

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЮЖНОГО БОРТА КАРЬЕРА «ЗАПАДНЫЙ»**Чумляков В.А.****Научный руководитель – профессор Юнаков Ю.Л.****Сибирский федеральный университет**

Параметры южного борта карьера «Западный» рекомендованы без должного обоснования и берутся в зависимости от угла падения тел, хотя, как показал анализ современного состояния его, напрямую зависит от прочностных свойств массива горных пород и его структурно-тектонических особенностей. Исходя из этого, нами выполнен расчет для южного борта карьера в лежачем боку залежи. Для этого используем (слоистая толща) схему расчета высоты уступа, или небольшого по высоте участка борта при падении поверхности ослабления согласно с откосом под углом более угла трения ($\beta > \varphi'$) и угле откоса уступа больше угла падения поверхности ослабления ($\alpha > \beta$).

Расчет производился по формуле:

$$H = \frac{c' \cdot \cos \varphi'}{\gamma \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \varphi')(1 - \sqrt{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta})},$$

где c', φ' - сцепление и угол внутреннего трения по поверхности ослабления;
 α, β - угол откоса уступа (борта) и угол наклона поверхности ослабления соответственно.

В качестве поверхности ослабления могут быть контакт слоев и тектонические нарушения, залегающие под углами наклона, близкими к углам наклона контакта слоев. Физико-механические характеристики – сцепление c' и угол внутреннего трения φ' по контактам слоев принимаем наихудшие для рассматриваемых условий: угол внутреннего трения φ' для ровных гладких поверхностей - 15° (глинистые сланцы, аргиллит); сцепление c' для тектонических нарушений (5 - 10) т/м²; принимаем $c' = 5$ т/м²; плотность $\gamma = 2,7$ т/м³.

Введем коэффициент запаса устойчивости для нерабочего борта $n = 1,5$. (коэффициент запаса устойчивости принимается в зависимости от степени надежности исходных данных; мы используем метод аналогий)

$$\operatorname{tg} \varphi'_n = \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{n}, \quad \text{отсюда} \quad \varphi'_n = 10,1^\circ; \quad c'_n = \frac{c'}{n} = 3,3 \text{ т/м}^2.$$

Угол откоса нерабочего борта принят по проекту $\alpha = 35^\circ$, угол наклона тектонических нарушений (слоистости) $\beta = 27^\circ$.

Рассчитаем предельную высоту устойчивого откоса борта карьера:

$$H = \frac{3,3 \cdot \cos 10,1^\circ}{2,7 \cdot \cos 27^\circ \cdot \sin(27^\circ - 10,1^\circ)(1 - \sqrt{\operatorname{ctg} 35^\circ \cdot \operatorname{tg} 27^\circ})} = 31,6 \text{ м}$$

Таким образом при проектном угле наклона южного борта карьера $\alpha = 35^\circ$ высота устойчивого откоса с учетом тектонических нарушений и слоистости не должна превышать 31,6м, однако по проекту глубина карьера составляет 70м.

Угол откоса южного (участок II) борта карьера на момент его обрушения составлял $\alpha = 29^\circ$, слои горных пород залегают под углом $\beta = 25^\circ$. Таким образом можно считать, что борт карьера параллелен слоистости. В этом случае для оценки устойчивости откоса применяется схема расчета предельной высоты уступа или участка борта

при заоткоске его по наслению ($\alpha = \beta$), когда угол внутреннего трения по наслению $\varphi' < \beta$ (рис. 1).

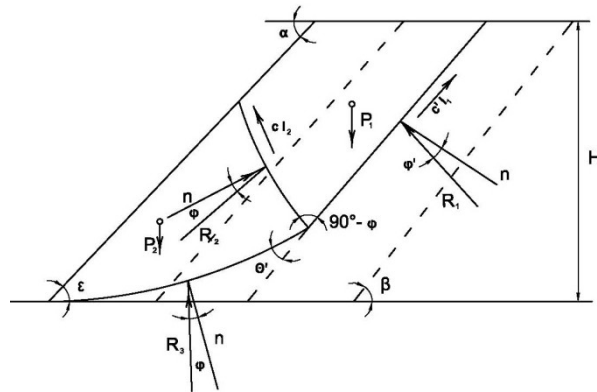


Рис. 1. Схема к расчету предельной высоты уступа

Допустимую высоту откоса участка борта в районе обрушения выполним методом многоугольника сил. При этом выскажем предположение, что рабочий борт карьера находится в более выгодном положении в отношении устойчивости, чем проектный борт под углом откоса $\alpha = 35^\circ$.

Выполним расчет устойчивости групп уступов высотой 30м при угле откоса $\alpha = 29^\circ$, при ширине призмы обрушения 20 метров.

Физико-механические характеристики по поверхности ослабления (слоистости): $\varphi' = 15^\circ$; $c' = 3 \text{ т/м}^2$; в массиве $C = 83,1 \text{ т/м}^2$; $\varphi = 35^\circ$

Коэффициент запаса устойчивости рабочего борта примем $n = 1,5$.

Тогда расчетные значения сцепления и угла внутреннего трения пород составят:

- по слоистости:

$$c'_n = \frac{c'}{n} = \frac{3,0}{1,5} = 2 \text{ т/м}^2; \quad \varphi'_n = \arctg\left(\frac{\text{tg}\varphi'}{n}\right) = \arctg\left(\frac{\text{tg}15^\circ}{1,5}\right) = 10,1^\circ;$$

- в массиве:

$$c_n = \frac{c}{n} = \frac{83,1}{1,5} = 55,4 \text{ т/м}^2; \quad \varphi_n = \arctg\left(\frac{\text{tg}\varphi}{n}\right) = \arctg\left(\frac{\text{tg}35^\circ}{1,5}\right) = 25,0^\circ$$

Результаты расчета по вышеприведенным данным представлены на рис. 2.

Далее были выполнены расчеты высоты устойчивого откоса уже при заоткоске по наслению при различном расположении поверхности скольжения первого и второго семейства.

Из расчетов (рассмотрено три варианта) следует, что откос при $H = 30\text{м}$ и $\alpha = 29^\circ$ будет находиться в устойчивом состоянии. Однако он обрушился, что указывает на иной механизм деформирования. Анализ пространственной ориентировки тектонической нарушенности, характер и параметры инструментально зафиксированного обрушения дают основание использовать схему расчета, по которой в откосе 3 системы трещин (нарушенности) (рис. 3).

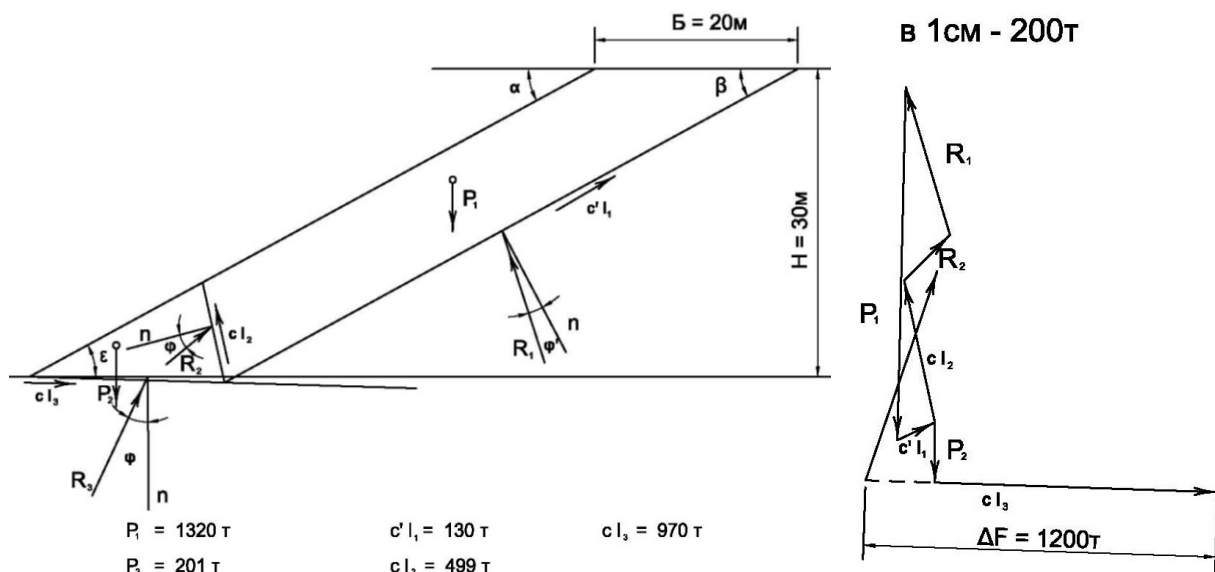
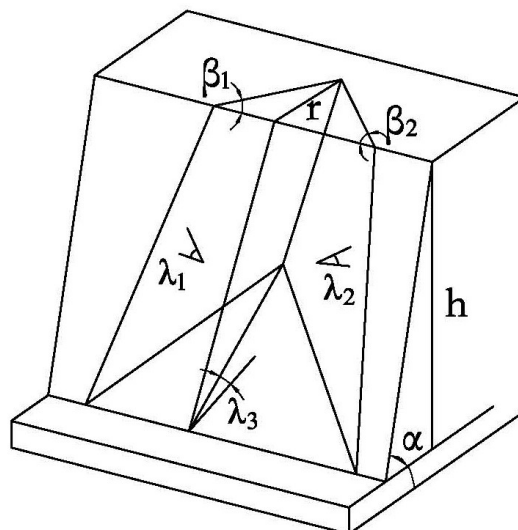


Рис. 2. Оценка устойчивости группы уступов методом многоугольника сил при $B = 20\text{м}$



Расчетные данные:

$$\alpha = 29^\circ \quad \beta_1 = 80^\circ \quad \beta_2 = 53^\circ \quad \lambda_1 = 88^\circ \quad \lambda_2 = 85^\circ \quad \lambda_3 = 25^\circ$$

Расчетные характеристики: $\varphi'_1 = \varphi'_2 = 13,6^\circ$; $\varphi'_3 = 10,1^\circ$; $c'_1 = c'_2 = 3,3 \text{ т/м}^2$; $c'_3 = 2 \text{ т/м}^2$

Рис. 3. Схема к расчету предельной высоты откоса при наличии трех систем трещин, одной пологопадающей и двух крутопадающих (первоначальная стадия обрушения)

Определим высоту устойчивого откоса при механизме деформирования приведенной схемы.

Для расчета примем следующие прочностные характеристики: углы внутреннего трения $\varphi'_1 = \varphi'_2 = 20^\circ$; $\varphi'_3 = 15^\circ$; сцепление $c'_1 = c'_2 = 5 \text{ т/м}^2$; $c'_3 = 3 \text{ т/м}^2$.

Коэффициент запаса устойчивости $n = 1,5$ (коэффициент запаса устойчивости рабочего борта при использовании физико-механических характеристик методом аналогий принимается $> 1,4$)

Расчет высоты устойчивого откоса

$$\operatorname{ctg}\psi' = \frac{\sin\beta_1 \cdot \operatorname{ctg}\lambda_2 + \sin\beta_2 \cdot \operatorname{ctg}\lambda_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} = \frac{\sin 80^\circ \cdot \operatorname{ctg} 85^\circ + \sin 53^\circ \cdot \operatorname{ctg} 88^\circ}{\sin(80^\circ + 53^\circ)} = 0,1559416$$

$$\psi' = 81,1^\circ$$

$$f = \frac{c'_1 \cdot \cos\varphi'_1 \cdot \sin\beta_2}{\sin\lambda_1 \cdot \sin(\psi' - \varphi'_1)} + \frac{c'_2 \cdot \cos\varphi'_2 \cdot \sin\beta_1}{\sin\lambda_2 \cdot \sin(\psi' - \varphi'_2)} =$$

$$= \frac{3,3 \cdot \cos 13,6^\circ \cdot \sin 53^\circ}{\sin 88^\circ \cdot \sin(81,1^\circ - 13,6^\circ)} + \frac{3,3 \cdot \cos 13,6^\circ \cdot \sin 80^\circ}{\sin 85^\circ \cdot \sin(81,1^\circ - 13,6^\circ)} = 2,77 + 3,15 = 5,92$$

$$M = \frac{c'_3 \cdot \cos\varphi'_3 \cdot \sin\alpha}{\gamma \cdot \sin(\lambda_3 - \lambda'_3) \cdot \sin(\lambda - \lambda_3)} = \frac{2 \cdot \cos 10,1^\circ \cdot \sin 29^\circ}{2,7 \cdot \sin(25^\circ - 10,1^\circ) \cdot \sin(29^\circ - 25^\circ)} = 19,7$$

$$K = \frac{f \cdot \sin\psi'}{\cos(\psi' - \lambda_3) \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2)} = \frac{5,92 \cdot \sin 81,1^\circ}{\cos(81,1^\circ - 25^\circ) \cdot \sin(133^\circ)} = 14,3$$

$$N = \frac{\sin\psi' \cdot \sin(\alpha - \lambda_3)}{\sin\alpha \cdot \sin(\psi' - \lambda_3)} \cdot \left(1 - K \frac{\sin\lambda_3}{c'_3}\right)^2 = \frac{\sin 81,1^\circ \cdot \sin(29^\circ - 25^\circ)}{\sin 29^\circ \cdot \sin(81,1^\circ - 25^\circ)} \cdot \left(1 - 14,3 \frac{\sin 25^\circ}{2}\right)^2 = 0,70$$

$$h = M(1 + \sqrt{1 - N}) = 19,7(1 + \sqrt{1 - 0,7}) = 30,4 \text{ м}$$

Полученная предельная высота откоса $H = 30,4 \text{ м}$ при $\alpha = 29^\circ$ соответствует сложившейся горно-геологической ситуации при обрушении южного борта карьера «Западный» в районе между разведочными линиями ГР 69 и ГР 69.5.

Для ликвидации и предупреждения деформации южного борта до отметки 935 м необходимо разгрузить рабочий борт от оползших масс горных пород с использованием бульдозеров и уменьшить результирующий угол наклона борта до $17^\circ - 20^\circ$. При этом до горизонта +955 м необходимо убрать рыхлые отложения с формированием уступа высотой 26 м, углом $\alpha = 16^\circ - 20^\circ$ и бермы - шириной 10 м. От горизонта 940 м до горизонта 955 м с использованием БВР для рыхления скальных пород и заоткоски по падению залегания пород под углом $21^\circ - 24^\circ$ формируется следующий уступ высотой 15 м. Выемку горных пород рекомендуется осуществлять бульдозерами. Результирующий угол откоса борта составит $17 - 20^\circ$. На горизонте 940 м оставляется берма шириной 10 м, далее уступы формируют в соответствии с действующим проектом.