

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

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 φ_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 γ – объемный вес породы, МН/м³.

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/м³.

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:

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

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:

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

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

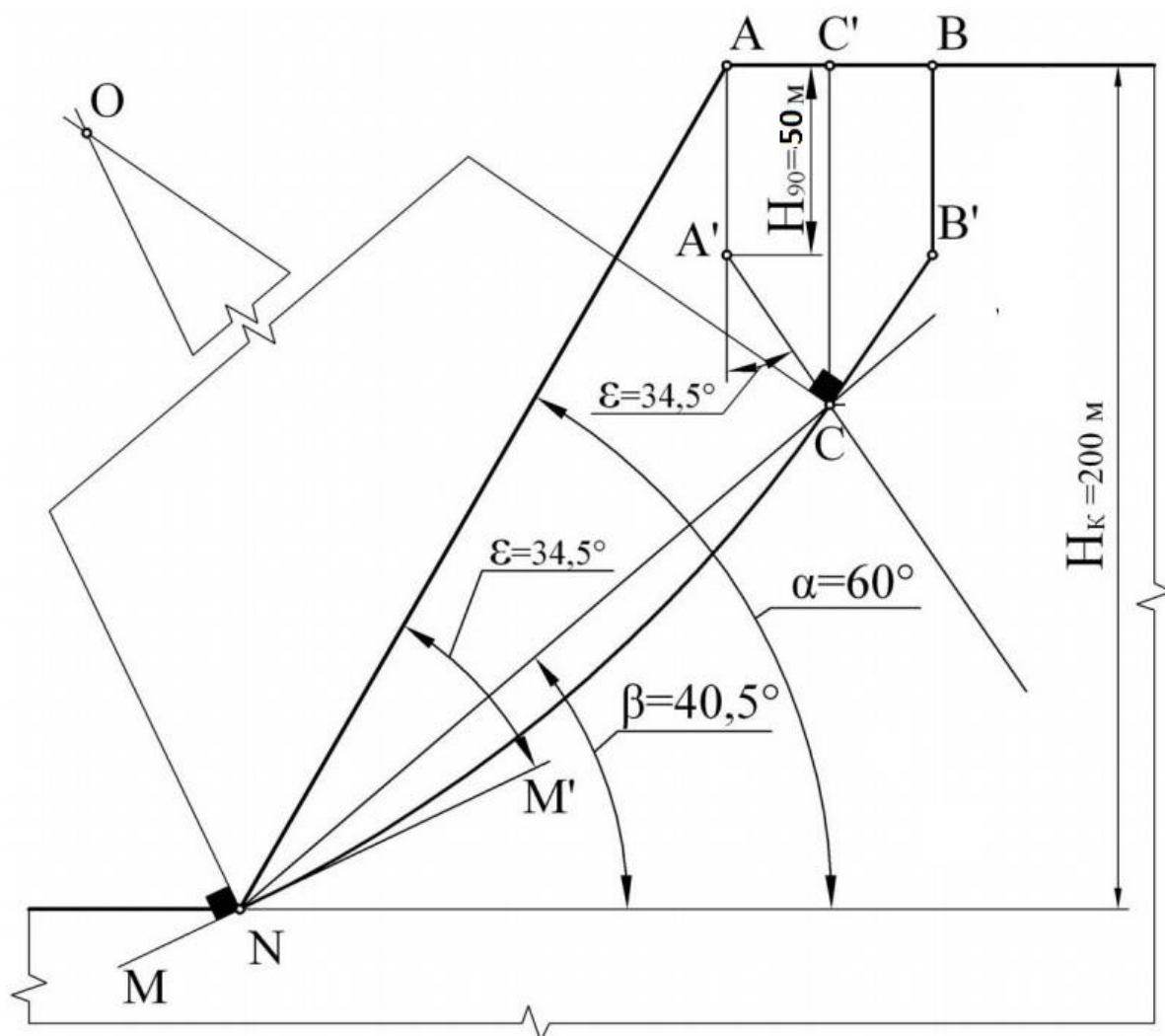
Построение поверхности скольжения

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.



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Определение коэффициента запаса устойчивости

Цель работы: рассчитать коэффициент запаса устойчивости откоса по критерию прочности Кулона-Мора.

Ход работы.

По данным вариантов заданий лабораторной работы №10 построить в масштабе круглоцилиндрическую поверхность скольжения.

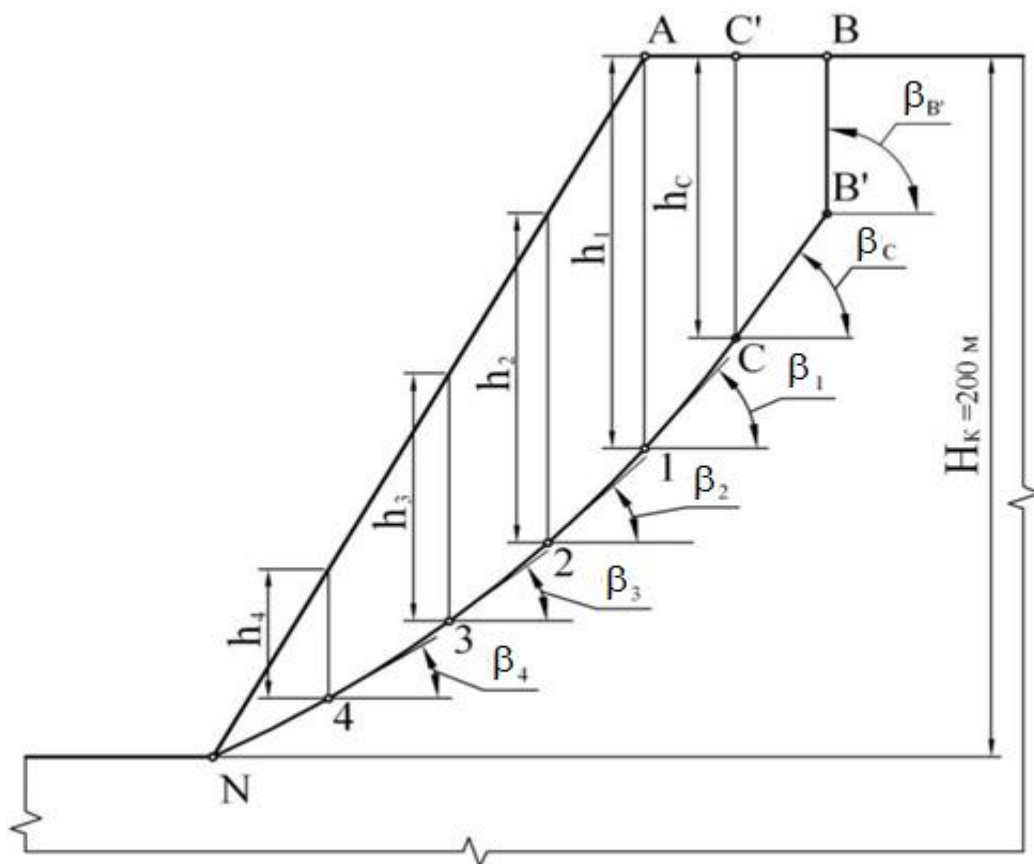
На поверхности скольжения отметьте несколько точек. В этих точках определите касательные и нормальные напряжения по формулам:

$$\sigma_{ni} = h_i \cdot \gamma \cdot \cos^2 \alpha_i$$

$$\tau_{ci} = 0.5 \cdot h_i \cdot \gamma \cdot \sin^2 \beta_i$$

где h_{ni} - расстояние по вертикали от поверхности уступа до i -ой точки на поверхности скольжения, м;

β_i - угол наклона к горизонту касательной к поверхности скольжения в i -ой точке, град.



В отмеченных точках определяют сопротивление пород сдвигу

$$\tau'_{yi} = c + \sigma_{ni} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Рассчитывают сопротивление пород сдвигу в отмеченных точках с учетом масштабного фактора по формуле:

$$\tau_{yi} = \frac{\tau'_{yi}}{1 + a \cdot \ln\left(\frac{H}{l_{cp}}\right)}$$

a – коэффициент структурного ослабления;

l_{cp} – средний размер структурного блока, м

H – высота откоса, м.

Поверхность скольжения с расчетными точками разворачивается на горизонтальную линию, из каждой отмеченной точки по оси ординат откладываются отрезки, соответствующие касательным сдвигающим напряжениям τ_{ci} и удерживающим напряжениям τ_{yi} , концы которых соединяются плавной линией.

Рассчитываются площади, ограниченные осью абсцисс и кривыми τ_c и τ_y . Площадь эпюры характеризует сумму сдвигающих, а эпюры – сумму удерживающих сил, действующих по поверхности скольжения.

Определяется значение коэффициента запаса устойчивости отношением площадей этих эпюр:

$$n = \frac{S_{\tau_y}}{S_{\tau_c}}$$

где S_{τ_y} - площадь эпюры удерживающих сил;

S_{τ_c} - площадь эпюры сдвигающих сил.

Если $n < 1$, то прочность пород не обеспечивает устойчивость откоса с заданными параметрами, если $n > 1$, то свойства пород обеспечивают необходимый запас устойчивости.

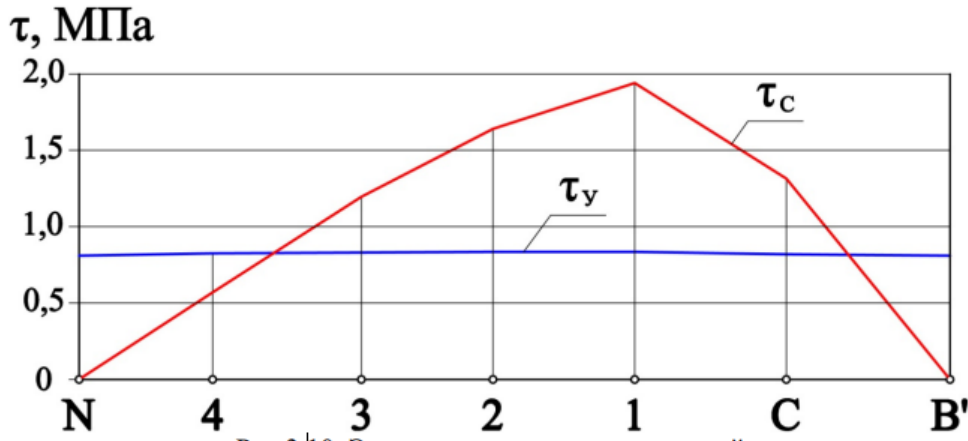
Пример.

1. Отмечаем на поверхности точки В',С,1,2,3,4,N (см. рисунок)
2. Устанавливаем для отмеченных точек расстояния от поверхности откосов h_i и значение углов наклона касательных к поверхности скольжения.
3. Результаты расчетов сводим в таблицу.

Точка	h_i , м	β_i , град	σ_{ni} , МПа	τ'_{yi} , МПа	τ_{yi} , МПа	τ_{ci} , МПа
В'	45	90	0	34,6	0,81	0
С	80,4	55,5	0,9	35,2	0,82	1,31
1	112	49,1	1,7	35,6	0,83	1,94

2	94	43,1	1,8	35,7	0,83	1,64
3	70,7	37,5	1,6	35,5	0,83	1,2
4	36,8	31,2	0,9	35,2	0,82	0,57
N	0	25,5	0	34,6	0,81	0

Строим графики.



С помощью графиков, по площади эпюр кривыми τ_c и τ_y определяются значения сдвигающих и удерживающих сил $S_{\tau_c} = 105$ МН, $S_{\tau_y} = 42,9$ МН.

Коэффициент запаса устойчивости:

$$n = \frac{42,9}{105} = 0,41 < 1$$

Таким образом, при заданных параметрах борта карьера свойства пород не обеспечивают его длительную устойчивость.

Варианты на лабораторные работы по построению круглоцилиндрической поверхности скольжения и коэффициента запаса устойчивости

Построить на профиле борта карьера круглоцилиндрическую поверхность скольжения и рассчитать коэффициент запаса устойчивости. Образец породы составляющей борт карьера имеет следующие механические параметры:

- сцепление в образце $c=12$ МПа;
- угол внутреннего трения в образце $\varphi=38^\circ$.

Номер варианта	Объемный вес породы, МН	Средний размер структурного блока, м	Высота откоса, м	Угол откоса, град.
1	0,025	0,3	200	60
2	0,03	0,4	250	65
3	0,031	0,5	300	50
4	0,024	1,1	270	50
5	0,028	1,2	280	55

6	0,027	1,4	180	58
7	0,032	1,0	250	60
8	0,029	0,4	310	65
9	0,03	0,3	210	55
10	0,033	1,1	200	60
11	0,025	0,5	240	65
12	0,03	0,6	270	50
13	0,031	1,1	280	50
14	0,024	1,2	180	65
15	0,028	1,4	250	60
16	0,027	1,0	310	60
17	0,032	0,4	200	65
18	0,029	0,3	250	55
19	0,03	1,1	300	52
20	0,033	0,5	270	60