

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.271.333

М.А. Кузнецов, С.М. Простов, С.П.Бахаева

ПРОГНОЗ БЕЗОПАСНЫХ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ РАЗРЕЗА В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В настоящее время многие разрезы Кузбасса наращивают темпы и объемы производства за счет прирезки запасов на новых участках*. При этом детальное геологическое изучение этих участков не производится, их отрабатывают по аналогии с соседними. В итоге горные работы приходится вести в изменившихся незнакомых инженерно-геологических и гидро-геологических условиях, вследствие чего участились случаи нарушений устойчивости бортов.

Основной причиной деформаций массивов горных пород и развития оползневых явлений наряду с неизбежным воздействи-

раметров бортов и отвалов допустимым значениям, для определения которых необходимо детальное исследование горных пород в пределах конкретного участка на начальном этапе его освоения. Создание безопасных условий ведения горных работ возможно за счет совершенствования методов инженерно-геологического мониторинга и методик последующих расчетов.

Рассмотрим предлагаемый комплекс работ на примере выполненной в 2004 г. оценки параметров устойчивых бортов "Сартакинского угольного разреза". Оползневые явления на участках данного разреза про-

Прогноз параметров устойчивых бортов выполнен по методике, изложенной в [2], на основе обобщения результатов инженерно-геологических исследований и визуальных обследований, с учетом фактического состояния горных работ.

Прогнозам предшествовало районирование поля разреза на основе анализа геологических и горнотехнических факторов. Основным критерием при районировании вмещающих пород разреза служили показатели их физико-механических характеристик. Выделение локальных участков производилось по следующему принципу: исследуемый участок горных работ в

Таблица

Характеристики пород рабочих бортов эксплуатационных участков № 4 и № 5
"Сартакинского угольного разреза"

Расчетный участок, выделенный районированием	Усредненные средневзвешенные значения по участку			Расчетные значения при коэффициенте запаса устойчивости			
	γ т/м ³	C МПа	φ град	$n = 1,3$		$n = 1,5$	
				C МПа	φ град	C МПа	φ град
Участок №5, отсутствие неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления							
Пласт 5 (профили № 39–№ 53)	2,30	0,243	25,7	0,180	20	0,160	17
Пласт 6 (профили № 55–№ 75)	2,10	0,198	25,1	0,152	19	0,132	16,7
Пласт 5 (профили № 18–№ 33)	2,14	0,180	25,3	0,138	19,5	0,120	16,8
Пласт 6 (профили № 39–№ 53)	2,20	0,133	24,9	0,100	19	0,088	17
Пласт 4 (профили № 39–№ 53)	2,22	0,122	25	0,090	19	0,080	16
Участок № 4, пологое залегание естественных поверхностей ослабления							
Пласт 9	2,00	0,122	44,5	0,090	34	0,080	30
Контакт слоев	-	0,018	12	0,014	9	0,012	8

* γ – объемного масса; C – сцепление; φ – угол внутреннего трения породы.

вием технологических и природных факторов является несоответствие фактических па-

исходили неоднократно. Последний оползень произошел по гидровскрышному борту с объемом оползшей массы четвертичных пород около 85 тыс. м³. Данный случай подробно описан в [1].

плане разбивался несколькими поперечными профилями (разрезами), на каждом из которых определялись средневзвешенные прочностные характеристики пород на всю мощность отрабатываемой толщи или уча-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ по проекту №05-05-64100

сток борта; полученные значения на нескольких соседних профильных линиях усреднялись при достижении отклонений от среднего значения не более 5 %.

Как известно, устойчивость бортов (уступов) обеспечивается при условиях, когда отношение удерживающих сил, действующих по наиболее напряженной поверхности скольжения в массиве, к сдвигающим силам по этой поверхности составляет не менее величины нормативного коэффициента запаса устойчивости. Его величина установлена в зависимости от достоверности исходных геологических данных (надежности физико-механических характеристик пород, их изменчивости во времени), используемых методов расчета (погрешности построения наиболее напряженной поверхности скольжения и точности способа расчета), а также технологии разработки месторождения. Для рабочих бортов принят $n = 1,3$, а для бортов на предельном контуре (на момент погашения запасов) $n = 1,5$.

Результаты районирования вмещающих пород "Сартакинского угольного разреза" на участках №4 и №5, их средневзвешенные и расчетные характеристики, определенные для различных значений n , приведены в таблице.

Обводненность борта (уступа) оказывает существенное влияние на его устойчивость в основном за счет проявления архимедовых сил взвешивания, уменьшающих давление горных

пород на вероятную плоскость скольжения и силы трения. Прогнозные расчеты произведены для различных условий обводнения бортов (уступов), характеризуемые коэффициентом

$$K = H' / H, \quad (1)$$

где H' – условная высота промежутка высыпания; H – высота борта (уступа).

Анализ горно-геологических условий массивов горных пород, слагающих рабочие борты эксплуатационного участка №5 (слоистая толща при наклонном несогласном с наклоном борта залегании слоев с углом наклона слоев до 50°) в соответствии с методикой, изложенной в [3], показал необходимость применения расчетной схемы при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления (рис. 1).

Построение наиболее напряженной поверхности скольжения в данном случае основано на том, что площадки скольжения возникают на глубине H_{90} и наклонены при этом под углом $\omega = (45^\circ + \varphi/2)$ к горизонту, на свободную поверхность откоса поверхность скольжения выходит под углом $\varepsilon = (45^\circ + \varphi/2)$. Высота вертикальной трещины отрыва определяется по формуле

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (2)$$

Проверочный расчет в данном случае выполняют методом алгебраического сложения сил.

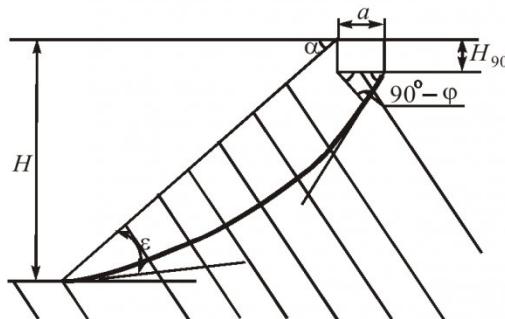


Рис. 1. Схема к расчету параметров борта (уступа) при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления

Определение параметров устойчивых бортов (уступов) эксплуатационного участка №4 произведено по схеме расчета устойчивого откоса при пологом залегании естественных поверхностей ослабления ($\beta < \varphi'$ и $\beta < 25^\circ$). В этих условиях в предельном состоянии формируется поверхность скольжения, которая в нижней части массива совпадает с наиболее слабым контактом слоев, а в верхней имеет форму монотонной криволинейной поверхности, близкой к круглоцилиндрической (рис. 2).

В точке A , где выполняется условие специального равновесия, основная поверхность скольжения претерпевает излом под углом θ , который вычисляют по формуле (3), а под углом $(90^\circ - \varphi)$ к ней формируется поверхность скольжения второго семейства. В верхней части откоса в месте выхода поверхности скольжения на земную поверхность образуется вертикальная площадка отрыва (H_{90}).

$$\theta' = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi - \varphi'}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} \right), \quad (3)$$

где φ и φ' – углы внутреннего трения в массиве и по поверхности ослабления.

В месте выхода поверхности скольжения второго семейства на поверхность откоса также образуется вертикальная площадка отрыва, размер которой определяют по формуле

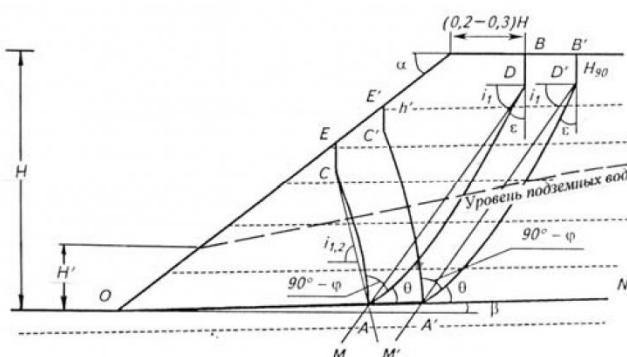


Рис. 2. Схема к расчету параметров борта (уступа) при пологом залегании естественных поверхностей ослабления

$$h' = \frac{C' \cos \varphi}{\gamma \cdot \cos \beta \cdot \sin(\beta - \varphi)}, \quad (4)$$

где C' – сцепление пород по поверхности ослабления.

Пределные параметры устойчивых бортов (уступов) определены по графикам зависимостей между высотой плоского откоса и углом его наклона, построенными ВНИМИ для различных значений прочностных характеристик пород и условий обводнения откосов. Данные графики получены путем расчетов по существующим методам, базирующимся на теории предельного равновесия "сыпучей среды" [4].

Расчет безопасных параметров бортов эксплуатационных участков № 4 и № 5 проведен для гидрогеологических условий, близких к фактическим ($K = 0,2$ и $K = 0,0$), и коэффициентах запаса устойчивости $n = 1,3$ и $n = 1,5$.

Для сопоставления расчетных параметров бортов приведены их усредненные фактические значения на существующих участках.

Анализ зависимостей расчетных значений угла наклона (откоса) борта (уступа) α от его высоты H для участка № 5 при отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления, представленных на рис. 3, показал следующее.

1. Расчетные параметры бортов со схожими инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями изменяются в широком диапазоне в зависимости от значений прочностных характеристик вмещающих пород. При этом, наибольшее влияние оказывает величина сцепления C . Например, при относительно близких средневзвешенных значениях угла внутреннего трения пород ($24,9 \div 25,7^\circ$) изменение значений сцепления C от 0,122 до 0,243 МПа приводит к следующей вариации расчетных значений угла наклона (откоса) борта (уступа): при высоте 30 м

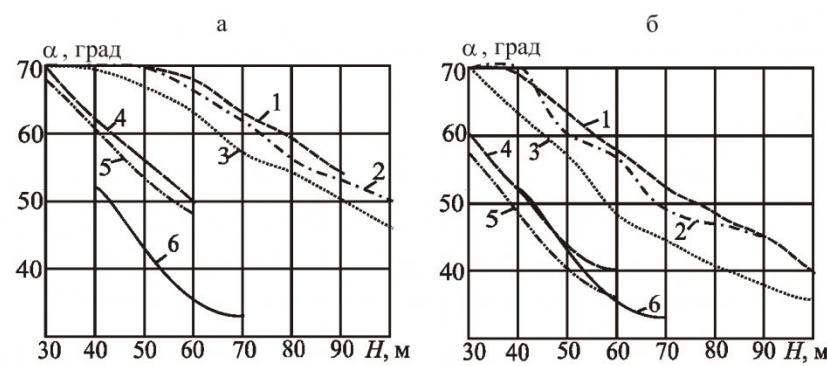


Рис. 3. Зависимости расчетных значений угла наклона (откоса) борта (уступа) α от его высоты H при $K = 0,2$ и $n = 1,3$ (а), $n = 1,5$ (б) для участка №5: 1 – пласт 5, профильные линии №39–53; 2 – пласт 6, профильные линии №55–75; 3 – пласт 5, профильные линии №18–33; 4 – пласт 6, профильные линии №39–53; 5 – пласт 4, профильные линии №39–53; 6 – усредненные фактические параметры бортов

$-\Delta\alpha = 2^\circ$ ($n = 1,3$) и $\Delta\alpha = 13^\circ$ ($n = 1,5$), а при высоте 60 м $-\Delta\alpha = 20^\circ$ ($n = 1,3$) и $\Delta\alpha = 22^\circ$ ($n = 1,5$).

2. При изменении коэффициента запаса устойчивости n от 1,3 до 1,5 происходит значительное уменьшение расчетных параметров бортов, угол откоса снижается в среднем на 10° .

3. Фактические параметры бортов ниже расчетных значений при $n = 1,3$ и превышают либо практически равны им при $n = 1,5$.

Графики зависимостей усредненных отклонений расчетных углов наклона (откоса) борта (уступа) от средних фактиче-

ских $\Delta\alpha$ при соответствующих высотах представлены на рис. 4.

В результате анализа зависимостей расчетных значений угла наклона борта α от его высоты H для участка №4 при по-

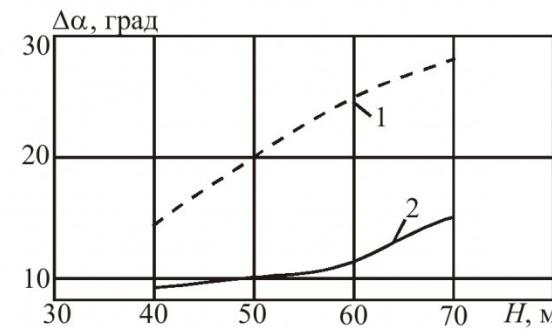


Рис. 4. Превышение расчетных значений α над фактическими при $K = 0,2$: 1 – $n = 1,3$; 2 – $n = 1,5$

логом залегания естественных поверхностей ослабления, представленных на рис. 5, установлено следующее.

1. Расчетные параметры борта со схожими прочностны-

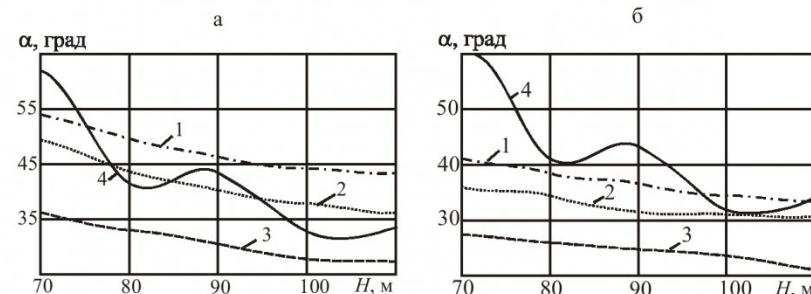


Рис. 5. Зависимости расчетных значений угла наклона борта α от его высоты H при $K = 0$ и $n = 1,3$ (а), $n = 1,5$ (б) для участка №4:

1 – угол падения пласта $\beta = -4^\circ$; 2 – $\beta = 0^\circ$; 3 – $\beta = 4^\circ$;
4 – усредненные фактические параметры борта

ми характеристиками вмещающих пород и гидрогеологическими условиями изменяются в широком диапазоне в зависимости от инженерно-геологических условий.

При этом наибольшее влияние оказывает направление и угол падения пласта β . Уменьшение β при согласном с бортом залегании слоев и наоборот его увеличение при несогласном с бортом залегании слоев приводит к увеличению расчетных значений α .

Расхождение расчетных значений угла наклона борта при незначительном и трудно-фиксированном в натурных условиях изменении геологических условий от $\beta = -4^\circ$ (несогласное) до $\beta = 4^\circ$ (согласное) составляет: при $n = 1,3 \Delta\alpha = 17^\circ$, а при $n = 1,5 \Delta\alpha = 14^\circ$.

2. При изменении коэффициента запаса устойчивости n от 1,3 до 1,5 происходит значительное уменьшение расчетных параметров бортов, угол откоса снижается в среднем на 8° .

3. Фактические параметры борта при $n = 1,3$ в среднем соответствуют расчетным значениям при $\beta = 0$, и превышают все расчетные значения при $n = 1,5$.

Рассмотренный комплекс работ по прогнозу безопасных параметров бортов "Сартакинского угольного разреза" показал, что формирование контуров бортов по усредненным технологическим параметрам на всех рассматриваемых участках недопустимо с точки зрения их устойчивости.

В настоящее время фактические параметры рабочих бортов разреза занижены по отношению к расчетным, изменение инженерно-геологических условий участков горных работ не учитывается. Вместе с тем, следует отметить, что параметры рабочих бортов превышают расчетные значения для бортов на предельном контуре. В случае невыполнения работ по разбортовке (выполаживанию) бортов при погашении запасов или резком изменении инженерно-геологических условий горных работ даже в небольших пределах вероятно возникновение оползневых деформаций.

Для безопасного ведения горных работ наиболее эффективно устанавливать технологические параметры бортов либо общие, определяемые по наименьшим расчетным значениям, либо индивидуальные для каждого участка.

Применение систем разработки с переменными параметрами бортов на участках со схожими инженерно-геологическими условиями при современном уровне технического оснащения угольных разрезов Кузбасса крайне сложно. Увеличение угла наклона борта на локальном участке возможно за счет спаривания или строения уступов и уменьшения ширины рабочих площадок. Все это требует применения компактного выемочного оборудования с соответствующими рабочими параметрами. В частности, технические возможности экскаваторов должны позволять эффективно работать при изменении параметров уступов, а маневренный высокопроизводительный транспорт – вызывать горную массу по узким дорогам с большими уклонами.

Для повышения точности прогноза безопасных параметров бортов карьеров необходимо проведение дополнительных изысканий, в частности, геофизическими методами, обеспечивающими требуемую детальность получения информации об изменении геологической структуры массива и физико-механических свойств пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахаева, С.П. Анализ причин деформационных процессов прибортовых массивов в условиях Кузбасса / С.П. Бахаева, М.А. Кузнецов, Е.В. Костюков // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – №3. – с. 50-53.
2. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / ВНИМИ. – СПб.: Недра, 1998.–114 с.
3. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом. - Л.: ВНИМИ, 1986.
4. Фисенко, Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – Л.: Недра, 1965. – 378 с.

Авторы статьи:

Кузнецов
Максим Аркадьевич
- руководитель группы
геомеханических исследований
НФ "КУЗБАСС – НИИОГР"

Простов
Сергей Михайлович
-докт. техн. наук, проф. каф.
теоретической и геотехнической
механики

Бахаева
Светлана Петровна
- канд. техн. наук, доц. каф.
маркшейдерского дела , зам. дирек-
тора НФ "КУЗБАСС – НИИОГР" по
геолого-маркшейдерским исследо-
ваниям и экспертизе