

**И. Я. Мирный¹, П. А. Савин¹, Т. Т. Бондаренко¹
В. Н. Долгоносов², О. В. Старостина²**

¹Карагандагипрошахт и К⁰

²Карагандинский государственный технический университет,
г. Караганда, Казахстан

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЕКТНЫХ КОНТУРОВ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ В ЗАМКОВОЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА «СЕВЕРНЫЙ»

Аннотация. Использование выработанного пространства для размещения отвалов вскрышных пород представляет собой прогрессивное технологическое решение, которое позволяет значительно снизить себестоимость добычи угля за счет сокращения транспортировки вскрыши во внешние отвалы. Устойчивость внутренних отвалов представляет собой достаточно новое и малоизученное направление геомеханики открытых горных работ. Основная проблема заключается в неопределенности прочностных параметров техногенного контакта «стационарный борт – отвал». В статье дана оценка проектных параметров внутреннего отвала на угольном разрезе «Северный». Расчеты выполнены с учетом конкретных горно-геологических и горно-технологических условий месторождения. Расчетами определена невозможность формирования внутреннего отвала в замковой части разреза «Северный» в связи с высоким риском его обрушения.

Ключевые слова: отвалы пород, устойчивость отвалов, угольный разрез, добыча угля.



Түйіндеме. Аршылған жыныс үйінділерін орналастыру үшін қазылған кеңістікті қолдану озық технологиялық шешім болып табылады, бұл аршылған кенді сыртқы үйінділерге тасымалдауды қысқарту арқасында көмірді алудың өзіндік құнын едәуір азайтуға мүмкіндік береді. Ішкі үйінділердің тұрақтылығы ашық тау-кен жұмыстары геомеханикасының айтарлықтай жаңа және зерттелінбеген бағыты болып табылады. «Стационарлы жағдау – үйінді» техногенді байланысының мықтылық параметрлерінің белгісіздігі – бұл негізгі мәселе. Мақалада «Северный» көмір кені-

шіндегі ішкі үйіндінің жобалық параметрлеріне баға берілген. Есептеулер кен орнының нақты тау-кен технологиялық және тау-кен геологиялық шарттарын ескере отырып жасалынған. «Северный» кенішінің бекіністік бөлігінде ішкі үйіндінің құлау қаупі жоғары болғандықтан оны қалыптастырудың мүмкін болмауы есептеулермен анықталған.

Түйінді сөздер: тау жыныстарының қадалар, қоқыстардың тұрақтылығы, көмір кеніші, көмір өндіру



Abstract. Using of the developed space for overburden rock is the advanced technological solution that can significantly reduce the cost price of the coal mining by reducing the transportation of overburden to the external dumps. Stability of internal dumps is a relatively new and little-studied area of geomechanics of open cast mining work. The main problem is uncertainty of the strength parameters of technogenic contact «stationary board – dump». The article assesses the project parameters of the internal dump on the coal cut «Northern». The calculations are made taking into account the specific mining and geological, mining and technological conditions of the deposit. With the help calculations it was determined the impossibility of formation of the internal dump in the castle part of the cut «Northern» due to its high risk of collapse.
Key words: waste damp, stability of dump, coal cut, coal mining.

Введение. 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. Единственная альтернатива сложившейся ситуации – формирование внутренних породных отвалов, которое позволяет исключить целый ряд негативных явлений: 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 вследствие сокращения пути транспортирования вскрышных пород и улучшается экологическая ситуация в районе разрабатываемых месторож-

дений, а технологический процесс отвалообразования фактически совмещается с этапом технической рекультивации. Сокращению вредных выбросов породной пыли и устойчивости внутренних отвалов посвящены фундаментальные работы зарубежных авторов [1,2]. Причем отечественные и зарубежные общие принципы расчетов, основанные на гипотезе предельного равновесия в целом, различий в решении данной задачи не имеют. Однако предлагаемая методика, представляется достаточно прогрессивным решением для условий замковой части разреза "Северный", поскольку предполагается использование выработанного пространства для размещения внутренних вскрышных пород.

Методы исследования. Проектом «Реконструкция разреза «Северный» (участки 1, 2, 3, 4) с увеличением мощности с 10 до 18 млн. т в год», разработанным ТОО «Карагандагипрошахт и К» [3], было предусмотрено начиная с 2013 г. 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 в неопределенности прочностных параметров формируемого при отсыпке вскрыши техногенного контакта «стационарный борт – отвал», который имеет следующие особенности:

– Основанием отвала является почва отработанного угольного пласта, представленного выветрелыми и окисленными углеродсодержащими породами, мощностью от 3-5 до 15-20 м.

– 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.

– Высокая прочность наклонных участков борта (основания) может отрицательно влиять на устойчивость формируемого отвала, не позволяя сформировать структурные связи между основанием и отвальным массивом.

– Следует учитывать, что расчетная прочность контакта не может превысить собственную прочность отвального массива.

– 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 мульдообразного залегания пласта наиболее сложными участками являются верхние горизонты в районе выходов пластов под наносы, где резко увеличивается 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 определены Казахским филиалом ВНИМИ [4,5] и имеют следующие значения:

1) в отвале: объемный вес $\gamma = 1,66 \text{ т/м}^3$; угол внутреннего трения $\rho = 31^\circ$; сцепление $k = 35,0$ ед. при естественной влажности $W = 14,8 \%$.

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

— при естественной влажности $\rho = 18^\circ$; $k = 20,0$ ед.;

— при повышенной влажности $\rho = 12^\circ$; $k = 10,0$ ед.;

Нормативные прочностные характеристики пород:

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

— основания: $\gamma' = 2,09 \text{ т/м}^3$; $\rho' = 18^\circ$, $\text{tg} \rho' = 0,325$;
 $k' = 2,0 \text{ т/м}^2$ (естественная влажность); $\rho' = 12^\circ$, $\text{tg} \rho' = 0,213$;
 $k' = 1,0 \text{ т/м}^2$ (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 $n_c = 1,3$. Тогда расчетные прочностные характеристики пород будут следующими:

- отвала $\rho_\delta = 24,8^\circ$; $\text{tg}\rho_\delta = 0,462$; $k_\delta = 2,7 \delta / i^2$;
- основания $\rho'_\delta = 14,1^\circ$; $\text{tg}\rho'_\delta = 0,250$; $k' = 1,54 \delta / i^2$;
- увлажненного основания $\rho''_\delta = 9,3^\circ$; $\text{tg}\rho''_\delta = 0,164$; $k'' = 0,77 \delta / i^2$.

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.

1. Расчет предельной высоты откоса отвала. Расчеты предельной высоты откоса на слабом наклонном основании при переменных углах наклона контакта от 0° до 12° (приведены в табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Расчеты предельной высоты яруса

Угол наклона контакта δ , град.	Предельная высота яруса Н, м	
	естествен- ная влажность	повышен- ная 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 откоса при промежуточных значениях влажности может быть определена линейной интерполяцией. При углах наклона слабого обводненного основания до 12° высоту устойчивого яруса можно принимать равной 10-12 м, а при сухом основании и складировании в нижний ярус более прочных пород глубоких горизонтов она может быть увеличена до 25 м. Для вы-

шележащих ярусов, основанием которых служат 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.

2. Оценка устойчивости проектного контура внутреннего отвала. Главной проблемой при формировании внутренних отвалов на разрезе является наличие слабого наклонного основа-

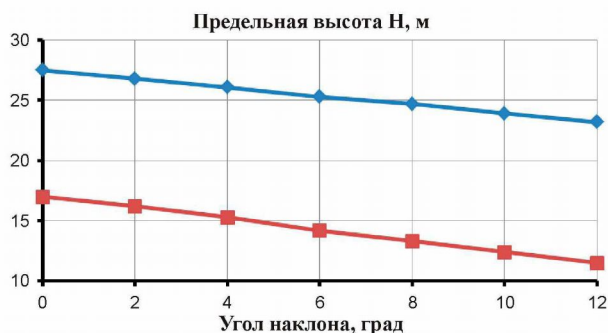


Рис. 1. Зависимость предельной высоты нижнего яруса отвала от угла наклона слабого контакта

ния (почвы угольного пласта), на который производится отсыпка вскрышных пород. Ввиду мульдообразного залегания пласта в замковой части разреза «Северный» резко увеличивается его угол падения. В проектном контуре стационарного борта разреза в замковой части имеются достаточно крутые углы наклона (табл. 2, рис. 2).

От земной поверхности до горизонта +80 м углы наклона стационарного борта на всем протяжении замковой части составляют 30-35°. Формирование внутреннего отвала на верхних горизонтах невозможно.

Таблица 2

Углы наклона проектного контура стационарного борта разреза «Северный» в замковой части

Профильная линия	Горизонты	Отношение (h/d)	Угол откоса, град.
Ось складки (граница участков I и IV)			
VIII	+170÷+80	90 / 140	33,0
VIII	+80÷0	80 / 320	13,8
VIII	+60÷-60	120 / 530	13,0
VIII	0÷-100	100 / 480	11,7
VIII	-60÷-140	80 / 460	10,0
VIII	-100÷-200	100 / 700	8,2
VIII	-140÷-200	60 / 460	7,5
Участок I			
6	+190÷0	190 / 400	25,5
6	+130÷0	130 / 225	30,0
6	0÷-100	100 / 360	15,2
4	+170÷0	170 / 290	30,3
4	0÷-100	100 / 390	14,5
Участок IV			
II	+100÷0	100 / 150	33,8
II	0÷-60	60 / 85	35,2
II	-100÷-200	100 / 630	9,1
III	+100÷-80	180 / 285	32,3
III	-80÷-200	120 / 670	10,3

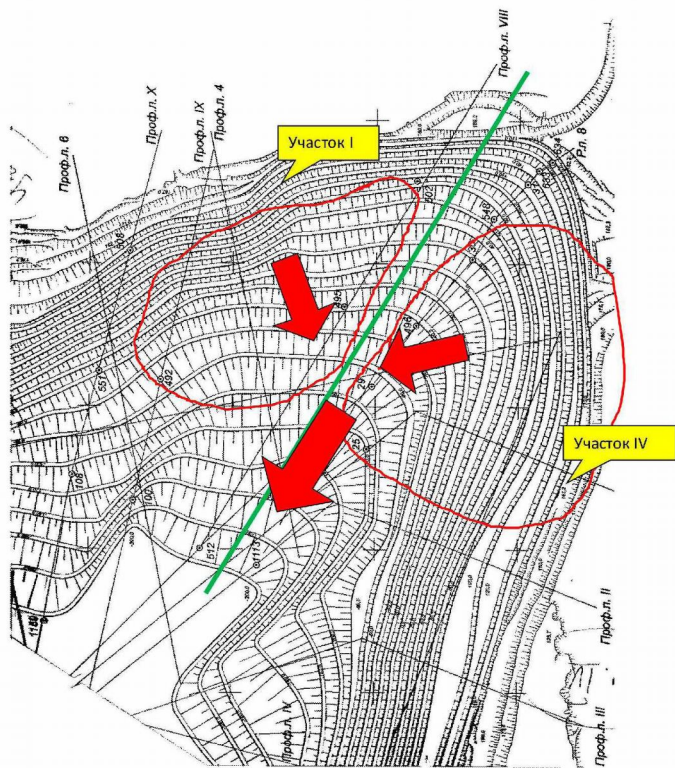


Рис. 2. План стационарного борта в замковой части разреза «Северный»

Ниже гор. +80 м до гор. 0 м по оси складки (профильная линия VIII) борт выполаживается до 14° . По краям складки на участках I и IV на горизонтах $+80 \div 0$ м сохраняются углы наклона порядка $30-35^{\circ}$. 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 складываемых 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. 3).

Результаты оценки устойчивости проектируемых уступов представлены в

табл. 3. 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 (см. рис. 1) при сухом основании. Малейшее увлажнение основания приведет к снижению его несущей способности и обрушению откоса.

3. Оценка устойчивости предельного контура внутреннего отвала. Предельное значение генерального угла откоса, отстроенного с гор. -100 м, составляет $\alpha_{i\partial\partial\partial} = 16^{\circ}$, а с гор. -200 м $\alpha_{i\partial\partial\partial} = 15^{\circ}$ (рис. 4, табл. 4). Учитывая большую неопределенность прочностных параметров основания и возможность их существенного уменьшения при попадании влаги, вероятность обрушения



Рис. 3. Проектный профиль уступа внутреннего отвала (гор. 0)

Таблица 3

Расчет устойчивости проектных контуров уступов профильной линии VIII

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

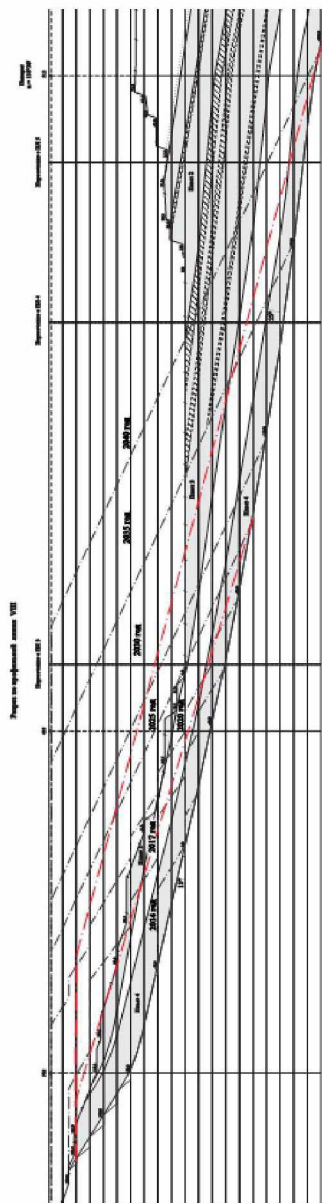


Рис. 4. Контуры предельных откосов с гор. –100 и –200 м (разрез по профильной линии VIII)

Таблица 4

**Расчет предельных контуров
внутреннего отвала по профильной
линии VIII**

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

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 $30\text{--}35^\circ$ (см. табл. 1). Например, профильная линия 4 участка I, горизонты $+170\pm 0$, угол откоса борта равен 30° . Расчеты показывают, что при отсыпке отвала на такое основание под углом естественного откоса 35° сдвигающие силы, отнесенные к единице объема, почти в 2 раза превышают максимально возможные удерживающие силы (см. рис. 2). Естественно, что сдвигающие нагрузки от действия данных призм приведут к обрушению отвала. Основным требованием, предъявляемым к выполненным расчетам и проведенному анализу в соответствии с "Правилами обеспечения устойчи-

ности на угольных разрезах", является обеспечение безопасных условий ведения горных работ с учетом действующих нормативных документов использования методики ВНИМИ [6,7].

Выводы

1. Устойчивость внутреннего отвала будет зависеть главным образом от сопротивления 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 м;

— сопротивление сдвигу по контакту существенно зависит от влажности и может снижаться в 2-3 раза. Прочность углесодержащих пород в результате процессов окисления существенно снижается во времени;

— высокая прочность наклонных участков борта не обеспечивает прочности контакта и 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.

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 *Hoek E.T.* Practical rock Engineering. – [Электронный ресурс]: http://railwayengineering.in/wp-content/uploads/2013/05/small_Practical_Rock_Engineering.pdf, www.rockscience.com. – 2006. – 237 p.

2 *Hudson J.A., Harrison J.P.* Engineering rock mechanics // An introduction to the principles, 2000. – 456 p.

3 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.

4 Разработка рекомендаций по параметрам устойчивых бортов Северного и Южного вскрышных разрезов ПО "Экибастузоль" / ВНИМИ, Казахский филиал. – Караганда, 1975.

5 Разработка практических рекомендации по параметрам устойчивых бортов и внешних отвалов разреза "Богатырь" ПО "Экибастузоль" / ВНИМИ, Казахский филиал. – Караганда, 1977.

6 Правила обеспечения устойчивости на угольных разрезах. – СПб., ВНИМИ, 1998. – 208 с.

7 *Попов И.И., Шпаков П.С., Поклад Г.Г.* Устойчивость породных отвалов. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 224 с.

Мирный Иван Яковлевич, кандидат технических наук

Савин Павел Александрович, заместитель директора

Бондаренко Татьяна Тихоновна, главный инженер
тел./факс 8-(7212)-41-17-82; e-mail: kargipro@mail.ru

Долгоносов Виктор Николаевич, доктор технических наук
тел./факс 8-(7212)-56-26-27; e-mail: vdolgonosov@hotmail.ru

Старостина Ольга Васильевна, кандидат технических наук