

**Московский государственный университет путей  
сообщения**

**Механика грунтов и  
подземных сооружений**

**Лекция №2**

**Курбацкий Евгений Николаевич**

д.т.н. профессор кафедры “Мосты и тоннели”,



# Свойства грунтового массива

Знание физико-механических характеристик грунта, слагающего массив, в котором предполагается вести строительные работы, является обязательным условием.

Реальный грунтовой массив представляет собой сложную среду, сформировавшуюся под влиянием различных геологических факторов. Свойства грунтов в такой среде существенно зависят от конкретных условий их залегания: мощности пластов, характера и формы напластования грунтов с различными механическими свойствами, их слоистости, чередования слоев, степени трещиноватости, количества систем трещин и т.д.

При обосновании расчетной схемы грунтовый массив можно рассматривать как среду: сплошную, дискретную, однородную или неоднородную, изотропную или анизотропную

*Сплошная среда* - это такая среда, которая непрерывна по своей структуре и, кроме того, обладает непрерывностью свойств или отсутствием резких изменений этих свойств.

*Дискретная* - это среда, расчлененная на отдельные структурные элементы - частицы или блоки, которые свободно опираются друг на друга и не имеют никакой связи. В зависимости от формы частицы или блоки определенным образом укладываются в систему и образуют массив.



*Однородной* является среда, в любой точке которой свойства одинаковы, в противном случае среда - *неоднородная*.

*Изотропной* среду называют в том случае, если ее свойства сохраняются по разным направлениям. Если свойства среды различны в разных направлениях, то среда - *анизотропная*.

Грунтовые массивы в самом общем случае по особенностям структурного строения, свойствам и поведению под влиянием внешних воздействий мало сопоставимы со сплошной средой, а в большей степени соответствуют признакам дискретной среды.



Механика дискретных сред применительно к подземным сооружениям в настоящее время практически не разработана.

Поэтому грунтовый массив с известной степенью идеализации рассматривается в механике подземных сооружений как сплошная среда, т.е. среда, в которой предполагается непрерывность поля напряжений и деформаций.

При этом многообразие типов грунтов и индивидуальные особенности грунтового массива в конкретных условиях строительства требуют дифференцированного подхода



# Трещиноватость

Нарушение сплошности грунтового массива, сложенного твердыми грунтами (полускальными, скальными), проявляется в виде трещиноватости.

«Трещиноватость» это наличие в массиве поверх-ностей ослабления, по которым резко нарушено сцепление грунта.

По характеру происхождения различают трещино-ватость двух видов: *естественную* и *искусственную*.

Естественная трещиноватость грунтовых массивов связана с особенностями их образования.

Искусственная трещиноватость формируется в результате влияния на грунтовый массив взрывных работ при проходке или хрупкого разрушения грунтов от концентрации напряжений вокруг образованной выработки.

# Влияние степени трещиноватости на прочностные свойства грунтового

Влияние трещиноватости можно учесть коэффициентом структурного ослабления.

Этот коэффициент характеризуют отношение пределов прочности трещиноватых грунтов в массиве  $k$  пределу прочности, определённую при испытании образцов:

N	Степень трещиноватости массива	Коэффициент трещиноватости	Коэффициент структурного ослабления, $K_0$
1	Слаботрещиноватые	$0.17 < \eta$	0.8
2	Трещиноватые	$0.08 < \eta < 0.17$	0.6
3	Сильнотрещиноватые	$0.04 < \eta < 0.08$	0.4
4	Раздробленные	$\eta < 0.04$	0.2

$$\sigma_c^M = K_0 \sigma_c$$

Для количественной оценки степени трещиноватости используется коэффициент трещиноватости  $\eta = b_T / B$



# Механические характеристики грунтов. Прочность на срез (сдвиг)

Прочность на срез (сдвиг) определяется двумя функционально связанными параметрами: сцеплением и углом внутреннего трения грунта. Эту функциональную связь выражают уравнением Кулона-Мора:

$$\tau_c = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C$$

$\sigma_n$  - нормальное напряжение при сдвиге;

$\varphi$  — угол внутреннего трения;

$C$  - сцепление.





# Сцепление

Сцепление характеризует предельное сопротивление срезам по площадке, на которой отсутствует нормальное давление, т.е. нет сопротивления сдвигающим усилиям за счет внутреннего трения.

Величина сцепления различных грунтов меняется в пределах от сотых долей (глины, мергели, слабо цементированные песчаники и др.) до нескольких десятков мегапаскалей (прочные песчаники, граниты, базальты).



# Механические характеристики грунтов. Прочность на срез (сдвиг)

Прочность на срез (сдвиг) определяется двумя функционально связанными параметрами: сцеплением и углом внутреннего трения грунта. Эту функциональную связь выражают уравнением Кулона-Мора:

$$\tau_c = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C$$

$\sigma_n$  - нормальное напряжение при сдвиге;

$\varphi$  — угол внутреннего трения;

$C$  - сцепление.



# Механические характеристики грунтов. Прочность на срез (сдвиг)

Прочность на срез (сдвиг) определяется двумя функционально связанными параметрами: сцеплением и углом внутреннего трения грунта. Эту функциональную связь выражают уравнением Кулона-Мора:

$$\tau_c = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C$$

$\sigma_n$  - нормальное напряжение при сдвиге;

$\varphi$  — угол внутреннего трения;

$C$  - сцепление.



Для определения характеристик  
грунтов проводятся испытания  
образцов

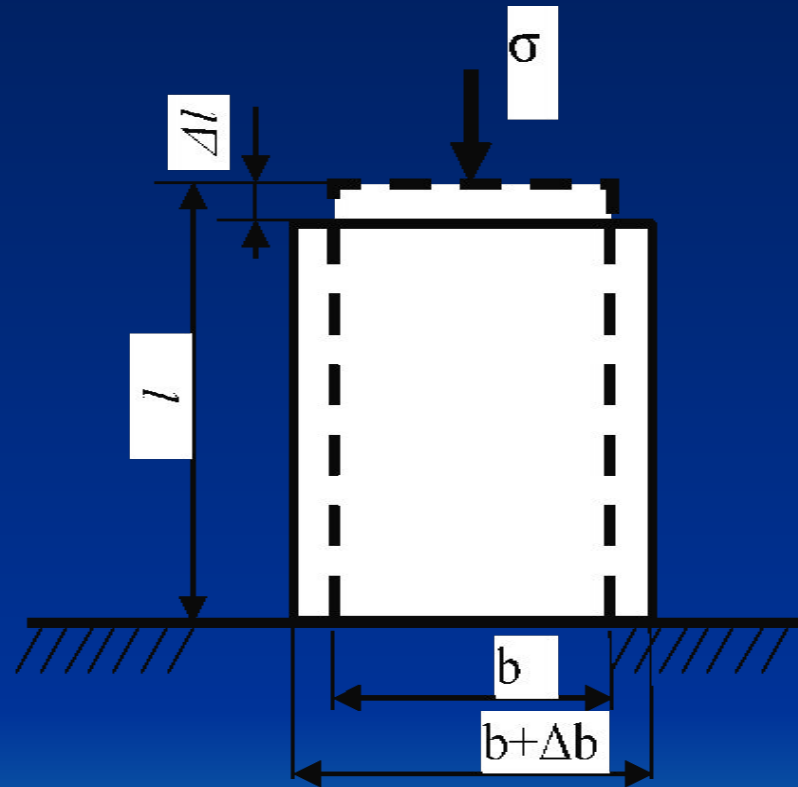
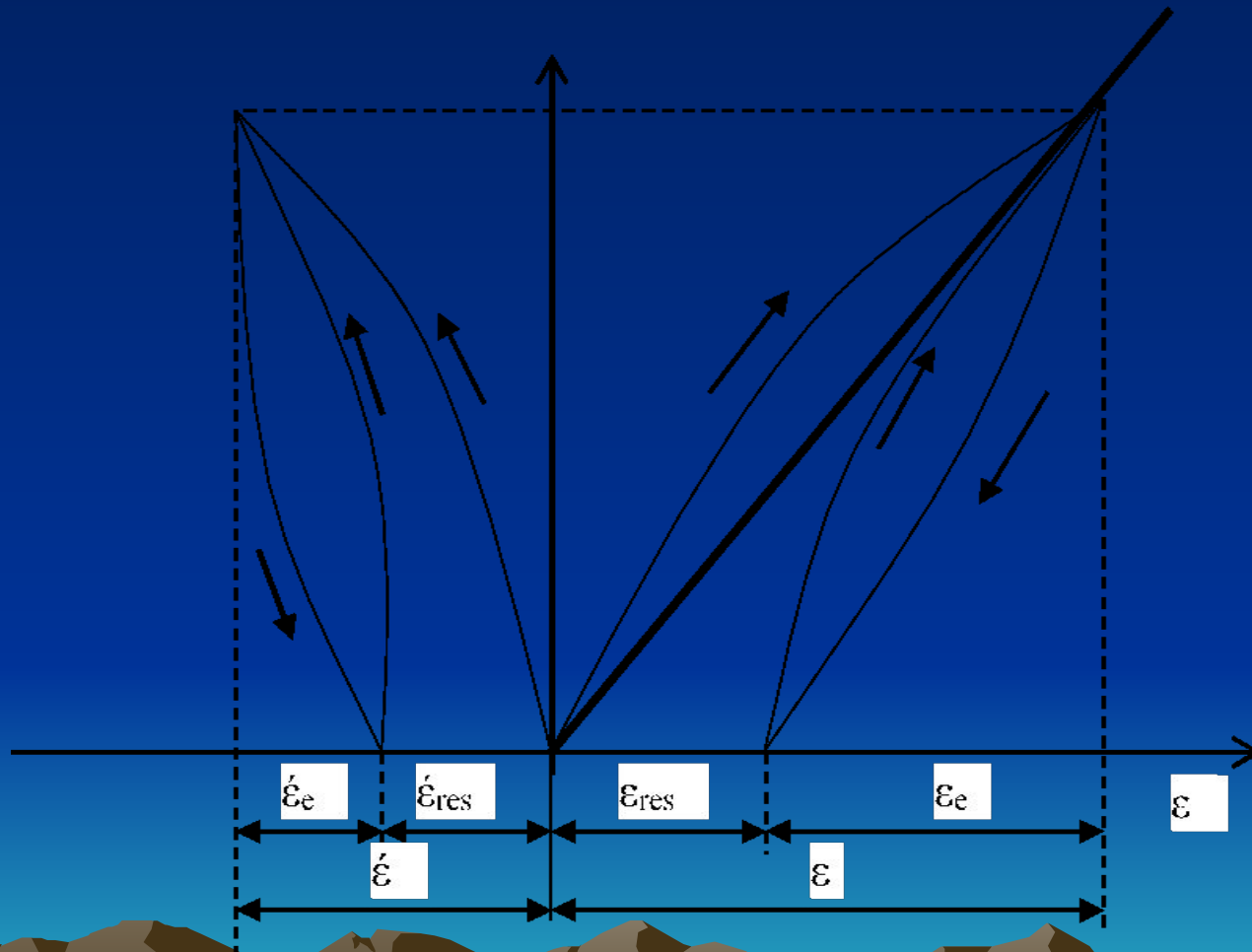


Схема испытания образца породы на сжатие

# Типичные графики деформирования образца горной породы



**Так как при строительстве подземных сооружений деформирование пород происходит только в одном направлении (сжатие), то кривые разгрузки можно не принимать во внимание.**

**Тогда основными характеристиками массива пород можно считать модуль общей деформации (или просто модуль деформации) и коэффициент поперечной деформации.**



# Упругое деформирование грунтов

Упругое деформирование представляет собой частный случай поведения грунтов до некоторого значения напряжений, называемого пределом упругости.

В этих пределах нагружения деформации носят чисто упругий характер и исчезают после снятия нагрузки (т.е. испытуемый образец восстанавливает первоначальную форму).



# Механические характеристики грунтов. Прочность на срез (сдвиг)

Прочность на срез (сдвиг) определяется двумя функционально связанными параметрами: сцеплением и углом внутреннего трения грунта. Эту функциональную связь выражают уравнением Кулона-Мора:

$$\tau_c = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + C$$

$\sigma_n$  - нормальное напряжение при сдвиге;

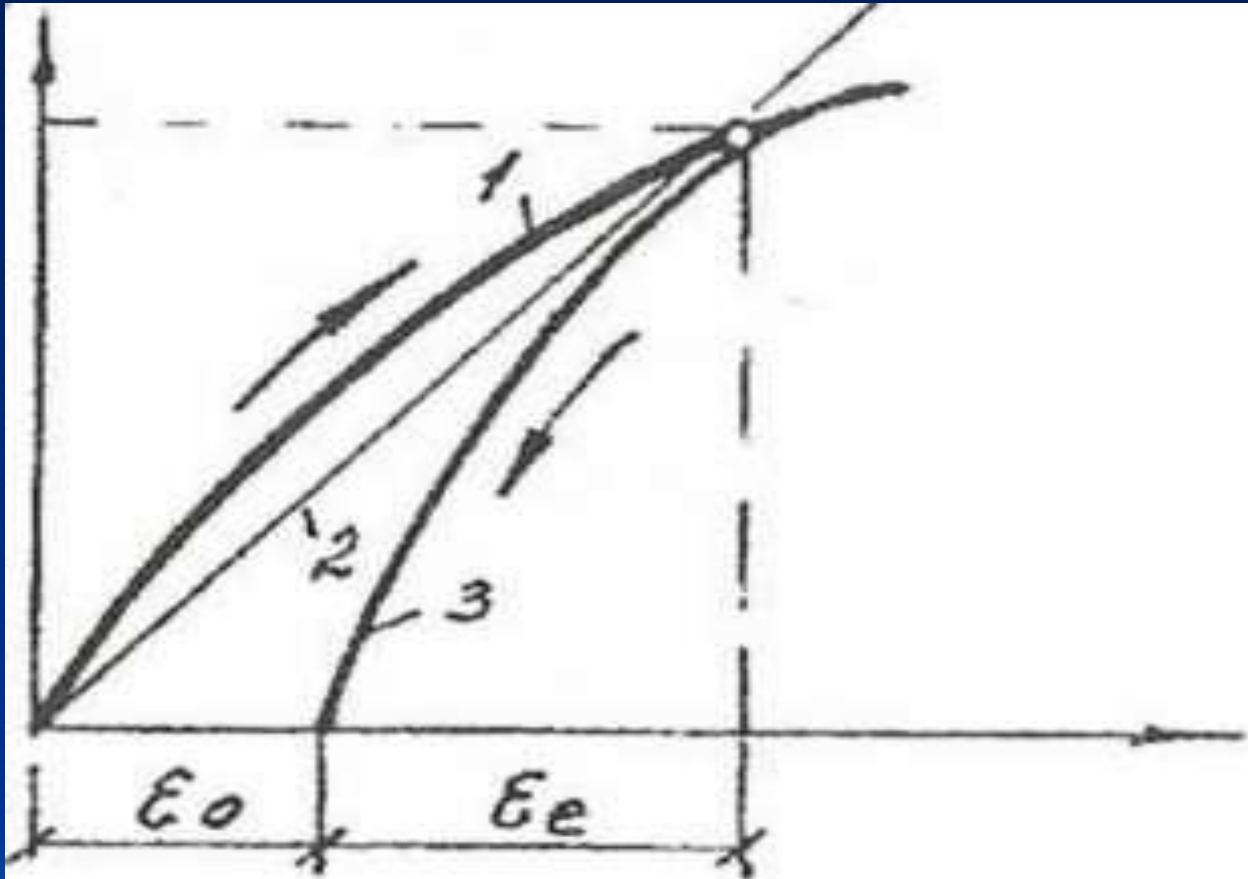
$\varphi$  — угол внутреннего трения;

$C$  - сцепление.





# Типичные графики деформирования образца грунта



1-3 деформации при одном цикле «нагрузка-разгрузка,  
2- идеализированный график зависимости  $(\sigma - \varepsilon)$

**По результатам испытаний можно определить следующие характеристики горных пород:**

$$E_e = \sigma / \varepsilon_e \quad - \text{модуль упругости;}$$

$$E = \sigma / \varepsilon \quad - \text{модуль общей деформации;}$$

$$\nu = \varepsilon'_e / \varepsilon_e \quad - \text{коэффициент Пуассона;}$$

$$\nu = \varepsilon' / \varepsilon \quad - \text{коэффициент поперечной деформации.}$$



**МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И  
НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ  
СОСТОЯНИЕ ГРУНТОВ**

