

# РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ И ПРЕДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ И УСТУПОВ В КАРЬЕРАХ

Лекция 9

Геомеханическими расчетами можно определить *степень устойчивости карьерных откосов или их предельные параметры*. В методах, основанных на теории предельного равновесия, используют законы статики.

Потенциальную призму обрушения рассматривают как геометрическое тело, к которому приложены сосредоточенные силы в виде векторов, а устойчивость откоса оценивают в результате решения силовой задачи.

## ПОЛОЖЕНИЕ В МАССИВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ

При применении традиционных методов расчета устойчивости откосов вначале необходимо установить положение в массиве поверхности, по которой откос разрушится в случае потери им устойчивости. Ее называют поверхностью скольжения, сдвига, разрушения, наиболее напряженной поверхностью.

Поверхности скольжения могут быть трех типов:

- Естественного происхождения — поверхности ослабления массива, обусловленные геологическим строением месторождения, структурой и степенью нарушенности горных пород.
- Гипотетические (расчетные), образующиеся в процессе разрушения массива. Форму поверхности скольжения принимают в зависимости от предполагаемого механизма разрушения массива.
- Комбинированные, образующиеся в результате частичного сдвига призмы обрушения по естественной и вновь образованной поверхностям.

Форма поверхности скольжения predeterminedena естественными условиями ее образования, а реализация сдвига по той или иной поверхности зависит от ее ориентации относительно поверхности откоса и элементов залегания. Положение в массиве поверхностей ослабления определяют по результатам геологоразведочных работ и инженерно-геологических изысканий.

Однако однозначно задача решается только при наличии одиночных поверхностей — тектонических нарушений, контактов между различными комплексами пород, протяженных трещин, разрывов.

В скальных и полускальных породах деформации как уступов, так и бортов происходят только при наличии согласнопадающих и кососекущих поверхностей ослабления массива — плоских, криволинейных, волнистых, призматических, ломаных (отдельных поверхностей и их сочетаний).

В связи со сложностью учета влияния систем трещин из форму поверхности скольжения рассматриваются следующие случаи:

- одна трещина или система параллельных трещин;
- две пересекающиеся трещины или две системы трещин;
- произвольно ориентированные системы трещин (квазиоднородный массив).

Гипотетические поверхности скольжения.

До разрушения массива процесс перехода среды в предельное состояние сопровождается формированием наиболее напряженной поверхности (зоны), которая в момент нарушения равновесного состояния реализуется в поверхность скольжения.

Скольжение в чистом виде происходит только по готовым поверхностям. В ненарушенных массивах образуется зона сдвига, в которой одновременно происходит взаимное проскальзывание и поворот блоков породы, образующихся в процессе их разрушения. Такая зона в крепких породах может образоваться только в тектонически нарушенных и интенсивно трещиноватых породах.

В крепких однородных породах вероятность обрушения бортов при современной их высоте (200-400 м) крайне мала. Сложно прогнозировать и форму потенциальной поверхности скольжения.

Условно ее принимают круглоцилиндрической исходя из дискретности среды и сходства ее свойств со связносипучей средой.

В однородных породах средней крепости даже строенные уступы (высота 30—36 м, углы откоса 60—75°) не обрушаются даже в тех случаях, когда удельное сцепление примерно равно высоте вертикального откоса. Если же деформации возможны, в расчетах принимают плоскую или круглоцилиндрическую форму поверхности скольжения. В бортах наиболее вероятна криволинейная форма поверхности скольжения.

В однородных рыхлых породах принимают криволинейную форму поверхности скольжения и в уступах, и в бортах.

*Круглоцилиндрическая поверхность скольжения.* В откосах плоского профиля обычно принимают круглоцилиндрическую поверхность скольжения. Положение ее в массиве можно определить по методу Г. Л. Фисенко или с помощью одного из приведенных вариантов.





Плоская поверхность скольжения.

Плоскую поверхность скольжения иногда применяют в однородных породах при расчете устойчивости уступов, сложенных рыхлыми породами.

Положение ее в массиве определяют в такой последовательности:

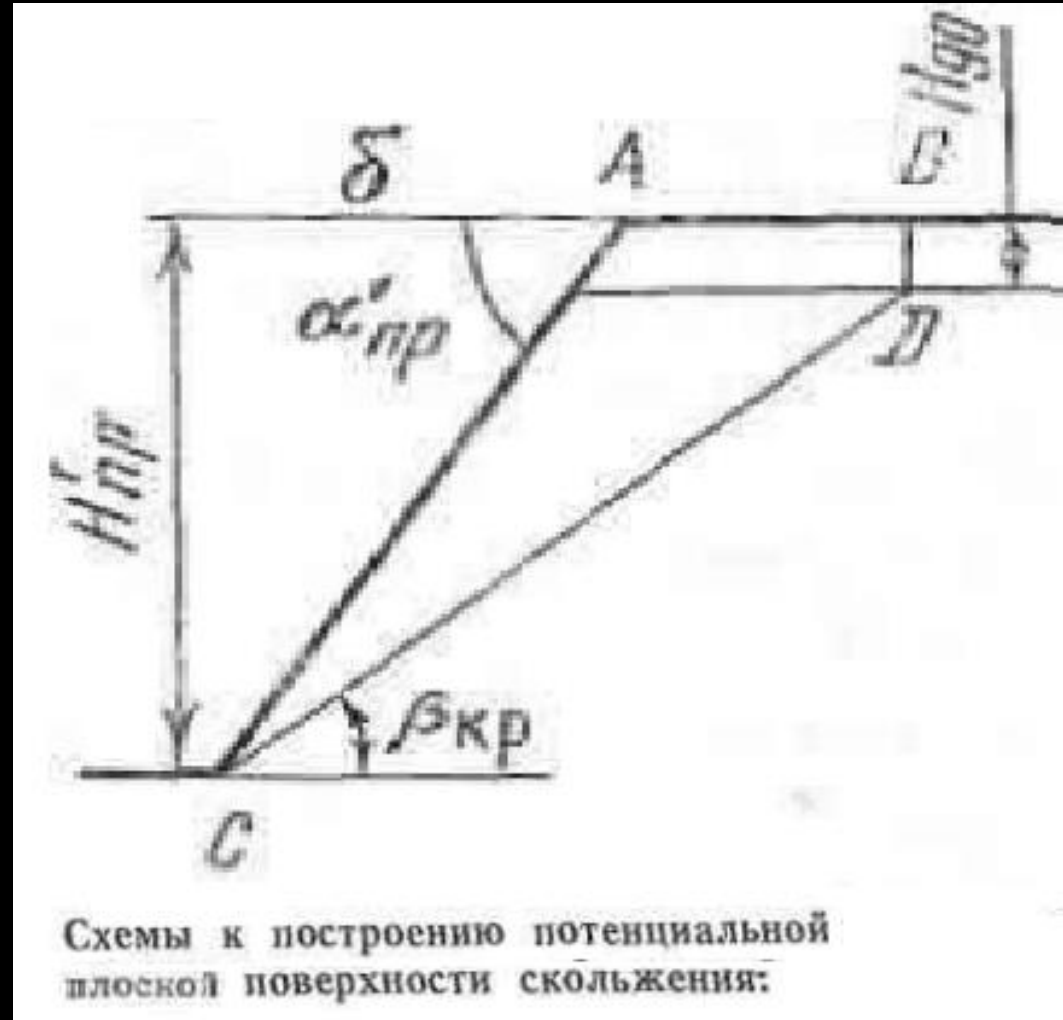
1. На глубине, равной  $H_{90}$ , проводим прямую параллельную верхней площадке откоса.

2. Под углом  $\beta_{кр} = \frac{\alpha + \varphi}{2}$

проводим прямую до пересечения с горизонтальной прямой в точке D (отрезок CD).

3. В точке D восстанавливаем перпендикуляр (отрезок BD).

Погрешность, допускаемая при замене криволинейной поверхности скольжения плоской, обуславливается углом откоса уступа. При крутых откосах она незначительна.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

### Построение круглоцилиндрической поверхности скольжения

**Цель работы:** ознакомиться с методикой построения круглоцилиндрической поверхности скольжения в массиве горных пород с заданными параметрами.

В инженерных расчетах круглоцилиндрическую поверхность скольжения принимают для откосов сложенных однородными породами. Расчет параметров поверхности скольжения осуществляют следующим образом.

В масштабе (например, 1:500, 1:1000, 1:2000) отстраивается поперечный разрез откоса.

Рассчитывается величина сцепления в массиве борта по формуле:

$$c_m = \frac{c}{1+a \cdot \ln\left(\frac{H}{l_{cp}}\right)}, \text{ МПа}$$

где  $a$  – коэффициент структурного ослабления (см. таблицу 1);

$l_{cp}$  – средний размер структурного блока м.

Таблица 1. - Значение коэффициента структурного ослабления.

Сцепление породы в образце, МПа	Коэффициент структурного ослабления
$c < 0,4$	0,5
$c = 0,4 \dots 2$	2,0
$c = 2 \dots 8$	2,5
$c = 8 \dots 15$	3,0
$c = 15 \dots 17$	4,0
$c = 17 \dots 20$	5,0
$c = 20 \dots 30$	6,0
$c > 30$	7,0

Определяются расчетные значения сцепления  $c_p$  и угла внутреннего трения  $\varphi_p$  с учетом коэффициента запасов прочности (устойчивости) равного (в расчетах можно взять  $n_p = 1,5$ ):

$$c_p = \frac{c_m}{n_p}, \text{ МПа}$$

$$\varphi_p = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg} \varphi}{n_p} \right), \text{ град}$$

Рассчитывается глубина потенциальной трещины отрыва по формуле:

$$H_{90} = \frac{2 \cdot c_p}{\gamma} \cdot \operatorname{ctg} \left( 45 - \frac{\varphi_p}{2} \right), \text{ м}$$

где  $\gamma$  – объемный вес породы, МН/м<sup>3</sup>.

Определяется значение вспомогательных углов:

$$\varepsilon = 45 - \frac{\varphi_p}{2}, \text{ град}$$

$$\beta = \frac{\alpha + \varphi_p}{2}, \text{ град.}$$

На основе полученных расчетом значений, на разрезе откоса нерабочего борта карьера отстраивается потенциальная поверхность скольжения.

### ***Пример построения.***

Построить потенциальную поверхность скольжения на профиле откоса борта карьера высотой 200 м и углом наклона к горизонту 60°, сложенного квазиоднородными породами со средним размером структурного блока 0,8 м. Прочностные характеристики образца породы из прибортового массива  $c=27$  МПа и  $\varphi=30^\circ$ , плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>.

Решение.

Рассчитываем величину сцепления в массиве и расчетная:

$$c_m = \frac{27}{1 + 6,7 \cdot \ln \left( \frac{200}{0,8} \right)} = 0,71 \text{ МПа}$$

$$c_p = \frac{0,71}{1,5} = 0,47 \text{ МПа}$$

Рассчитываем величину угла внутреннего трения:

$$\varphi_p = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{tg} 30^\circ}{1,5} \right) = 21 \text{ град.}$$

Рассчитываем глубину потенциальной трещины отрыва:

$$H_{90} = \frac{2 \cdot 0,47}{0,027} \cdot \operatorname{ctg} \left( 45 - \frac{21}{2} \right) = 50 \text{ м}$$

Определяется значение вспомогательных углов:

$$\varepsilon = 45 - \frac{21}{2} = 34,5 \text{ град}$$

$$\beta = \frac{60+21}{2} = 40,5 \text{ град.}$$

### Построение поверхности скольжения

От верхней бровки откоса из точки А в точку А' проводим вертикаль длиной  $H_{90}=50,0$  м. Из точки А' под углом  $\varepsilon=34,5^\circ$  к вертикали проводим прямую линию А'С. Из точки N нижней бровки откоса под углом  $\beta=40,5^\circ$  к горизонту проводим линию NC до пересечения ее в точке С с линией А'С.

Из точки С до верхней площадки проводим вертикальную линию СС'. Относительно линии СС' строим трапецию ВВ'СС', симметричную трапеции АА'СС'.

Через точку N нижней бровки под углом  $\varepsilon=34,5^\circ$  к линии откоса проводим линию ММ'. В точку N к линии ММ' и в точку С к линии СВ' восстанавливаем перпендикуляры до их пересечения в точке О, которая является центром круглоцилиндрической поверхности скольжения. С помощью циркуля дугой (радиусом  $R = OC = ON$ ) соединяем точки С и N.

Искомая поверхность скольжения соединяет точки В, В', С и N.

