

2. Медяник В.Ю. Обоснование параметров способа охраны подготовительных выработок при комбинированной системе разработки пологих пластов на больших глубинах: Дис...канд. техн. наук. – Днепропетровск: НГУ, 2005. – 193 с.
3. Табаченко М.М., Медяник В.Ю., Тищенко С.О. Спосіб підвищення стійкості підготовчих виробок // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7. – С. 39-41.
4. Медяник В.Ю. Формування склепіння рівноваги над підготовчою виробкою за допомогою смуг змінної жорсткості – як спосіб її охорони і підтримки // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України: VII конф. молодих учених “Геотехнологічні проблеми розробки родовищ”, 19 листопада 2009. – Д., 2009. – Вип. 81. – С. 173-183.
5. Медяник В.Ю. Ткачук І.В. Технологія зведення охоронних смуг змінної жорсткості при комбінованій системі розробки пологих вугільних пластів на глибоких горизонтах // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 1 – С. 12-16.
6. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыгалова. – М.: Недра, 1989. – 400 с.
7. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. – М.: Недра, 1975. – 304 с.
8. Колоколов О.В. Исследование гранулометрического состава породы, получаемой при проведении горизонтальных выработок на пластах Донбасса // Разработка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1969. – С. 190-195.

9. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодяконова. – М.: Недра, 1975. – 279 с.
10. Инъекционное упрочнение горных пород / Ю.З. Заславский, Е.А. Лопухин, Е.Б. Дружко, И.В. Качан. – М.: Недра, 1984. – 177 с.
11. Проектное задание реконструкции шахты “Прогресс” треста “Торезантрацит”. Т. 1. Пояснительная записка и документация. – Донецк: Донгипрошахт, 1982. – 630 с.

Рассматриваются вопросы охраны и поддержания подготовительных выработок на глубоких горизонтах при комбинированной системе разработки. Определены параметры закладочного материала для возведения охранных полос переменной жесткости с целью улучшения технико-экономических показателей, безопасности работы и экологии.

**Ключевые слова:** *закладочный материал, охранные полосы, пологие угольные пласты на больших глубинах.*

The questions of safety and maintenance of the preparatory openings on deep horizons using combined mine system are examined. The parameters of filling material for raising of protective stripes of variable rigidity for to show an improvement technical and economical parameters, work safety and ecology.

**Key words:** *backfill material, security strips, shallow coal seams at great depths.*

*Рекомендовано до публікації д.т.н. С.Ф. Власовим 05.03.10*

УДК 622.271

© В.В. Летучий, 2010

**В.В. Летучий**

## **К ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ БОРТОВ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК**

## **OPTIMISATION OF THE PIT EDGES PARAMETERS AT THE OPEN MINE WORKING**

Изложено решение важной научно-технической проблемы повышения эффективности и снижения экологических последствий открытой разработки горизонтальных месторождений путем оптимизации параметров бортов карьеров, обеспечивающей уменьшение объемов вскрышных работ и площадей остаточных выработанных пространств карьеров. Оптимальные параметры борта карьера находятся с помощью специального, предложенного автором, итерационного алгоритма.

**Ключевые слова:** *горизонтальные месторождения, открытые горные выработки, оптимизация параметров бортов.*

При вскрытии горизонтальных месторождений открытым способом при проведении горных выработок формируются такие техногенные объекты как капитальная, выездная и разрезная траншеи, а также внешний отвал вскрышных пород. Опыт производства открытых

горных работ при эксплуатации горизонтальных месторождений показывает, что их особенностью является образование значительных площадей безвозвратно теряемых для сельского хозяйства земель, занимаемых остаточным выработанным пространством карьера.

Рациональное землепользование предусматривает уменьшение объемов выработанных пространств, а также сокращение площадей, отводимых под отвалы [1, 2].

Целью настоящей работы является теоретическое обоснование выбора оптимальных параметров бортов карьеров и отвалов, обеспечивающих снижение экологических последствий открытой разработки горизонтальных месторождений путем уменьшения объемов вскрышных работ и площадей остаточных выработанных пространств карьеров. Основой для решения поставленной задачи послужила методика, изложенная в [3] и модернизированная автором. Физико-механические свойства пород вскрыши и геометрические параметры бортов карьера приняты для расчетов из диапазона их возможных значений, характерных для разработки горизонтальных месторождений полезных ископаемых с мягкими вскрышными породами для условий: Марганецкого горно-обогатительного комбината (МГОК); Орджоникидзевского горно-обогатительного комбината (ОГОК); Вольногорского горно-металлургического комбината (ВГМК) и др.

Задача нахождения оптимальных параметров борта карьера связана с нахождением следующих геометрических характеристик (рис. 1): берм  $b_k$ , углов наклона  $\alpha_k$  и высот уступов  $H_k$  ( $k$  – номер уступа).

При этом необходимо обеспечивать выполнение двух условий: 1) минимальный объем выработки; 2) коэффициенты запаса устойчивости  $\eta$  борта карьера и отдельных его элементов должны быть не меньше заданного значения  $\eta_H$  (по рекомендациям [1] принимают  $\eta_H = 1,2$  для всего борта и  $\eta_H = 1,5$  для отдельных уступов). Принимаем, что высота и заложение борта известны, т.к. они могут быть заданы из технологических соображений. Физико-механические свойства пород вскрыши плотность  $\gamma$ , угол внутреннего трения  $\rho$  и сцепление пород  $c$  также считаются заданными.

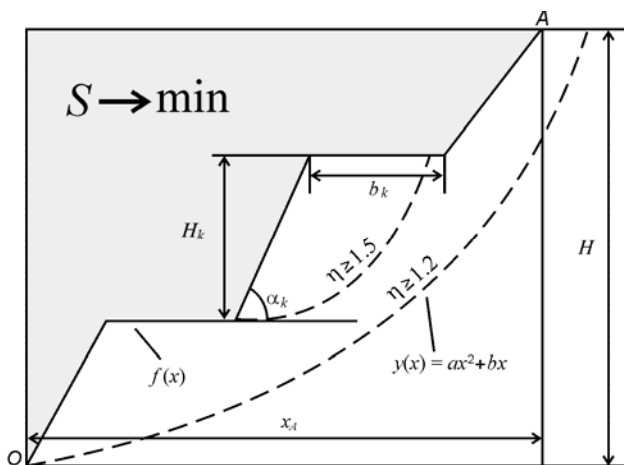


Рис. 1. Схема к оптимизации параметров борта карьера

Для оценки коэффициента запаса устойчивости в работе используется известный подход, основанный

на методе алгебраического сложения сил [2]. Форма поверхности обрушения принимается параболической, что хорошо согласуется с известными экспериментальными исследованиями [4].

Оптимальные параметры борта карьера находятся с помощью специального, предложенного автором [4], итерационного алгоритма. В качестве начального приближения принимается, что оптимальная форма борта карьера прямолинейная. Для заданной формы  $f^{(0)}(x)$  определяется коэффициент запаса устойчивости  $\eta^{(0)}$  и поверхность обрушения  $y^{(0)}(x)$ . После этого на каждом шаге алгоритма последовательно решаются две задачи:

1) для заданной поверхности обрушения  $y^{(k-1)}(x)$  строится ступенчатый профиль  $f^{(k)}(x)$ , обеспечивающий минимальный объем вскрышных работ. Для этого на ЭВМ решается задача нахождения минимума функции многих переменных при заданных нелинейных ограничениях (так называемая задача нелинейного программирования);

2) для ступенчатого профиля  $f^{(k)}(x)$  определяется коэффициент запаса устойчивости  $\eta^{(k)}$  и поверхность возможного обрушения  $y^{(k)}(x)$ . При этом также решается задача нелинейного программирования. Процесс решения продолжается до тех пор, пока результаты соседних итераций не станут достаточно близки.

Для решения поставленной в работе задачи были выбраны следующие усредненные значения физико-механических параметров пород вскрыши:  $\rho = 22^\circ$ ,  $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 0,1 \text{ МПа}$ . Профиль борта принимается трехступенчатым, высота борта  $H$  принята равной 80м, что характерно для карьеров МГОКа, ОГОКа, ВГМК. Допустимые диапазоны изменения геометрических параметров борта приняты следующими:  $10 \text{ м} \leq H_k \leq 40 \text{ м}$ ,  $5 \text{ м} \leq b_k \leq 30 \text{ м}$ ,  $15^\circ \leq \alpha_k \leq 60^\circ$ .

Перед непосредственным применением описанного алгоритма была рассмотрена вспомогательная задача. Для заданных механических характеристик построена функция  $H(\alpha)$ , которая для углов  $\alpha$  из обозначенного выше диапазона определяет максимальное значение высоты борта (уступа)  $H$ , при котором коэффициент запаса устойчивости не меньше заданного значения  $\eta_H$ . Задача решалась методом перебора с шагом  $1^\circ$  по углу  $\alpha$  и шагом 1м по высоте  $H$ . В ходе анализ результатов расчетов удалось выяснить, что с помощью метода наименьших квадратов полученные значения величин достаточно хорошо интерполируются следующими полиномиальными зависимостями:

$$\eta_H = 1,2: H_{1,2}(\alpha) = 3159,0 - 4981,6 \alpha + 338,34 \alpha^2 - 12,734 \alpha^3 + 0,28611 \alpha^4 - 3,8322 \cdot 10^{-3} \alpha^5 + 28,311 \cdot 10^{-6} \alpha^6 - 0,8896 \cdot 10^{-7} \alpha^7; 15^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ;$$

$$\eta_H = 1,5: H_{1,5}(\alpha) = 13522,0 - 2336,4 \alpha + 173,36 \alpha^2 - 7,0919 \alpha^3 + 0,17221 \alpha^4 - 0,0024792 \alpha^5 + 19,582 \cdot 10^{-6} \alpha^6 - 0,6547 \cdot 10^{-7} \alpha^7; 15^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ.$$

В результате решения задачи при  $\eta_H = 1,2$  установлено, что для высоты  $H = 80 \text{ м}$  наибольшее устойчивое значение результирующего угла наклона борта  $\alpha = 36^\circ$ , а соответствующее значение заложения  $x_A = H \cdot \text{ctg} \alpha = 110 \text{ м}$ .

Полученный для  $\eta_H = 1,2$  результат далее используется, чтобы задать ограничение на высоты  $H_k$  и углы  $\alpha_k$ :  $H_k \leq H_{1,5}(\alpha_k)$ . Такой подход гарантирует выполнение условий устойчивости отдельных уступов. Далее переходим к результатам реализации основного алгоритма, изложенного автором в статье [5]. Как уже отмечалось ранее, в нулевом приближении считается, что оптимальная форма борта карьера – прямолинейная, т.е.:  $f^{(0)}(x) = \text{tg}36^\circ x \approx 0,7265x$ , при этом площадь  $S$ , характеризующая объем выработки, составляет  $S = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \text{ctg} \alpha = 4404 \text{ м}^2$ . Уравнение параболы поверхности обрушения и соответствующий коэффициент запаса устойчивости имеют вид:  $y(x) = 0,007413x^2 - 0,4040x$ ,  $\eta = 1,21$ . Результат применения описанного выше итерационного процесса удобно представить в виде таблицы (табл. 1).

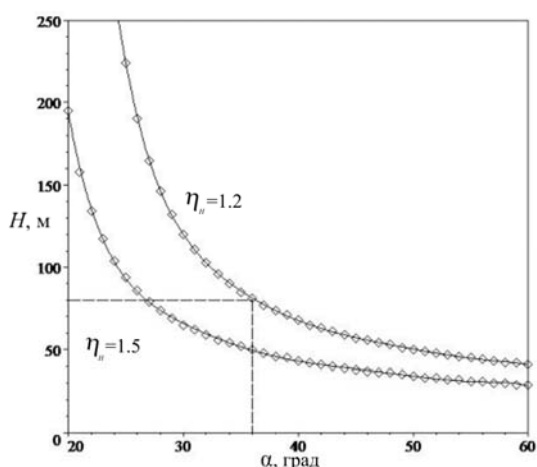


Рис. 2. Зависимость высоты от угла наклона борта карьера для коэффициентов запаса устойчивости 1,2 и 1,5

Таблица 1

Результат применения итерационного процесса

$n$	$y(x)$	$\eta$	$S, \text{ м}^2$
0	$0,007413x^2 - 0,4040x$	1,21	4404,42
1	$0,006152x^2 - 0,1884x$	1,29	3710,38
2	$0,006306x^2 - 0,1902x$	1,28	3664,30
3	$0,006567x^2 - 0,1928x$	1,27	3588,47
4	$0,006668x^2 - 0,1953x$	1,25	3566,77
5	$0,006677x^2 - 0,1959x$	1,25	3566,48
6	$0,006678x^2 - 0,1960x$	1,25	3566,36

После выполнения 6 итераций процесс можно завершить, т.к.

$$\|f^{(6)} - f^{(5)}\|_{L1} \equiv \int_0^x |f^{(6)}(x) - f^{(5)}(x)| dx = |S^{(6)} - S^{(5)}| \approx 0,121 \ll S^{(6)} = 3566,36, \text{ м}^2$$

При этом погрешность вычислений составляет  $(0,121/3566,36)100\% = 3 \cdot 10^{-3} \%$ , что указывает на достаточно высокую точность расчета и отсутствие необходимости в нахождении последующих итераций.

Таким образом, в качестве оптимального профиля принимаем  $f^{(6)}$ .

Для оценки возможного диапазона вариаций объема вскрышных работ, обеспечивающих устойчивое состояние борта при заданных параметрах наряду с лучшим (оптимальным) профилем, с помощью изложенной методики найдем худший (нерациональный) профиль борта карьера, т.е. профиль для которого обеспечиваются те же условия устойчивости, но  $S \rightarrow \text{max}$ . В математическом смысле эта задача эквивалентна уже рассмотренной, с той лишь разницей, что минимизировать нужно не  $S$ , а  $-S$ . Полученные в результате применения алгоритма наилучший и наихудший профили, очевидно, дают верхнюю и нижнюю границы диапазона изменения площади  $S$ , что и позволяет оценить возможность уменьшения объема вскрышных работ, за счет выбора оптимальных параметров бортов открытой горной выработки.

Результат решения задачи для оптимального и нерационального профиля представлены в табл. 2, а соответствующие схемы устойчивого борта – на рис. 3-4.

Таблица 2

Геометрические параметры профиля борта карьера (оптимального и нерационального)

$k$	$H_k, \text{ м}$		$\alpha_k, \text{ град}$		$b_k, \text{ м}$		$S, \text{ м}^2$	
	оп-тим.	не-рац.	оп-тим.	не-рац.	оп-тим.	не-рац.	оп-тим.	не-рац.
1	29,7	30,0	59	30	14,25	15,59	3566	5239
2	20,3	20,8	60	60	14,76	14,25		
3	30,0	29,2	30	60	0,0	0,0		

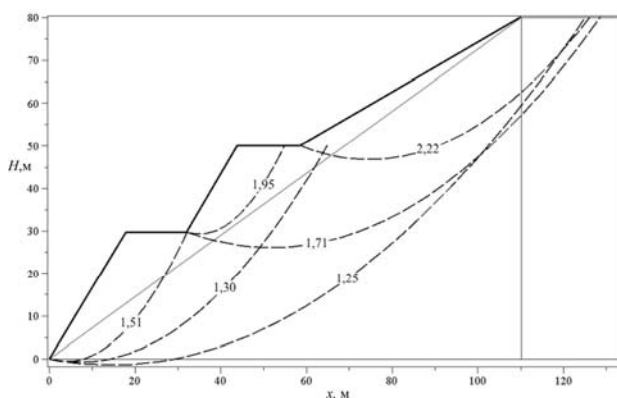


Рис. 3. Вариант оптимальной конструкции борта карьера

Из табл. 2 видно, что наблюдается подобие таких геометрических параметров уступов, как высота уступа  $H_k$  и угла наклона  $\alpha_k$  для 1 и 3 уступов оптимального и нерационального профиля борта карьера, при этом площади выработанного пространства  $S_{\text{опт}}$  и  $S_{\text{нераци}}$  значительно отличаются.

На рис. 3 пунктирными линиями показаны потенциальные поверхности обрушения и соответствующие коэффициенты запаса устойчивости для каждого из трех уступов, пар соседних уступов (1,2 и 2,3) и всего борта. Также хорошо видно, что условия ус-

тойчivosti для уступов и борта в целом выполнены:  $\eta_{(1-3)} = 1,25 > 1,2$ ;  $\eta_{(1)} = 1,51 > 1,5$ ;  $\eta_{(2)} = 1,95 > 1,5$ ;  $\eta_{(3)} = 2,22 > 1,5$ .

На рис. 4 пунктирными линиями также изображены контуры потенциальных поверхностей обрушения и показаны соответствующие коэффициенты запаса устойчивости. Интересно, что  $\eta$  для всего борта мало отличается для оптимального ( $\eta = 1,25$ , рис. 3) и нерационального профилей ( $\eta = 1,28$ , рис. 4), что дает основание сказать, что использование коэффициента запаса устойчивости не позволяет оценивать эффективность ступенчатого профиля, т.к. не влияет на объем извлекаемых вскрышных пород. Также наблюдается подобие формы обоих профилей: для оптимального профиля первый и второй уступы имеют максимально-допустимый угол наклона, а для нерационального – второй и третий. Похожие закономерности были замечены и в ряде других, рассмотренных автором, примерах.

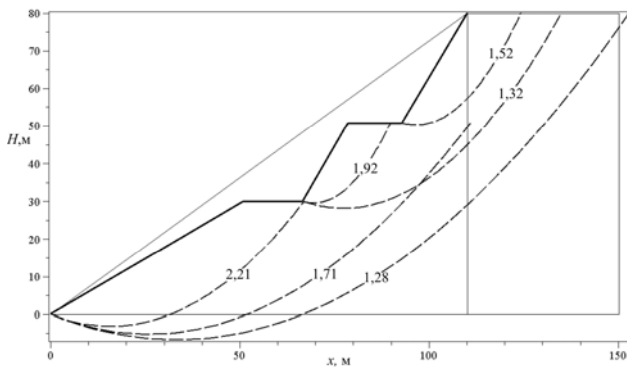


Рис. 4. Вариант нерациональной конструкции борта карьера

Определим диапазон вариаций объема вскрышных работ, обеспечивающих устойчивое состояние борта при заданных параметрах при оптимальном и нерациональном профилях борта карьера:

$$\frac{S_{нерац} - S_{опт}}{S_{нерац}} = \frac{5239 - 3566,36}{5239} \cdot 100\% \approx 32\%$$

при этом  $\Delta\eta = \frac{1,28 - 1,25}{1,28} \cdot 100\% = 2,3\%$ .

На основании выполненных расчетов можно сделать вывод, что предложенная методика оптимизации параметров борта карьера обеспечивает снижение экологических последствий открытой разработки горизонтальных месторождений, способствует рациональному землепользованию и повышению эффективности вскрышных работ. В рассмотренном примере эффект от использования предложенной методики обусловлен уменьшением площади и соответственно объема выработанного пространства на 32% по сравнению с нерациональным профилем борта карьера. Также было установлено, что в ряде других

случаев (различные значения физико-механических свойств пород вскрыши, высоты борта карьера и отличные от рассмотренных диапазоны изменения  $\alpha_k$ ,  $b_k$  и  $h_k$ ), эффект колеблется от 5% до 50%. Отсюда заключаем, что метод снижения объемов горной выработки путем выбора оптимальных параметров откосов борта карьера достаточно эффективен для практических целей. Несмотря на то, что все оценочные расчеты проведены для борта карьера, предложенная методика может быть использована и для оптимизации конструкции отвала мягких вскрышных пород.

### Список литературы

1. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов, строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 163 с.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
3. Прогноз устойчивости и оптимизация параметров бортов глубоких карьеров / Под ред. С.З. Полищука. Д.: Полиграфист, 2001. – 370 с.
4. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов. – М.: Недра, 1972. – 310 с.
5. Летучий В.В. К вопросу выбора рациональной конструкции бортов карьеров // Науковий вісник НГУ. – 2010. – № 3. – С. 42-45.

Викладено вирішення важливої науково-технічної проблеми підвищення ефективності та зниження екологічних наслідків відкритої розробки горизонтальних родовищ шляхом оптимізації параметрів бортов кар'єрів, що забезпечує зменшення обсягів розкривних робіт і площ залишкових вироблених просторів кар'єрів. Оптимальні параметри борту кар'єру знаходяться за допомогою спеціального, запропонованого автором, ітераційного алгоритму.

**Ключові слова:** горизонтальні родовища, відкриті гірничі виробки, оптимізація параметрів бортів.

The solution of important scientific and technical problems of efficiency increase and decrease in ecological consequences of open-cast mining of horizontal deposits by optimisation of parameters pitedges, providing reduction of volumes overburden works and the areas, the residual developed spaces of open-cast mines is stated. Optimum parameters of a board of an open-cast mine are by means of special, offered by the author, iterative algorithm.

**Key words:** horizontal deposits, open mining, optimization of parameters boards.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Симоненком 13.04.10