



Аналитические методы расчета предельных параметров откосов

ЛЕКЦИЯ 10

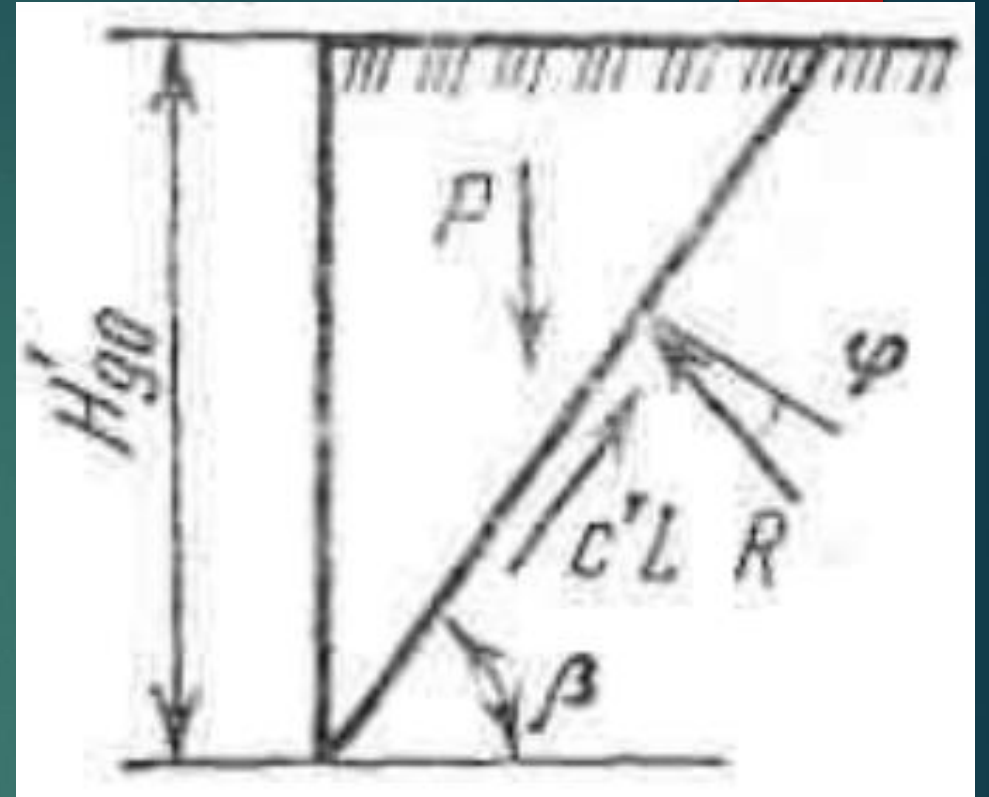


Аналитические методы расчета применяют для непосредственного определения одного из параметров — высоты или угла откоса, при известном другом. Расчетные формулы получают решением статических задач взаимодействия сил, действующих на призму обрушения. Высота или угол откоса в однородных породах — функция физико-механических свойств пород вида

$$H(\alpha) = f(c, \gamma, \varphi)$$

При наличии поверхностей ослабления массива, по которым возможен сдвиг, в расчетную формулу входят показатели сопротивления сдвигу по этой поверхности c' , φ' и угол ее наклона β .

Предельные параметры
откоса при плоской
поверхности скольжения,
подрезаемой откосом. Из
условия предельного
равновесия вертикального
откоса его высота



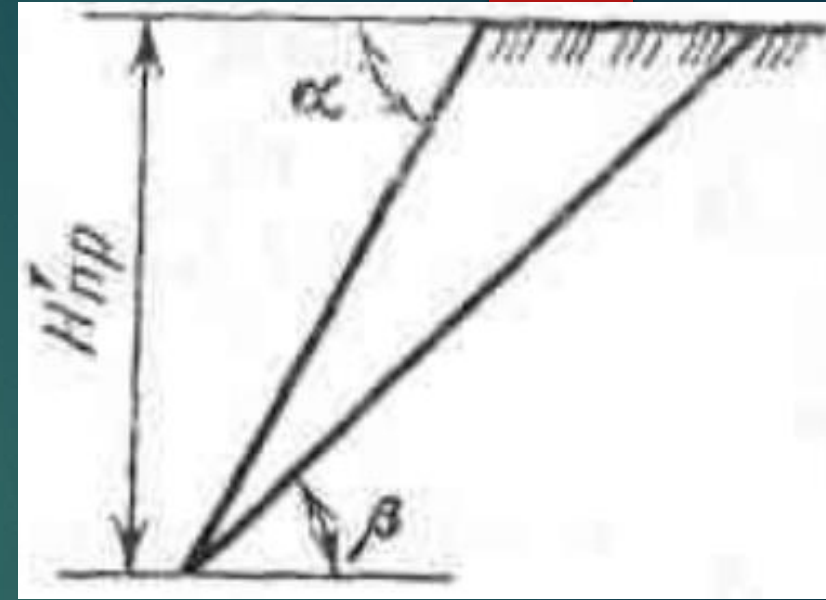
$$H_{90} = \frac{2c'}{g\gamma} [\operatorname{tg} \beta + \operatorname{ctg} (\beta - \varphi')]$$

При $\alpha \neq 90^\circ$

$$H_{\text{пр}} = \frac{2c'}{g\gamma} \left[\frac{1 + \text{ctg}\beta \text{ctg}(\beta - \varphi')}{\text{ctg}\beta - \text{ctg}\alpha} \right]$$

предельный угол откоса при заданной его
высоте

$$\alpha'_{\text{пр}} = \text{arcctg} \left\{ \text{ctg}\beta - \frac{2c'}{g\gamma H} [1 + \text{ctg}\beta \text{ctg}(\beta - \varphi')] \right\}$$



С учетом возможности образования трещины отрыва глубиной H_{90}

$$H'_{\text{пр}} = H_{90} \frac{1}{1 - \sqrt{\text{ctg}\alpha \cdot \text{tg}\beta}}$$

$$\alpha'_{\text{пр}} = \text{arcctg} \left[\text{ctg}\beta \left(1 - \frac{H_{90}}{H} \right)^2 \right]$$

где ρ — угол падения поверхности ослабления.

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТКОСОВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРОД СДВИГУ

Известно, что сопротивление однородной среды сдвигу обусловлено внутренним трением и сцеплением между частицами породы. Идеально сыпучая среда характеризуется полным отсутствием сцепления ($c=0$) и образует откос бесконечно большой высоты под углом естественного откоса.

Абсолютно сухая сыпучая среда имеет угол естественного откоса

$$\rho = \varphi$$

где φ – угол внутреннего трения. Это максимальный угол, под которым располагается идеально сыпучая среда.

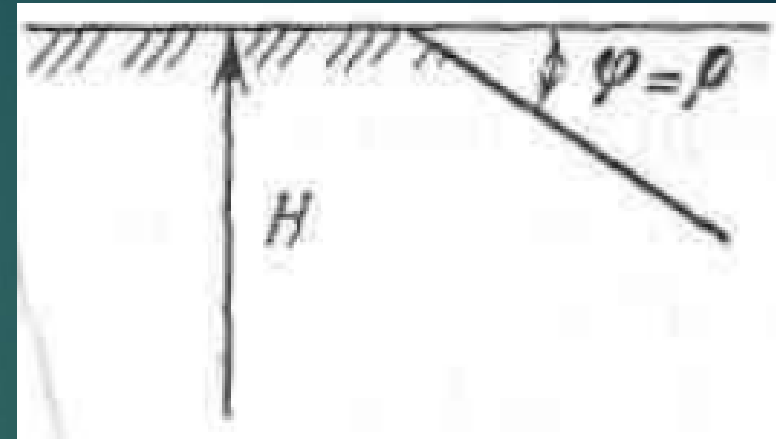
В идеально связной среде отсутствует внутреннее трение ($\varphi = 0$).

Вертикальный откос, образованный идеально связной средой,

имеет высоту

$$H_{90} = \frac{2c}{g\gamma}$$

где γ – плотность среды.



В предельной зоне, расположенной ниже оси x при $\beta = 90^\circ$ (контур откоса имеет в точке O вертикальную касательную) криволинейный контур откоса описывается уравнением

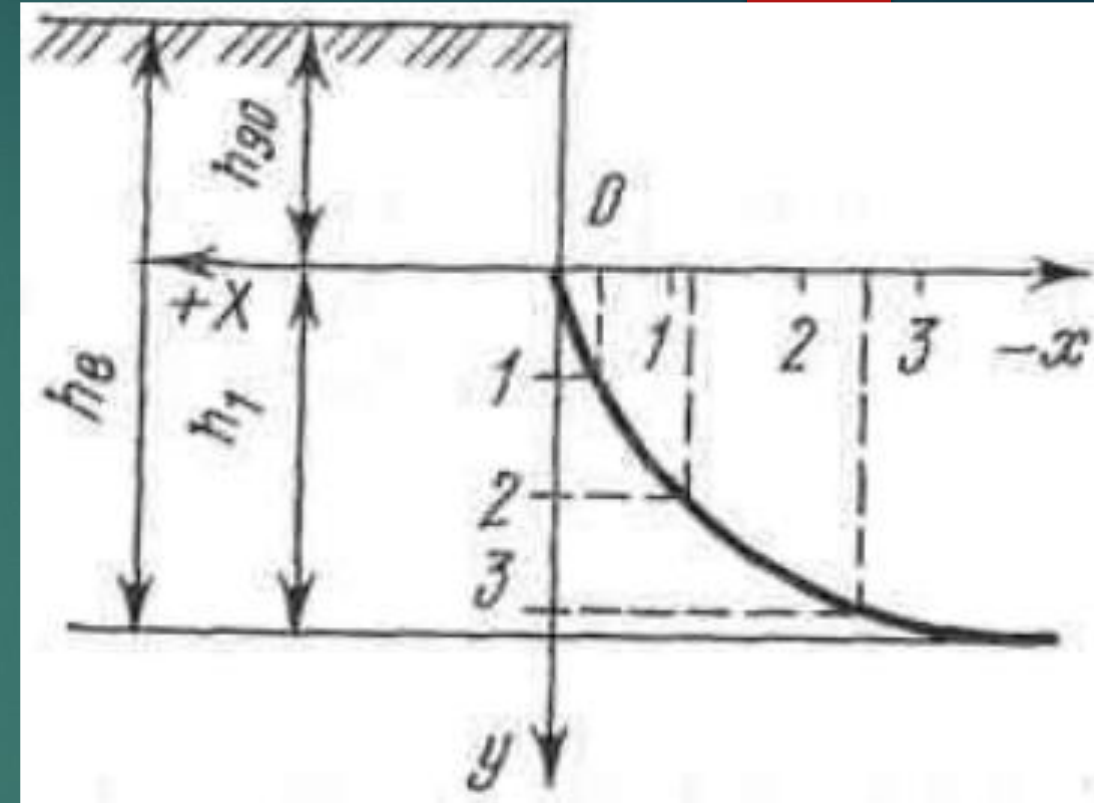
$$x = h_{90} \ln \cos \frac{y}{h_{90}}$$

и имеет горизонтальную асимптоту на глубине

$$h_1 = \frac{3,14 \cdot c}{g \cdot \gamma}$$

Деформация сдвига происходит в условиях плоского или объемного напряженного состояния среды. В результате давления, оказываемого упругим слоем породы мощностью h_{90} среда ниже этого слоя переходит в предельное состояние. Ось x делит массив на предельную и непредельную зоны. Непредельная зона расположена выше положительной полуоси x и имеет компоненты напряжений

$$\sigma_1 = 0; \quad \sigma_3 = 2c + g\gamma y; \quad \tau_{xy} = 0$$



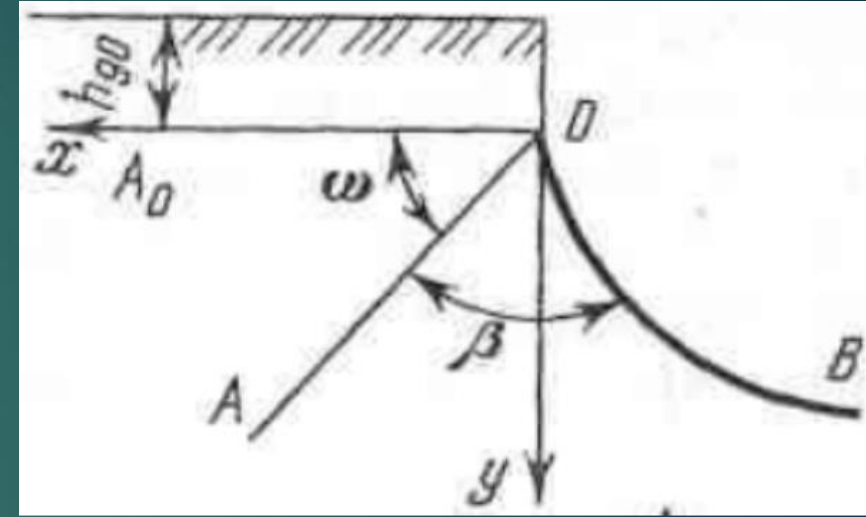
Предельная зона расположена ниже
положительном полуоси— область (A_0OA) и
имеет компоненты напряжений

$$\sigma_1 = g\gamma y; \quad \sigma_3 = 2c + g\gamma y; \quad \tau_{xy} = 0$$

На границе между этими зонами, включая точку
 O , все компоненты напряжений непрерывны.

Таким образом, равноустойчивый откос в
условиях идеально связной среды состоит из
вертикального участка высотой h_{90} и
криволинейного участка, максимальной высотой
 h_1 . Максимальная высота такого откоса
обусловлена исключительно наличием связей
между частицами среды. По отношению к
плоским откосам ее называют параметр
связности пород

$$h_c = h_B = \frac{5,14c}{g\gamma}$$



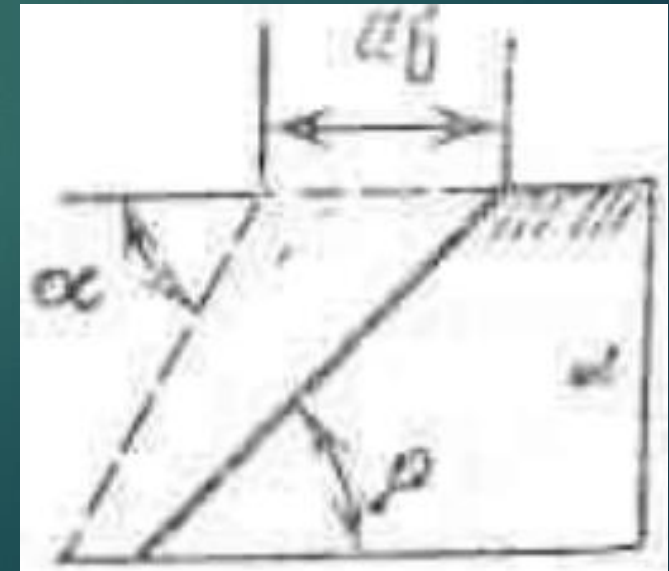
Определение ширины бермы безопасности

Критерием, по которому можно оценить ширину приоткосной полосы, за пределами которой обеспечивается безопасность нахождения людей и механизмов, является ожидаемый тип деформации откоса — осыпание, обрушение, оползание. В связи с тем, что обрушение — наиболее опасный тип деформирования откосов, первую оценку делают по данному критерию.

Потенциальная опасность обрушения существует для откосов, коэффициент запаса устойчивости которых менее нормативного. Для этих откосов ширина бермы безопасности является функцией ширины потенциальной призмы обрушения.

Если фактический коэффициент запаса устойчивости больше или равен нормативному (с учетом срока стояния откоса), то такие откосы не имеют потенциальной призмы обрушения и ширину a_6 должны определять по критерию осыпания пород.

Вторую оценку дают по критерию оползания откоса, также в зависимости от величины коэффициента запаса. Если откос не обрушится и не оползет, проверяют возможность осыпания пород по неравенству $\alpha \leq \rho$; где ρ — угол естественного откоса данной породы в раздробленном состоянии.

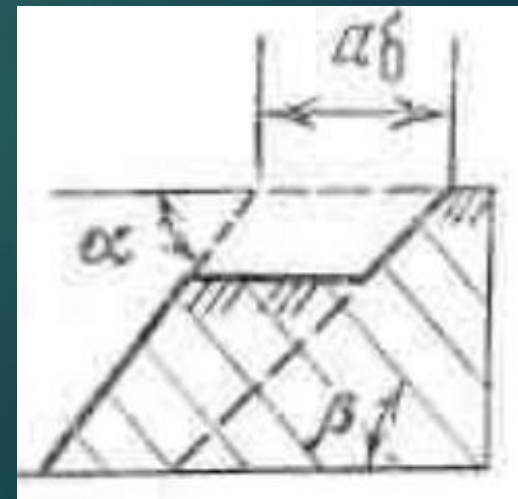
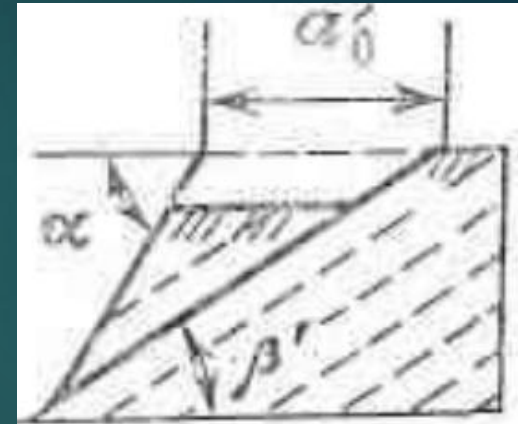


Таким образом, ширина бермы безопасности a_6 у устойчивых откосов зависит, от выветриваемости пород и возможности осыпобразования, а у потенциально неустойчивых откосов – от ширины призмы обрушения или оползания. Следует отметить, что при длительном стоянии откосов, сложенных рыхлыми породами глинистого состава, а также при наличии пологопадающих слабых контактов, должны учитываться реологические свойства пород. Это особенно важно в тех случаях, когда на бортах открытых выработок возводят здания и сооружения или же располагают отвалы.

Устойчивые откосы. Интенсивность осыпания пород зависит от их свойств и способов разработки. Откосы, сложенные породами, склонными к выветриванию, а также разрушенными взрывами, при длительном стоянии могут выположиться под углом ρ .

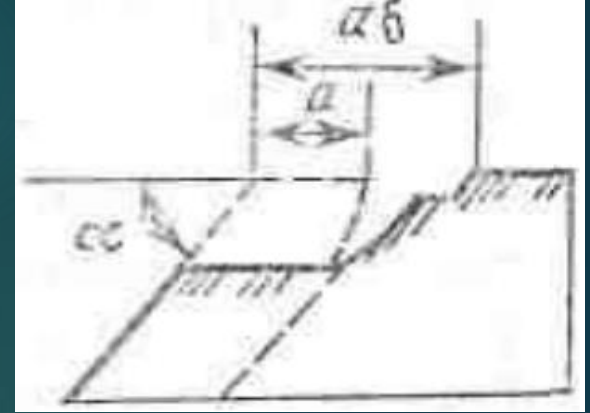
Потенциально неустойчивые откосы. Возможны следующие случаи:

1. $a_6 = a$. Откос сложен крепкими скальными и полускальными породами, включающими: одиночную поверхность ослабления, подрезаемую откосом. В данном варианте сдвиг происходит по фиксированной поверхности, за которой породы сохраняют длительную устойчивость.



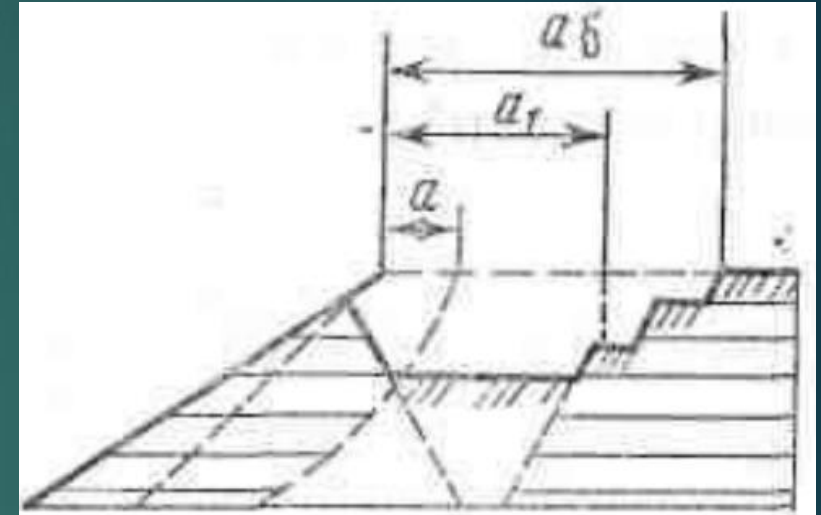
2. $a_6 > a$. Откос сложен рыхлыми, полускальными (средней крепости и слабыми) однородными и квазиоднородными породами: поверхность скольжения круглоцилиндрическая. В слабых породах после первичного сдвига по довольно крутой поверхности, происходят повторные обрушения. По результатам моделирования и натурных наблюдений установлено, что

$$a_6 \approx 1,5 a$$



3. $a_6 \gg a$ Откос сложен горизонтально (полого) залегающими слоями глинистых пород, либо в однородном массиве борта (в т. ч. ниже его подошвы) залегает активный контакт (прослой) с низким сопротивлением сдвигу. Ширина полосы первичного обрушения

$$a_6 \approx 1,5 H$$



При залегании слабого контакта (прослоя) на глубине m

$$a_6 \approx 1,5 (H + m)$$

Более надежный критерий оценки ширины бермы безопасности можно получить на действующем карьере путем паспортизации деформаций уступов и бортов и статистической обработки полученных данных.

