

Оценка устойчивости приконтурного массива борта разреза «Ангренский» Баймирзаев Б. Ж.¹, Баратов Б. Н.²

¹Баймирзаев Бахтиёр Жуманазарович / *Baymirzaev Bakhtiyor Jumanazarovich* – начальник,
учебно-методическое управление;

²Баратов Бахтиёр Нусратович / *Baratov Bakhtiyor Nusratovich* – старший преподаватель,
кафедра горной электромеханики,

Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Аннотация: в статье приводится анализ выхода оползней на разрезе «Ангренский», которые опасны для использования транспортных средств на уступах разреза, описывается метод определения выявлений оползня по участкам.

Ключевые слова: оползнь, деформация, сход, борт, уступ.

На разрезе «Ангренский» в настоящее время произошёл сход нескольких оползней. Однако развитие деформаций в районах схода оползней продолжается, несмотря на образовавшиеся пригрузки в виде тела оползня. Таки же процессы возникают и при образовании новых оползней. То есть образуется оползень, происходит его развитие, трещины отрыва раскрываются и при этом параллельно образуется еще более мощный оползень.

Для безопасного ведения горных работ потребовалось изучение этих процессов в сочетании с конфигураций бортов разреза.

Физико-механические свойства пород и физические параметры для исследования получены на основе анализа материалов старых отчетов и публикаций, так как, к сожалению, в более ранний период никаких исследований в этой области на разрезе не проводилось [1, 2].

Таблица 1. Стрoение борта по линиям разреза

Порода	Тип	Мощность, м
Глина серая	3	12
Галечник/лес	1	32
Известняк	4	10
Глина серая	3	28
Известняк	4	15
Каолин	5	43
Каолин/Уголь	7	41
Итог		181

Расчет устойчивости проводился по методике, предложенной ВНИМИ, - «Откос на слабом основании», по которой производится расчет с автоматизацией вычислений по программе slabmp.

Приведение слоистого массива к однородному массиву осуществляется по известной методике ВНИМИ, реализованной в программе Ustoi [2]:

Приведение плотности получают путем усреднения по формуле:

$$P_{\bar{n}\delta} = \frac{P_1 m_1 + P_2 m_2 + \dots + P_n m_n}{m_1 + m_2 + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (1)$$

Приведение сцепления выполняют в два этапа.

$$K_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i l_i}{\sum l_i}, \quad K_i = \frac{K_{oi}}{1 + a(K_{oi}) \ln(h_i w_i)} \quad (2)$$

где K_i – сцепление для i -го слоя, определяемое по значению K_{oi} «в куске».

Приведение угла внутреннего трения определяется выражением (градусы):

$$\rho_{cp} = \arctg \left(\frac{\sum_{i=1}^n \text{tg} \rho_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad (3)$$

Итоговые – расчетные значения характеристик:

$$K = \frac{K_{cp}}{K_b}; \quad \rho_p = \arctg\left(\frac{tg\rho_{cp}}{K_b}\right) \quad (4)$$

Результаты приведения к массиву механических свойств пород слагающих борта и основания показаны в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Свойства пород борта

Свойство	Нерабочий борт		Рабочий борт	
	Сухо	Влажно	Сухо	Влажно
P , кг/м ³	2485,9	2485,9	2485,9	2485,9
K , МПа	0,219	0,186	0,23	0,195
ρ_p , °	31,61	27,55	32,81	28,65

Таблица 3. Свойства пород основания

Свойств о	Нерабочий борт		Рабочий борт	
	Сухо	Влажно	Сухо	Влажно
P , кг/м ³	2600	2600	2600	2600
K , МПа	0,137	0,116	0,144	0,122
ρ_p , °	24,48	21,1	24,5	22

Далее приведены основные алгоритмы, реализованные в программе slabmp для исследования борта на слабом основании.

Базовая расчетная схема и ее параметры представлены на рисунке 1.

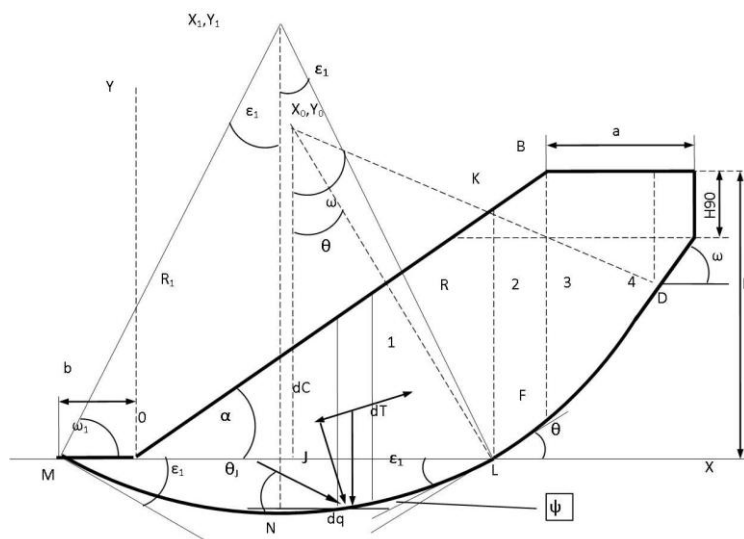


Рис. 1. Призма сдвижения откоса на слабом основании

Наклоны плоскости скольжения в конечных точках дуги, ее верха и основания, радиус дуги и ее координаты:

$$\begin{aligned}
\varepsilon &= 45^\circ - \frac{\rho}{2}, & \omega &= 45^\circ + \frac{\rho}{2} \\
x_B &= \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha} & H_{90} &= 2 \frac{K}{\gamma} \operatorname{tg} \omega & x_D &= x_B + \frac{a}{2} \\
y_D &= H - H_{90} - \frac{a}{2} \operatorname{tg} \omega & R &= \frac{y_D}{\cos \theta - \cos \omega} \\
x_L &= x_D - R(\sin \omega - \sin \theta) & \theta &= \omega - \rho_1 & \varepsilon_1 &= \theta_1 \\
x_0 &= x_L - R \sin \theta & y_0 &= R \cos \theta \\
x_1 &= \frac{x_L - b}{2} & R_1 &= \frac{x_L - x_1}{\sin \varepsilon_1} & y_1 &= R_1 \cos \varepsilon_1
\end{aligned} \tag{5}$$

Схема имеет два независимых параметра а и b, подбором которых находится минимум коэффициента запаса устойчивости n.

Нагрузки на элемент дуги плоскости скольжения

$$\begin{aligned}
dq &= \gamma \cdot \Delta y \cdot dx, \\
dC &= dq \sin \beta, \\
dT &= dq \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \rho.
\end{aligned} \tag{6}$$

Интегральные суммы удерживающих и сдвигающих сил по методу алгебраического сложения:

$$\begin{aligned}
Fy_1 &= Fy + Fy_D, & q &= \gamma \cdot \Delta y, & l_\omega &= \frac{a}{2 \cos \omega} \\
Fy &= k_1 L_1 + k_0 (L_0 + l_\omega) + \operatorname{tg} \rho_1 \int_{L_1} q \cos \beta dx + \operatorname{tg} \rho_0 (Q_4 \cos \omega + \int_{L_0} q \cos \beta dx) \\
Fy_D &= T_1 + \operatorname{tg} \rho_1 \cdot N_1 + T_0 + l_\omega \cdot \cos(\omega + \theta_j) + \operatorname{tg} \rho_0 (l_\omega \cdot \sin(\omega + \theta_j) + N_0) \\
Fc &= \int_{L_1} q \sin \beta dx + Q_4 \sin \omega + \int_{L_0} q \sin \beta dx.
\end{aligned} \tag{7}$$

Для верхней и нижней дуг плоскости скольжения, уравнение дуги и угла наклона имеют вид:

$$\begin{aligned}
y &= y_0 - R \cos \beta & \sin \beta &= \frac{x - x_0}{R} \\
y &= y_1 - R_1 \cos \beta_1 & \sin \beta_1 &= \frac{x - x_1}{R_1}
\end{aligned} \tag{8}$$

Нормальные и касательные силы по двум дугам плоскости скольжения выражаются:

на нижней дуге: $dl = R_1 d\beta$, $(-\varepsilon_1 \leq \beta \leq \varepsilon_1)$.

$$\begin{aligned}
N_1 &= R_1 J \int_{L_1} \sin(\beta + \theta_j) d\beta, \\
T_1 &= R_1 J \int_{L_1} \cos(\beta + \theta_j) d\beta,
\end{aligned} \tag{9}$$

на верхней дуге: $dl = R_0 d\beta$, $(\theta \leq \beta \leq \omega)$.

$$\begin{aligned}
N_0 &= R_0 J \int_{L_0} \sin(\beta + \theta_j) d\beta, \\
T_0 &= R_0 J \int_{L_0} \cos(\beta + \theta_j) d\beta
\end{aligned} \tag{10}$$

Величина тектонического напряжения

$$\sigma_x = \sigma_T + \gamma \cdot H \cdot \chi, \quad \text{либо}$$

$$\sigma_T + \gamma \cdot 50 \cdot \chi = 2.5\gamma \cdot 50.$$

$$\gamma = P \cdot g = 2485.9 \cdot 9.81 = 24387 \text{ Н/м}^3,$$

$$\chi = \frac{\nu}{1-\nu} = \frac{0.27}{0.73} = 0.315. \quad \text{тогда:}$$

$$\sigma_T = 24387(125 - 15.75) = 2.664 \cdot 10^6 \text{ Па} = 2.66 \text{ МПа}. \quad (11)$$

С применением программного комплекса Solidworks исследовалось распределение тектонического напряжения за плоскостью скольжения призмы сдвижения борта, рисунок 2.

При этом установлено, что за плоскостью скольжения призмы сдвижения форма эпюры тектонических напряжений может быть принята линейной, с максимальной погрешностью 9%.

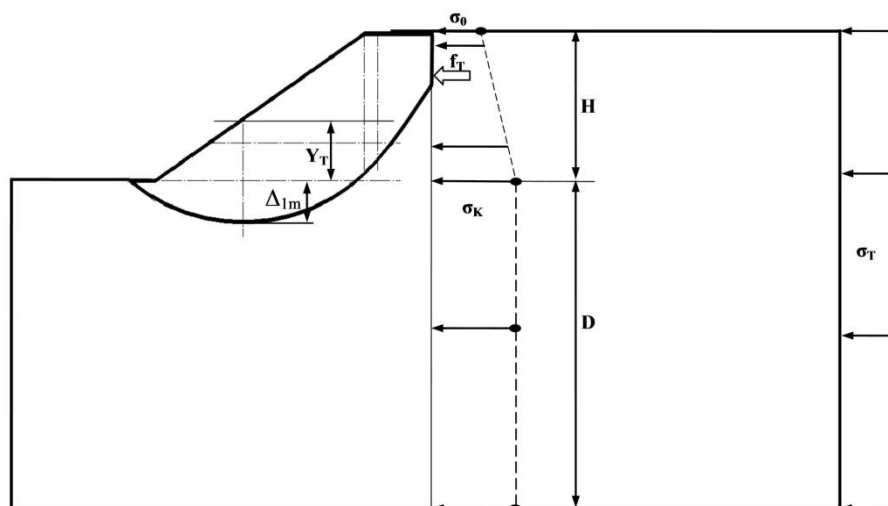


Рис. 2. Распределение тектонических напряжений за плоскостью скольжения призмы сдвижения

Результирующая тектонической силы и ордината точки ее приложения определяются выражениями:

$$f_T = (\sigma_K + \sigma_0)H / 2$$

$$Y_T = \frac{H}{3} \left(1 + \frac{\sigma_0}{\sigma_K + \sigma_0}\right) \quad (12)$$

Приведение f_T к плоскости скольжения (по формуле для F_yD , см. выше) создает дополнительный момент вращения относительно нижней точки дуги плоскости скольжения: $f_T (\Delta + Y_T)$, который «вращает» призму по плоскости скольжения в направлении удержания. Величину этой силы можно оценить выражением:

$$f_{Ty} = \frac{Y_T + \Delta_{lm}}{R_1} f_T \quad (13)$$

Результаты исследования устойчивости борта по фактическому положению приведены в таблицах 4, 5.

Таблица 4. Устойчивость нерабочего борта

Параметры	n_0	$a,$ м	$b,$ м	$\sigma_0,$ МПа	$\sigma_K,$ МПа	n	n_{0c}	$a_c,$ м	n_c
Сухой	1,1 82	1	98	0,4 9	2,7 2	1,1 27	1,6 82	1	1,1 7
Влажный	0, 93	1	93	0,4 9	2,7 2	0,9 63	1,4 36	18	0,8 5

Таблица 5. Устойчивость рабочего борта

Параметры	n_0	$a,$	$b,$	$\sigma_0,$	$\sigma_K,$	n	n_{0c}	$a_c,$	n_c
-----------	-------	------	------	-------------	-------------	-----	----------	--------	-------

		м	м	МПа	МПа			м	
Сухой	1,1 87	1	92	0,4 9	2,7 2	1,1 61	1,7 79	1	1,1 71
Влажный	0,9 65	1	88	0,4 9	2,7 2	0,9 91	1,4 76	5	1,0 02

Как видно из полученных результатов, при фактической конфигурации борта находится в предельно устойчивом положении, при сухих породах. При обводнении массива устойчивость бортов резко снижается, и борта теряют свою устойчивость. При тех же исходных данных были проведены расчёты при прямолинейном и ступенчатом профилях бортов. Полученные результаты при прямолинейном профиле карьера приведены в таблицах 6 и 7, а ступенчатого профиля в таблицах 8 и 9.

Таблица 6. Устойчивость нерабочего борта прямолинейного профиля

Параметры	n_0	a , м	b , м	σ_0 , МПа	σ_k , МПа	n
Сухой	1,0 973	1	1 00	0,71 3	2,86	1, 063
Влажный	0,9 32	1	1 05	0,71 3	2,86	0, 81

Таблица 7. Устойчивость рабочего борта

Параметры	n_0	a , м	b , м	σ_0 , МПа	σ_k , МПа	n
Сухой	1, 23	1	101	0,713	2,86	1,0 74
Влажный	1, 19	1	110	0,713	2,86	0,9

Таблица 8 - Устойчивость нерабочего борта ступенчатого профиля

Параметры	n_0	a , м	b , м	σ_0 , МПа	σ_k , МПа	n
Сухой	1,297 3	1 ,5	10 3	1,218	2,7	1,22
Влажный	1,193 2	1 ,5	11 5	1,218	2,7	1,181

Таблица 9. Устойчивость рабочего борта

Параметры	n_0	a , м	b , м	σ_0 , МПа	σ_k , МПа	n
Сухой	1,289	1,5	1 03	1,213	2,7	1 ,21
Влажный	1,1818	1,5	1 15	1,213	2,7	1 ,19

На основании полученных результатов расчетов устойчивости бортов, можно сделать вывод, что наиболее устойчивым, даже при обводненных породах, является ступенчатый профиль бортов разреза [4].

На основании исследований моделей и расчетов выявлено, что действие тектонических сил происходит до образования подвижек. Они являются одной из основных причин образования плоскостей скольжения и дальнейшего развития деформаций массива. После начала подвижек тектонические силы перераспределяются вглубь массива за плоскость сдвижения и дальнейшая деформация оползневых участков происходит уже за счет веса пород между плоскостью сдвижения и поверхности откоса.

Вследствие наличия слабого основания, образовавшаяся призма обрушения, в связи с отсутствием сил сцепления, своим весом деформирует слабое основание. Поэтому плоскости сдвижения выходит за нижнюю бровку борта на величину b , вследствие деформации пород на этом участке происходит дальнейшее развитие оползня.

Наличие пригрузки на этом участке в виде внутреннего отвала частично стабилизирует оползень и исключает возможность его мгновенного схода.

В процессе развития деформаций, так как горизонтальные напряжения, в сочетании с другими факторами создают условия для развития новых плоскостей скольжения, образуются новые трещины отрыва. Таким образом, за первоначальной призмой обрушения возникает система вторичных плоскостей скольжения.

При отсутствии горизонтальных тектонических сил происходит объединение нескольких плоскостей скольжения, что создает условия к увеличению верхней площадки призмы обрушения «а», это приводит к относительной стабилизации массива.

Таким образом объясняется возникновение оползневых явлений в массиве с относительно небольшими углами откосов уступов.

Однако по мере увлажнения массива в местах образования плоскостей скольжения происходит процесс дальнейшего деформирования пород, вплоть до схода призмы обрушения.

В связи с этим необходимо принять меры по уменьшению горизонтальных составляющих напряжений и осушению приконтурного массива.

Литература

1. *Гальперин А. М.* Геомеханика открытых горных работ. М: Издательство МГГУ, 2003.
2. *Цитович Н. А.* Механика грунтов. Изд. Москва, Высшая школа, 1983.
3. Общие правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях; ВНИМИ. Л., 2011.
4. *Раимжанов Б. Р., Морозов В. В., Бекмурзаев Б. Б.* . Исследование устойчивости бортов разреза Ангренский. Жур. Горный Вестник. Узбекистан. № 3, 2013.