

УДК 622.271

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТНЫХ КОНТУРОВ УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА

<sup>1</sup>Мирный И.Я., <sup>2</sup>Долгоносков В.Н., <sup>3</sup>Яворский В.В., <sup>1</sup>Савин П.А., <sup>2</sup>Старостина О.В.

<sup>1</sup>ТОО «Карагандагипрошахт и К», Караганда;

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: kstu@kstu.kz;

<sup>3</sup>Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау,  
e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

Статья посвящена вопросам оценки устойчивости проектных контуров угольного разреза. Внешние породные отвалы являются источниками экологической опасности, так как при их эксплуатации в атмосферу выбрасывается большой объем породной пыли, а наличие во вскрыше углесодержащих пород приводит к образованию эндогенных пожаров и, как следствие, выбросу в атмосферу окиси углерода и азота. Единственной альтернативой сложившейся ситуации является формирование внутренних породных отвалов, которое позволяет исключить целый ряд негативных явлений. При этом существенно снижается себестоимость добываемой продукции за счет сокращения пути транспортирования вскрышных пород и улучшается экологическая ситуация в районе разрабатываемых месторождений, а технологический процесс отвалообразования фактически совмещается с этапом технической рекультивации.

**Ключевые слова:** отвалы, породная пыль, устойчивость проектных контуров, предельная высота откоса

## SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF PROJECT OUTLINES OF THE COAL MINE

<sup>1</sup>Mirny I.Y., <sup>2</sup>Dolgonosov V.N., <sup>3</sup>Yavorskiy V.V., <sup>1</sup>Savin P.A., <sup>2</sup>Starostina O.V.

<sup>1</sup>JSC «Karagantagiproshakht&K», Karaganda;

<sup>2</sup>Karaganda state technical university, Karaganda, e-mail: kstu@kstu.kz;

<sup>3</sup>Karaganda state industrial university, Temirtau, e-mail: yavorskiy-v-v@mail.ru

The article is devoted to the assessment of sustainability of project outlines of the coal mine. External-native dumps are sources of environmental hazards, as when they are operating in an atmosphere ejected a large amount of rock dust, and the presence in the overburden of the coal-bearing rocks leads to the formation of endogenous fires and, as a consequence, the annual emission of carbon monoxide and nitrogen. The only alternative for this situation is the formation of domestic breeds-tion dumps that allows you to eliminate a number of negative phenomena. This significantly reduces charged the cost of products produced by reducing road transportation of overburden and improving the environmental situation in the area of developed deposits, and technological process of dumping is actually combined with the technical stage of reclamation.

**Keywords:** dumps, rock dust, the sustainability of their contours, the maximum height of the slope

Внешние породные отвалы являются источниками экологической опасности, так как при их эксплуатации в атмосферу выбрасывается большой объем породной пыли, а наличие во вскрыше углесодержащих пород приводит к образованию эндогенных пожаров и, как следствие, выбросу в атмосферу окиси углерода и азота. Единственной альтернативой сложившейся ситуации является формирование внутренних породных отвалов, которое позволяет исключить целый ряд негативных явлений. Так исключается изъятие земель под внешние породные отвалы; за счет расположения ниже уровня земной поверхности значительно снижаются выбросы пыли в атмосферу при эксплуатации внутренних отвалов; меньшая, по сравнению с внешними отвалами, площадь открытых поверхностей при одинаковых объемах складирования, позволяет значительно уменьшить вероятность эндогенных пожаров. При этом существенно снижается

себестоимость добываемой продукции за счет сокращения пути транспортирования вскрышных пород и улучшается экологическая ситуация в районе разрабатываемых месторождений, а технологический процесс отвалообразования фактически совмещается с этапом технической рекультивации.

Проектом «Реконструкция разреза «Северный» с увеличением мощности с 10 до 18 млн тонн в год», разработанным ТОО «Карагандагипрошахт и К» [1], было предусмотрено начиная с 2013 года формирование постоянного внутреннего отвала в северной замковой части разреза на границе участков 1 и 4. В случае наклонного залегания пласта (а в замковой части разреза «Северный» на верхних горизонтах углы падения пласта достигают 30–35°) возникает проблема обеспечения устойчивости внутренних отвалов, которые формируются на слабом наклонном основании – почве отработанного угольного пласта.

Устойчивость внутренних отвалов представляет собой достаточно новое и малоизученное направление геомеханики открытых горных работ. Основная проблема здесь заключается в неопределенности прочностных параметров формируемого при отсыпке вскрыши техногенного контакта «стационарный борт – отвал», который имеет следующие особенности:

1. Основание отвала представляет собой почву отработанного угольного пласта, представленного выветрелыми и окисленными углесодержащими породами, мощностью от 3–5 до 15–20 метров.

2. Сопротивление сдвигу по контакту существенным образом зависит от влажности. В период увеличения влажности (сезон дождей, таяние снегов) общее сопротивление сдвигу по контакту может снижаться в 2–3 раза. Поэтому при расчетах и проектировании необходимо учитывать сезонную обводненность основания.

3. Высокая прочность наклонных участков борта (основания) может служить негативным фактором, отрицательно влияющим на устойчивость формируемого отвала, так как она не позволяет сформировать структурные связи между основанием и отвальным массивом.

4. При анализе устойчивости проектных контуров следует учитывать, что расчетная прочность контакта не может превысить собственную прочность отвального массива.

5. Прочность углесодержащих пород в результате процессов окисления существенно снижается во времени, что требует проведения дополнительных исследований.

Расчеты устойчивости отвалов на наклонном основании должны производиться с введением коэффициентов запаса, учитывающих сейсмические воздействия от ведения в карьере БВР.

Ввиду мультисложного залегания пласта наиболее сложными участками являются верхние горизонты в районе выходов пластов под наносы, где резко увеличи-

вается угол падения пласта (до 30–35°). Обеспечение устойчивости формируемого внутреннего отвала на верхних горизонтах невозможно без создания призмы упора на нижележащих горизонтах.

Средние прочностные характеристики пород в отвалах и по контакту угольного пласта 3 были определены Казахским филиалом ВНИМИ [2, 3] и имеют следующие значения:

1) в отвале: объемный вес  $\gamma = 1,66 \text{ тн/м}^3$ ; угол внутреннего трения  $\rho = 31^\circ$ ;

сцепление  $k = 35,0 \text{ кПа}$  при естественной влажности  $W = 14,8\%$ .

2) по почве угольного пласта 3: объемный вес  $\gamma = 2,09 \text{ тн/м}^3$ ;

– при естественной влажности  $\rho = 18^\circ$ ;  $k = 20,0 \text{ кПа}$ ;

– при повышенной влажности  $\rho = 12^\circ$ ;  $k = 10,0 \text{ кПа}$ ;

Нормативные прочностные характеристики пород:

– отвала  $\gamma = 1,66 \text{ тн/м}^3$ ;  $k = 3,5 \text{ тн/м}^2$ ,  $\rho = 31^\circ$ ,  $\text{tg}\rho = 0,601$ ;

– основания:  $\gamma' = 2,09 \text{ тн/м}^3$ ,  $\rho' = 18^\circ$ ,  $\text{tg}\rho' = 0,325$ ;  $k' = 2,0 \text{ тн/м}^2$  (естественная влажность);  $\rho' = 12^\circ$ ,  $\text{tg}\rho' = 0,213$ ;  $k' = 1,0 \text{ тн/м}^2$  (повышенная влажность).

С учетом длительного срока службы отвалов, в соответствии с «Правилами обеспечения устойчивости бортов на угольных разрезах» [4], в нормативные характеристики вводим коэффициент запаса  $n_3 = 1,3$ .

Тогда расчетные прочностные характеристики пород:

Отвала  $\rho_p = 24,8^\circ$ ;  $\text{tg}\rho_p = 0,462$ ;

основания  $\rho'_p = 14,1^\circ$ ;  $\text{tg}\rho'_p = 0,250$ ;

$k' = 1,54 \text{ тн/м}^2$ ;

– увлажненного основания  $\rho'_p = 9,3^\circ$ ;

$\text{tg}\rho'_p = 0,164$ ;  $k' = 0,77 \text{ тн/м}^2$ .

По данным исследований, выполненных на месторождениях Казахстана [5], сцепление полускальных пород в теле отвала изменяется в достаточно широких пределах: от 10–12 до 35–40 кПа.

Таблица 1

Расчеты предельной высоты яруса

Угол наклона контакта $\delta$ , градус	Предельная высота яруса Н, м	
	Естественная влажность	Повышенная влажность
0	27,5	17,0
2	26,8	16,2
4	26,1	15,3
6	25,3	14,2
8	24,7	13,3
10	23,9	12,4
12	23,2	11,5

Предельная высота Н, м

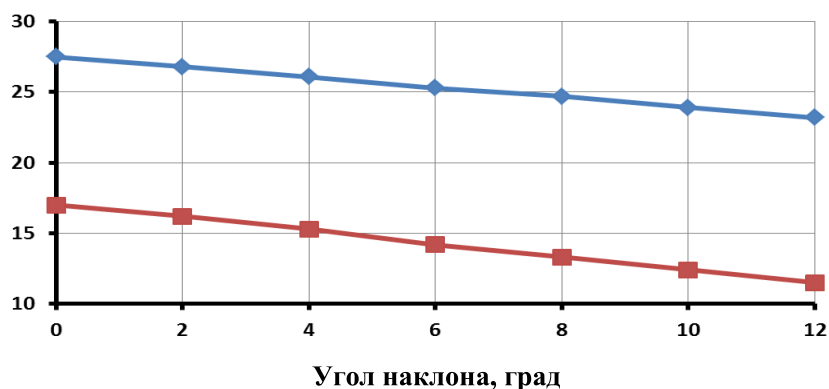


Рис. 1. Зависимость предельной высоты нижнего яруса отвала от угла наклона слабого контакта

Выполним расчеты предельной высоты откоса на слабом наклонном основании [6] при переменных углах наклона контакта от  $0^\circ$  до  $12^\circ$ , результаты которых, приведены в табл. 1.

Зависимость предельной высоты устойчивого яруса от угла наклона слабого контакта в интервале от  $0^\circ$  до  $12^\circ$  показана на рис. 1.

Предельная высота откоса при промежуточных значениях влажности может быть определена линейной интерполяцией. При углах наклона слабого обводненного основания до  $12^\circ$  высоту устойчивого яруса можно принимать равной 10–12 м, а при сухом основании и складировании в нижний ярус более прочных пород глубоких горизонтов, высота устойчивого яруса может быть увеличена до 25 м. Для вышележащих ярусов, основанием которых будут служить устоявшиеся породы нижнего яруса, высота устойчивого яруса, слагаемого достаточно прочными породами, должна приниматься с учетом технологических соображений равной 15–20 м; в любом случае при складировании в ярус отвала глинистых пород его высота не должна превышать 10 м.

Оценка устойчивости проектного контура внутреннего отвала. Главной проблемой при формировании внутренних отвалов на разрезе является наличие слабого наклонного основания – почвы угольного пласта, на который производится отсыпка вскрышных пород. Ввиду мульдообразного залегания пласта в замковой части разреза «Северный» резко увеличивается его угол падения. Анализ проектного контура стационарного борта разреза в замковой части показывает достаточно крутые углы наклона.

От земной поверхности до горизонта + 80 м углы наклона стационарного борта на всем протяжении замковой части составляют  $30\text{--}35^\circ$ . Формирование внутреннего отвала на верхних горизонтах невозможно. Ниже гор. + 80 м до гор. 0 м по оси складки (профильная линия VIII) борт выполаживается до  $14^\circ$ .

По краям складки на участках I и IV на горизонтах + 80÷0 м сохраняются углы наклона порядка  $30\text{--}35^\circ$ . С учетом низких прочностных параметров углистых пород в почве пласта обеспечение устойчивости проектируемого внутреннего отвала на указанных горизонтах является весьма сложной задачей.

Породы, слагающие стационарный борт по прочности относятся к группе пород средней крепости. Внутренний отвал по характеристикам складированных пород может быть отнесен к отвалам пород средней прочности на наклонном основании.

Первые ярусы внутреннего отвала предполагается отсыпать в 2014 г с гор. 0 м высотой яруса 20 м и с гор. + 40 м высотой яруса 40 м (рис. 2).

Результаты оценки устойчивости проектируемых уступов представлены в табл. 2.

Уступ высотой 40 м не может быть сформирован на наклонном основании, так как предельная высота откоса при наклоне основания  $7,5^\circ$  составляет 25 м. Уступ высотой 20 м соответствует предельному состоянию откоса (график на рис. 1) при сухом основании. Малейшее увлажнение основания приведет к снижению его несущей способности и обрушению откоса.

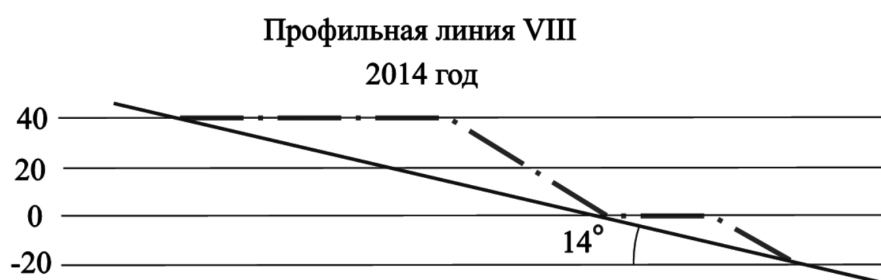


Рис. 2. Проектный профиль уступа внутреннего отвала (гор. 0)

Таблица 2

Расчет устойчивости проектных контуров уступов

Профильная линия VIII	Высота яруса, м	Угол наклона основания, град	Коэффициент запаса
Гор. + 40 ... 0			
VIII	40	13	0,82
VIII	20	13	1,05
Гор. – 60 ... – 100			
VIII	40	10	0,86
VIII	20	10	1,10
Гор. – 160 ... – 200			
VIII	40	7,5	0,88
VIII	20	7,5	1,12

Предельное значение генерального угла откоса, отстроенного с гор. – 100 м составляет  $\alpha_{\text{пред}} = 16^\circ$ , а с гор. – 200 м  $\alpha_{\text{пред}} = 15^\circ$ .

Учитывая большую неопределенность прочностных параметров основания и возможность их существенного уменьшения при попадании влаги, вероятность обрушения составляет порядка 50%.

Также необходимо учитывать сдвигающие нагрузки от объемов, расположенных на участках I и IV, которые имеют более крутые углы наклона стационарного борта до  $30\text{--}35^\circ$  (табл. 1). Например, профильная линия 4 участка I, горизонты  $+170\pm 0$ , угол откоса борта равен  $30^\circ$ . Расчеты показывают, что при отсыпке отвала на такое основание под углом естественного откоса  $35^\circ$ , сдвигающие силы, отнесенные к единице объема, почти в 2 раза превышают максимально возможные удерживающие силы. Естественно, что сдвигающие нагрузки от действия данных призм приведут к обрушению отвала.

По результатам выполненных расчетов и анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Устойчивость внутреннего отвала будет зависеть главным образом от сопро-

тивления сдвигу по техногенному контакту «борт-отвал», который обладает следующими особенностями:

- основание отвала представляет собой почву отработанного угольного пласта, представленного углесодержащими породами, мощностью от 3–5 до 15–20 метров;

- сопротивление сдвигу по контакту существенно зависит от влажности. В период дождей и таяние снегов общее сопротивление сдвигу по контакту может снижаться в 2–3 раза. Кроме этого, прочность углесодержащих пород в результате процессов окисления существенно снижается во времени;

- высокая прочность наклонных участков борта (основания отвала) не обеспечивает прочности контакта, а, напротив, может служить негативным фактором, отрицательно влияющим на устойчивость формируемого отвала, так как не позволяет сформировать структурные связи между основанием и отвальным массивом;

- расчетная прочность техногенного контакта не может превысить собственную прочность отвального массива, поэтому подготовка основания при помощи поперечных канав и траншей неэффективна.

Таблица 3

Расчет предельных контуров внутреннего отвала по п.л. VIII

Профильная линия VIII	Высота отвала, м	Угол наклона предельного контура, град	Коэффициент запаса
Гор. + 160 ... – 100			
VIII	260	16	1,03
Гор. + 160 ... – 200			
VIII	360	15	1,05

2. Предельная высота яруса отвала на наклонном основании изменяется в широких пределах и зависит от угла наклона основания и прочности контакта «борт-отвал». При обводненном основании высоту устойчивого яруса можно принимать равной 10–15 м, а при сухом основании и складировании в нижний ярус более прочных пород глубоких горизонтов, высота устойчивого яруса может быть увеличена до 25–30 м.

3. На основании выполненных расчетов предельной высоты устойчивого многоярусного отвала для значений генеральных углов откоса от 15° до 30° и углов наклона основания от 0° до 10°. Установлено предельное значение генерального угла откоса при достижении отвалом проектной высоты, которое не должно превышать 15°.

4. Выполнено построение предельных контуров отвала по профильной линии VIII. Расчетами определена невозможность формирования внутреннего отвала в замковой части разреза «Северный» в связи с высоким риском его обрушения.

#### Список литературы

1. Технический проект. Разработка горно-транспортной части по добыче и вскрыше на период до 2025 г. с переходом на автомобильно-конвейерную технологию с усреднением угля на разрезе «Богатырь» / ТОО «Карагандагипрошахт и К». – Караганда, 2005.
2. Отчет «Разработка рекомендаций по параметрам устойчивых бортов Северного и Южного вскрышных разрезов ПО «Экибастузуголь» / ВНИМИ, Казахский филиал. – Караганда, 1975.
3. Отчет «Разработка практических рекомендаций по параметрам устойчивых бортов и внешних отвалов разреза «Богатырь» ПО «Экибастузуголь» / ВНИМИ, Казахский филиал. – Караганда, 1977.
4. ВНИМИ. Правила обеспечения устойчивости на угольных разрезах. – СПб, 1998. – 208 с.
5. Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г. Устойчивость породных отвалов. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 224 с.
6. Долгонос В.Н., Фофанов О.В., Яворский В.В. Analytical method of calculating of open pit slopes stability on a weak base of unlimited thickness. Mechanical Engineering, Automation and Control Systems: Proceedings of International Conference, Tomsk, October 16–18, 2014. – Tomsk: TPU Publishing House, 2014 – P. 1–5.