

УДК 622.015

А.Г. Шапарь, Л.В. Якубенко

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГО-РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

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

Для радикального вирішення проблеми мінімізації гірничого відводу розроблена нова еколого-ресурсозберігаюча технологія, що виключає необхідність зовнішнього відвалоутворення і значно скорочує обсяги виробництва рекультивацийних робіт.

Для радикального решения проблемы минимизации горного отвода разработана новая эколого-ресурсосберегающая технология, исключая необходимость внешнего отвалообразования и значительно сокращающая объемы производства рекультивационных работ.

Малоотходность производства и ресурсосбережение – основные направления решения проблемы рационального природопользования. Ландшафтные повреждения в процессе производства горных работ сводятся к появлению техногенных образований из вскрышных пород в виде внешних отвалов и глубоких выработок в земной коре. При разработке крутопадающих месторождений с использованием традиционных технологий ландшафтные повреждения особенно значительны.

Как показывает анализ литературных источников образование и накопление отходов постоянно возрастает. Согласно экспертной оценке Совета по изучению продуктивных сил Украины НАН Украины общий объем образования отходов, прежде всего горнопромышленных, в 2007 году достиг 780 – 800 млн т, а объем накопления – около 35 млрд т.

Анализ показателей накопления отходов показывает, что почти 85% их общих объемов составляют вскрышные и шахтные породы, шламы и другие продукты обогащения полезных ископаемых, которые в виде отвалов, терриконов, шламохранилищ закладированы на земной поверхности.

Для них характерна высокая концентрация в горнодобывающих регионах Украины.

Площадь, которую они занимают, составляет 160 – 165 тыс. га.

В этой связи решение задачи рационального землепользования не только актуально, но и на современном этапе развития горнодобывающего производства приобретает глобальное значение.

Научные и практические разработки последних лет, обеспечивающие снижение объемов внешних отвалов и, как следствие, уменьшение площади отчуждения земли путем использования технологических схем с внутренним отвалообразованием, решают эту проблему частично [1].

Эффективность эксплуатации крутопадающих месторождений зависит от выбора способа вскрытия, системы разработки и отвалообразования. При этом каждому виду системы разработки соответствует определенный способ формирования рабочей зоны карьера, направление развития фронта горных работ, календарное распределение извлечения вмещающих пород, образование выработанного пространства, которое в определенных условиях можно использовать для внутреннего отвалообразования.

В этой связи освоение крутопадающих месторождений представляет собой многоаспектную комплексную проблему. Наиболее приемлемым подходом для решения этой проблемы является применение метода классификации. Целью этого метода является установление приоритетных задач, решаемых последовательно. Классификационный анализ предусматривает построение классов и распределение объектов по клас-

сификационным признакам с учетом их иерархической значимости.

Классификация технологических схем разработки крутопадающих месторождений представлена в виде таблицы (таблица 1), в

которую, кроме перечисленных классификационных признаков, включена колонка, отражающая наличие методической базы для расчетов основных параметров технологических схем.

Таблица 1 - Классификация технологических схем разработки крутопадающих месторождений

Класс	Подкласс	Группа	Подгруппа	Вид	Подвид	Наличие методической базы для расчета основных параметров
1	2	3	4	5	6	7
А. Углубочно-одноэтапные	А-I. Наклонной и разрезной траншеями	А-I-1. Продольными блоками	А-I-а. Вкрест простирания пласта полезного ископаемого	А-I-1-а-I. Управление режимом горных работ карьера не возможно.	А-I-1-а-I-1. Внешнее отвалобразование. Отвал постоянный.	Методическая база для расчета основных параметров имеется
	А-II. Наклонной траншеей и первоначальным котлованом	А-II-2. Поперечными блоками	А-II-2-б. Вдоль простирания пласта полезного ископаемого	А-II-2-б-I. Управление режимом горных работ не возможно.	А-II-2-б-I-1. Внешнее отвалобразование. Отвал постоянный.	Методическая база для расчета основных параметров имеется
		А-II-3. Диагональными блоками	А-II-3-б. Вдоль простирания пласта полезного ископаемого	А-II-3-б-II. Изменением параметров диагональных блоков	А-II-3-б-II-1. Внешнее отвалобразование. Отвал постоянный.	Методическая база для расчета основных параметров имеется
Б. Углубочно-позаэтапные	Б-I. Наклонной и разрезной траншеями	Б-I-1. Продольными блоками с формированием временно нерабочих бортов карьера	Б-I-1-а. Вкрест простирания пласта полезного ископаемого	Б-I-1-а-I. Позаэтапной обработкой карьерного поля с формированием временно нерабочих бортов карьера	Б-I-1-а-I-1. Внешнее отвалобразование. Отвал постоянный	Методическая база для расчета основных параметров имеется
	Б-II. Наклонной траншеей и первоначальным котлованом	Б-II-2. Поперечными блоками с формированием временно нерабочих бортов карьера	Б-II-2-б. Вдоль простирания пласта полезного ископаемого	Б-II-2-б-II. Позаэтапной обработкой карьерного поля с формированием временно нерабочих бортов карьера	Б-II-2-б-II-1. Внешнее отвалобразование. Отвал постоянный	Методическая база для расчета основных параметров имеется

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7
В. Углубочно-поэтапно-послойные	В-І. Наклонной траншеей и первоначальным котлованом	В-І-2. Поперечными блоками с формированием временно нерабочих бортов карьера	В-І-2-б. Вдоль простирания пласта полезного ископаемого	В-І-2-б- III. Поэтапной обработкой карьерного поля с формированием временно нерабочих бортов карьера	В-І-2-б- III-2. Комбинированный: Внешний отвал постоянный, внутренний – с переэкスカвацией	Методическая база для расчета основных параметров имеется
Г. Углубочно-сплошные	Г- І. Отсутствуют эффективные способы вскрытия и подготовки горизонтов к обработке	Г- І-0. Отсутствуют эффективные способы формирования рабочей зоны карьера	Г- І-0-б. Вдоль простирания пласта полезного ископаемого	Г- І-0-б-0. Отсутствуют способы управления режимом горных работ	Г- І-0-б-0-3. Предположительно внутренне отвалообразование, отвал постоянный	Отсутствуют технологические схемы производства горных работ и методическая база для расчета основных параметров

Анализ классификации по последнему признаку показывает, что способы реализации и методическая база расчетов основных параметров технологических схем, предусматривающих углубочно-одноэтапные, углубочно-поэтапные и углубочно-поэтапно-послойные способы обработки карьерного поля, разработаны в достаточной степени. А вот для углубочно-сплошного способа отработки карьерного поля отсутствуют как интенсивные способы вскрытия и подготовки горизонтов к отработке и формированию рабочей зоны карьера, так и методическая база для расчетов основных его параметров. Отсутствует также технологическая схема, обеспечивающая эффективное применение этого перспективного способа отработки карьерного поля.

В связи с отсутствием эффективных технологических способов для решения проблемы обеспечения сохранности земельных ресурсов путем полного устранения необходимости отчуждения земель для строительства и эксплуатации постоянных внешних отвалов с одной стороны, а с другой – осуществления в период основного срока службы карьера постоянного внутреннего отвалообразования, позволяющего по мере продвижения фронта горных работ засыпать

выработанную часть пространства до отметок земной поверхности, необходимо:

1) разработать способ вскрытия и подготовки рабочих горизонтов к отработке, обладающий высокими темпами углубки;

2) разработать способ формирования рабочей зоны пионерного карьера с высокой скоростью продвижения фронта горных работ;

3) разработать технологическую схему строительства пионерного карьера, которая сможет обеспечить:

- значительное сокращение сроков его строительства;

- стабильные объемы добычи полезного ископаемого, соответствующие производственной мощности основного карьера.

разработать способ формирования рабочей зоны основного карьера и технологическую схему отработки карьерного поля, предусматривающих укладку вскрышных пород в постоянный внутренний отвал.

Для решения поставленных задач разработан новый способ вскрытия и подготовки рабочих горизонтов к отработке [2]. Для этого вскрытие и подготовка горизонта к отработке осуществляется одновременным проведением нескольких наклонных траншей серповидной формы в плане. Приконтурная часть каждой серповидной наклонной траншеи проходит по окружности с

равным удалением друг от друга. При достижении отметки, равной половине высоты уступа, изменяется направление проходки траншей в сторону центра окружности внешнего контура вскрывающих выработок.

Проходка радиальной части этих траншей осуществляется в направлении центра

окружности внешнего контура вскрывающих выработок, в котором они сходятся.

Построенные таким образом наклонные траншеи дают возможность организовать сквозную схему транспортирования в любом направлении увеличивая производительность горно-транспортного оборудования (рисунок 1).

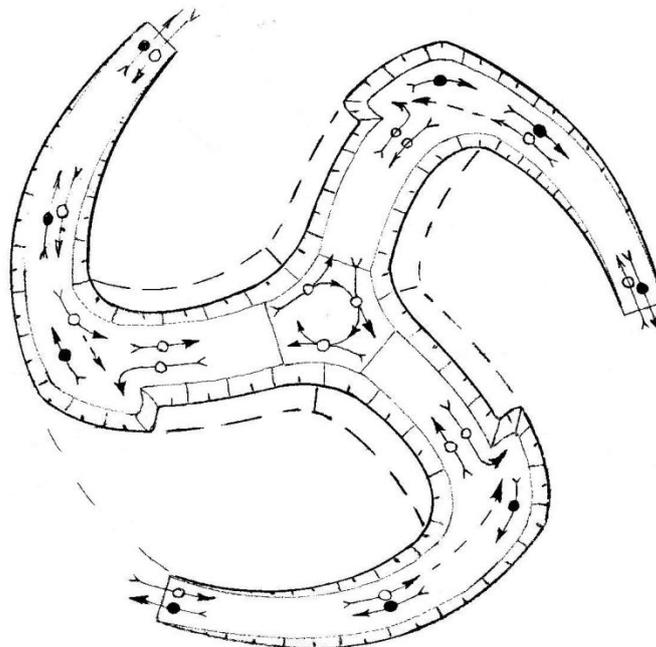


Рисунок 1 – Вскрытие и подготовка рабочих горизонтов к отработке

Такая схема транспортирования позволяет пустому транспортному средству подъехать к любому экскаваторному забою с любой стороны, не создавая очередей и простоев горнотранспортного оборудования, а загруженному – выехать к месту по кратчайшему пути.

Как показали проведенные исследования, разработанный способ вскрытия и подготовки рабочих горизонтов к отработке обеспечивает снижение сроков строительства пионерного карьера в 4-6 раз, при этом скорость его углубки достигает 90-105 м/год.

Кроме того, для обеспечения строительства карьера с такими темпами углубки рабочая зона пионерного карьера должна быть сформирована диагональными блоками (рисунок 2), т.к. только такое ее формирование обеспечивает необходимую скорость продвижения фронта горных работ для подготовки нижележащих горизонтов к вскрытию.

Устранив известные недостатки, присущие существующим способам строительства

пионерного карьера, для решения проблемы минимизации отчуждения плодородных земель для производственной деятельности горнодобывающих предприятий разработана новая технологическая схема отработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием (рисунок. 3) [3].

Сущность предлагаемой схемы заключается в следующем.

Вскрытие крутопадающего месторождения и его подготовку к эксплуатации осуществляют путем строительства пионерного карьера на всю глубину карьерного поля, что обеспечивает создание ёмкости для будущего внутреннего отвалообразования, при этом вскрышные породы укладывают в два временных внешних отвала в контуре карьерного поля по поверхности со стороны висячего и лежащего боков залежи вдоль её простираия.

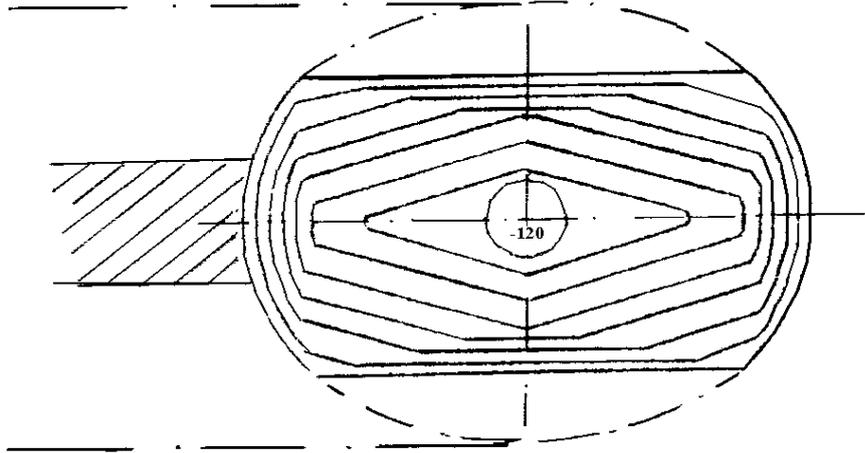


Рисунок 2 – Формирование рабочей зоны пионерного карьера диагональными блоками

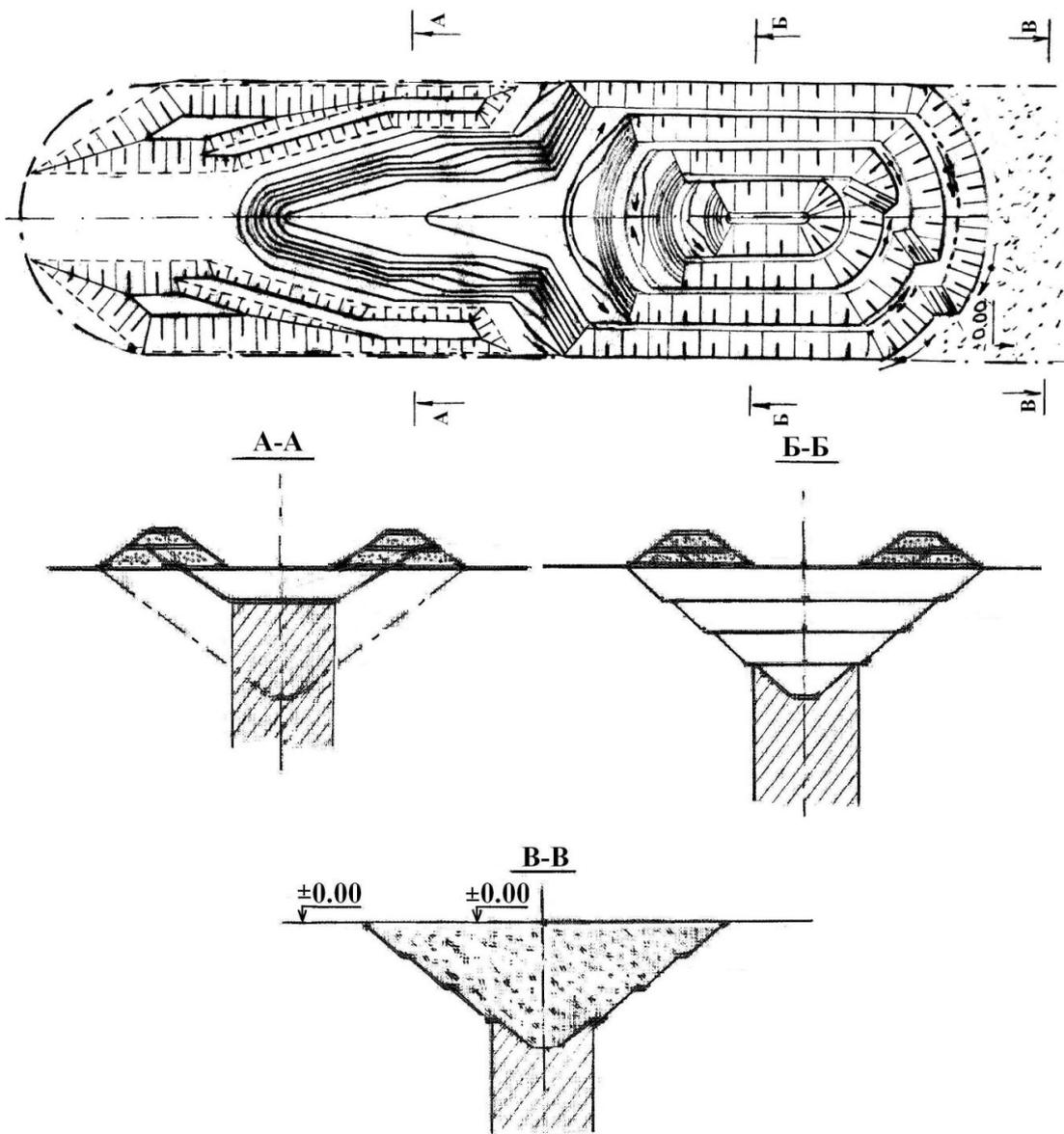


Рисунок 3 – Технологическая схема отработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием

В период строительства пионерного карьера на одном из его торцов формируется рабочая зона основного карьера.

Для стабилизации объемов производства вскрышных работ (одно из необходимых условий осуществления внутреннего отвалообразования) рабочая зона карьера формируется следующим образом. Первоначально высота рабочего борта карьера разбивается на ряд горизонтальных слоев, каждый из которых состоит из нескольких уступов, разделенных между собой по высоте последовательно чередующимися транспортными и предохранительными бермами. Для одновременной отработки вышеуказанных слоев между ними предусматривается наличие горизонтальных площадок, ширина которых равна годовому подвиганию фронта горных работ.

С момента окончания строительства пионерного карьера и начала развития горных работ в направлении противоположного торца карьерного поля начинается период основного срока службы карьера, на протяжении которого предусматривается внутреннее отвалообразование.

В этот период одновременно обрабатываются не только все горизонтальные слои, но и временные внешние отвалы, сформированные при строительстве пионерного карьера с укладкой вскрышных пород в постоянный внутренний отвал.

Отработку каждого горизонтального слоя ведут двумя этапами (рисунок 4). На первом

этапе при отработке первой половины годового объема извлечения горной массы нарезают диагональные блоки, которые перемещались от бортов карьера к его центру последовательно, осуществляют вскрытие нижележащих горизонтов с формированием рабочих площадок и транспортных берм, ширина которых соответствует нормативным значениям.

При перемещении диагональных блоков от центра карьера в направлении его бортов (обратный ход) обрабатывается вторая половина ширины горизонтальной площадки. Грузотранспортная связь между экскаваторными забоями и пунктами доставки горной массы осуществляется по ранее нарезанным транспортным бермам, которые погашают по мере подвигания диагональных блоков к торцам горизонтальных слоев. Этим самым рабочий борт каждого горизонтального слоя приводится в начальное положение, при котором результирующий угол откоса этих слоев соответствует углу погашения борта карьера. В дальнейшем цикл работ по отработке карьерного поля повторяется.

Для выполнения условия заполнения выработанного карьерного пространства вскрышными породами до отметок земной поверхности необходимо установить главные параметры карьерного поля (L , B , H), определение которых основано на уравнении баланса:

$$V_{к.п.} - V_{о.в.п.} = V_{е.в.о.},$$

где $V_{к.п.}$, $V_{о.в.п.}$, $V_{е.в.о.}$ – соответственно объём карьерного поля, остаточный объём выработанного пространства и ёмкость внутреннего отвала, м³.

$$V_{к.п.} = H^2 \cdot ctg \alpha (1,04 \cdot H ctg \alpha + L_{д.к.п.}), м^3,$$

где H – глубина карьера, м; $L_{д.к.п.}$ – длина дна карьерного поля, м; α – результирующий угол откоса борта карьера, град.

После отработки месторождения и заполнения выработанного пространства вскрышными породами до отметок земной поверхности остается его незаполненная часть.

Геометрический объём карьерного поля (выработанное пространство) определяется по формуле:

Этот остаточный объём выработанного пространства может быть впоследствии заполнен вмещающими породами другого карьера или отходами обогащения добываемых руд. Ёмкость этого выработанного пространства равна:

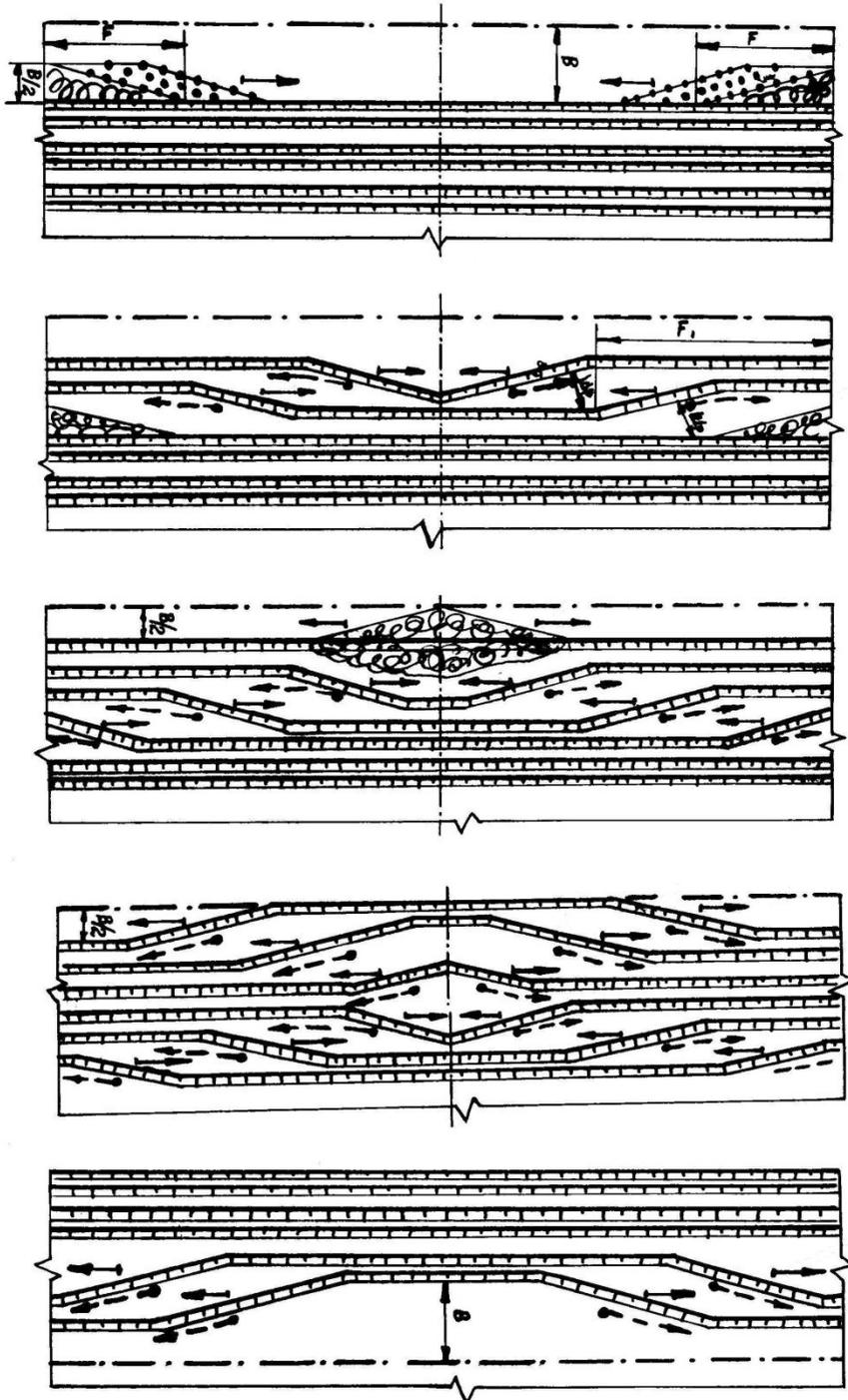


Рисунок 4 – Обработка горизонтальных слоев диагональными блоками

$$V_{\text{о.в.п.}} = H^2 \cdot \text{ctg } \alpha \cdot (0,52 \cdot H \cdot \text{ctg } \alpha + 0,67 \cdot H \cdot \text{ctg } \gamma + L_{\text{д}}), \text{ м}^3$$

где $L_{\text{д}}$ – длина дна карьера после обработки карьерного поля, м; γ – результирующий угол откоса внутреннего отвала, град.

В соответствии с уравнением баланса емкость внутреннего отвала составит:

$$V_{в.о.} = H^3 \cdot ctg\alpha^2 \left(0,52 + \frac{L_{д.к.п} - L_{д.}}{H \cdot ctg\alpha} - 0,67 \cdot \frac{ctg\gamma}{ctg\alpha} \right), \text{ м}^3$$

Объем вскрышных пород, заключенный в контурах карьерного поля и подлежащий

размещению во внутреннем отвале с учетом коэффициента остаточного разрыхления $K_{о.р}$ будет равен:

$$V_{в.о.} = k_{о.р.} \left(H - \frac{m}{2 \cdot ctg\alpha} \right)^3 \cdot ctg\alpha^2 \cdot \left(\frac{L}{H \cdot ctg\alpha - 0,5m} - 0,95 \right) + L \cdot h_{п} \cdot m, \text{ м}^3$$

где L – длина карьерного поля по поверхности, м; m – горизонтальная мощность пласта полезного ископаемого, м; $h_{п}$ – мощность покрывающих пород пласта полезных ископаемого, м.

В период строительства пионерного карьера извлекаемые вскрышные породы укладываются во временный внешний отвал,

который располагается на земной поверхности в контурах карьерного поля. Породы перемещаются в постоянный внутренний отвал по мере подвигания фронта горных работ (см. рис. 3). Объем этих вскрышных пород определяется по формуле:

$$V_{в.п.к.} = 0,33 \cdot \left(H - \frac{m}{2 \cdot ctg\alpha} \right)^3 ctg\alpha^2 \cdot \left[1,58 + \frac{L_{д.} + 0,5m \cdot \left(1 + \frac{ctg\beta}{ctg\alpha} \right)}{H \cdot ctg\alpha + 0,5m} + \frac{ctg\beta}{ctg\alpha} \right] + m \cdot h_{п} \cdot \left[H \cdot (ctg\alpha - ctg\beta) + L_{д.} \right], \text{ м}^3$$

где β – результирующий угол откоса рабочего борта карьера, град.

На основании проведенных исследований установлено, что глубина разрабатываемого карьерного поля (H) в конечном итоге зависит от горизонтальной мощности рудного тела (m), длины карьерного по поверхности (L) и длины дна карьера ($L_{д.}$).

Графическая интерпретация этих зависимостей представлена на рисунке 5, которая позволяет на основе баланса ёмкости внутреннего отвала и объёма вскрышных пород, заключенных в контурах карьерного поля, определить глубину карьерного поля. Для условия среднего значения $L=4500$ графики $V_{в.м.о.} = f(H, L_{д.})$ [поз. 6–7] – ёмкости внутреннего отвала от длины дна карьера ($L_{д.}$) точки пересечения этих графиков определяют глубину карьерного поля.

На основании проведенных исследований по установлению объёмов ресурсопотребления, степени отрицательного влияния различных технологических схем обработки крутопадающих месторождений на окружающую среду, построена номограмма, отражающая экологическую ресурсоёмкость различных технологических схем освоения этих месторождений (рисунок 6).

На этой номограмме (IV квадрант) представлены характерные графики, которые отображают объём выемки вскрышных пород на протяжении срока службы карьера. Такие календарные разделения производства вскрышных работ характерны практически для всего спектра технологических схем, которые осуществляют обработку крутопадающих месторождений.

В I квадранте номограммы отображена ресурсоёмкость первичных технологических процессов, которые осуществляют обработку вскрышных пород и календарное распределение выемки которых отображено в IV квадранте. Ресурсоёмкость этих процессов отображена зависимостями $M = f(A_T)$; $P = f(A_T)$; $P' = f(A_T)$ и представлена в виде графиков, расположенных в осях $A_T - M, P, P'$. Эти графики отображают изменение массы горнотранспортного оборудования (M), потребляемой мощности (P) и расхода дизельного топлива в зависимости от теоретической продуктивности технологического звена (A_T).

Второй квадрант отображает влияние экологической ресурсоёмкости горнодобывающего производства на атмосферный воздух.

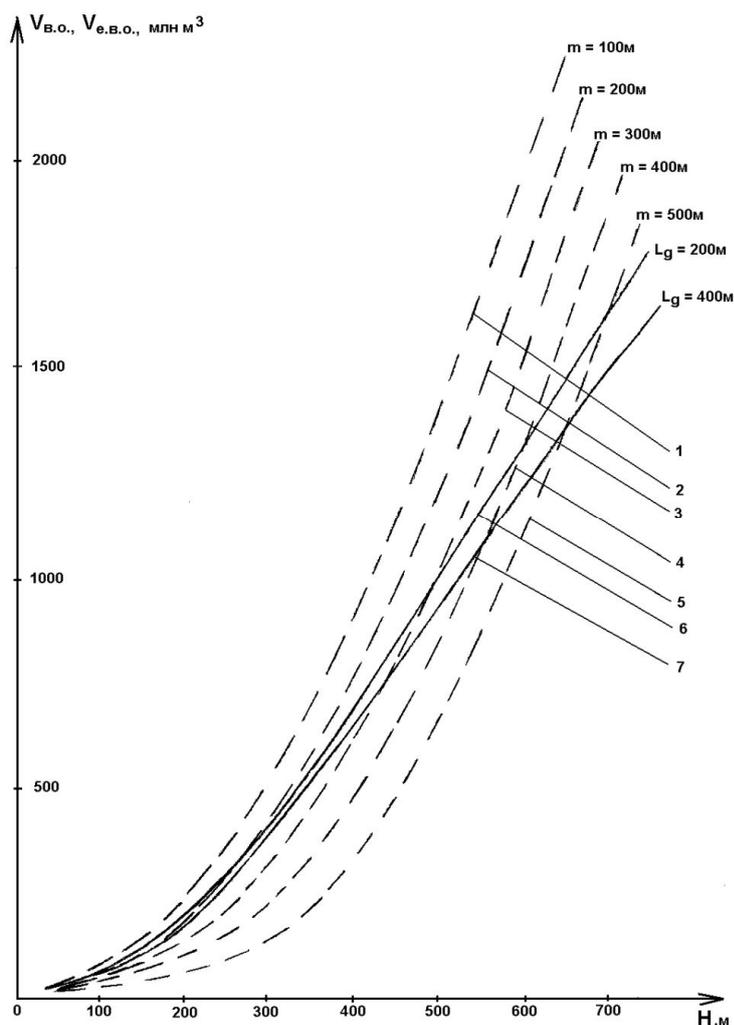


Рисунок 5 – Графики изменения объемов извлечения вмещающих пород $V_{в.о.} = f(H, m)$ и емкости внутреннего отвала $V_{е.м.о.} = f(H, L_d)$

В этом квадранте построены графики, которые отображают пылевыведение в атмосферу в процессе отработки месторождения полезных ископаемых от стационарных источников пылеобразования (внешние отвалы) и передвижных (грузотранспортного оборудования), а также загрязнения воздушного пространства газами CH_4 , CO , NO_2 , которые выделяются технологическими транспортными средствами в процессе доставки вмещающих пород на внешние отвалы.

В III квадранте в осях S_0 , $S_k - Q_v$ представлены графики $S_{0,k} = f(Q_v)$, которые отображают изменение площади отчуждения земли (нарастающим итогом), необходимой для развития карьера и отвалов в процессах их эксплуатации.

Кроме того, представленная номограмма позволяет в любой момент эксплуатации карьера, в зависимости от его производительности по полезному ископаемому и

вскрышным работам, оперативно определять потребляемую мощность грузотранспортного оборудования, расход дизельного топлива технологического транспорта, пылегазовыведение в атмосферу и площадь отчуждения земель для развития карьера и внешних отвалов.

Анализ разработанной номограммы показывает, что: самыми весомыми элементами экологической ресурсоёмкости является площадь отчуждения земель для развития карьера и внешних отвалов, а также выбросы в атмосферу пыли в процессе их функционирования.

Таким образом, разработанные технологические решения радикально решают проблему минимизации горного отвода, исключив необходимость внешнего отвалообразования, а также значительно сокращают объёмы производства рекультивационных работ средств, затрачиваемых на их выполнение.

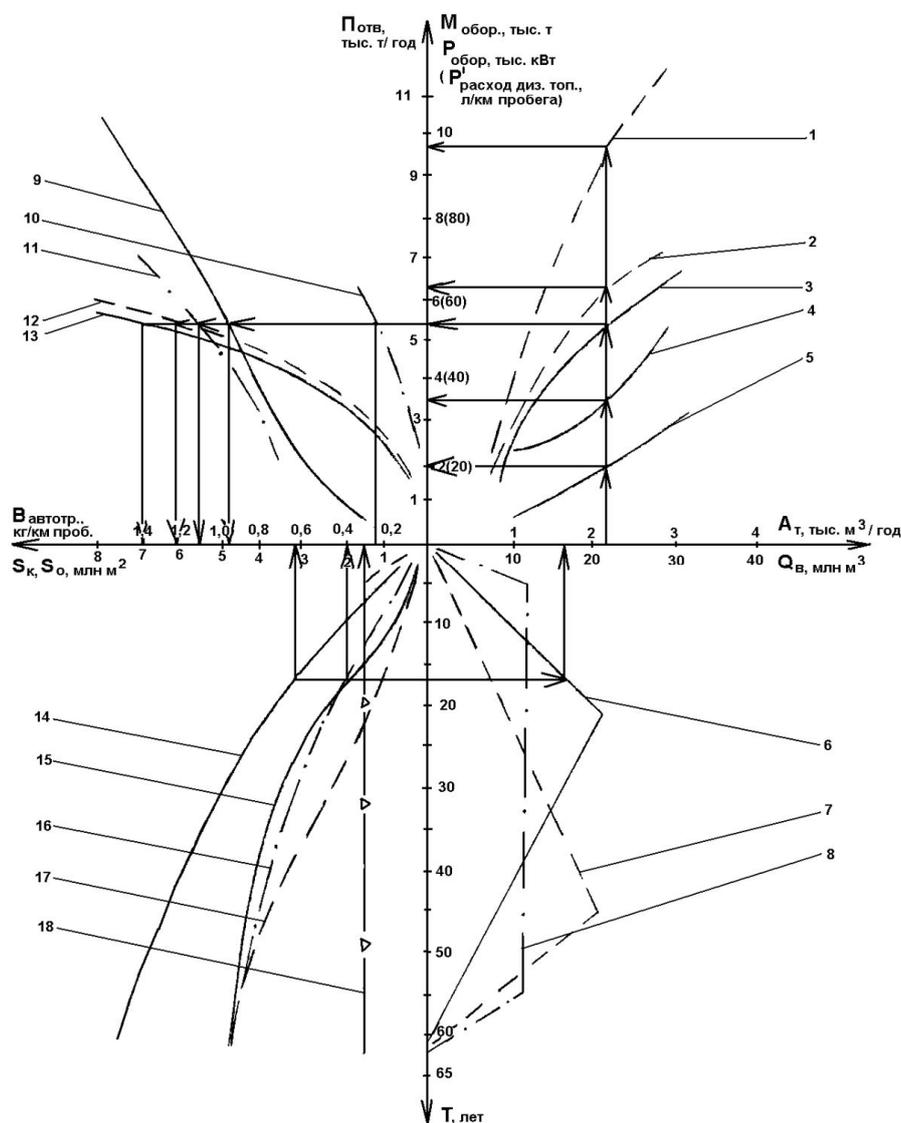


Рисунок 6 – Экологическая ресурсоемкость технологических схем разработки крутопадающих месторождений полезных ископаемых: 1 – график изменения мощности (P) технологического звена (экскаватор + железнодорожный транспорт) от её теоретической производительности A_т;

2 – график изменения массы (M) технологического звена (экскаватор + железнодорожный транспорт) от её теоретической производительности A_т; 3 – график изменения массы (M) технологического звена (экскаватор + автотранспорт) от её теоретической производительности A_т;

4 – график расхода дизельного топлива (P) технологического звена (экскаватор + автотранспорт) от её теоретической производительности A_т; 5 – график изменения потребляемой продукции (P) технологического звена (экскаватор + автотранспорт) от её теоретической производительности A_т; 6,7,8 – календарные графики производства вскрышных работ, характерных для технологических схем отработки карьерного поля; 9,11 – графики, которые отображают пылевыведение в атмосферу от стационарных и передвижных источников; 10, 12, 13 – графики, которые отображают загрязнение воздушного пространства газами, соответственно: CH₄, NO₂, CO;

14 – график, который отображает площадь отчуждения земли для развития карьера и внешних отвалов (нарастающим итогом); 15, 16, 17 – графики, которые отображают площадь отчуждения земли для развития внешних отвалов (нарастающим итогом); 18 – график, который отображает площадь отчуждения земли для технологической схемы с внутренним отвалообразованием.

Перечень ссылок

1. Открытая разработка крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием / Шапарь А.Г., Лашко В.Т., Романенко А.В., Киковка В.Е. – Киев: Наукова думка. 1992. – 115 с.
2. Пат. 85191 Україна, МПК⁵¹ E21C 41/26 (2008.01). Спосіб розкриття і підготовки робочих горизонтів кар'єру в умовах відкритої розробки крутопадаючих родовищ / Шапар А.Г., Копач П.І., Якубенко Л.В., Ємець М.А.; заявник і патентовласник Інститут проблем природокористування та екології НАН України – заяв. 13.02.06; опубл. 12.01.09, Бюл. № 1.
3. Пат. 85246 Україна, МПК⁵¹ E21C 41/26 (2008.01). Спосіб відкритої розробки крутопадаючих родовищ корисних копалин / Шапар А.Г., Копач П.І., Якубенко Л.В.; заявник і патентовласник Інститут проблем природокористування та екології НАН України – заяв. 15.01.07; опубл. 12.01.09, Бюл. № 1.

A.G. Shapar, I.V. Yakubenko

**DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL
AND RESOURCES SAVING TECHNOLOGY
FOR VERTICALLY-ORIENTED DE-
POSITS EXPLORATION**

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

The need for mining destructed territories minimization led to the development of new environmental and resources saving technology. It eliminates the necessity of external waste rocks dumping and significantly decreases the need for lands rehabilitation.

*Надійшла до редколегії 30 вересня 2011 р.
Рекомендовано членом редколегії докт. техн. наук І.Л. Гумеником*