

ЧАСТИНА 3. ЕКОЛОГО-ОРІЄНТОВАНІ ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ

УДК 622.015

*А.Г. Шапарь**, *Л.В. Якубенко**,
*И.В. Ботанцев***

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ
РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРОВ,
ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ
ПОВТОРНУЮ РАЗРАБОТКУ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ С
«УТРАЧЕННЫМИ» ПОЛЕЗНЫМИ
ИСКОПАЕМЫМИ**

** Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,
Днепропетровск, Украина*

*** «Северный» ГОК «Укрмеханобр» ОАО «Мариупольский
металлургический комбинат им. Ильича», Кривой Рог, Украина*

Для ефективної повторної розробки крутопадаючих родовищ, які експлуатувалися раніше підземним способом, оптимізовані параметри робочої зони кар'єра, яка сформована похилими висмічними шарами.

Для эффективной повторной разработки крутопадающих месторождений, эксплуатируемых ранее подземным способом, оптимизированы параметры рабочей зоны карьера, которая сформирована наклонными выемочными слоями.

Одной из самых сложных проблем при реализации идей устойчивого развития является обеспечение прав будущих поколений на природные ресурсы. Это особенно актуально применительно к так называемым, невозобновляемым природным ресурсам, к которым относится минеральное сырье. Возможность решения этой проблемы обстоятельно рассмотрены в трудах ИППЭ НАН Украины.

Современный этап развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых, в т.ч. и в Кривбассе, характеризуется повышенным вниманием к вовлечению в эксплуатацию техногенных месторождений в шламохранилищах и повторной отработке богатых потерянных руд в зонах обрушения подземных рудников.

Первое направление становится привлекательным благодаря тому, что уровень развития технологий обогащения существенно повысился и освобожденные емкости в шламохранилищах могут быть повторно использованы.

Актуальность второго направления связана с тем, что разубоженные богатые руды после обрушения верхних участков месторождений, при их разработке подземным способом, по содержанию полезного компонента выше по сравнению с современными условиями на эти руды, при этом отпадает необходимость отчуждения сельскохозяйственных земель, так как территория зон обрушения уже была отчуждена. Поскольку горные работы в этом случае ведутся в зонах обрушения, то основной проблемой является безопасность производства.

Научные и практические разработки последних лет, обеспечивающие вовлечение в эксплуатацию таких месторождений путем использования существующих технологических схем, решают эту задачу лишь частично.

Поэтому разработка способов безопасного ведения открытых горных работ, обеспечивающих полноту выемки полезного ископаемого из обрушенного или ослабленного подземными выработками массива горных пород, является актуальной научной задачей.

Приведенные исследования показывают, что одним из наиболее приемлемых техно-

логических приемов для осуществления извлечения «потерянного» полезного ископаемого, является доработка таких месторождений наклонными слоями.

Сущность разработанной технологической схемы [1], предназначенной для разра-

ботки крутопадающих месторождений с неустойчивым состоянием массива горных пород, представленной на рисунке 1, заключается в следующем.

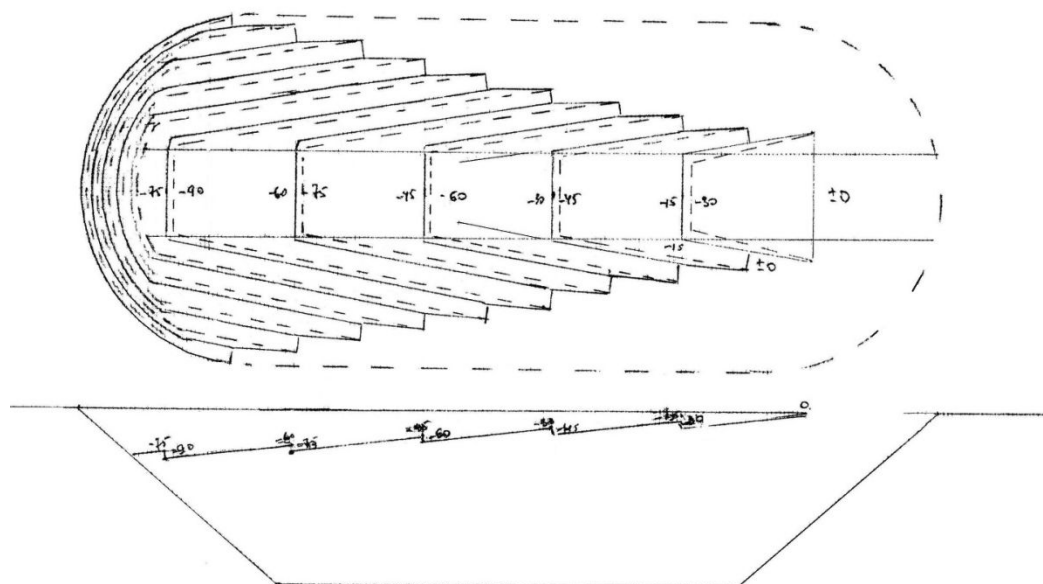


Рисунок 1 - Технологическая схема отработки карьерного поля наклонными слоями с односторонним развитием фронта горных работ

Формирование наклонных выемочных слоев для отработки карьерного поля осуществляется в период его вскрытия. Для этого в одном из торцов карьерного поля осуществляют одновременную нарезку с поверхности несколько наклонных вскрывающих выработок, угол наклона которых равен руководящему углу наклона транспортных коммуникаций.

Для обеспечения безопасной эксплуатации месторождения с нарушенной устойчивостью породного массива горную массу, заключенную в контурах карьерного поля, обрабатывают наклонными выемочными слоями, которые сочетают в себе функции выемочных слоев и транспортных коммуникаций. При этом рабочая зона карьера формируется поперечными добычными блоками, которые являются верхним основанием наклонных вскрывающих выработок и диагональными блоками, образующиеся при разносе боковых сторон этих выработок.

В период основного срока службы карьера вскрытие и подготовка наклонных выемочных слоев к их отработке осуществляется не в самой нижней части карьера, как

это общепринято при существующих способах отработки крутопадающих месторождений, а в самой верхней части карьерного поля, расположенной в противоположном торце. В этом случае нарезка нового наклонного слоя осуществляется путем проходки двух горизонтальных съездов и разрезной траншеей с организацией сквозного движения транспортных средств.

При таком формировании рабочей зоны карьера достигается необходимая рассредоточенность горного оборудования (расстояние между поперечными экскаваторными блоками составляет 350-400 м). Кроме того, так как карьерное поле обрабатывается наклонными слоями, то: во-первых, поперечный блок по наклонной плоскости постепенно приближается к возможным пустотам, образованным подземными работами, вследствие чего сдвигание горных пород может произойти не по всей площади выемочного слоя, а только в его самой нижней точке. В этом случае объем разведочного бурения с установкой датчиков наблюдения за состоянием горного массива резко снижается.

Во-вторых, в связи с тем, что угол наклона выемочных слоев равен руководящему углу наклона транспортных коммуникаций, то устраняется необходимость не только дублирования, но и проведения их вообще, так как по сути вся площадь наклонных слоев является транспортными коммуникациями. В этом случае сдвигание горных пород и, как следствие, образование воронок обрушения не вызывает полной остановки производственных процессов в карьере. Следующим положительным моментом совмещения функциональности выемочного слоя с транспортными коммуникациями является обеспечение снижения дальности транспортирования в рабочей зоне карьера, так как транспортное средство из экскаваторного забоя к пункту разгрузки перемещается по кратчайшему пути.

Исследование взаимосвязей между параметрами рабочей зоны карьера и степень их влияния на режим горных работ представляет собой сложную и многовариантную задачу. Для решения этой задачи разработана математическая модель формирования рабочей зоны карьера наклонными слоями. Эта модель позволила увязать параметры рабочей зоны карьера с параметрами карьерного поля, условиями залегания рудного тела, а также с производственной мощностью горного предприятия по полезному ископаемому и вмещающим породам.

Величина текущих объемов производства вскрышных работ определяется с одной стороны производительностью карьера по руде, с другой – направлением отработки карьерного поля. Производительность карьера по горной массе определяется параметрами его рабочей зоны:

- высотой рабочей зоны по вскрышным и добычным работам;
- скоростью и направлением подвигания фронта горных работ;
- скоростью (темпом) и направлением углубки горных работ;
- высотой уступов;
- шириной рабочих и транспортных площадок.

Высота уступов, ширина рабочих площадок и транспортных берм определяется в соответствии с параметрами горно-транспортного оборудования согласно норм технологического проектирования карьеров

и вводятся в математическую модель рабочей зоны карьера как постоянные величины.

Общеизвестно, что при стабильном объеме добычи полезного ископаемого, высота добычной рабочей зоны и скорость подвигания фронта горных работ имеют обратно-пропорциональную зависимость. С увеличением количества добычных уступов скорость подвигания фронта горных работ уменьшается и наоборот. Эта зависимость характера и при формировании рабочей зоны карьера наклонными слоями. Кроме того, при отработке карьерного поля наклонными слоями количество добычных слоев, рассредоточенных по простиранию пласта полезного ископаемого и угол ориентирования вскрышных диагональных блоков взаимосвязаны прямо-пропорциональной зависимостью.

Рассмотрим влияние ширины добычных рабочих площадок на количество добычных наклонных слоев, на длину и скорость подвигания фронта добычных работ для горно-геологических условий карьера «Северный» ГОК «Укрмеханобр» ОАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», которым осуществляется повторная отработка железных руд открытым способом.

Исходя из конструктивных особенностей разработанных технологических схем ширина добычных рабочих площадок (Ш.д.р.п.) принимает значения, кратные длине съезда (l_c).

Так как значения параметров рабочей зоны карьера носят дискретный характер, то результаты проведенных исследований удобнее представить в виде таблиц. В таблице 1 представлены установленные параметры рабочей зоны карьера в зависимости от ширины добычных рабочих площадок.

В таблице 2 представлено изменение параметров рабочей зоны карьера в случае возникновения аварийной ситуации и временного выхода из строя нижнего добычного наклонного слоя.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что и при работе карьера в штатном режиме и в случае возникновения аварийной ситуации параметры рабочей зоны карьера не выходят из рамок их нормативных значений только при ширине добычных рабочих площадок, не превышающих двойной длины съезда.

Таблица 1 - Параметры рабочей зоны карьера при формировании ее наклонными слоями

Ширина добычных рабочих площадок, $Ш_{д.р.н}$, м	Количество добычных наклонных слоев, n , шт.	Длина фронта добычных работ, $L_{ф.р}$, м	Скорость подвигания фронта добычных работ, ℓ_n , м/год	Длина экскаваторных блоков, $L_{э.б}$, м
$Ш_{д.р.н} = \ell_c = 214$	11	2200	155	805
$Ш_{д.р.н} = 2 \ell_c = 428$	6	1200	283	441
$Ш_{д.р.н} = 3 \ell_c = 642$	4	800	425	294
$Ш_{д.р.н} = 4 \ell_c = 856$	3	600	567	220

Таблица 2 - Параметры рабочей зоны карьера при формировании ее наклонными слоями в случае возникновения аварийной ситуации

Количество добычных наклонных слоев в штатном режиме, n , шт.	Количество добычных наклонных слоев в аварийном режиме, n , шт.	Производительность наклонного слоя карьера в штатном режиме, $A_{р.н}$, м ³ /год	Производительность наклонного слоя карьера в аварийном режиме, $A_{р.н}$, м ³ /год	Длина фронта добычных работ в аварийном режиме, $L_{ф.р}$, м	Годовое подвигание фронта добычи работ в аварийном режиме, ℓ_n , м/год	Длина экскаваторных блоков в аварийном режиме, $L_{э.б}$, м
12	10	463636	510000	2000	170	734
6	5	850000	1020000	1000	340	367
4	3	1275000	1700000	600	567	209
3	2	1700000	2550000	400	850	147

Исходя из условия сохранения функциональности разработанных технологических схем, ширина добычных рабочих площадок должна быть не менее двойной длины съезда ($Ш_{д.р.н} \geq 2 \ell_c$).

В результате проведенных исследований по определению параметров рабочей зоны с установлением взаимосвязи между ними, а также их влияние на календарное распределение извлечения горной массы на протяже-

нии срока службы карьера разработана методика расчета календарных планов производства горных работ.

Рассмотрим особенности и последовательность расчета объемов извлечения горной массы на протяжении срока службы карьера:

1. Объемы извлечения горной массы с шагом $n'+1$ определяются по формуле:

$$V_{э.м} = V_1 + (2n' - 1)V_2 + 0,5 [(2n' - 1)^2 - 1] V_3,$$

до выполнения условия (рабочая зона карьера достигла противоположного торца

карьерного поля по поверхности):

$$n' = \frac{L}{h_c (ctg\beta + ctg\gamma)}, \text{ шт.},$$

где

$$V_1 = \frac{1000 \cdot h_c^2 (1,5m + B_{mp})}{3 \cdot i_p}, \text{ м}^3,$$

$$V_2 = \frac{1000 \cdot h_c^2 (m + 0,75B_{mp})}{i_p}, \text{ м}^3,$$

$$\varphi = \text{arctg} \frac{III_{m.б.}}{2\ell}, \text{ град.},$$

$$\ell = \frac{h_c \cdot 1000}{i_p}, \text{ м},$$

$$\gamma = \text{arcsin} \frac{h_c (n+1)}{n (III_{д.р.н} + h_c \cdot \text{ctg} \alpha_y)}, \text{ град.},$$

$$n = n' - n_г$$

$$n_г = \frac{H_г}{h_c}, \text{ шт.},$$

$$n' = \frac{L + n_г \cdot h_c \cdot \text{ctg} \gamma}{h_c \cdot (\text{ctg} \beta + \text{ctg} \gamma)}, \text{ шт.},$$

где n' – порядковый номер нижнего наклона слоя; L – длина карьерного поля, м; h_c – высота обрабатываемого слоя, м; β – угол погашения торца карьера, град.; γ – результирующий угол добычной рабочей зоны карьера, град.; φ – угол ориентирования транспортных берм, град.; m – горизонтальная мощность рудного тела, м; l – длина съезда, м; i_p – руководящий уклон съезда (слоя); n – количество добычных наклонных площадок

в рабочей зоне карьера, шт.; $III_{д.р.н}$ – ширина добычных рабочих площадок; $n_г$ – количество вскрышных слоев, покрывающих рудное тело; $H_г$ – вертикальная мощность покрывающих пород.

2. При достижении рабочей зоной карьера противоположного торца карьерного поля по поверхности расчет объемов извлечения горной массы с шагом $n'+1$ выполняется по формуле:

$$V_{z.m} = (2n'-1)V_2 + 0,5 \left[(2n'-1)^2 - 1 \right] V_3 - [2(n'-n)-1]V_2 - 0,5 \left\{ [2(n'-n)]^2 + 1 \right\} V_3 \sum_{n'}^{n_n} (0,5 \cdot \ell \cdot C_n^2 \cdot k), \text{ м}^3 \quad (1)$$

где C_n – величина, равная

$$C_n = \left(h_c \cdot n' \cdot \text{ctg} \alpha_г + \frac{m}{2} \right) - \left(H \cdot \text{ctg} \beta + \frac{III_г}{2} \right),$$

$$k = \sin^2 \alpha_г \left[\text{tg} \alpha_г + \text{ctg} (\beta - \alpha_г) \right],$$

α_{δ} – результирующий угол откоса рабочего борта карьера со стороны висячего или лежащего бока рудного тела, град.

При определении объемов горной массы по формуле (1) учитывается только поло-

жительное значение величины C_n . При достижении положительных значений C_n этот параметр определяется с шагом $n'-1$ до получения результата $C_n \geq 0$

$$\alpha_{\delta} = \arctg \frac{n' \cdot h_c}{n' \cdot h_c \cdot ctg \alpha_y + (n-1)Ш_{м.б}}, \text{ град.},$$

где $Ш_{м.б}$ – ширина транспортных берм, м.

Определение объемов добычи полезного ископаемого осуществляется в следующей последовательности:

1. Сравниваем порядковый номер наклонного слоя n' с количеством вскрышных слоев, покрывающих полезное ископаемое, при:

1) $n' < n_{\epsilon} \quad (n' - n_{\epsilon} < 0) \quad V_p = 0, \text{ м}^3,$

2) $n' = n_{\epsilon} \quad (n' - n_{\epsilon} = 0),$

$$V_p = V_{1p} = \frac{1}{2} h_c \cdot m \cdot l, \text{ м}^3,$$

3) $n' > n_{\epsilon} \quad (n' - n_{\epsilon} > 0) \quad ,$

$$V_p = V_{1p} + (n' - n_{\epsilon}) V_{3p}, \text{ м}^3, \tag{2}$$

где $n_{\epsilon} = \frac{H_{\epsilon}}{h_c}$, шт.; H_{ϵ} – вертикальная мощность покрывающих вскрышных пород, м;

m – горизонтальная мощность пласта полезного ископаемого, м; l – длина съезда, м;

$$V_{3p} = 2 \cdot h_c \cdot m \cdot l, \text{ м}^3.$$

2. Формула (2) справедлива до выполнения условия:

$$n' = \frac{L + n_{\epsilon} \cdot h_c \cdot ctg \gamma}{h_c (ctg \beta + ctg \gamma)}, \text{ шт.},$$

$$\gamma = \arcsin \frac{h_c (n+1)}{n (Ш_{д.р.н} + h_c \cdot ctg \alpha_y)}, \text{ шт.},$$

где n' округляется в меньшую сторону до целого числа; β – угол откоса бортов, торцов карьера (граничный); γ – результирующий угол добычной рабочей зоны карьера, n – количество наклонных добычных слоев в рабочей зоне карьера; α – угол уступа;

$Ш_{д.р.н}$ – ширина добычной рабочей площадки.

3. Количество наклонных добычных слоев в рабочей зоне карьера:

$$n = n' - n_g, \text{ шт.}$$

4. При дальнейшем развитии карьера формуле с шагом $(n' + 1)$:
 объем добычи руды V_p определяется по

$$V_p = n \cdot V_{3p} - \frac{1}{2} h_c^2 \cdot m \cdot \text{ctg} \beta, \text{ м}^3.$$

5. Формула $V_p = n \cdot V_{3p} - \frac{1}{2} h_c^2 \cdot m \cdot \text{ctg} \beta$
 справедлива до выполнения условия:

$$n' = \frac{B - m}{2 \cdot h_c \cdot \text{ctg} \beta}, \text{ шт.},$$

где B – ширина карьерного поля, м.

6. В дальнейшем объем добычи полезного ископаемого с шагом $n' + 1$ определяется по формуле:

$$V_p = (m - 2h_c \cdot \text{ctg} \beta) \left(2n \cdot h_c \cdot \ell - \frac{1}{2} h_c^2 \right), \text{ м}^3. \quad (3)$$

7. Формула (3) справедлива до выполнения условия:

$$n' = \frac{B - Ш_0}{2 \cdot h_c \cdot \text{ctg} \beta}, \text{ шт.},$$

где $Ш_0$ – проектная ширина дна карьерного поля, м.

Объемы производства вскрышных работ определяются как разница между объемами

извлечения горной массы и полезного ископаемого при выполнении каждого цикла работ:

$$V_g = V_{г.м} - V_p, \text{ м}^3.$$

Разработанная методика предназначена для определения календарного распределения объемов извлечения горной массы, полезного ископаемого и вскрышных пород при применении технологической схемы отработки карьерного поля, представленной на рис.1.

Проверочные расчеты по определению достоверности результатов, полученных с помощью разработанной «Методики...», показали достаточно хорошую сходимость теоретических показателей с фактическими.

Целесообразность применения рассматриваемой технологической схемы заключается в обеспечении максимально возможной безопасности ведения горных работ в зоне возможного воронкообразования, предотвращения возникновения внезапного сдвижения горных пород при отработке неустойчивого массива.

Во-вторых, так как угол наклона выемочных слоев равен углу наклона транспортных коммуникаций, то устраняется необходимость не только дублирования, но

и проведения их вообще, так как по сути вся площадь наклонных слоев является транспортными коммуникациями.

Следующим положительным моментом совмещения функциональности выемочно-го слоя с транспортными коммуникациями является обеспечение снижения дальности транспортирования горной массы в рабо-

чей зоне карьера (транспортное средство перемещается по кратчайшему пути).

В условиях карьера «Северный» формирование его рабочей зоны наклонными слоями (для отработки массива горных пород, устойчивость которых ослаблена подземными выработками) позволило получить экономический эффект в размере 447300 грн.

Перечень ссылок

1. . Пат. 89252 Україна, МПК⁵¹ E21C 41/26 (2009.01). Спосіб повторної розробки крутопадаючих родовищ корисних копалин відкритим способом / Шапар А.Г., Копач П.І., Якубенко Л.В., Ботанцев І.В., Романенко В.Н.; заявник і патентовласник Інститут проблем природокористування та екології НАН України – заяв. 22.02.08; опубл. 11.01.10, Бюл. № 1.

A.G. Shapar, I.V. Yakubenko*,
I.V. Botantsev**;*

**OPTIMIZATION OF WORKING ZONE
PARAMETERS WITHIN SECONDARY DE-
POSITS MINING QUARRIES OF “PREVI-
OUSLY LOST” MINERAL RESOURCES**

** Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy
of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine;*

*** «North» mining wook «Ukrmekhanobr» OAS the «Mariupol metallurgical combine plant
nasned utter», Ukraine*

The effective secondary mining of sharp angle layers of mineral deposits, which had been previously exploited by underground mining, require quarries working zone optimization. It could be formed via sloping excavation layers.

Надійшла до редколегії 30 вересня 2011 р.

Рекомендовано членом редколегії докт. тех. наук І.Л. Гуменником