

**Государственный университет морского и речного  
флота имени адмирала С.О. Макарова**

**КАФЕДРА ПОРТОВ, СТРОИТЕЛЬНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА, ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**

**ЛЕКЦИЯ № 6**

# **УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ**

по дисциплине: **«Механика грунтов»**

Специальность 270104.65 «Гидротехническое строительство»

**Санкт-Петербург**

**2013**

# Учебные вопросы

1. Устойчивость оснований сооружений и откосов.
2. Методы расчёта устойчивости откосов.
3. Конструкции подпорных стен.

## Литература

### Основная:

Далматов Б.И., Бронин В.Н., Карлов В.Д. и др. Основания и фундаменты. Часть 2, Основы геотехники. М.,СПб.: изд.АСВ,2002.-392с.

Шишлов С.Б., Кириллов В.М. Инженерная геология и свойства грунтов. СПб.: СПГУВК,2005.-172с.

### Дополнительная:

1. Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В. Механика грунтов, основания и фундаменты. Учебное пособие. 4-е изд. М.: Высшая школа,2007.-566с.
2. Костерин Э.В. Основания и фундаменты. М.: Высшая школа, 1990.-431с.
3. СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений.
4. СНиП 2.02.01-83\* Основания зданий и сооружений.
5. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.

# 1. Устойчивость оснований сооружений и откосов

Откосом называется искусственно созданная поверхность, ограничивающая природный грунтовый массив, выемку или насыпь. Откосы образуются при возведении различного рода насыпей (дамбы, земляные плотины и т.д.) и выемок (котлованы, траншеи, каналы и т.п.).

Склоном называется откос, образованный природным путём и ограничивающий массив грунта естественного сложения.

**Основными причинами потери устойчивости откосов и склонов являются:**

- устройство недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному;
- увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирование материалов на откос или вблизи его бровки);
- изменение внутренних сил (изменение удельного веса грунта при изменении его влажности);
- неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счёт повышения влажности и др. причин;
- проявление гидродинамического давления, сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай и т.п.).

## Меры по увеличению устойчивости откосов.

Если откос не устойчив необходимо принимать меры по увеличению его устойчивости:

А- уположение откоса

Б- поддержание откоса подпорной стенкой

В- осушение грунтов откоса

Г- закрепление грунтов в откосе.

# Нормативный показатель общей устойчивости:

За нормативный показатель общей устойчивости следует принимать обобщенный коэффициент устойчивости:

$$K_0^H = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_m,$$

где  $K_1$  - коэффициент, учитывающий надежность данных о прочностных и деформативных характеристиках грунтов рассматриваемого массива;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий категорию линии (дороги), для которой проектируется данный объект;

$K_3$  - коэффициент, учитывающий класс (ответственность) проектируемого объекта;

$K_4$  - коэффициент, учитывающий соответствие расчетной схемы естественным инженерно-геологическим условиям;

$K_5$  - коэффициент, учитывающий вид грунта и его назначение;

$K_m$  - коэффициент, учитывающий особенности метода расчета;

# Расчетные значения показателя общей устойчивости

Расчетные значения  $K_p$  показателя общей устойчивости откоса, косогора или сооружения определяются из основных уравнений статики:

$$K^p \sum P_{сд} - \sum P_{уд} = 0;$$

$$K^p \sum M_{сд} - \sum M_{уд} = 0,$$

где  $\sum P_{сд}$ ,  $\sum M_{сд}$  - сумма проекций сил на принятые оси координат и моментов сил, вызывающих нарушение устойчивости;

$\sum P_{уд}$ ,  $\sum M_{уд}$  - сумма проекций сил на принятые оси координат и моментов сил, способствующих сохранению устойчивости

## 2. Методы расчёта устойчивости откосов

### а) Устойчивость откосов в идеально сыпучих грунтах ( $\varphi \neq 0$ ; $c = 0$ )

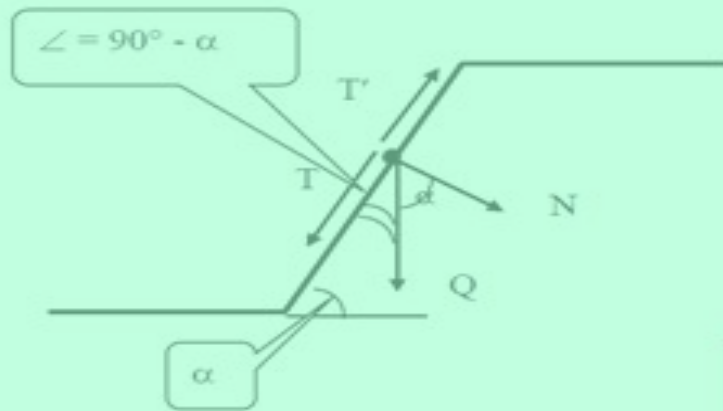
Рассмотрим устойчивость частиц идеально сыпучего грунта, слагающего откос. Для этого составим уравнение равновесия твердой частицы  $M$ , которая лежит на поверхности откоса. Разложим вес этой частицы  $F$  на две составляющие: нормальную  $N$  к поверхности откоса  $AB$  и касательную  $T$  к ней. При этом сила  $T$  стремится сдвинуть частицу  $M$  к подножию откоса, но ей будет препятствовать противодействующая сила  $T'$ , которая пропорциональна нормальному давлению.

Схема сил, действующих на частицу откоса:



# Устойчивость откоса грунта, обладающего трением (C=0)

Рассмотрим равновесие песчинки на откосе:



Q – вес песчинки  
N – нормальная составляющая веса песчинки  
T – касательная составляющая веса песчинки  
T' – сила трения

$$T - T' = 0$$

- Условие равновесия

$$T = Q \cdot \sin \alpha; \quad T' = N \cdot f = f \cdot Q \cdot \cos \alpha;$$

$$Q \cdot \sin \alpha - f \cdot Q \cdot \cos \alpha = 0$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = f \quad f = \operatorname{tg} \varphi$$

f – коэффициент трения

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пр}} = \operatorname{tg} \varphi \quad \text{или} \quad \alpha_{\text{пр}} = \varphi$$

Это условие устойчивости откоса



При практических расчетах необходимо вводить коэффициент запаса прочности



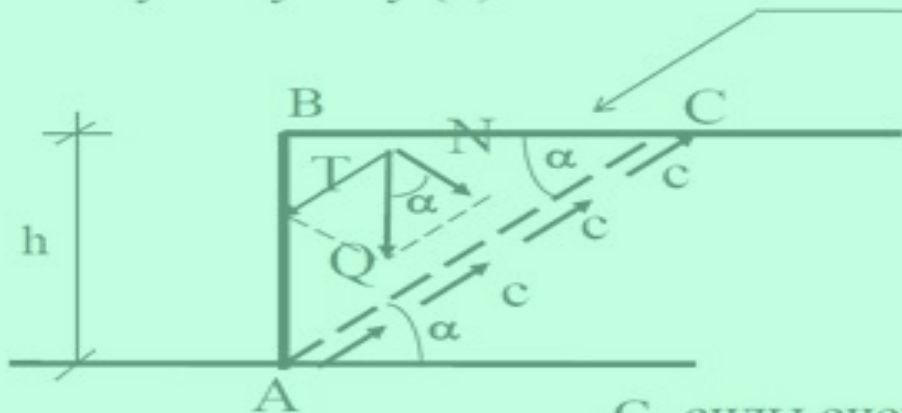
# К понятию угла естественного откоса:



# б) Устойчивость откоса грунта, обладающего только сцеплением ( $\varphi=0$ ) (жирные глины)

$c$  – составляет основную прочность откосов

На какую глубину ( $h$ ) можно откопать котлован с вертикальными стенками?



Рассмотрим призму ABC  
 $Q$  - вес призмы (разложим его на 2 составляющие  $T$  и  $N$ )

$$\sin \alpha = T/Q; \quad \text{ctg} \alpha = BC/h$$

$c$  - силы сцепления, действующие вдоль откоса

$$T = Q \sin \alpha; \quad Q = \frac{h \cdot h \cdot \text{ctg} \alpha}{2} \cdot \gamma;$$

$$T = \frac{\gamma \cdot h \cdot h}{2} \cdot \text{ctg} \alpha \cdot \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{h}{AC}; \quad AC = \frac{h}{\sin \alpha};$$

$$\frac{c}{2} \cdot \frac{h}{\sin \alpha}$$

- сдвигающая сила

- удерживающая сила ( $\frac{c}{2}$  т.к. изменяются по закону  $\Delta$ )

# Уравнение равновесия на направлении АС:


$$\gamma_0 \cdot \frac{h \cdot h}{2} \operatorname{ctg} \alpha \cdot \sin \alpha - \frac{c}{2} \cdot \frac{h}{\sin \alpha} = 0;$$

$$\gamma_0 \cdot h \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} \cdot \sin \alpha \cdot \sin \alpha - C = 0$$

$$h = \frac{C}{\gamma \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha} = \frac{2C}{\gamma \cdot \sin 2\alpha}$$

но  $\alpha$  - мы приняли произвольно ( $\sin \alpha$  - изменяется в пределах  $0 \dots 1$ ),  
при max использовании сил сцепления:

$h_{\max} \rightarrow$  при  $\alpha = 45^\circ$ ;  $\sin 2\alpha = 1$ ; Тогда


$$h_{\max} = 2C/\gamma$$

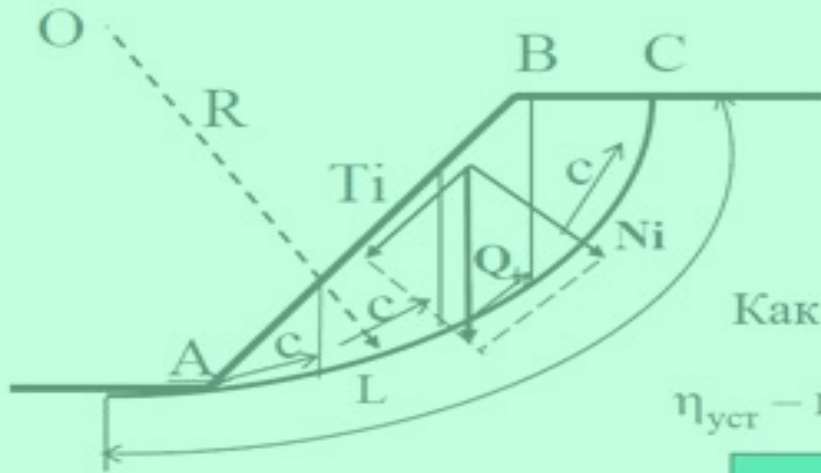
**Пример.** Пусть:

$$C = 0,1 \text{ кг/м}^2 = 1 \text{ т/м}^2 = 0,01 \text{ Мпа} = 0,01 \text{ МН/м}^2$$

$$\gamma = 2 \text{ т/м}^3 = 20 \text{ кН/м}^3 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ МН/м}^3$$

$h_{\max} = 2 \times 1 / 2 = 1 \text{ м}$ , следовательно откос будет устойчив при вертикальной стенке не более 1 м.

## в) Устойчивость откоса грунта, обладающего трением и сцеплением ( $\varphi \neq 0, C \neq 0$ )



Пусть обрушение откоса происходит по круглоцилиндрической поверхности, относительно центра вращения т.О.

Как рассчитать устойчивость такого откоса ?

$\eta_{уст}$  – коэффициент устойчивости

$$\eta_{уст} = \frac{M_{удерж}}{M_{сдвиг}}$$

Порядок вычислений:

- 11.) откос делим на призмы;
- 22.) определяем вес каждой части – призмы –  $Q_i$ ;
- 33.) раскладываем  $Q_i$  на  $T_i$  и  $N_i$ ;
- 4.) находим  $C$  и  $L$  – длину дуги.

$$M_{удер.сил.} = \sum_{i=1}^n Ni \cdot tg\varphi \cdot R + C \cdot L \cdot R$$

$$M_{сдвиг.сил.} = \sum_{i=1}^n Ti \cdot R$$

# 3. Конструкции подпорных стен

**Подпорная стена** - это конструкционное сооружение, удерживающее от обрушения и сползания находящийся за ней массив грунта на уклонах местности (откосах, склонах, выпуклостях и впадинах поверхности участка).

Стенки, возводимые при строительстве можно разделить на:

*а – декоративные.* Используются в качестве архитектурно - художественного элемента. Применяются на плоских (ровных) и с небольшим уклоном участках как элемент ландшафтного дизайна;

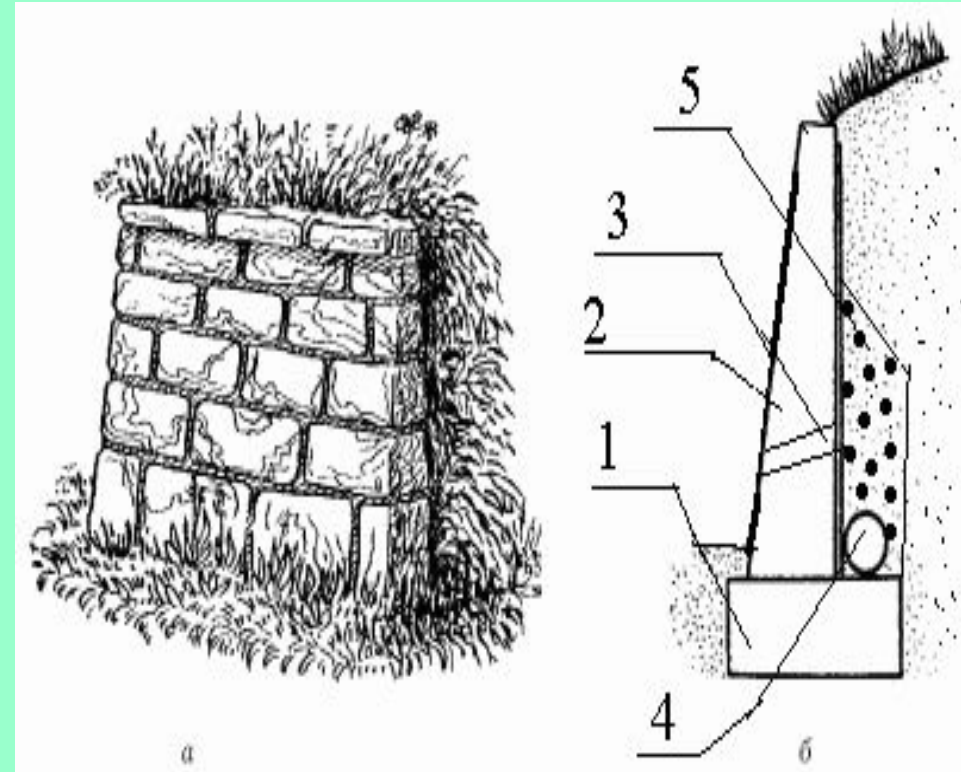
*б – укрепительные.* Применяются для удержания грунта на уклонах местности. Широко применяются при террасировании естественных склонов с целью увеличения полезной площади для размещения элементов озеленения и благоустройства.



# Декоративная подпорная стенка



# Укрепительные подпорные стенки



а – общий вид подпорной стенки; б – разрез подпорной стенки: 1 – фундамент; 2 – тело; 3 – дренажное отверстие; 4 – дренажная труба; 5 – гравий



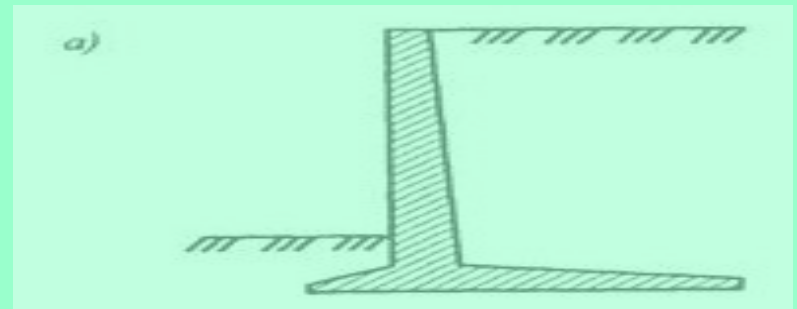
# Виды укрепляющих подпорных стенок

## По способу возведения:

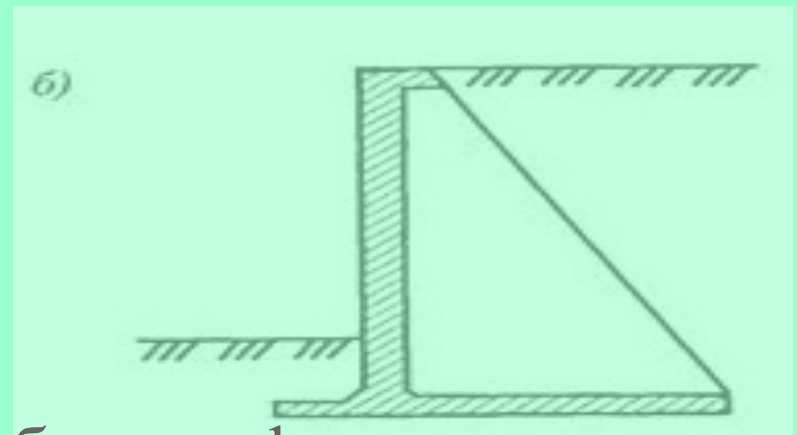
**монолитные**, изготавливаются в виде отдельных звеньев на заводах железобетонных изделий, а затем транспортируют к месту возведения. Они имеют *угловой профиль* и бывают *консольными* или *контрфорсными*. Также монолитные стенки отливаются из армированного бетона, бутобетона на месте в заданную форму (опалубку);

**сборные**, выкладываются из различного строительного материала (камня, кирпича, дерева и т.д.) на месте строительства

## Стены углового профиля:



а-консольная;



б-контрфорсная



# Виды укрепляющих подпорных стенок

**По глубине заложения:**

*-глубокого заложения*

(глубина заложения больше ширины стенки в полтора и более раза);

*-неглубокого заложения.*

**По высоте:**

*-низкие* (высота не превышает 1м);

*-средние* (высота 1-2м);

*-высокие* (высота более 2м.)

**По расположению на местности:**

*-отдельно стоящие;*

*-связанные с примыкающими сооружениями* (лестницы, пандусы, ниши для растений и т. д.).

**По материалу изготовления:**

*-железобетонные;*

*-бетонные;*

*-бутобетонные;*

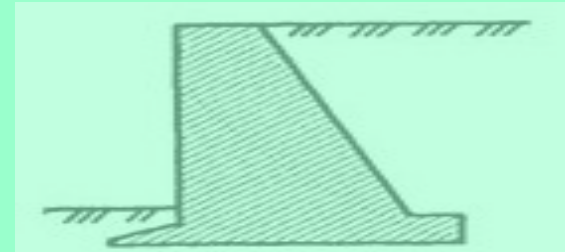
*-из природного камня;*

*кирпичные, деревянные или металлические и т.д.*

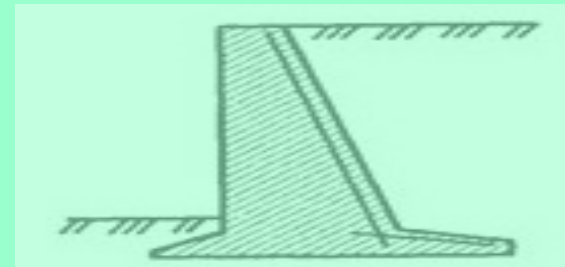
# По конструктивному решению достижения устойчивости (по массивности):

- массивные подпорные стенки**, устойчивость на сдвиг и опрокидывание достигается собственно массой стенки (бетон, бутовая или кирпичная кладка);
- полумассивные**, устойчивость подпорной стенки обеспечивается комплексно: массой стенки и грунта лежащего на фундаментной плите;
- тонкоэлементные**, обычно состоят из связанных друг с другом железобетонных плит;
- тонкие**, устойчивость обеспечивается защемлением основания в грунте.

а - массивная неармированная;



б – полумассивная армированная;



в - тонкоэлементная; г- тонкая



Спасибо за внимание