

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №6



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: g bk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

Лекция №6 – Строительные материалы

- Древесина
- Камень, кирпич, блоки
- Железо, чугун, сталь
- Бетон
- Железобетон
- **Грунтовое основание**

При строительстве также могут использоваться песок, щебень, стекло, пластики, металлы и множество других материалов

Грунтовое основание

- **Горная порода** – закономерно выстроенная совокупность минералов, которая характеризуется составом, структурой и текстурой, где:
 - Под **составом** понимают перечень минералов, составляющих породу
 - **Структура** – это размер, форма и количественное соотношение слагающих породу частиц
 - **Текстура** – пространственное расположение элементов грунта, определяющее его строение
- **Грунты** – горные породы, залегающие в поверхностной части земной коры (литосфере)
- **Грунтовое основание** – область грунта, воспринимающая давление от сооружения, при этом:
 - Слой грунта непосредственно под подошвой фундамента называется **несущим**
 - Остальные слои – **подстилающие**

Классификация горных пород по происхождению

Выделяет три основных вида:

- **Магматические** – породы, образовавшиеся в результате затвердевания магмы в недрах земли или на поверхности
- **Осадочные** – породы, образовавшиеся путем осаждения неорганических и органических веществ на поверхности земли и на дне водных бассейнов
- **Метаморфические** – кристаллические горные породы, возникшие в результате преобразования магматических или осадочных пород при воздействии температуры, давления и флюидов (существенно водно-углекислых, газово-жидких или жидких растворов)

Классификация грунтов по происхождению:

Континентальные отложения:

- Элювиальные – продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте своего образования
- Делювиальные – перемещенные атмосферными водами и силами тяжести
- Аллювиальные – перенесенными водными потоками на значительные расстояния
- Ледниковые – результат действия ледников
- Эоловые – продукты выветривания, пески дюн, барханов

Морские отложения:

- Органогенные (ракушечники)
- Органо-минеральные (илы, заторфованные грунты, пески, галечники)

Строение грунта

В большинстве случаев грунт состоит из трех фаз (компонентов):

- **Твердых** минеральных частиц
- **Жидких** включений (воды в различных видах и состояниях)
- **Газообразных** включений

Грунты могут быть:

- **Несвязными** (сыпучими)
- **Связными**, прочность связей которых во много раз меньше прочности самих минеральных частиц

Твердые частицы грунтов

- В **магматических** горных породах **первичные** минералы: кварц, полевые шпаты, авгит, слюда, роговая обманка, оливин
- В состав **метаморфических** горных пород входят как первичные, так и **вторичные** минералы: кварц, полевые шпаты, слюда, тальк, хлорит, ...
- В составе **осадочных** горных пород могут присутствовать все наиболее распространенные породообразующие минералы: **первичные** (кварц, полевые шпаты, слюда и др.) и **вторичные** (кальцит, гипс, ангидрит, доломит и глинистые минералы)
- Глинистые минералы среди породообразующих занимают особое место из-за особых свойств, которые проявляются при взаимодействии минералов с водой. Наиболее распространенные глинистые минералы – гидрослюда (иллит), монтмориллонит и каолинит

Группы твердых частиц по отношению к воде:

- **Инертные** (кварц, полевые шпаты, слюда, авгит, кремень, роговая обманка и др.) – не взаимодействуют с водой. Грунты, сложенные инертными минералами обычно обладают хорошими строительными свойствами
- **Растворимые** (галит, гипс, известняк и др.) – вступают в химические реакции с водой и оказывают существенное влияние на свойства грунта. Это объясняется их растворением при увлажнении и далее – химической суффозией
- **Глинистые** (каолинит, монтмориллонит, иллит и др.) – не растворимы в воде, однако, ввиду специфической формы частиц (пластинчатая и игольчатая) и малых размеров ($1...2 \times 10^{-6}$ м) образуют **коллоидные** системы при взаимодействии с водой. Иными словами, глинистые частицы обладают свойством **гидрофильности**

Классификация твердых частиц по размеру:

- Галечные (щебень) – более 20 мм
- Гравелистые (хрящ) – от 2 до 20 мм
- Песчаные – от 0,05 до 2 мм
- Пылеватые – от 0,005 до 0,05 мм
- Глинистые – менее 0,005 мм



Классификация грунтов по размеру частиц:

- **Крупнообломочными** называют сыпучие грунты, содержащие в своем составе **более 50%** (по массе) частиц крупнее 2 мм:
 - Валунный (глыбовый); галечниковый (щебенистый); гравийный (дресвяный)
- **Песчаными** называют сыпучие грунты, содержащие в своем составе **менее 50%** (по массе) частиц крупнее 2 мм:
 - Гравелистый; крупный; средней крупности; мелкий; пылеватый
- **Глинистыми** называют связные грунты, в составе которых содержится **более 3%** (по массе) частиц размерами менее 0,005 мм:
 - Супеси (10-20% глинистых частиц)
 - Суглинки (20-50% глинистых частиц)
 - Глины (более 50% глинистых частиц)

Классификация воды в грунтах:

- **Кристаллизационная** или химически **связанная** – вода, входящая в состав кристаллических решеток минералов
- **Водяной пар** заполняет пустоты, свободные от воды, перемещаясь в грунте в зависимости от давления (от большего в меньшему) и конденсируясь способствует пополнению уровня грунтовых вод
- **Гигроскопическая** – вода, притягиваемая частицами грунта из воздуха и конденсируемая на их поверхности. Количество гигроскопической воды зависит от влажности воздуха и свойств грунта
- **Пленочная** – вода, удерживаемая на поверхности грунтовых частиц силами молекулярного притяжения, не подчиняется законам гидростатики и гидродинамики и влияет на физико-механические свойства грунта
- **Капиллярная** – вода, поднимающаяся в грунте по свободным порам или удерживаемая в них в подвешенном состоянии
- **Гравитационная** – вода, свободно перемещающаяся в грунте за счет силы тяжести от большего напора к меньшему, пополняя грунтовую воду

Классификация газообразных включений:

- **Свободные** газы:
 - Незащемленный – сообщаемый с атмосферой
 - Защемленный – находящийся замкнутых порах и пузырьках
- **Растворенные** в воде газы

Газообразные включения в самых верхних слоях грунта представлены атмосферным воздухом, ниже – азотом, метаном, сероводородом и другими газами

Газообразные включения в зависимости от внешних условий могут растворяться в жидкости, выделяться из нее, вытесняться из пор грунта жидкостью и т. д.

Поровый газ существенно влияет на свойства грунта. Например, уменьшение давления при извлечении грунтового образца на поверхность с большой глубины сопровождается выделением пузырьков растворенного в воде газа и разрушением его природной структуры, что искажает фактические значения физических, прочностных и деформационных свойств грунта

Классификация грунтов:

- **Класс** – по общему характеру (природе) структурных связей:
 - Природные **скальные** (с жесткими связями между частицами)
 - Природные **дисперсные** (без жестких связей между частицами)
 - Природные **мерзлые**
 - **Техногенные**
- **Подкласс** – по структурам грунтов, образованных соответствующими структурными связями
- **Тип** – по основным генетическим категориям (происхождению)
 - **Подтип** – по условиям образования
- **Вид** – по вещественному составу
 - **Подвид** – по петрографическому или литологическому составу
- **Разновидность** – по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов

Физические свойства грунтов

Разделяются на две основные группы характеристик:

- **Основные** – характеристики физических свойств, определяемые на основе лабораторных исследований
 - Плотность
 - Удельный вес
 - Влажность
- **Расчетные** – характеристики физических свойств, определяемые по результатам дополнительных расчетов
 - Плотность сухого грунта
 - Удельный вес сухого грунта
 - Пористость
 - Коэффициент пористости и др.

Основные физические свойства грунтов:

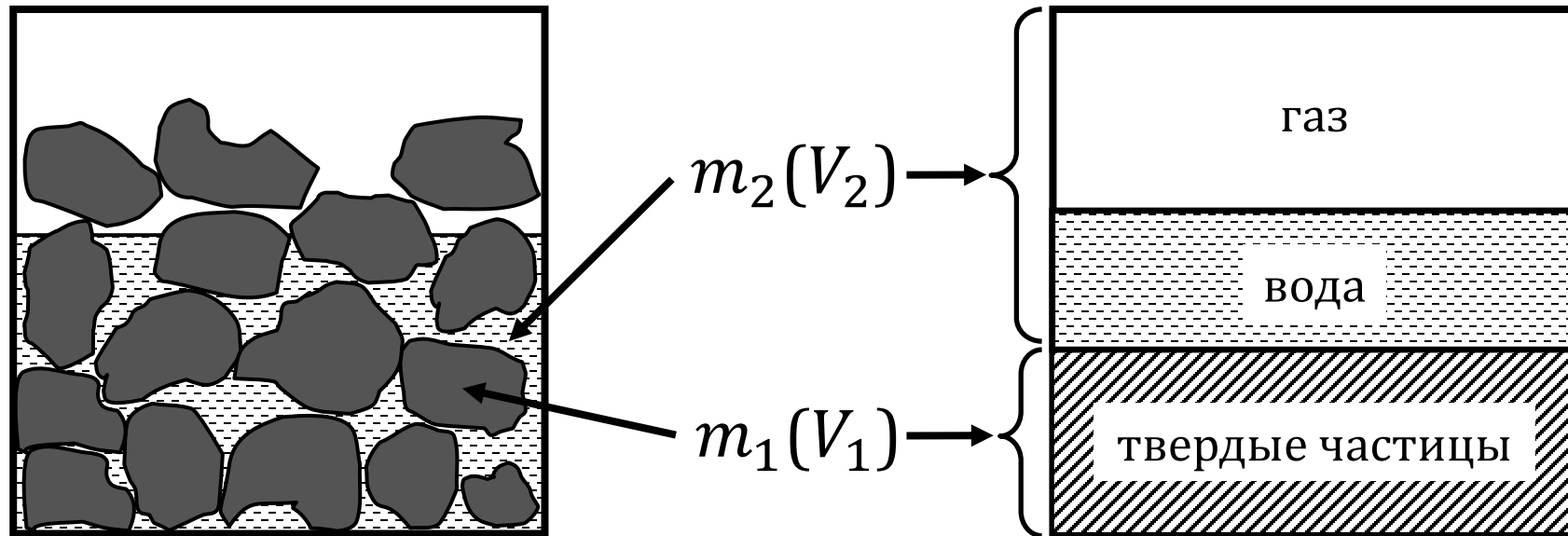
Глинистых:

- Плотность – ρ , г/см³
- Плотность сухого грунта – ρ_d , г/см³
- Плотность частиц грунта – ρ_s , г/см³
- Пористость – n , %
- Коэффициент пористости – e , д. е.
- Влажность – w , %
- Коэффициент водонасыщения – S_r , д. е.
- Число пластичности – I_p , %
- Показатель текучести – I_L , д. е.
- Влажность на границе раскатывания – w_p , %
- Влажность на границе текучести – w_L , %

Песчаных:

- Плотность – ρ , г/см³
- Плотность сухого грунта – ρ_d , г/см³
- Плотность частиц грунта – ρ_s , г/см³
- Пористость – n , %
- Коэффициент пористости – e , д.е.
- Влажность – w , %
- Гранулометрический состав

Схема строения дисперсного грунта:



- m_1 – масса твёрдых частиц грунта
- V_1 – объём твёрдых частиц грунта

- m_2 – масса воды в порах (массой воздуха пренебрегаем)
- V_2 – объём пустот (заполненных водой и воздухом)

Основные характеристики физических свойств:

- **Плотность** грунта (природная), г/см^3 – отношение массы образца грунта в естественном состоянии к занимаемому им объему:

$$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2}$$

- **Удельный вес** грунта, кН/м^3 – произведение плотности грунта на ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$):

$$\gamma = \rho \cdot g$$

- **Плотность частиц** грунта, г/см^3 – отношение массы твердых частиц к их объему в абсолютно плотном состоянии:

$$\rho_s = \frac{m_1}{V_1}$$

Основные характеристики физических свойств:

- **Пористость** грунта, % – отношение объема пор к объему грунта:

$$n = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

- **Коэффициент пористости** грунта, д. е. – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта:

$$e = \frac{V_2}{V_1},$$

тогда

$$n = \frac{V_2}{V_1 + V_2} = \frac{e \cdot V_1}{V_1 + e \cdot V_1} = \frac{e}{1 + e}$$

Основные характеристики физических свойств:

- **Удельный вес частиц** грунта, кН/м^3 – произведение плотности частиц грунта на ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$):

$$\gamma_s = \rho_s \cdot g$$

- **Естественная (природная) влажность** грунта, % – отношение массы воды к массе твердых частиц:

$$w = \frac{m_2}{m_1}$$

- **Плотность** сухого (скелета) грунта, г/см^3 – отношение массы твердых частиц грунта к объему образца ненарушенной структуры:

$$\rho_d = \frac{m_1}{V_1 + V_2}$$

Расчетные характеристики физических свойств:

- **Плотность** сухого (скелета) грунта, г/см^3 – отношение массы твердых частиц грунта к объему образца ненарушенной структуры:

$$\rho_d = \frac{m_1}{V_1 + V_2} = \frac{m_1 \cdot \rho}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 \cdot \rho}{m_1 \left(1 + \frac{m_2}{m_1}\right)} = \frac{\rho}{1 + w},$$

где $V_1 + V_2 = \frac{m_1 + m_2}{\rho}$ и $w = \frac{m_2}{m_1}$

- **Удельный вес** сухого грунта, кН/м^3 – произведение плотности сухого грунта на ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$):

$$\gamma = \rho_d \cdot g$$

Расчетные характеристики физических свойств:

- **Пористость** грунта, д. е. – отношение объема пор к объему грунта:

$$n = \frac{V_2}{V_1 + V_2} = \frac{\frac{m_1}{\rho_d} - \frac{m_1}{\rho_s}}{\frac{m_1}{\rho_s} + \frac{m_1}{\rho_d} - \frac{m_1}{\rho_s}} = \frac{\frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s}}{\frac{1}{\rho_d}} = \frac{\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_s}}{\frac{1}{\rho_d}} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_s}$$

- **Коэффициент пористости** грунта, д. е. – отношение объема пор к объему твердых частиц грунта:

$$e = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{m_1}{\rho_d} - \frac{m_1}{\rho_s}}{\frac{m_1}{\rho_s}} = \frac{\frac{1}{\rho_d} - \frac{1}{\rho_s}}{\frac{1}{\rho_s}} = \frac{\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d \cdot \rho_s}}{\frac{1}{\rho_s}} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$$

где $V_1 = \frac{m_1}{\rho_s}$ и $V_2 = \frac{m_1}{\rho_d} - V_1 = \frac{m_1}{\rho_d} - \frac{m_1}{\rho_s}$

По коэффициенту пористости e

Пески подразделяют на разновидности (табл. Б.12 ГОСТ 25100):

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д. е.		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

Расчетные характеристики физических свойств:

- **Коэффициент водонасыщения** (степень влажности), д. е. – степень заполнения объема пор водой, т. е. отношение естественной влажности грунта w к его полной влагоемкости w_{sat} :

$$S_r = \frac{w}{w_{sat}} = \frac{w \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_w}$$

где $w_{sat} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{V_2 \cdot \rho_w}{V_1 \cdot \rho_s} = \frac{e \cdot \rho_w}{\rho_s}$

- **Разновидности** песчаных грунтов по **степени влажности**:
 - $0 < S_r \leq 0,5$ – малой степени водонасыщения (маловлажные)
 - $0,5 < S_r \leq 0,8$ – средней степени водонасыщения (влажные)
 - $0,8 < S_r \leq 1$ – насыщенные водой (водонасыщенные)

Расчетные характеристики физических свойств:

- **Удельный вес** грунта с учетом **взвешивающего** действия воды, г/см^3 – для грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод:

$$\gamma_{sb} = \frac{\gamma_s \cdot V_1 - \gamma_w \cdot V_1}{V_1 + V_2} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) \cdot V_1}{V_1 + V_2} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + \frac{V_2}{V_1}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}$$

- **Плотность** грунта с учетом **взвешивающего** действия воды, г/см^3 – для грунтов, залегающих ниже уровня грунтовых вод:

$$\rho_{sb} = \frac{\gamma_{sb}}{g} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{g \cdot (1 + e)} = \frac{g \cdot (\rho_s - \rho_w)}{g \cdot (1 + e)} = \frac{\rho_s - \rho_w}{1 + e}$$

где $e = \frac{V_2}{V_1}$, γ_w и ρ_w – удельный вес и плотность воды, соответственно

Расчетные характеристики физических свойств:

- **Влажность на границе раскатывания** – w_p , %: влажность грунта, при которой грунт находится на границе между твердым и пластичным состояниями
- **Влажность на границе текучести** – w_L , %: Влажность грунта, при которой грунт находится на границе между пластичным и текучим состояниями
- **Число пластичности**, % – разность между влажностью на границе текучести w_L и влажностью на границе раскатывания w_p :

$$I_p = w_L - w_p$$

- **Показатель текучести**, д. е. – показатель состояния (консистенции) глинистых грунтов:

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p}$$

По числу пластичности I_p

Глинистые грунты подразделяют на разновидности (табл. Б.16 ГОСТ 25100):

Разновидность глинистых грунтов	Число пластичности $I_p, \%$
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

По показателю текучести I_L

Глинистые грунты подразделяют на разновидности (табл. Б.19 ГОСТ 25100):

Разновидность глинистых грунтов		Показатель текучести I_L , д. е.
Супесь:	- твердая	$I_L < 0$
	- пластичная	$0 \leq I_L \leq 1,0$
	- текучая	$I_L > 1,0$
Суглинки и глины:	- твердые	$I_L < 0$
	- полутвердые	$0 \leq I_L \leq 0,25$
	- тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,5$
	- мягкопластичные	$0,5 < I_L \leq 0,75$
	- текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1,0$
	- текучие	$I_L > 1,0$

Другие характеристики физических свойств:

- **Степень плотности** песков – I_D , д. е.: характеристика плотности сложения искусственных песчаных оснований
- **Степень неоднородности** гранулометрического состава – C_u , д. е.: характеристика неоднородности состава песчаных грунтов по размеру частиц
- **Коэффициент фильтрации** – K_f , см/с или м/сут: скорость фильтрации воды через грунт при градиенте напора, равном единице, и линейном законе фильтрации
- **Градиент напора** – J , м/м: отношение разности гидростатических напоров воды (потери напора) к длине пути фильтрации
- Множество дополнительных характеристик, описывающих физические свойства специфических грунтов: мерзлых, засоленных, просадочных, набухающих, органо-минеральных

Основные механические свойства грунтов:

- **Деформационные:**

- Коэффициент сжимаемости – m_0 , МПа⁻¹
- Коэффициент относительной сжимаемости – m_v , МПа⁻¹
- Модуль деформации – E , МПа
- Коэффициент поперечной деформации (Пуассона) – ν

- **Прочностные:**

- Угол внутреннего трения – φ , град.
- Удельное сцепление – C , кПа
- Расчетное сопротивление грунта основания для предварительного назначения размеров фундаментов – R_0 , кПа
- Предел прочности на одноосное сжатие скальных грунтов – R_c , МПа
- Сила предельного сопротивления основания, соответствующая исчерпанию его несущей способности – F_u , кПа

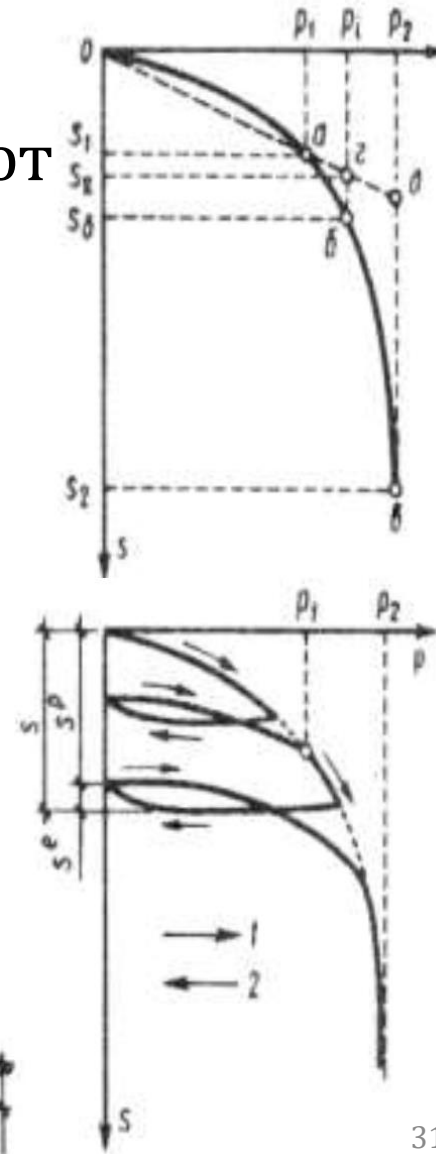
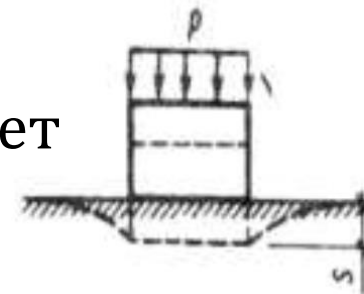
Деформируемость дисперсных грунтов

- **Виды деформаций** грунта при действии сжимающей нагрузки:
 - Уплотнение за счет взаимного смещения твердых частиц
 - Разрушение твердых частиц
 - Отжатие воды и воздуха из пор грунта
 - Деформация пленок воды в точках контакта твердых частиц
 - Сжатие воздуха в закрытых порах грунта
 - Упругие деформации твердых частиц
- Деформации грунта разделяются на **упругие** (восстанавливающиеся) и **пластические** (остаточные):
- **Пластические** деформации грунта разделяются на **объемные** (уменьшение объема пор – уплотнение) и **сдвиговые** (изменение первоначальной формы с возможным разрушением)

Зависимость осадки штампа S от давления P

- На начальном этапе нагружения (в диапазоне до P_1) может приниматься линейной. Напряжения в грунте не превышают структурную прочность, осадки невелики, данное НДС характеризуется фазой **упругих** деформаций
- При дальнейшем увлечении давления (от P_1 до P_i) напряжения превышают предел упругого сопротивления структурных связей, происходят сдвиги и развиваются **пластические** деформации
- При дальнейшем увлечении давления (от P_i до P_2) образуется **поверхность скольжения**, приводящая к разрушению и выпору грунта из под штампа

Переход от одной фазы деформаций к другой не бывает резко выраженным, поэтому разделение условно



Схемы деформирования грунта:

- Сжатие в условиях свободного бокового расширения:

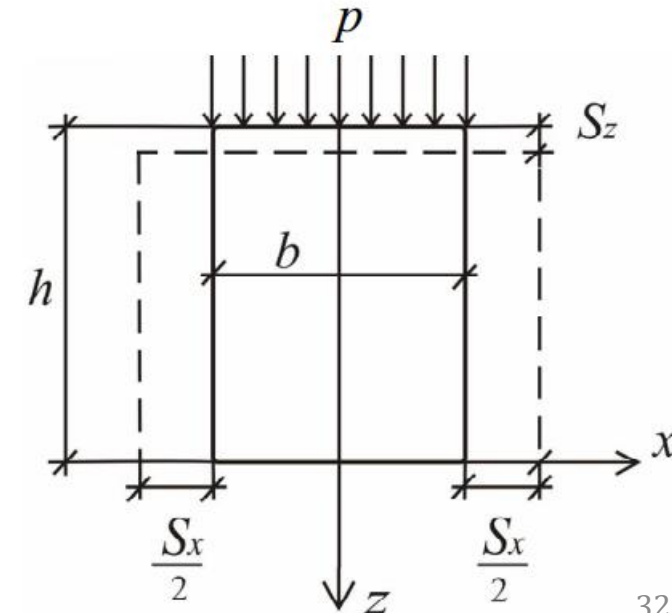
- Относительная продольная деформация - $\varepsilon_z = \frac{S_z}{h}$

- Относительная поперечная деформация - $\varepsilon_x = \frac{S_x}{b}$

- Коэффициент поперечного расширения грунта (Пуассона) - $\nu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z}$

- Коэффициент Пуассона ν для дисперсных грунтов:

- 0,3...0,35 - для песков
- 0,35...0,4 - для супесей
- 0,4...0,45 - для суглинков
- 0,45...0,5 - для глин



Схемы деформирования грунта:

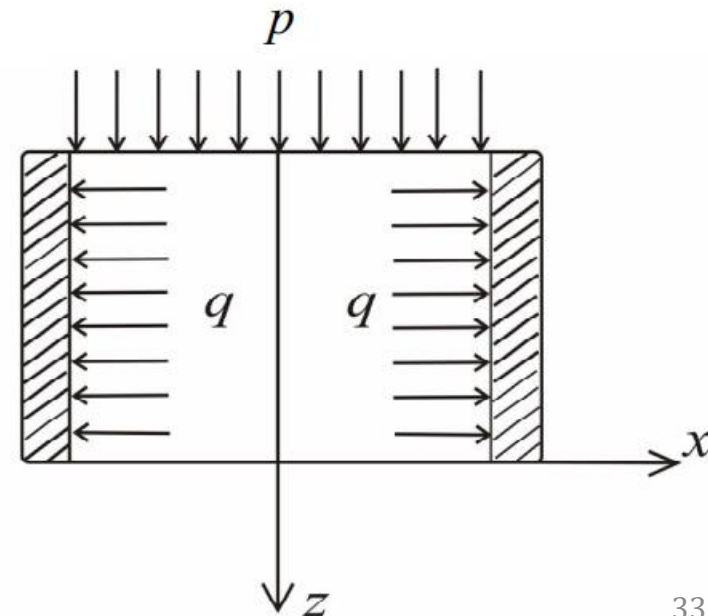
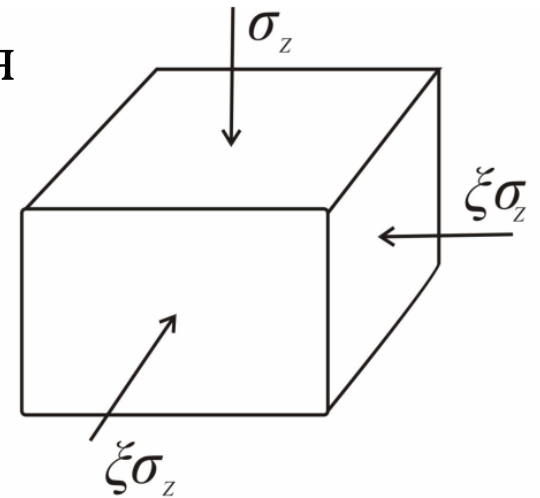
- Сжатие в условиях невозможности бокового расширения (компрессия) приводит к возникновению бокового давления q и характеризуется коэффициентом бокового давления ξ , согласно закона Гука:

$$\text{при } \varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_y + \sigma_z) = 0 \quad \text{и} \quad \sigma_x = \sigma_y = \xi \cdot \sigma_z$$

$$\frac{\xi \cdot \sigma_z}{E} - \frac{\nu}{E} (\xi \cdot \sigma_z + \sigma_z) = 0 \quad \rightarrow \quad \xi - \nu \cdot \xi - \nu = 0$$

$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad \text{или} \quad \xi = \frac{\Delta q}{\Delta p} \quad \text{и} \quad \nu = \frac{\xi}{1 + \xi}$$

- Величина ξ зависит от размеров твердых частиц, плотности, влажности и минерального состава:
 - 0,25...0,37 – для песков
 - 0,11...0,82 – для глинистых грунтов



Компрессионное сжатие грунта

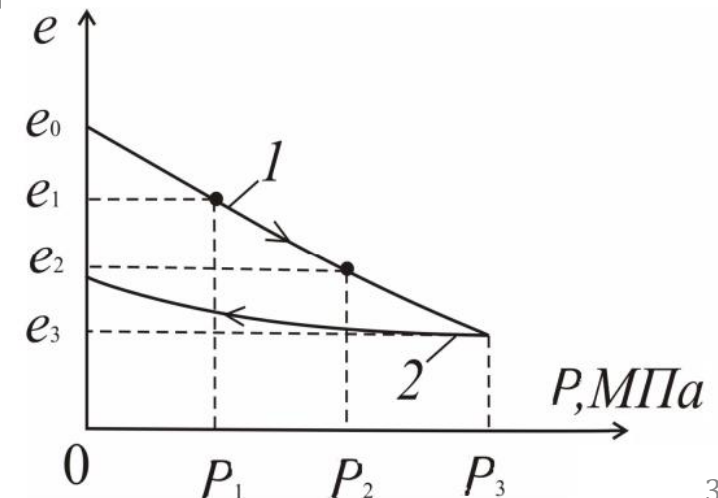
- Характеризует изменение коэффициента пористости e в зависимости от давления P в условиях невозможности бокового расширения (компрессии):

$$V = V_1 + V_2 = V_1 \left(1 + \frac{V_2}{V_1} \right) = V_1(1 + e_0) - \text{начальный объем}$$

$$V_i = V_1 + V_{2i} = V_1 \left(1 + \frac{V_{2i}}{V_1} \right) = V_1(1 + e_i) - \text{объем после приложения нагрузки}$$

- Относительная вертикальная деформация ε_z равна относительному изменению объема ($\Delta V/V$), поскольку диаметр образца не меняется:

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{S_z}{h} = \frac{\Delta V}{V} = \frac{V - V_i}{V} = 1 - \frac{V_i}{V} = 1 - \frac{V_1(1 + e_i)}{V_1(1 + e_0)} = \\ &= \frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} \rightarrow \frac{S_z}{h} (1 + e_0) = e_0 - e_i \rightarrow \\ &\rightarrow e_i = e_0 - \frac{S_z}{h} (1 + e_0) \end{aligned}$$



Коэффициент сжимаемости грунта m_0

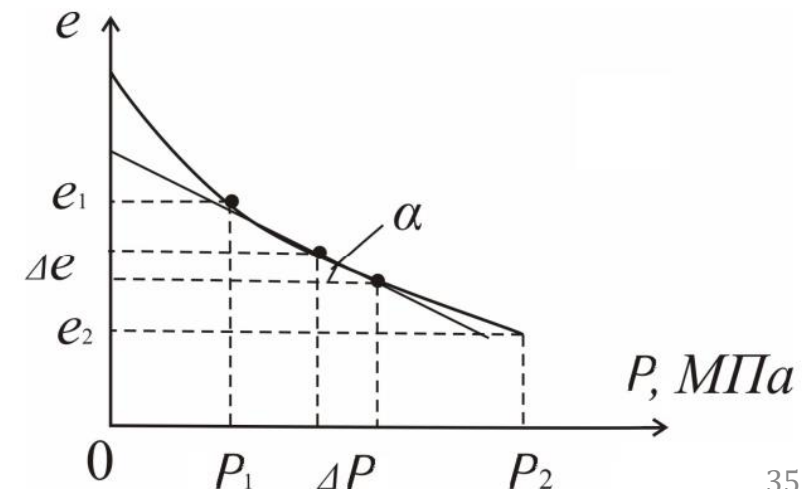
- В небольшом диапазоне давлений ΔP характеризует линейное изменение коэффициента пористости Δe в условиях компрессионного сжатия:

$$m_0 = \frac{\Delta e}{\Delta P} = \operatorname{tg} \alpha \quad \text{или} \quad m_0 = -\frac{de}{dP}$$

- Относительное изменение коэффициента пористости Δe пропорционально изменению нагрузки ΔP :

$$e_i - e_{i+1} = m_0(P_{i+1} - P_i) \rightarrow m_0 = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i}$$

- Классификация дисперсных грунтов по коэффициенту сжимаемости m_0 (МПа⁻¹):
 - $m_0 < 0,0005$ – малосжимаемый
 - $0,0005 \leq m_0 \leq 0,005$ – среднесжимаемый
 - $m_0 > 0,005$ – сильносжимаемый



Коэффициент относительной сжимаемости m_v

- Характеризует изменение относительной деформации ε_z на единицу давления P , с учетом полученных ранее выражений:

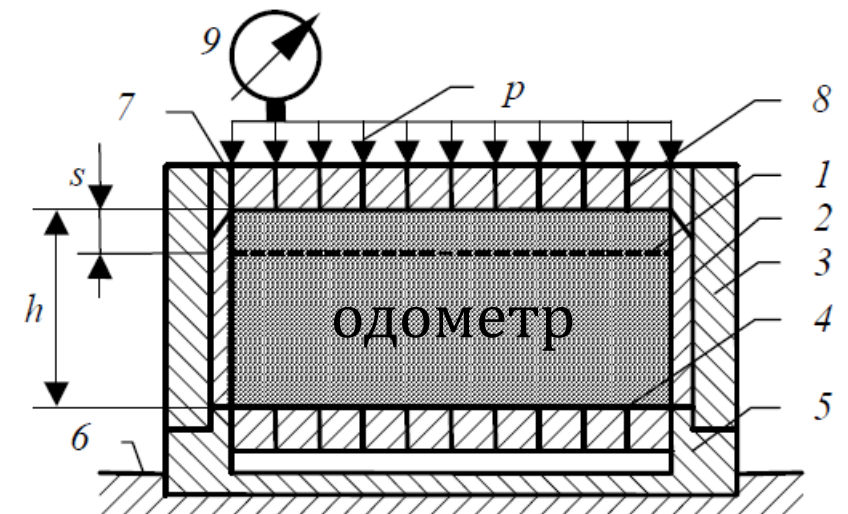
$$e_{i+1} = e_i - m_0(P_{i+1} - P_i) \quad \text{и} \quad e_{i+1} = e_i - \frac{S_i}{h}(1 + e_i),$$

приравниваем правые части:

$$\frac{S_i}{h}(1 + e_i) = m_0(P_{i+1} - P_i) \rightarrow m_v = \frac{m_0}{(1 + e_i)} = \frac{S_i}{h(P_{i+1} - P_i)} = \frac{\varepsilon_{zi}}{\Delta P_i}$$

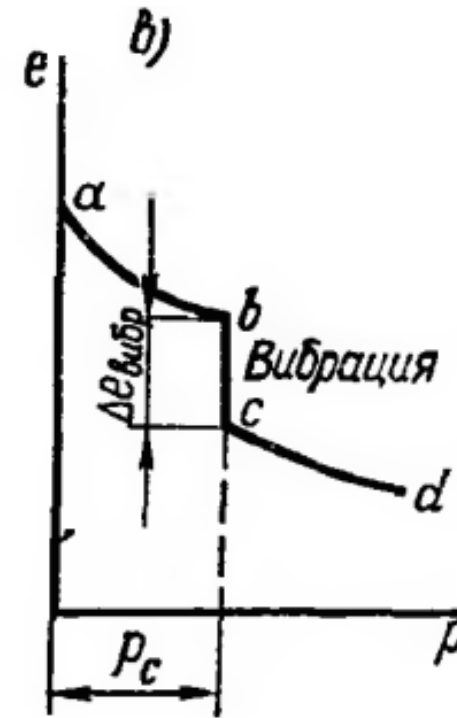
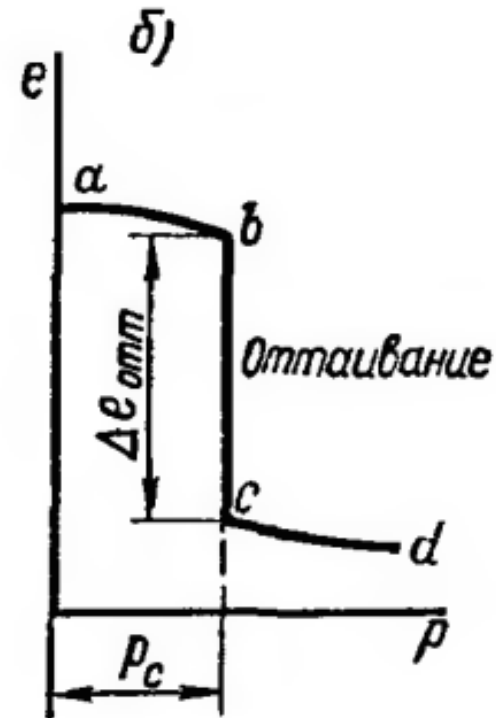
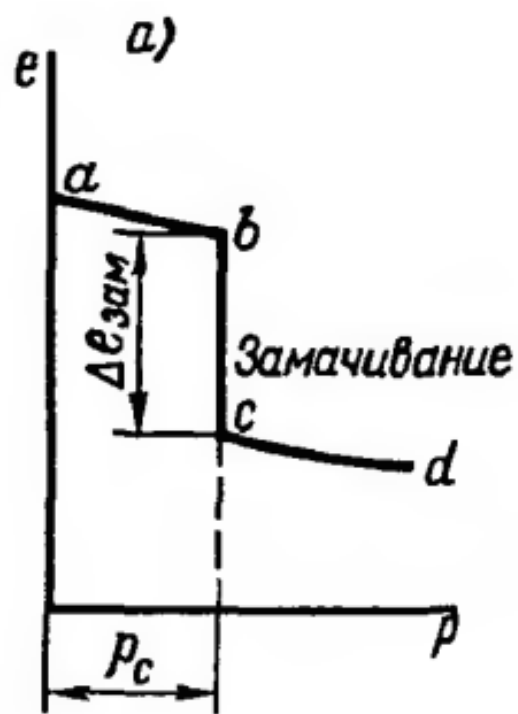
- Классификация дисперсных грунтов по коэффициенту относительной сжимаемости m_v (МПа⁻¹):

- $m_v < 0,0003$ – малосжимаемый
- $0,0003 \leq m_v \leq 0,003$ – среднесжимаемый
- $m_v > 0,003$ – сильносжимаемый



Специфические грунты

- Компрессионные кривые для просадочных грунтов:
 - а) лёссовый грунт при замачивании
 - б) мерзлый грунт при оттаивании
 - в) рыхлый песок при вибрации



Модуль деформаций

- На основе компрессионных испытаний и закона Гука:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y) \quad \text{и} \quad \sigma_x = \sigma_y = \xi \cdot \sigma_z = \xi \cdot P \rightarrow$$

$$E = \frac{1}{\varepsilon_z} (P - 2 \cdot \nu \cdot \xi \cdot P) = \frac{P}{\varepsilon_z} \left(1 - 2 \cdot \nu \frac{\nu}{1 - \nu} \right) = \frac{P}{\varepsilon_z} \cdot \beta = \frac{\beta}{m_\nu} = \frac{1 + e}{m_0} \cdot \beta,$$

где $\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu}$ – коэффициент, учитывающий боковое расширение грунта:

- 0,8 и 0,7 – для песков и супесей соответственно
- 0,5 и 0,4 – для суглинков и глин соответственно
- Модуль деформации, определенный по результатам компрессионных испытаний, может значительно отличаться от фактического, т. к. извлечение грунта с большой глубины приводит к изменению его напряженного состояния

Модуль деформаций

- На основе штамповых испытаний в естественных условиях:

$$E = \frac{w \cdot D \cdot \Delta P (1 - \nu^2)}{\Delta S},$$

где $w = 0,8$ или $0,9$ – коэффициент зависящий от формы штампа (круглый или квадратный соответственно)

D – диаметр штампа; ν – коэффициент Пуассона

ΔP и ΔS – приращение давления и осадки штампа

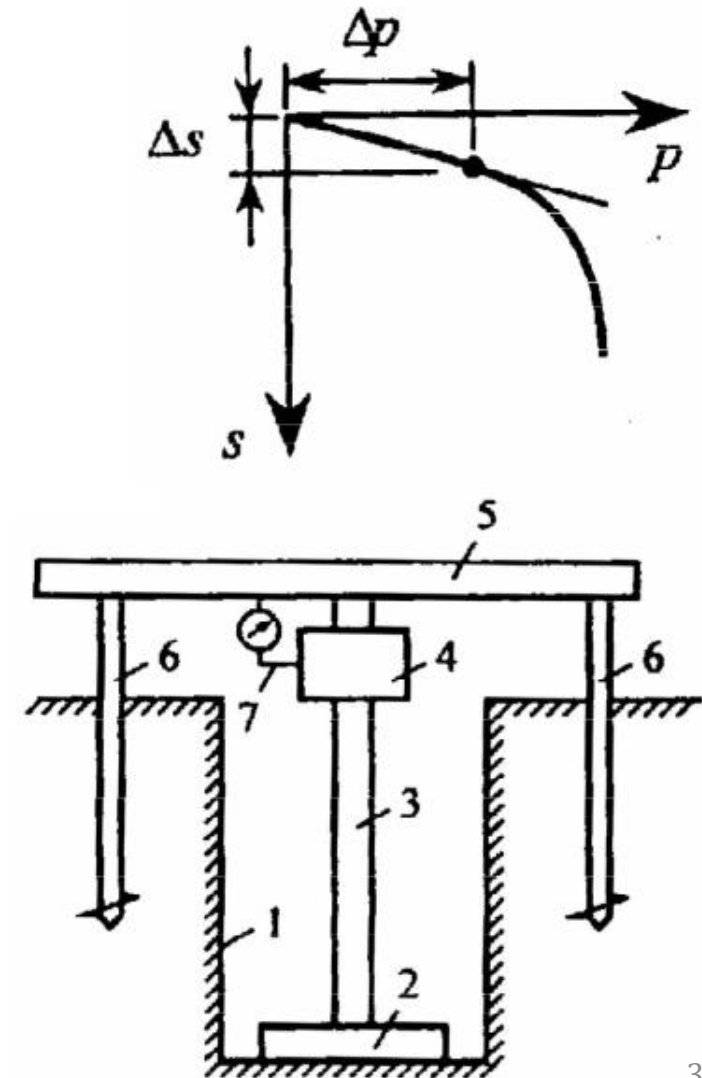
Обозначения к рисунку:

1 – шурф для проведения испытаний

2 – штамп; 3 – стойка; 4 – домкрат; 5 – упор в виде балки

6 – анкер (свая) для фиксации балки в заданном положении

7 – измеритель деформаций



Прочностные характеристики

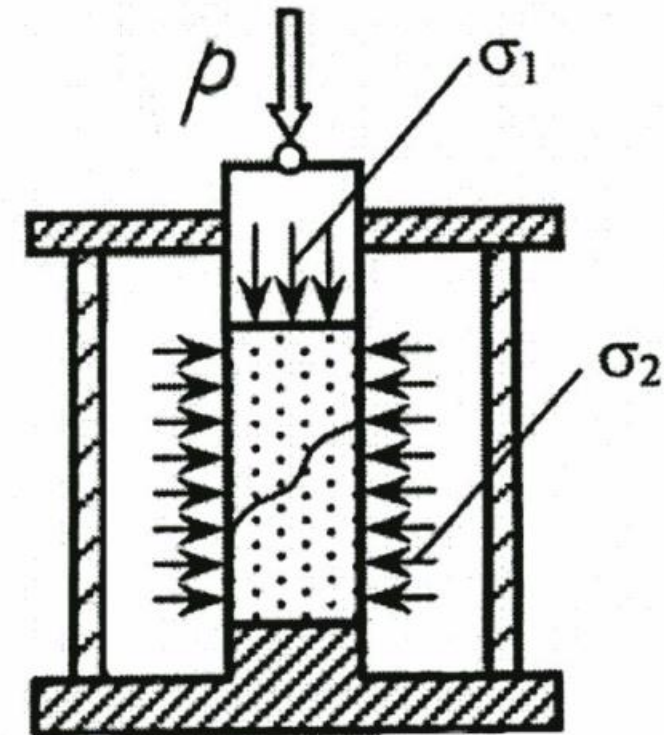
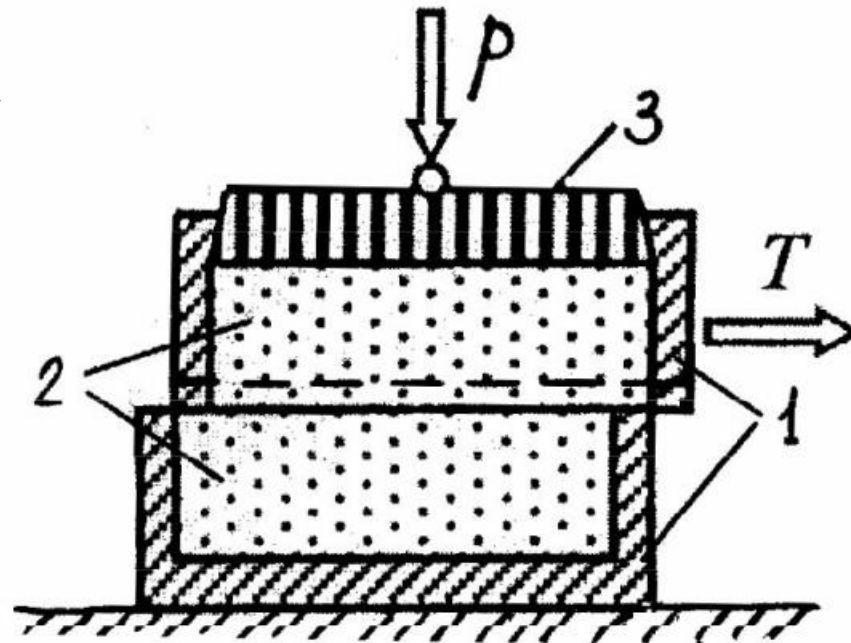
- Дисперсного грунта φ (угол внутреннего трения) и C (удельное сцепление) характеризуют его сопротивлению сдвигу (основной форме разрушения) и определяются в лабораторных условиях на приборах:
 - Одноплоскостного среза – сдвиговой прибор (схема слева)
 - Трехосного сжатия – стабилометр (схема справа)

Обозначения к сдвиговому прибору:

1 – металлические кольца

2 – образец грунта

3 – фильтрационная пластина



Закон Кулона

- Устанавливает связь между нормальными σ и касательными τ напряжениями при сдвиге:

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

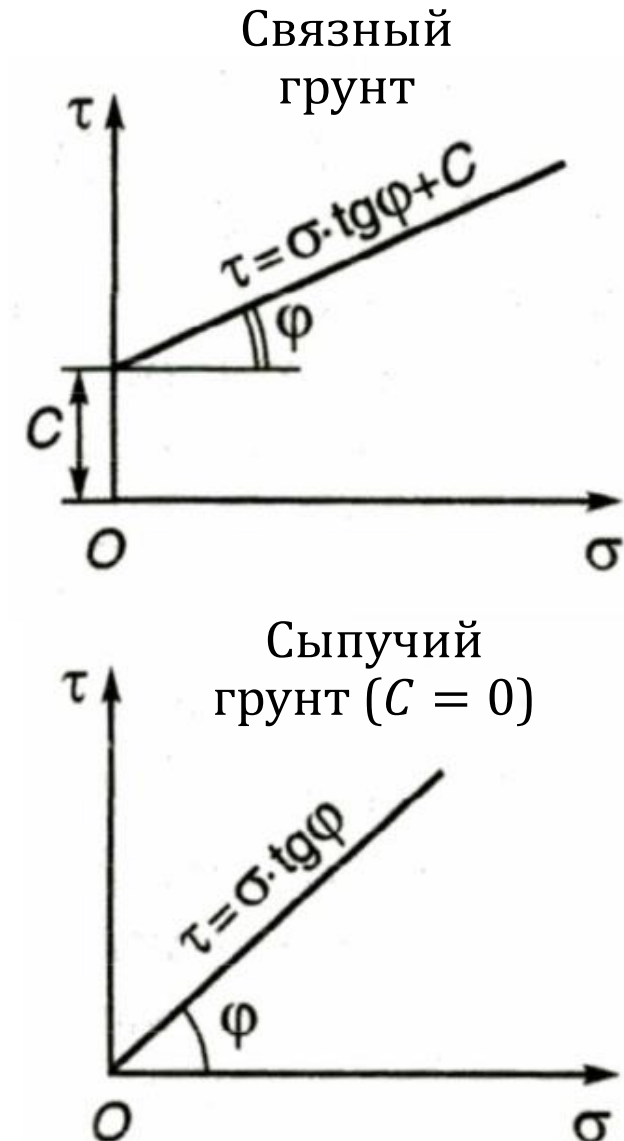
где σ и τ нормальные и касательные напряжения соответственно

φ – **угол внутреннего трения** (угол естественного откоса), град.

C – **удельное сцепление**, кПа

- Для несвязных (сыпучих) грунтов зависимость упрощается:

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



Расчетное сопротивление R_0 песков

Для предварительного назначения габаритов фундаментов (табл. Б.2 СП 22.13330) с учетом ширины $b_0 = 1$ м и глубины заложения $d_0 = 2$ м:

Пески	Значения R_0 , МПа, в зависимости от плотности сложения песков	
	плотные	средней плотности
Крупные	0,6	0,5
Средней крупности	0,5	0,4
Мелкие маловлажные	0,4	0,3
Мелкие влажные и насыщенные водой	0,3	0,2
Пылеватые маловлажные	0,3	0,25
Пылеватые влажные	0,2	0,15
Пылеватые насыщенные водой	0,15	0,1

Расчетное сопротивление R_0 глинистых грунтов

Для предварительного назначения габаритов фундаментов (табл. Б.3 СП 22.13330) с учетом ширины $b_0 = 1$ м и глубины заложения $d_0 = 2$ м:

Глинистые (непросадочные) грунты	Коэффициент пористости e , д. е.	Значения R_0 , МПа, при	
		$I_L = 0$	$I_L = 1$
Супеси	0,5	0,3	0,2
	0,7	0,25	0,15
Суглинки	0,5	0,35	0,25
	0,7	0,25	0,18
	1,0	0,2	0,1
Глины	0,5	0,6	0,4
	0,6	0,5	0,3
	0,8	0,3	0,2
	1,1	0,25	0,1

Расчетное сопротивление R дисперсного грунта

При расчете по деформациям (осадок) согласно п. 5.6.7 СП 22.13330:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} \cdot k_z \cdot b \cdot \gamma_{II} + M_q \cdot d_1 \cdot \gamma'_{II} + (M_q - 1)d_b \cdot \gamma'_{II} + M_c \cdot C_{II}]$$

где γ_{c1} и γ_{c2} – коэффициенты условий работы по табл. 5.4

$k = 1$ или $1,1$ – коэффициент, учитывающий способ определения прочностных характеристик: испытания или таблицы приложения А соответственно

b – ширина подошвы фундамента, м

M_{γ}, M_q, M_c – коэффициенты условий работы по табл. 5.5

$k_z = 1$ или $8/b + 0,2$ – коэффициент, учитывающий ширину фундаментов: при $b < 10$ м или при $b \geq 10$ м соответственно

d_1 – глубина заложения фундаментов, м

d_b – глубина подвала, расстояние от уровня планировки до пола подвала, м

γ_{II} и γ'_{II} – осредненный удельный вес грунтов ниже и выше подошвы, кН/м³

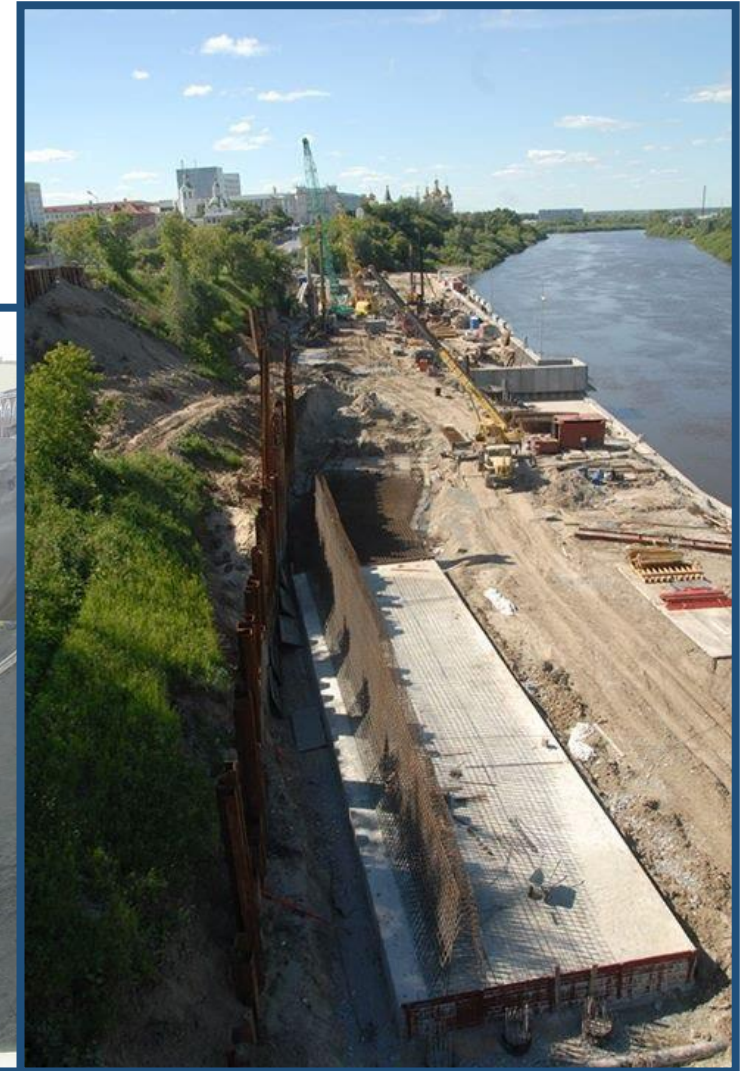
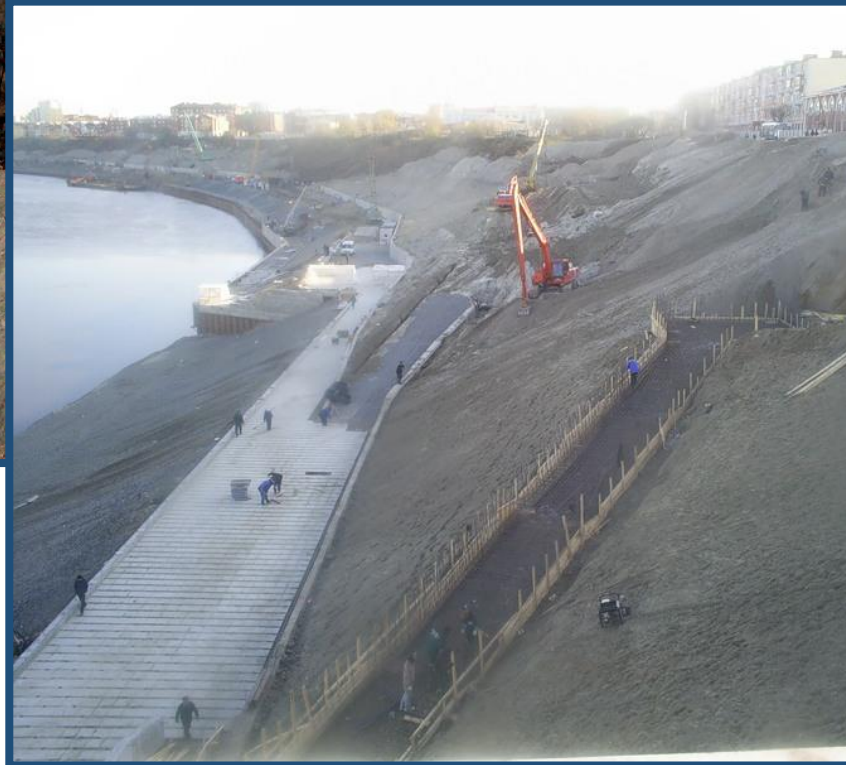
C_{II} – удельного сцепления грунта непосредственно под подошвой, кПа

Пример устройства:

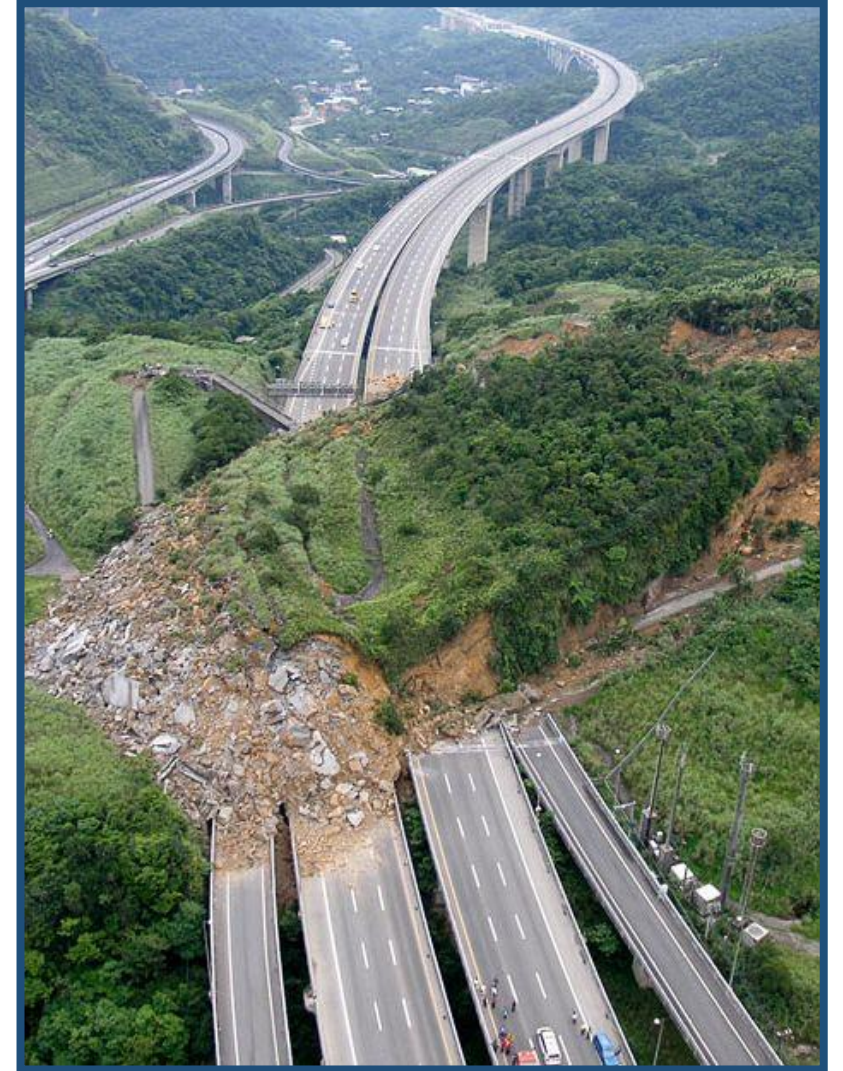
- Ограждения котлована глубиной более 15 м и периметром более 1 км
- Фундаментной плиты переменной толщины от 1 до 2,5 м



Пример устройства инженерных сооружений:



Примеры потери устойчивости склонов:



Пример потери устойчивости склона:



Литература:

- ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация
- ГОСТ 30416-2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения
- ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик
- ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости
- СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений
- Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.

ИФО | 01.03.04 | ПМ | 6-й семестр

Строительные конструкции

Лекция №6



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

www: mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/

e-mail: gbk@mgsu.ru; dpekin@mail.ru

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.