Физико-механические свойства
проявляются при взаимодействии с внешними нагрузками

Нагрузки:

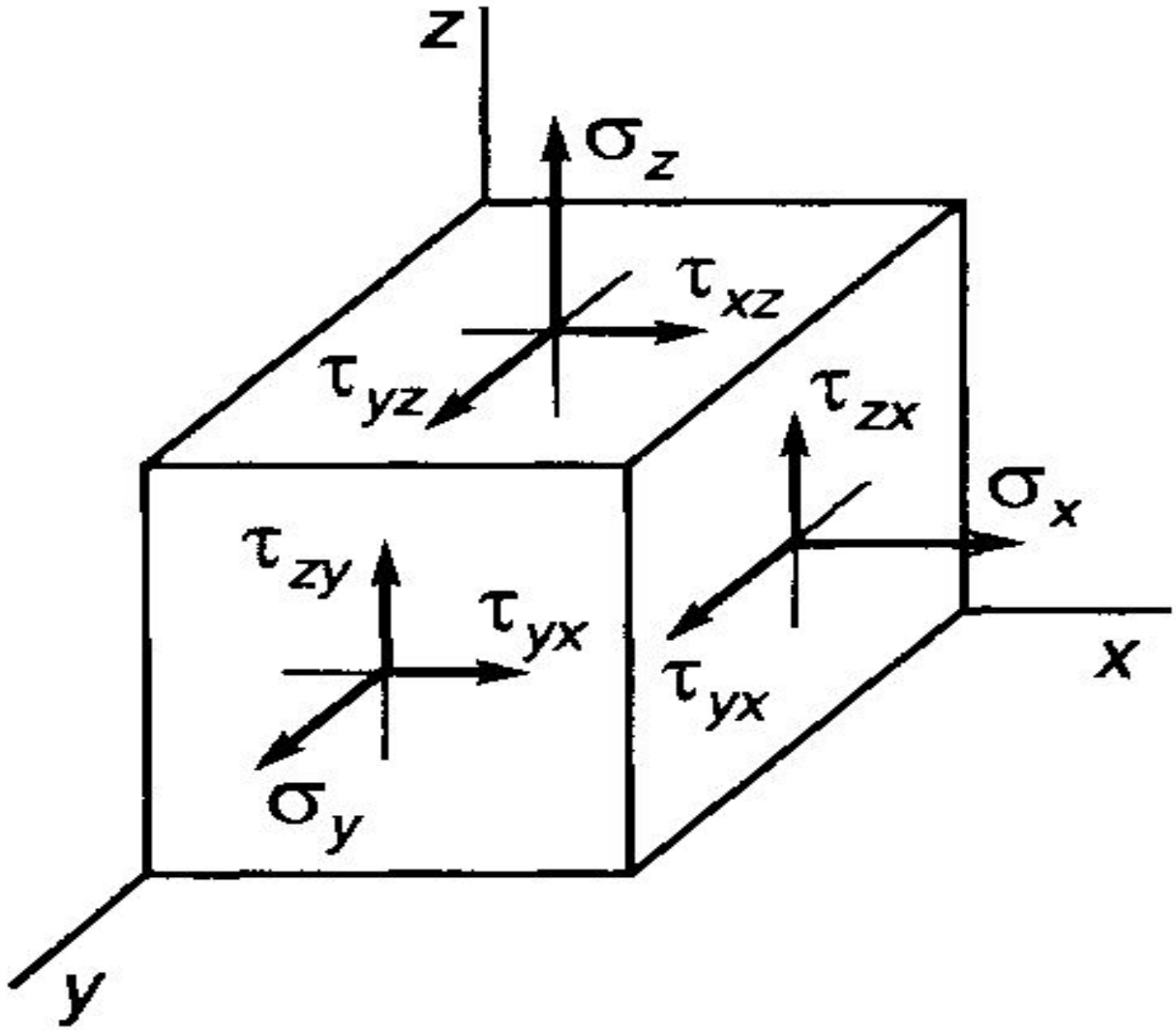
- Статические
- Динамические

Нагрузки (P, н):

- **Поверхностные**
- **Объемные**

Напряжения (МПа=н/м^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 $\gamma = \frac{S}{l} = tg\alpha$

tg α – тангенс угла перекоса

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

Δ V – абсолютная объемная деформация,

V – первоначальный объем

4. Изгиб

5. Кручение

Закон Гука

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

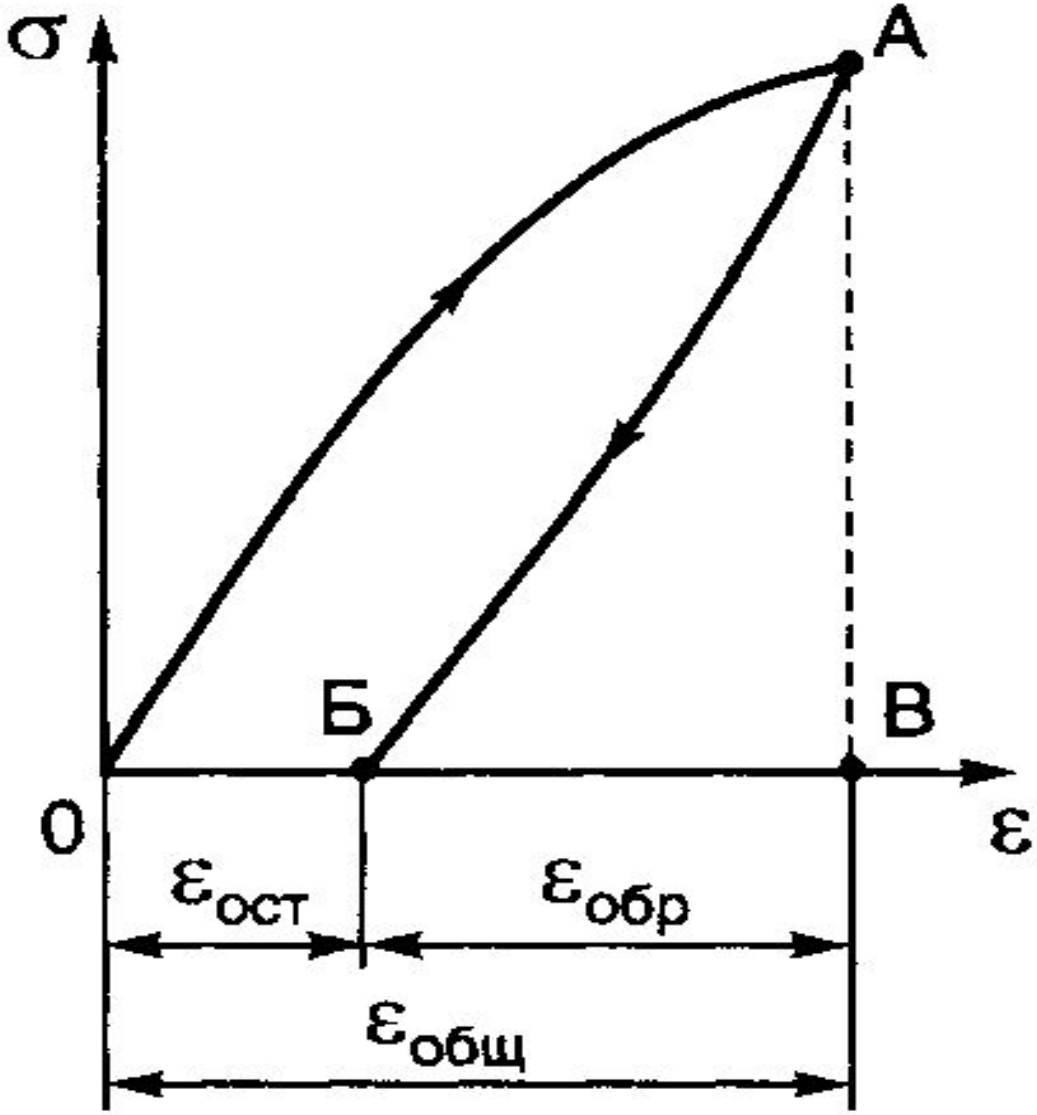
E – модуль Юнга, Па

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 (АБ)(Грунтоведение, 2005)

Деформации:

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

$$\varepsilon_{общ} = \varepsilon_{обр} + \varepsilon_{ост}$$

E – модуль Юнга (модуль упругости)

E_0 – модуль общей деформации

- $$E_o = \frac{\sigma}{\varepsilon_{обр} + \varepsilon_{ост}} = \frac{\sigma}{\varepsilon_{общ}}$$

$$E_o < E$$

Деформационные свойства скальных грунтов

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

E, μ

Упругие константы основных типов скальных грунтов (Грунтоведение, 2005)

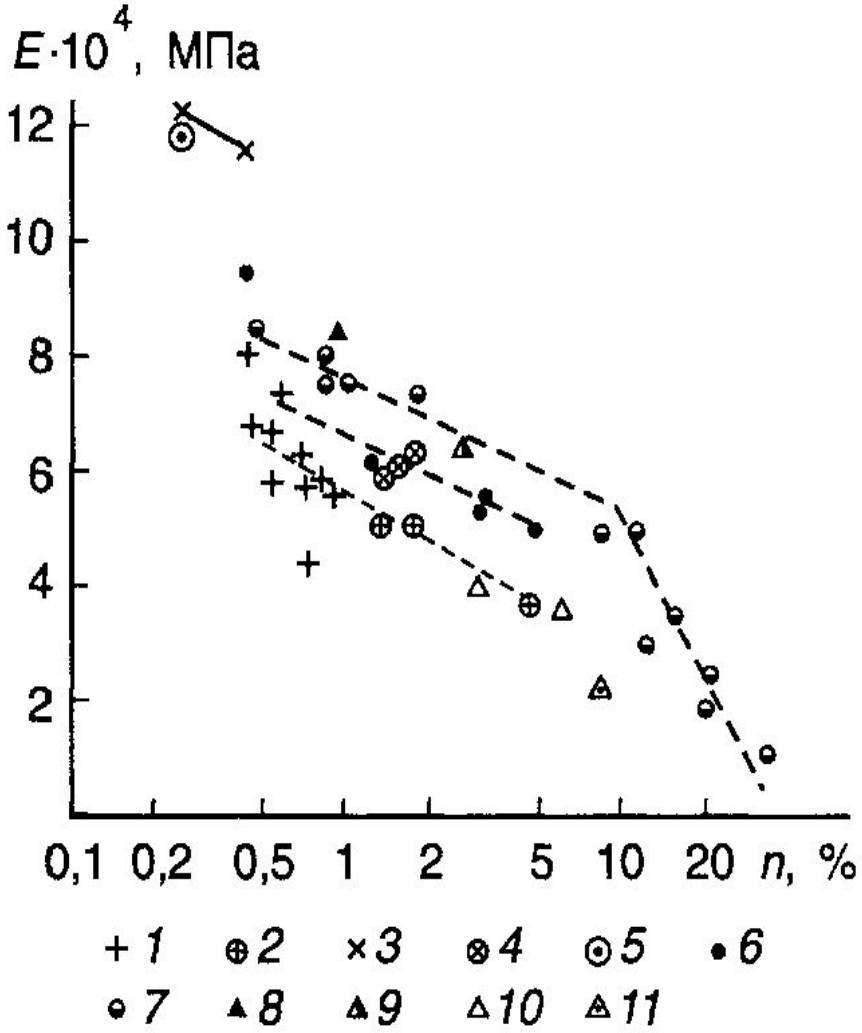
Грунт	Модуль упругости, E, ГПа	Модуль сдвига, G, ГПа	Коэффициент Пуассона
Магматические интрузивные грунты			
Граниты	39—78,0	12—29,2	0,12—0,29
Граниты порфировидные	47—64	20—27	0,20—0,28
Гранодиориты	55—73	15—32	0,14—0,29
Сиениты	60—65	24—26	0,22
Габбро	86—105	40—46	0,24
Габбро-нориты	88—96	30—36	0,22—0,29
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			
кварцитовые	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
Алевролиты	7—30	3,3—14,5	0,20—0,30
Каменная соль	27—29	10—12	0,27—0,28

E 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

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

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

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 сопротивлению 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

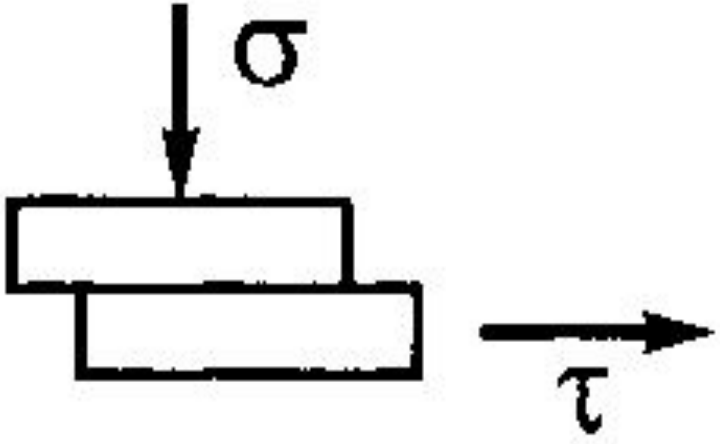
Прочность на одноосное сжатие глинистых грунтов в зависимости от их консистенции (Грунтоведение, 2005)

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

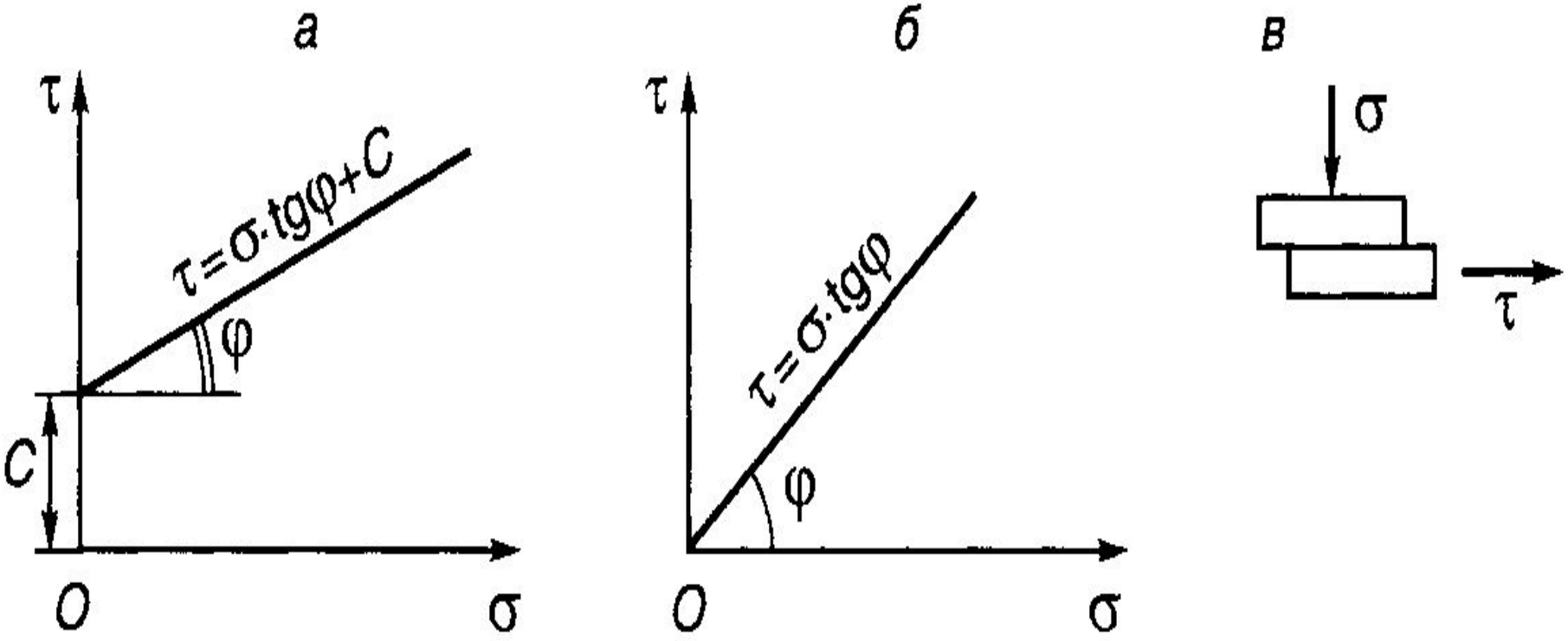
$$\tau = \sigma \cdot \mathrm{tg}\varphi + c$$

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)

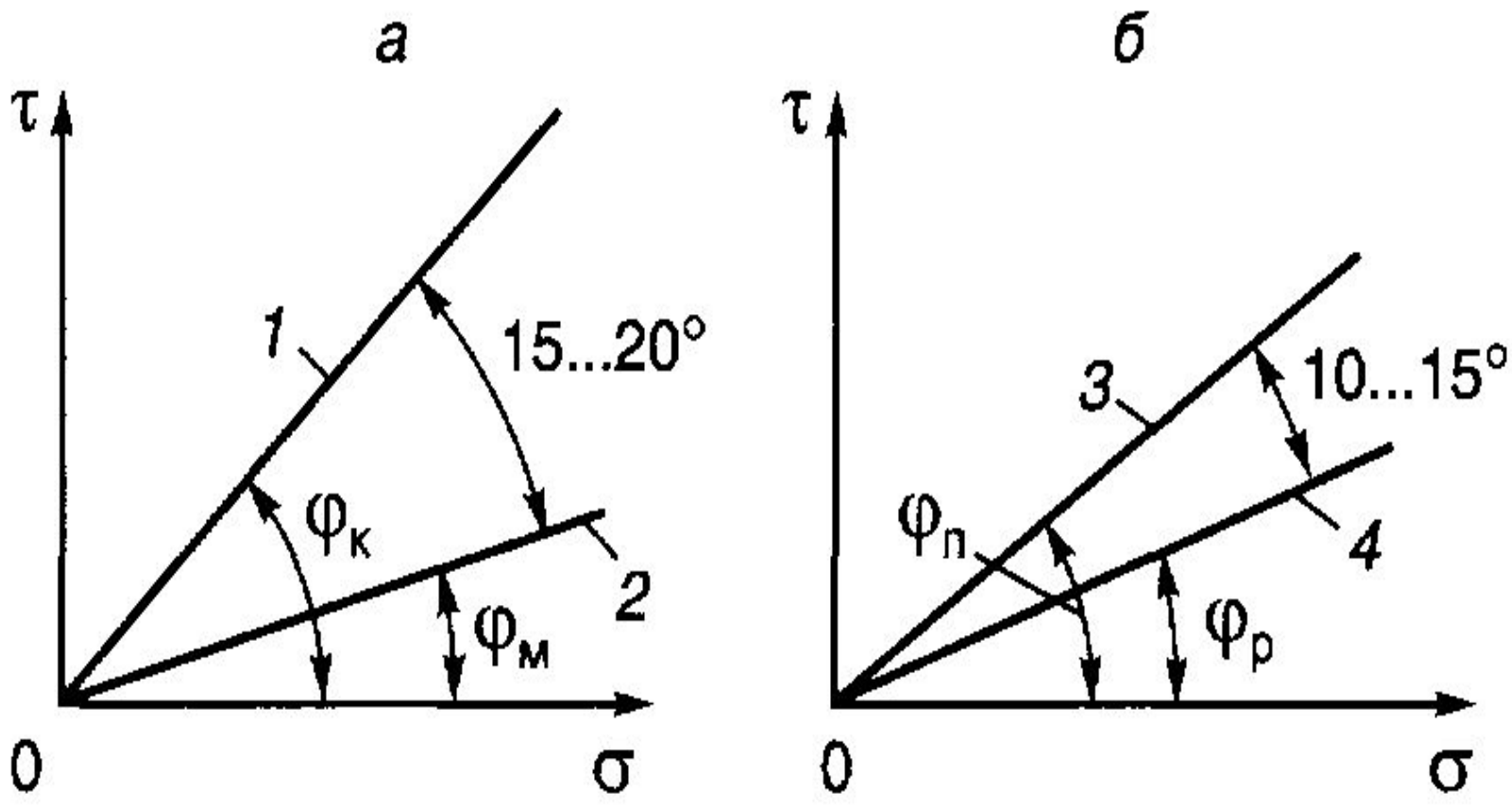
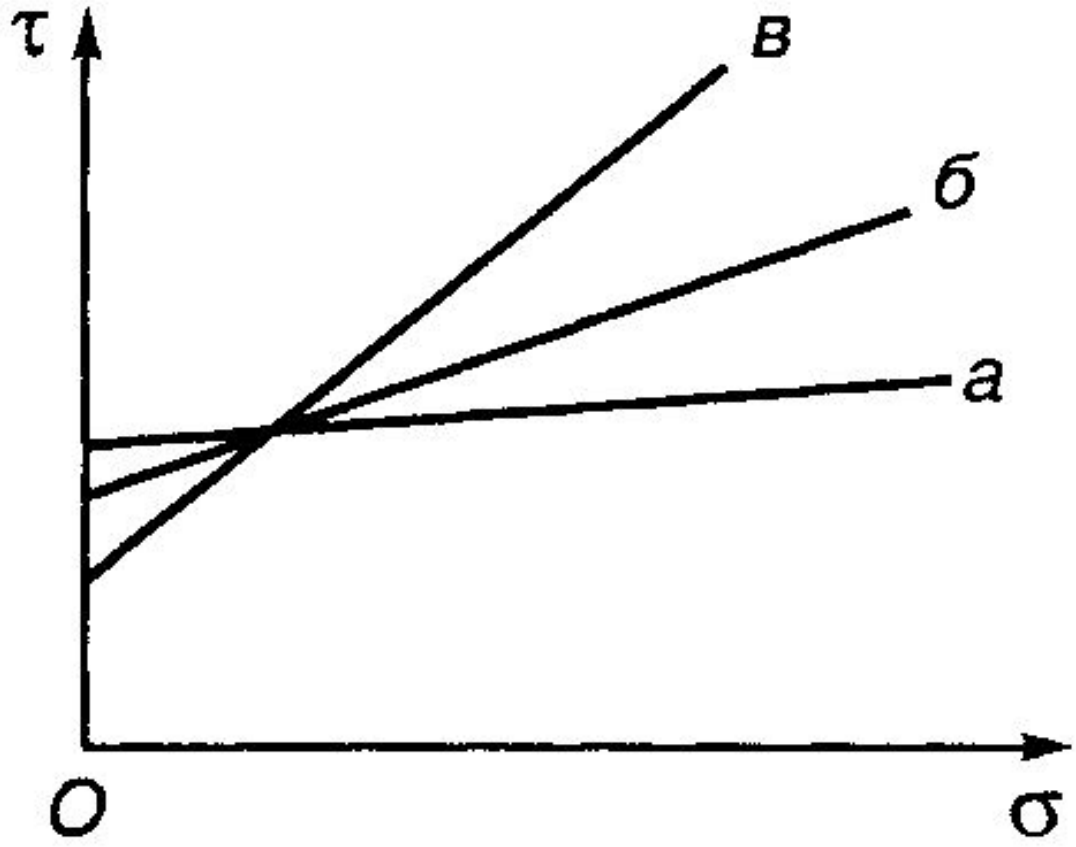


Рис. 14.57. Диаграммы сдвига крупных (*1*) и мелких (*2*) песков (*а*), а также песков в плотном (*3*) и рыхлом (*4*) сложении (*б*) (*по П.Л.Иванову, 1991*)



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

Обычно определяют:

$\mathbf{R_{сж}}$ – для скальных грунтов

$\boldsymbol{\varphi}$ **и** $\mathbf{c}$ – для дисперсных грунтов

Реологические свойства

- **Ползучесть** – изменение деформаций во времени под действием постоянной нагрузки

- **Релаксация напряжений** – падение напряжений во времени при сохранении постоянной деформации