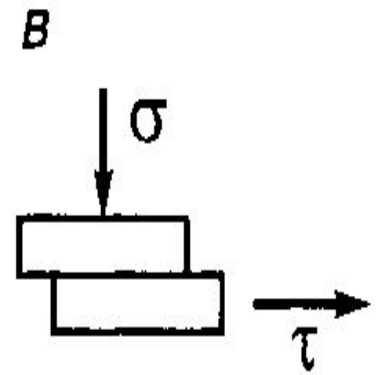
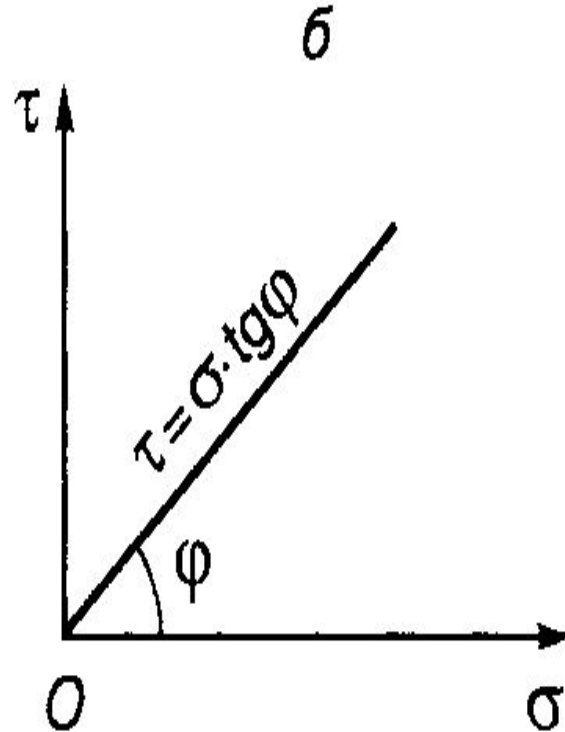
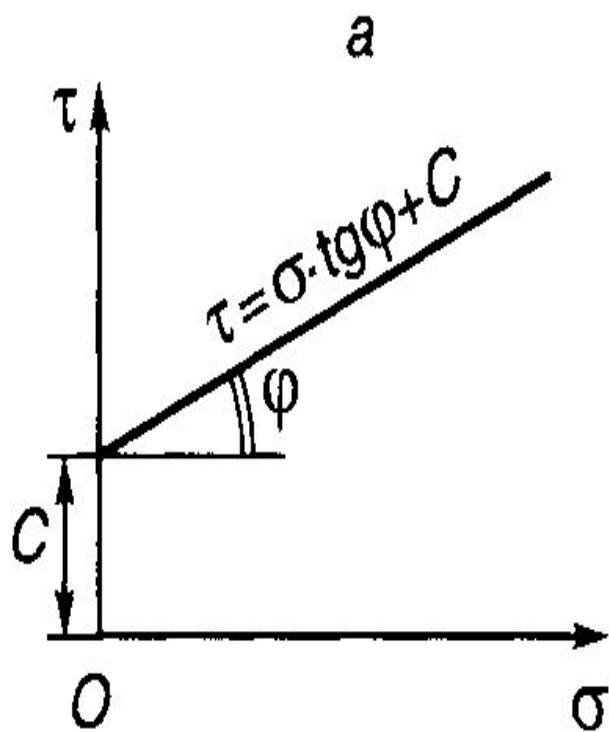
$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + c$$

τ — касательное напряжение

σ — нормальное напряжение

φ — угол внутреннего трения грунта, градус

c — сцепление грунта, Па



Зависимость сопротивления сдвигу связного (а), несвязного (сыпучего) грунта и схема испытаний на сдвиг (в) (Грунтоведение, 2005)

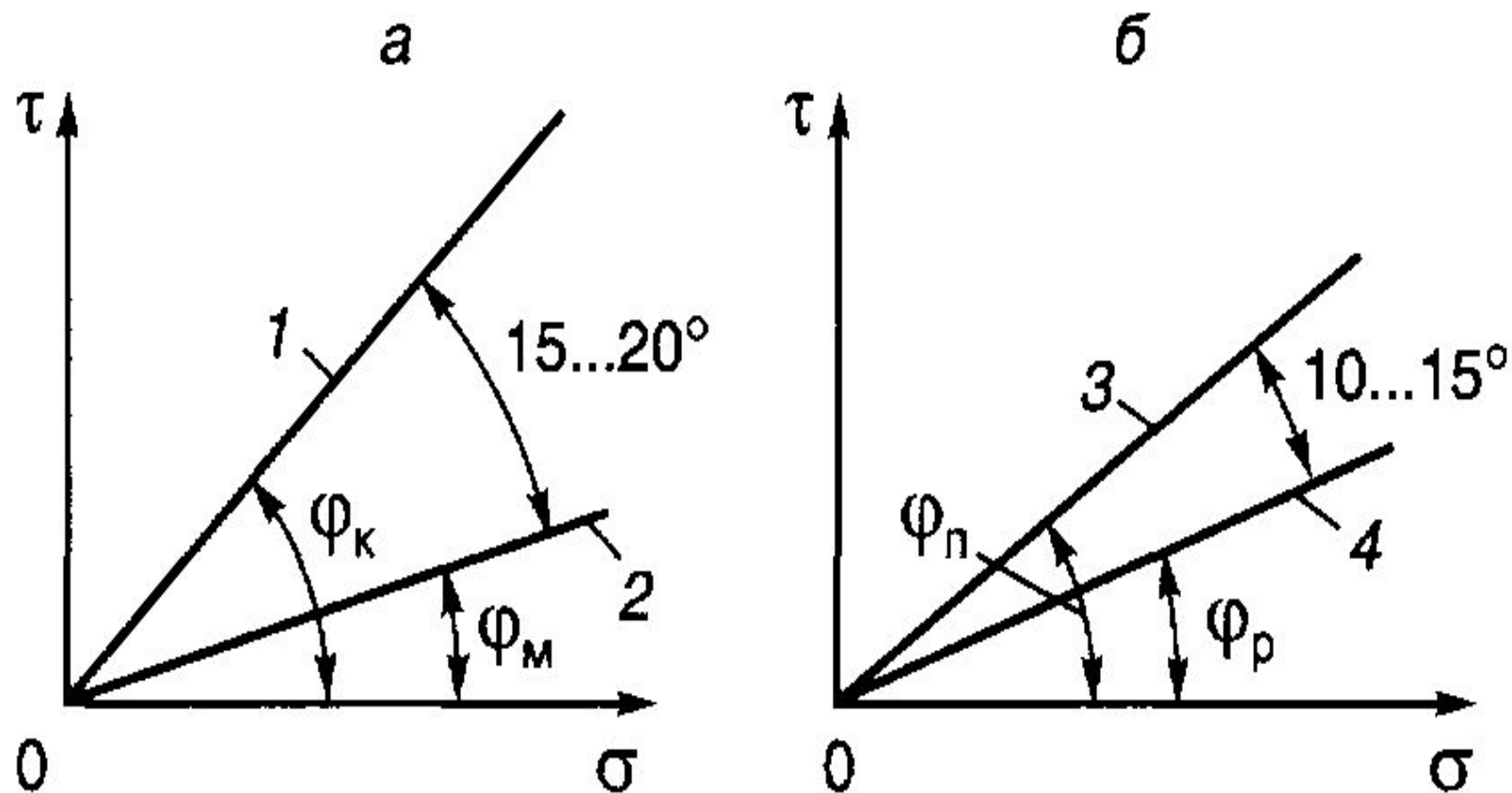
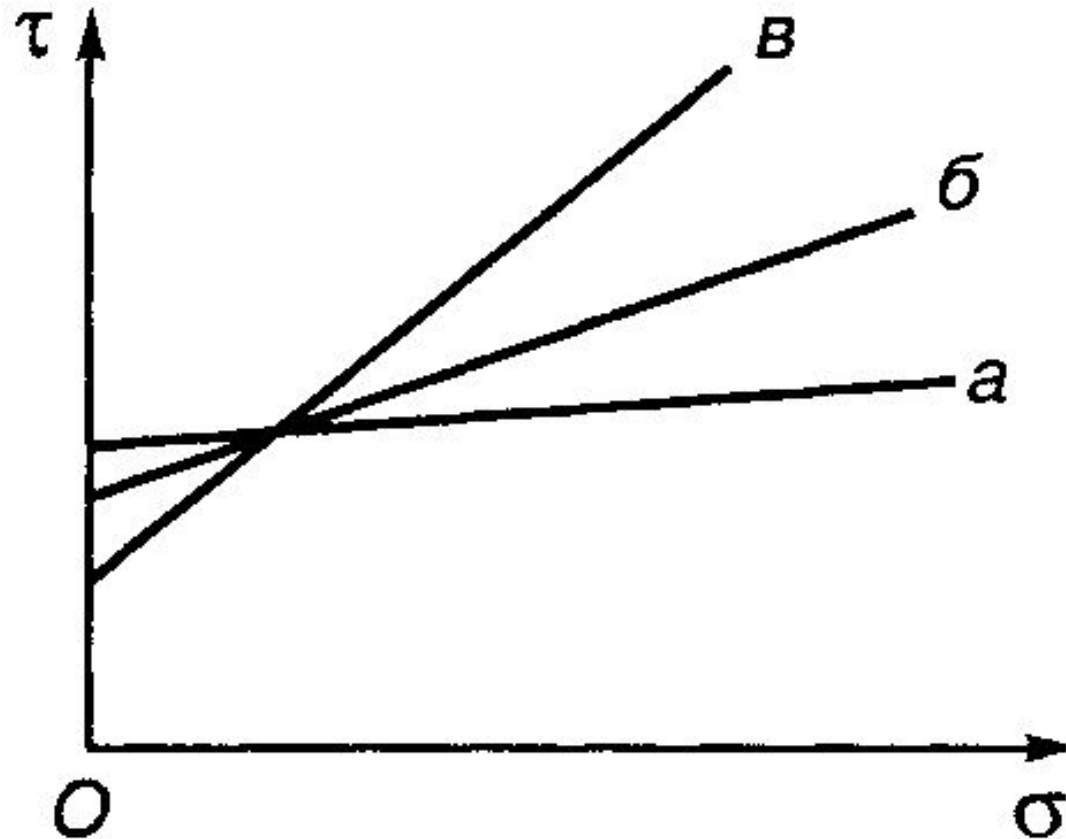


Рис. 14.57. Диаграммы сдвига крупных (1) и мелких (2) песков (а), а также песков в плотном (3) и рыхлом (4) сложении (б) (по П.Л.Иванову, 1991)



Диаграммы сдвига одного и того же связного грунта, определенные в условиях быстрого (а), ускоренного (б) и медленного (в) сдвига (Грунтоведение, 2005)

Обычно определяют:

$R_{сж}$ — для скальных грунтов

φ и c — для дисперсных грунтов

Реологические свойства

- **Ползучесть** – изменение деформаций во времени под действием постоянной нагрузки
- **Релаксация напряжений** – падение напряжений во времени при сохранении постоянной деформации