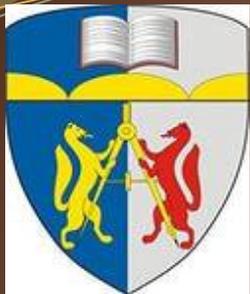


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ (Сибстрин)

# Давление грунта на подпорные стенки

Выполнила:  
Ст.501 гр.  
Евдокимова Е.В.

Проверил:  
Молчанов В.С.

# Содержание

- Понятие об активном давлении и пассивном отпоре грунта
- Поверхности скольжения
- Давление сыпучего грунта на вертикальную подпорную стенку при отсутствии трения на задней грани
- Влияние сплошной равномерно распределенной нагрузки
- Учет сцепления
- Определение давления грунта на подпорную стенку графо-аналитическим методом Ш. Кулона
- Давление грунта на трубы и тоннели

**Откос** – это элемент любого искусственного сооружения из грунта. Потеря устойчивости с обрушением откоса или его части может привести к катастрофам с тяжелыми последствиями, особенно для высоких дорожных насыпей, плотин, глубоких карьеров.

Закономерности формирования склонов и склоновые процессы изучают в инженерной геологии. Откосы искусственных грунтовых сооружений находятся под влиянием различных природных и техногенных воздействий. Поэтому проектированию откосов с количественной оценкой их устойчивости методами механики грунтов должен предшествовать детальный анализ инженерно-геологических условий. Только на его основе можно обосновать адекватные расчетные схемы и методы расчета, выбрать расчетные показатели механических свойств грунтов, а при необходимости рекомендовать оптимальные меры повышения устойчивости.

Можно выделить два подхода к решению задач устойчивости откосов:

- детальный анализ напряженно-деформированного состояния откоса и его изменения во времени вплоть до предельного состояния;
- рассмотрение напряженного состояния откоса в предельном состоянии с принятием наиболее вероятной схемы его разрушения.

Первый, более общий подход, используется в особо сложных и ответственных ситуациях, например, при проектировании высоких плотин в гидротехнике. Он требует применения сложных моделей грунта, трудоемких вычислений, а также очень тщательного определения механических характеристик грунтов, в том числе реологических.

В проектной практике промышленного и гражданского строительства обычно используют второй подход, называемый иногда “предельным анализом”. Это связано с тем, что он проводится методами теории предельного напряженного состояния (предельного равновесия), различаясь лишь в отношении степени принимаемых гипотез или упрощений.

**Подпорные стенки** — это сооружения, удерживающие грунт от обрушения в откосах насыпей и выемок.

Если участок расположен в местности с большим уклоном, не слишком удобным для озеленения и использования, то, как правило, вместо ровного склона создают систему террас, при этом вертикальные или очень крутые откосы закрепляют подпорными стенками, а территорию между ними выколаживают.

Без стенок откосы просто обвалятся или оплывут. В укреплении откосов (особенно крутых) нуждаются практически все благоустраиваемые водотоки и водоемы — реки, озера, пруды и т. д. При необходимости создают противооползневые подпорные стенки, которые бывают как надземными, так и подземными

По характеру работы различают отдельно стоящие стенки и связанные с примыкающими сооружениями. Также подпорные стенки бывают гидротехническими и не подверженными давлению воды.

В общестроительных работах подпорные стенки подразделяются на низкие — высотой до 10 м, средние — от 10 до 20 м и высокие — 20–30 и более метров.

В ландшафтном проектировании в большинстве случаев может быть использована та же классификация, но с уменьшением размеров в 10 раз, т.е. до 1 метра, от 1 до 2 м, 2–3 м и более. Средние и высокие стенки целесообразно рассчитывать специальными (в том числе на основе компьютерных программ) методами, а не принимать размеры, исходя исключительно из конструктивных соображений.

По принципу работы различают 4 вида подпорных стенок

<b>1</b>	Массивные; их устойчивость обеспечивает собственный вес, а материал испытывает сжимающие напряжения.
<b>2</b>	Полумассивные, устойчивость которых обусловлена как собственным весом, так и весом грунта, лежащего на фундаментной плите.
<b>3</b>	Тонкоэлементные, обычно состоящие из связанных друг с другом железобетонных плит; их устойчивость в основном обеспечивает вес грунта над фундаментом.
<b>4</b>	Тонкие, сохраняющие устойчивость с помощью заземления их в грунтовом основании.

**Исходя из наклона задней грани**, подпорные стенки разделяют на крутые, пологие и лежащие, имеющие как прямой, так и обратный уклон.

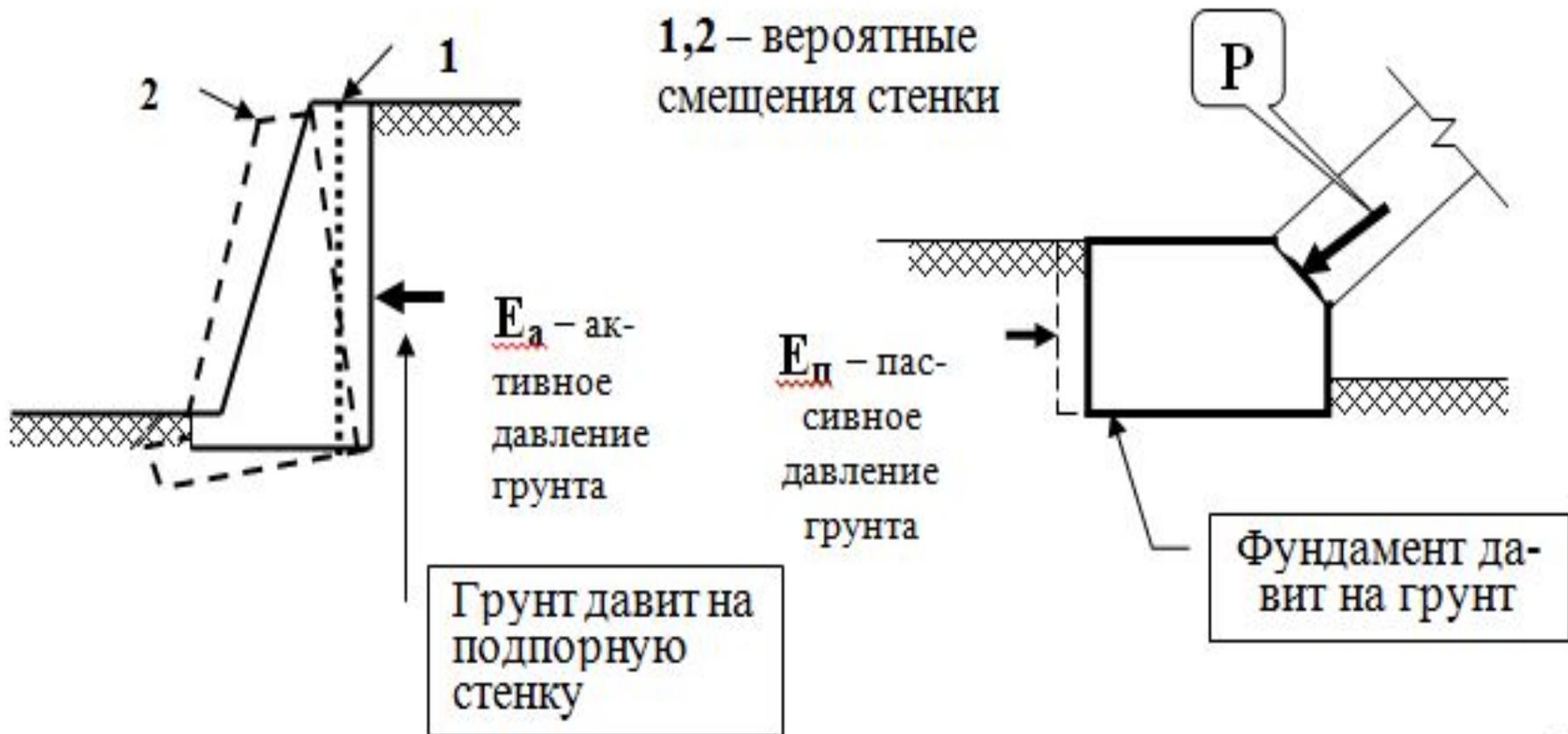
По способу возведения различают монолитные и сборные стенки. В зависимости от профиля поперечного сечения монолитные в свою очередь можно разделить на:

- прямоугольные,
- трапециевидальные с наклонной передней гранью,
- трапециевидальные с наклонной задней гранью,
- трапециевидальные с обеими наклонными гранями,
- наклоненные в сторону засыпки,
- с выступающим передним нижним ребром,
- с ломаным профилем,
- со ступенчатым профилем,
- с разгрузочной площадкой,
- уголкового профиля и т. д.

Как правило, за подпорной стенкой скапливается вода. С этим явлением необходимо бороться, устраивая продольный или поперечный дренаж, регулярные водовыпуски, а также собирая и отводя поступившую воду спомощью открытой или закрытой водоотводящей сети в ближайший водоприемник (ручей, овраг, дорожный кювет и т.д.).

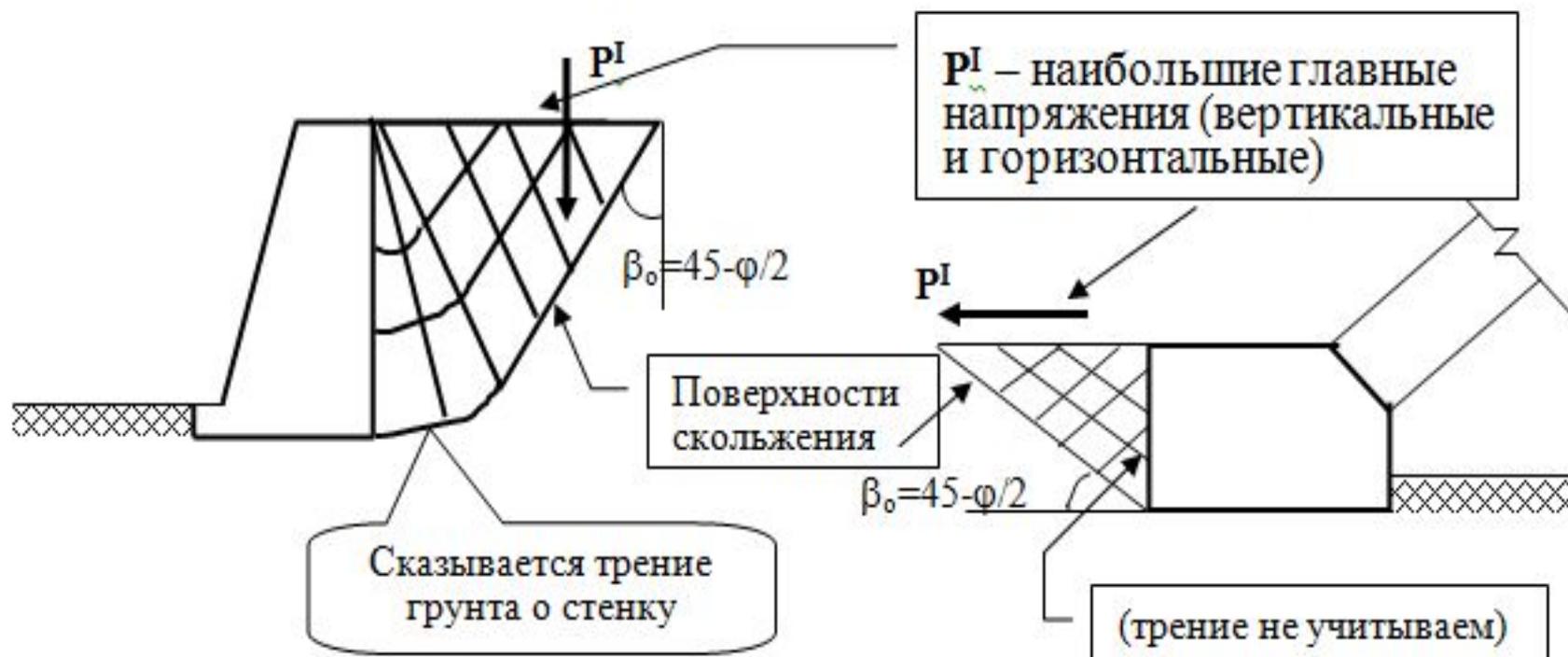
Сложнее, если нижняя часть противооползневой или иной стенки должна пропускать постоянный или временный поток грунтовых вод (верховодки). В этом случае в качестве фундамента используется так называемый свайный ростверк, состоящий из ряда свай, которые заглублены на несколько метров в грунт. При этом грунтовые воды свободно проходят между сваями, не создавая подпора, опасного для стенки и склона.

# Понятие об активном давлении и пассивном давлении грунта



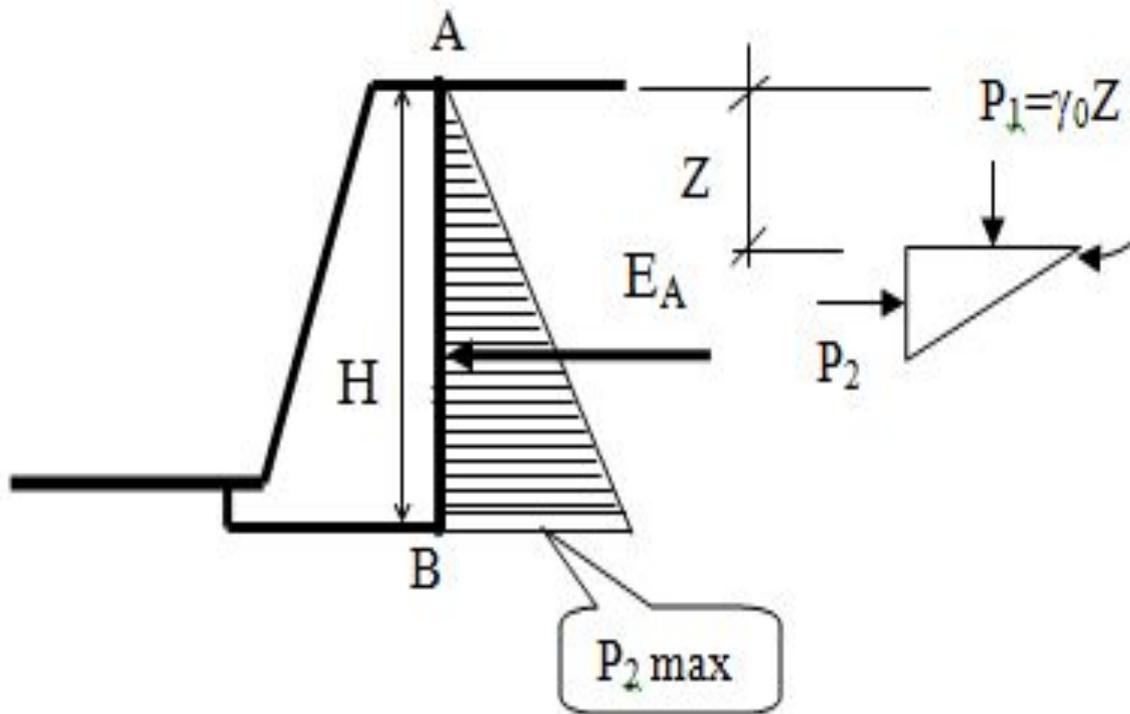
# Поверхности скольжения

Поверхности скольжения строят на основе теории предельного равновесия



С использованием теории построения поверхностей скольжения можно определять давление на подпорные стенки

# Давление сыпучего грунта на вертикальную подпорную стенку при отсутствии трения на задней грани



Вырезаем в массиве грунта призму с главными площадками

Условия предельного равновесия:

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \sin \varphi$$

(см. лекцию 4)

Или  $\frac{P_2}{P_1} = \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$ ,  $P_{2\max}$  - наибольшие горизонтальные напряжения

$P_2 = P_1 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) = \gamma_0 \cdot Z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$  - давление на стенку передается в виде  $\Delta$  эпюры

$P_{2\max}$  - при  $Z=H$ ;  $P_{2\max} = \gamma_0 \cdot H \cdot \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$

$E_A$  = площади эпюры  $P_2$ ;  $E_A = \frac{P_{2\max}}{2} \cdot H$ ;

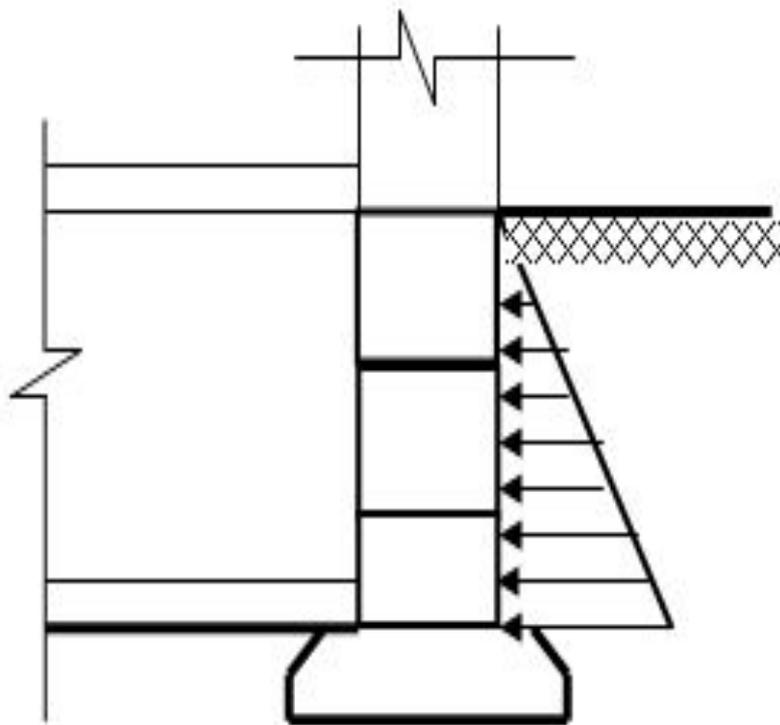
$$E_A = \frac{\gamma_0 \cdot H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Активное давление грунта на вертикальную подпорную стенку при горизонтальной отсыпке

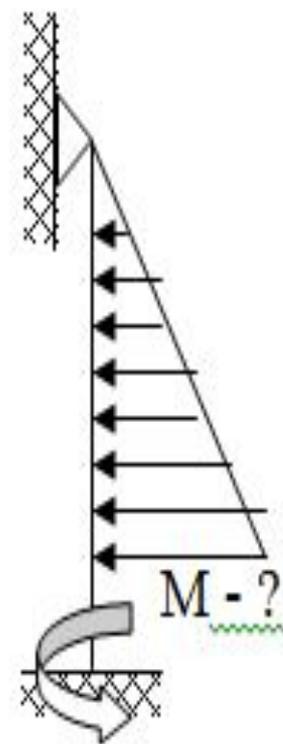
$$E_n = \frac{\gamma_0 \cdot H^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

пассивный отпор грунта

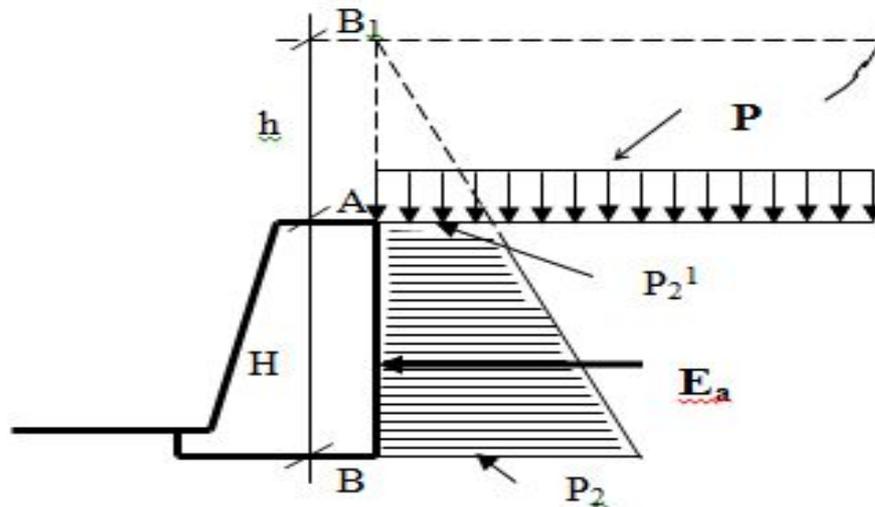
**Пример** активного давления грунта на фундаментную стенку здания с подвалом



Расчетная схема



# Влияние сплошной равномерно распределенной нагрузки



Представим эту нагрузку как некоторый слой грунта давлением  $P = \gamma_0 h$ .  $h = P/\gamma_0$   
Тогда эпюра будет строиться из верхней точки  $B_1$ .

$$P_2^1 = \gamma_0 \cdot h \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$P_2 = \gamma_0 (H + h) \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$E_a$  - ? (приложена в ц.т. трапеции)

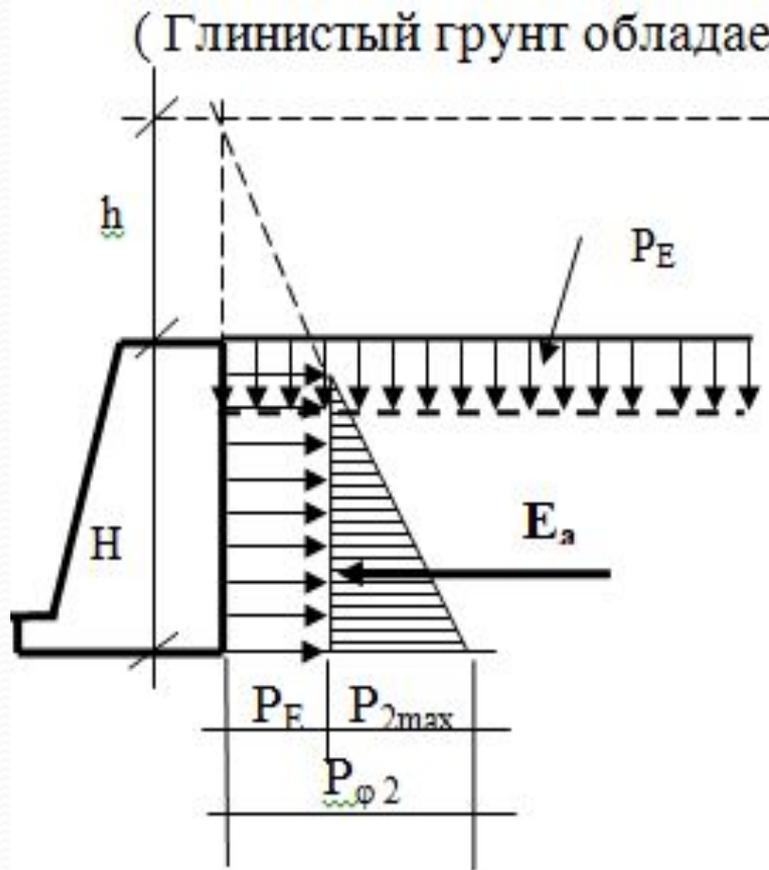
$$E_a = \frac{P_2^1 + P_2}{2} \cdot H$$

Подставляем значения  $P_2^1$  и  $P_2$  и получим:

$$E_a = \frac{\gamma_0}{2} (H^2 + 2hH) \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$h = \frac{P}{\gamma_0}, \text{ где } \gamma_0 \text{ удельный вес грунта}$$

# Учет сцепления



Сцепление заменяем эквивалентным давлением  $P_E$  — давлением связности (см. лекцию 4)

$$P_E = \frac{C}{\operatorname{tg}\varphi} = C \cdot \operatorname{ctg}\varphi$$

Вертикальное  $P_E$  — заменяем некоторым фиктивным слоем грунта  $h$ .

$$h = \frac{P_E}{\gamma} = \frac{C}{\gamma \cdot \operatorname{tg}\varphi}$$

$$P_{2max} = \gamma_0 \left( H + \frac{C}{\gamma_0 \operatorname{tg}\varphi} \right) \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) - P_E$$

Подставляя  $P_E$  и производя вычисления получаем: (см. лекцию 4):

$$P_{2\max} = \gamma_0 H t g^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right) - 2c t g \left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$P_{\varphi 2}$  – без учета  
сцепления

$P_{c2}$  – влияние  
сцепления

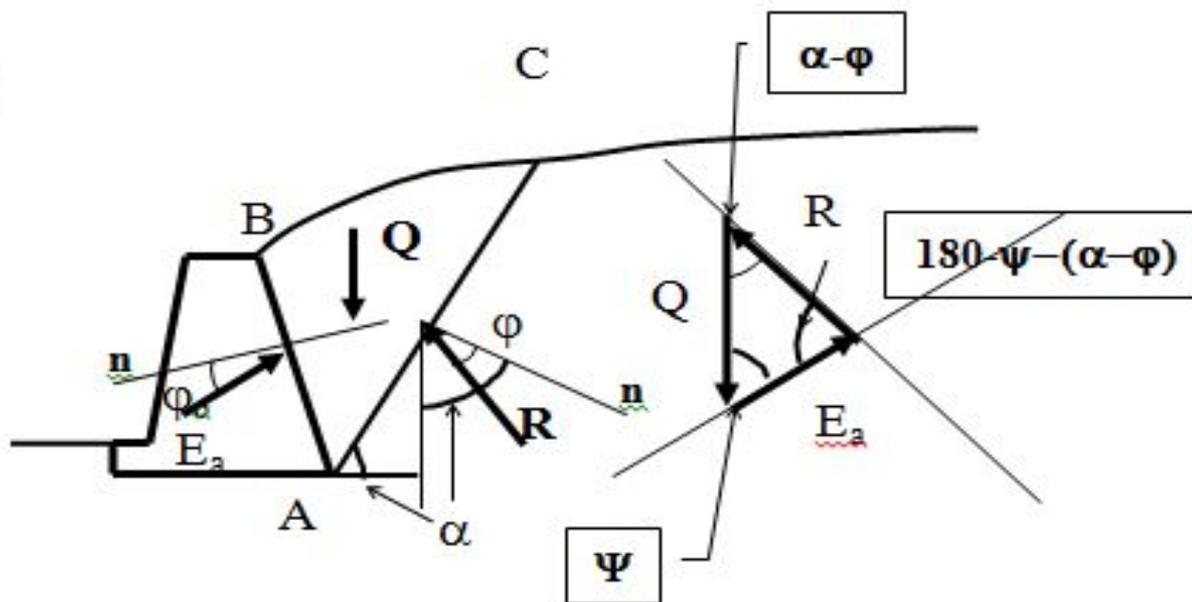
$$P_2 = P_{\varphi 2} - P_{c2}$$

- в общем виде.

Самое общее решение для расчета подпорных стенок сделал еще Кулон – (более 200 лет назад).

# Определение давления грунта на подпорную стенку графо-аналитическим методом Ш. Кулона

(Графо-аналитический метод следует рассматривать как универсальный метод, позволяющий получать решения с точностью  $\pm 2\%$ )



## Допущения:

1. поверхность скольжения (AC) – плоская
2. обрушение поверхности скольжения происходит при макс давлении грунта на подпорную стенку

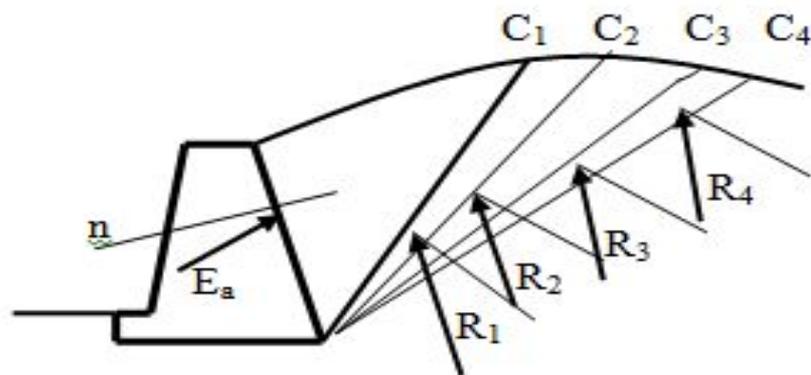
Кулон рассматривал эту задачу *на основе уравнения статики*.

1. Вес ABC – можно найти с любой заданной точностью  $Q$ ;
2. По стороне AC действует реактивное давление  $\underline{R}$ ,  $\varphi_0$  – угол трения между грунтом и поверхностью стенки;
3.  $\underline{E}_a$  – активное давление грунта;
4. Строим многоугольник сил, который должен быть замкнутым в условиях равновесия, и вычисляем соотношения:

$$\frac{E_a}{Q} = \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin[\psi + (\alpha - \varphi)]};$$

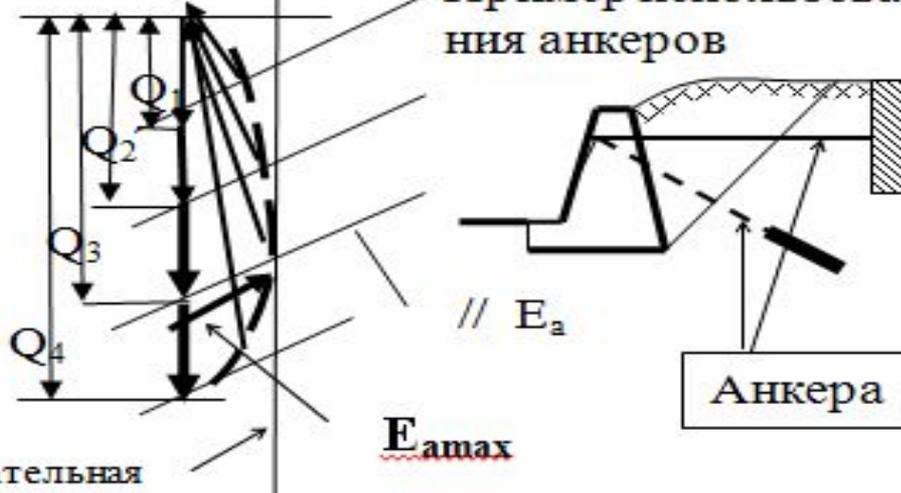
$$E_a = Q \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\psi + \alpha - \varphi)}$$

Если известно  $AC$  – то легко можно найти  $E_a$ , но  $AC$  нам неизвестно. Поэтому решаем задачу методом последовательных приближений.



1. задаемся несколькими поверхностями скольжения  $AC_1$ ;  $AC_2$ ;  $AC_3$ ;  $AC_4$  – и для каждой находим  $E_a$
2. строим многоугольник сил
3. получаем огibaющую значений  $E_a$
4. проводим касательную и находим  $E_{amax}$

Пример использования анкеров



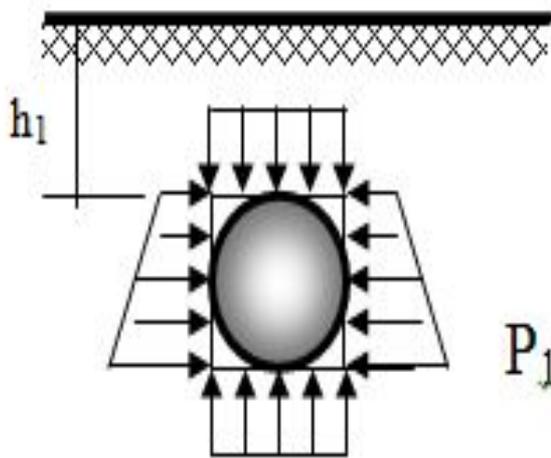
касательная

$E_{amax}$

Анкера

Точность этого графо-аналитического метода  $\approx 2\%$  – для грунтов, обладающих только трением

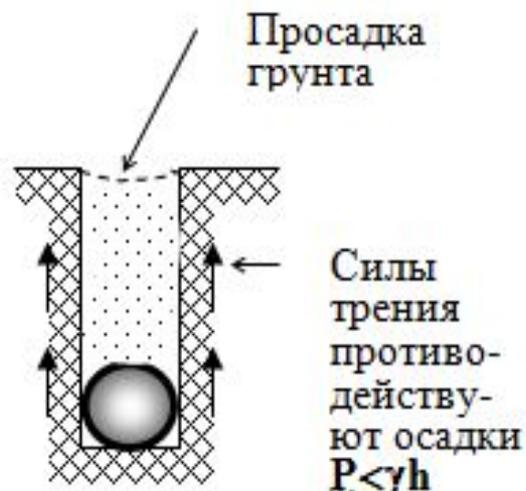
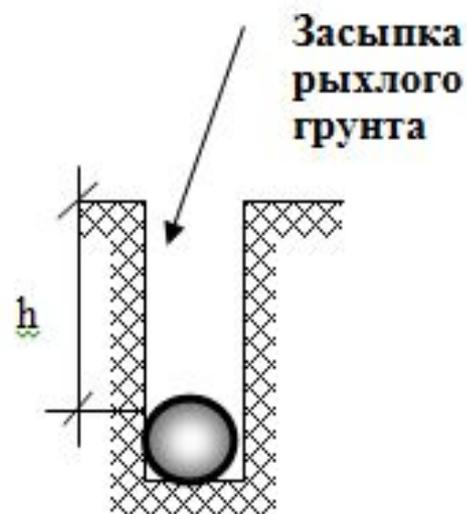
# Давление грунта на трубы и тоннели



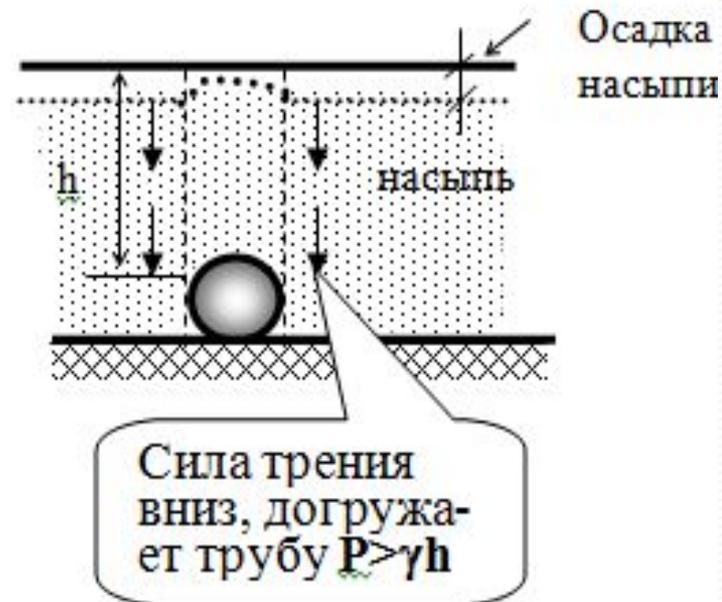
$$P_1 = \gamma_0 h_1$$

Решить эту задачу в общем виде не сложно. Но нужно различать 3 принципиальных различных способа прокладки трубопроводов.

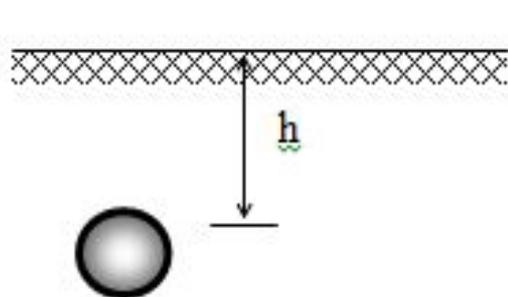
а) в траншеях



б) труба в насыпи



в) закрытая проходка (прокол, микротуннелирование)





***Спасибо за внимание***