

УДК 622.271

В.Г. ПШЕНИЧНЫЙ, ГП «ГПИ «Кривбаспроект»,
Н.Н. ПЫЖИК, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ДОБЫЧНЫХ, ВСКРЫШНЫХ И ВНУТРИКАРЬЕРНЫХ ОТВАЛЬНЫХ РАБОТ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ

Показана актуальность технологии внутреннего отвалообразования, предусматривающей формирование временного внутреннего отвала. Предложена методика, позволяющая учесть влияние технико-экономических факторов на режимы добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ при открытой разработке крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время все большее применение находит технология разработки крутопадающих месторождений с применением внутреннего отвалообразования. Наиболее перспективной является технология внутреннего отвалообразования с формированием временного внутреннего отвала до достижения карьером конечной глубины. Впоследствии временный внутренний отвал поэтапно перемещается в контурах карьера до формирования постоянного внутреннего отвала. Данная технология позволяет раньше начать внутреннее отвалообразование, вследствие чего снижаются затраты на разработку месторождения за счет сокращения расстояния транспортирования вскрышных пород автомобильным транспортом, уменьшаются площади отчуждаемых земель под внешние отвалы, а также улучшается экологическая ситуация.

В связи с этим, оптимизация режимов добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ при разработке крутопадающих месторождений полезных ископаемых с применением технологии внутреннего отвалообразования является важной научной и практической задачей.

Анализ исследований и публикаций. К технологическим схемам внутреннего отвалообразования, предусматривающих формирование временного внутреннего отвала, можно отнести следующее.

Технологию внутреннего отвалообразования при разработке крутопадающих месторождений блоками, предложенную Б.Т. Рутковским [1-2] и В.Ф. Бызовым [3]. Суть ее состоит в размещении скальных пород внутреннего отвала на горизонтальной площадке, которую по длине разделяют на три равные зоны: подготовительных, отвальных и добычных работ. По мере углубки карьера происходит многократная перевалка вскрышных пород, уложенных во внутренний отвал с поочередной сменой указанных зон.

Технологию разработки крутопадающих месторождений этапами с внутренним отвалообразованием, которую разрабатывали А.Г. Шапарь, А.В. Романенко, В.Е. Киковка и др. ученые [4-9]. Суть данной технологии состоит во вскрытии вытянутого месторождения на одном из его флангов карьером первого этапа, движении горных работ к противоположному флангу месторождения с формированием временного внутреннего отвала. Во время углубки карьера вскрышные породы транспортируются на внешние отвалы. При достижении противоположного фланга месторождения производится углубка карьера, и горные работы ведутся в обратном направлении с переэкскавацией внутреннего отвала и формированием внутреннего отвала второго этапа. Последовательность технологических процессов повторяется до достижения карьером конечной глубины.

Другие технологические схемы внутреннего отвалообразования [10], предусматривающие многократную переэкскавацию вскрышных пород в контурах карьера.

Постановка задачи. Задачей данной статьи является разработка методики оптимизации режимов добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ с учетом их взаимосвязи при разработке крутопадающих месторождений с применением технологии внутреннего отвалообразования.

Изложение материала и результатов. Предлагаемая методика, позволяющая учесть влияние технико-экономических факторов на режим добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ при открытой разработке крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием, предусматривает следующий алгоритм графоаналитических работ.

Подготавливаются геологические разрезы и погоризонтные планы с исходной геологической информацией и фактическим положением горных работ.

Определяется граничный коэффициент вскрыши по формуле ($\text{м}^3/\text{т}$)

$$n_{\text{г}} = (\text{Ц}_{\text{к}} \cdot \gamma - a_{\text{к}} - a) / b_{\text{в}}$$

где $\text{Ц}_{\text{к}}$ - оптовая цена концентрата, грн./т; γ - выход товарной руды, доли единицы; $a_{\text{к}}$ - себестоимость переработки руды в концентрат, грн./т; a - себестоимость добычи руды без учета себестоимости вскрышных работ, грн./т; $b_{\text{в}}$ - себестоимость разработки вскрышных пород при внешнем отвалообразовании, грн./ м^3 .

Определяется конечная глубина карьера при внешнем отвалообразовании с применением известных расчетных принципов. По плану горных работ определяются запасы руды и объем вскрышных пород в конечных контурах карьера.

Определяется конечная глубина карьера $H_{\text{к.вн}}$ при применении технологии внутреннего отвалообразования по расчетному принципу

$$n_{\text{в}} + n_{\text{вн}} + n_{\text{пер}} + n_{\text{о}} \leq n_{\text{г}}$$

где $n_{\text{в}}$ - текущий коэффициент вскрыши, доставляемой на внешний отвал, $\text{м}^3/\text{т}$; $n_{\text{вн}}$ - текущий коэффициент вскрыши, доставляемой на внутренний отвал, $\text{м}^3/\text{т}$; $n_{\text{пер}}$ - текущий коэффициент переэкскавируемой вскрыши, $\text{м}^3/\text{т}$; $n_{\text{о}}$ - первоначальный коэффициент вскрыши, $\text{м}^3/\text{т}$.

Правая часть расчетного принципа представляет собой расчетный коэффициент вскрыши, определяемый при углубке конечного контура карьера на один горизонт ($\text{м}^3/\text{т}$)

$$n_{\text{г}} = \frac{\Delta V_{\text{в}}}{\Delta P} + \frac{\Delta V_{\text{вн}}}{\Delta P} \cdot \frac{b_{\text{вн}}}{b_{\text{в}}} + \frac{\Delta V_{\text{пер}}}{\Delta P} \cdot \frac{b_{\text{пер}}}{b_{\text{в}}} + \frac{V_{\text{о}}}{Q} \cdot \frac{b_{\text{о}}}{b_{\text{в}}},$$

где $\Delta V_{\text{в}}$ - прирост объема вскрыши, доставляемой на внешний отвал, м^3 ; $\Delta V_{\text{вн}}$ - прирост объема вскрыши, доставляемой на внутренний отвал, м^3 ; $\Delta V_{\text{пер}}$ - объем переэкскавируемой вскрыши, м^3 ; ΔP - прирост запасов руды, т; $b_{\text{в}}$, $b_{\text{вн}}$ - себестоимости разработки вскрышных пород соответственно при внешнем и внутреннем отвалообразовании, грн./ м^3 ; $b_{\text{пер}}$ - себестоимость переэкскавации вскрышных пород, грн./ м^3 ; $V_{\text{о}}$ - объем горнокапитальных работ, м^3 - запасы руды в расширенных конечных контурах карьера, т; $b_{\text{о}}$ - себестоимость горнокапитальных работ, грн./ м^3 .

При этом, суммарный объем переэкскавации временного внутреннего отвала не должен превышать максимальный объем переэкскавации

$$\sum \Delta V_{\text{пер}} \leq V_{\text{пер}}^{\text{max}}$$

Максимальный объем переэкскавации вскрышных пород без учета дисконтирования и при условии $V_{\text{в}} = 0$ определяется по формуле (м^3)

$$V_{\text{пер}}^{\text{max}} = \frac{(\text{Ц}_{\text{к}} \cdot \gamma_{\text{к}} - a - a_{\text{к}}) \cdot \Delta P - \Delta V \cdot b_{\text{вн}}}{b_{\text{пер}}}$$

где ΔV , ΔP - прирост объема вскрышных пород и запасов руды при углубке конечного контура карьера на один горизонт при условии $\frac{\Delta V}{\Delta P} = n_{\text{г}}$.

По погоризонтным планам определяются запасы руды и объем вскрышных пород в конечных контурах карьера при применении технологии внутреннего отвалообразования, а также объем внутреннего отвала, который возможно разместить в конечных контурах карьера с учетом режима горных работ.

Для применяемой технологической схемы внутреннего отвалообразования определяется глубина этапа внутреннего отвалообразования по формуле

$$H_{\text{в}} = H_{\text{к.вн}} - H_{\text{к}}$$

где $H_{\text{к.вн}}$ - конечная глубина карьера при применении технологии внутреннего отвалообразования, м; $H_{\text{к}}$ - конечная глубина карьера при внешнем отвалообразовании, м.

Определяются параметры временного внутреннего отвала, его максимальная и минималь-

ная емкость, рациональное количество этапов внутреннего отвалообразования.

Высота временного внутреннего отвала принимается равной высоте этапа внутреннего отвалообразования (м)

$$H_{вр.вн.о} = H_э$$

Минимальная высота временного внутреннего отвала

$$H_{вр.вн.о}^{min} = h_y$$

По длине временный внутренний отвал формируется с примыканием к противоположным бортам карьера для обеспечения транспортной связи с временным внутренним отвалом и минимального расстояния транспортирования вскрышных пород временного внутреннего отвала автомобильным транспортом.

Временный внутренний отвал формируется в один ярус. Перемещение временного внутреннего отвала в положение следующего этапа предусматривается осуществлять по бестранспортной схеме драглайнами. При недостаточных рабочих параметрах драглайна временный внутренний отвал формируется в два яруса. Нижний ярус временного внутреннего отвала переэкскавируется драглайнами, а верхний ярус – перемещается транспортным способом.

Рациональное количество этапов внутреннего отвалообразования определяется по формуле

$$n_э = \frac{V_{пер}^{max}}{V_{вр.вн.о}^{max}} + 1$$

Определяется рациональная глубина начала внутреннего отвалообразования по формуле

$$H_{вн.отв} = H_{к.вн} - (n_э - 1) \cdot H_э, \text{ м}$$

Определяется объем переэкскавации временного внутреннего отвала драглайнами по предложенной технологии.

Минимальный объем переэкскавации временного внутреннего отвала драглайном с одной переэкскавацией (рис. 1)

$$V_{пер}^{оп} = S_{пер}^{оп} \cdot (B_0 + 2 \cdot (H_{к.вн} - H_к) \cdot \text{ctg } \beta_n), \text{ м}^3$$

где $S_{пер}^{оп}$ – средняя площадь поперечного сечения переэкскавируемой части временного внутреннего отвала драглайном, м²

$$S_{пер}^{оп} = \frac{S_1 + S_2}{2},$$

$$S_1 = (R_ч^{max} - (b_1 - c - \frac{D}{2}) - H_{вр.вн.о} \cdot \text{ctg } \beta_{я.вн.о}) \cdot H_{вр.вн.о},$$

$$S_2 = (R_п^{max} - \frac{D}{2} - c - H_э \cdot \text{ctg } \beta_n^y - b_1)^2 \cdot \text{tg } \beta_{я.вн.о},$$

где $R_ч^{max}$ – максимальный радиус черпания драглайна, м; где $R_п^{max}$ – максимальный радиус разгрузки драглайна, м; b_1 – берма между бровками уступа и отвала, м; c – берма обрушения, м; D – диаметр базы драглайна, м; β_n^y – угол откоса группы нерабочих уступов, град.

Отстраиваются контуры рабочих бортов карьера при его углубке до глубины $H_{вн.отв}$ и подсчитываются объемы полезного ископаемого и вскрышных пород, которые при этом вынимаются. На глубине карьера $H_{вн.отв}$ подсчитываются объемы полезного ископаемого при разное рабочих бортов карьера без углубки для формирования минимальной площадки для размещения временного внутреннего отвала первого этапа объемом $V_{вр.вн.о}^{max}$.

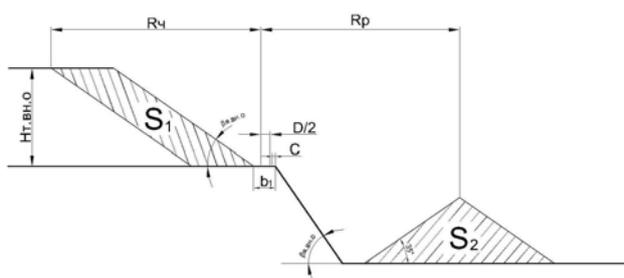


Рис. 1. Схема к определению минимального объема переэкскавации временного внутреннего отвала драглайном по предложенной технологии

Подсчитываются объемы вскрышных пород и полезного ископаемого при варианте ведения горных работ в карьере на максимальном количестве рабочих уступов с сохранением рабочих площадок минимальных размеров и формированием на каждом этапе временного внутреннего отвала с глубины

$H_{\text{вн.отв}}$ объемом $V_{\text{вр.вн.о}}^{\text{max}}$, с последующим его перемещением на нижние горизонты (рис. 2). Количество этапов составляет n_2 . За этап принимается подготовка емкости под внутренний отвал с перемещением внутреннего отвала в подготовленную емкость с предыдущего положения на вышележащих горизонтах.

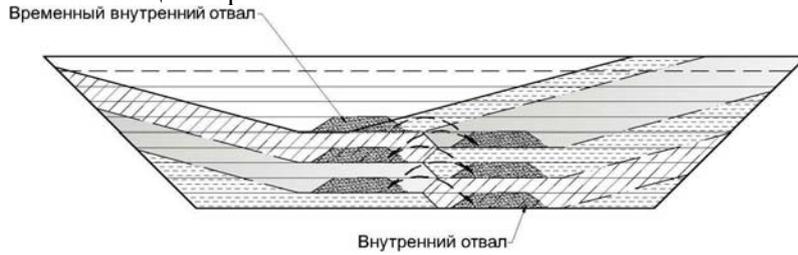


Рис. 2. Схема к определению объемов полезного ископаемого и вскрышных пород при варианте ведения горных работ этапами (при $\varphi = \varphi_{\text{max}}$)

Подсчитываются объемы вскрышных пород и полезного ископаемого при варианте ведения горных работ в карьере только на одном рабочем уступе до полной его отработки и формировании временного внутреннего отвала с глубины $H_{\text{вн.отв}}$, с последующим его перемещением на нижние горизонты (рис. 3).

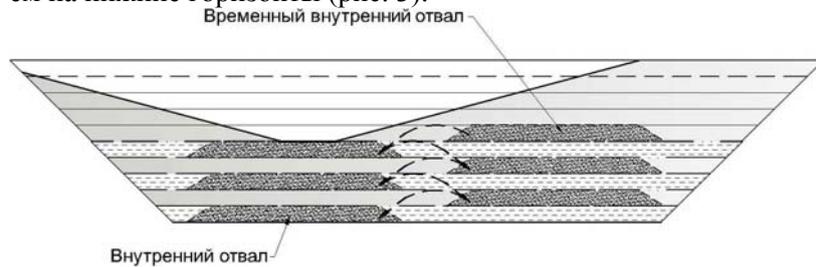


Рис. 3. Схема к определению объемов полезного ископаемого и вскрышных пород при варианте ведения горных работ послойно (при $\varphi \rightarrow 0$)

внутреннему отвалообразованию при $\varphi \rightarrow 0$ и $\varphi = \varphi_{\text{max}}$ (рис. 4).

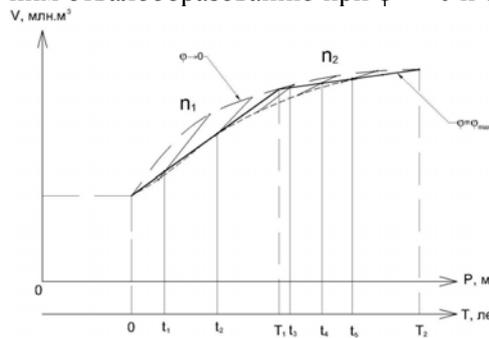


Рис. 4. График к определению эксплуатационных коэффициентов вскрыши

На графике $V = f(P)$ усредняются эксплуатационные коэффициенты вскрыши n_1, n_2, \dots, n_m , и выделяются периоды работы карьера с одинаковыми коэффициентами вскрыши. По графику определяется продолжительность периодов работы карьера с одинаковыми коэффициентами вскрыши и продолжительность этапов t_1, t_2, \dots, t_n .

Строится модель с целевой функцией

$$F_{\text{цел}} = (\gamma \cdot (C_k - a_k) - a) \cdot \sum_{t=1}^T (D_t \cdot A_p) - b_{\text{в}} \cdot \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^R (D_t \cdot V_{\text{вн}}) + (b_{\text{в}} - b_{\text{вн}}) \cdot \sum_{t=1}^T V_{\text{вн}} \cdot D_t - b_{\text{пер}} \cdot \sum_{t=1}^T (V_{\text{пер}} \cdot D_t) \rightarrow \max$$

где γ - выход концентрата с 1 т руды, доли ед.; C_k - цена 1 т концентрата, грн/т; a_k - себестоимость передела 1 т руды в концентрат, грн/т; a - себестоимость добычи 1 т руды без учета себестоимости разработки вскрышных пород, грн/т; D_t - коэффициент дисконтирования затрат в t-м году, доли ед; T - продолжительность периода работы карьера, лет; A_p - производительность карьера по руде, т/год; $b_{\text{в}}$ - себестоимость разработки 1 м³ вскрыши с внешним отвалообразованием, грн/м³; $V_{\text{вн}}$ - производительность карьера по вскрышным породам в i-м году n-го периода работы карьера, м³/год; N - количество периодов работы карьера с одинаковыми коэффициентами вскрыши; R - количество лет эксплуатации карьера в n-м периоде; $b_{\text{вн}}$ - себестоимость разработки 1 м³ вскрыши при внутреннем отвалообразовании, грн/м³; $V_{\text{вн}}$ - объем складирования вскрышных пород во внутренний отвал в t-м году работы карьера, м³; L - год начала внутреннего отвалообразования; $b_{\text{пер}}$ - себестоимость переэксплуатации 1 м³ вскрышных пород, грн/м³; $V_{\text{пер}}$ - объем переэксплуатации вскрышных пород в t-м году эксплуатации карьера, м³

$$D_t = \frac{1}{(1+E)^t}$$

где E - норма дисконта;

Первая составляющая целевой функции учитывает доход от реализации концентрата, вторая - затраты на выполнение вскрышных работ с внешним отвалообразованием, третья - повы-

шение дохода за счет формирования временного или постоянного внутреннего отвала, четвертая - расходы на переэкскавацию временного внутреннего отвала. Целевая функция оптимизируется по максимуму, т.е. $F_{цл} \rightarrow \max$.

Целевая функция предусматривает также оптимизацию объемов складирования вскрышных пород во внутренний отвал и объемов переэкскавации. Целевая функция имеет ограничения по минимальной и максимальной емкости временного внутреннего отвала на каждом этапе, а также по емкости внутреннего отвала, и производительности оборудования при формировании и перемещении внутреннего отвала. Также ограничения учитывают необходимость перемещения всего объема внутреннего отвала предыдущего этапа.

После получения результатов моделирования и их анализа определяется оптимальная глубина начала внутреннего отвалообразования с учетом экономической целесообразности, а также годовые объемы складирования вскрышных пород во внутренний отвал в течение всего периода работы карьера.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, при разработке крутопадающих месторождений с применением технологии внутреннего отвалообразования, которая предусматривает формирование временного внутреннего отвала, определение в карьере режимов добычных, вскрышных и внутрикарьерных отвальных работ необходимо осуществлять по предлагаемому критерию, в основу которого положена идея оптимизации годовых объемов складирования вскрышных пород во внутренний отвал и объемов их переэкскавации в зависимости от годовых объемов выемки вскрышных пород и производительности карьера по полезному ископаемому для получения максимальной дисконтированной прибыли за весь период эксплуатации карьера.

Список литературы

1. **Рутковский Б.Т.** Блоковый способ обработки карьерных полей с большим простираем // Разработка угольных месторождений открытым способом. – Кемерово, 1972. – Вып. 1. – С. 82 - 87.
2. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений полезных ископаемых: А. с. 337516 СССР, МКИЗ Е 21 С 41 / 00 / Б.Т. Рутковский. – Опубл. 05.05.72., Бюл. № 15.
3. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений при обработке глубоких горизонтов карьера: А. с. 968402 СССР, МКИЗ Е 21 С 41 / 00 / В. Ф. Бызов, В. Н. Романенко. – Опубл. 23.10.82., Бюл. № 39.
4. **Трубецкой К.Н., Шапарь А.Г.** Малоотходные и ресурсосберегающие технологии открытой разработки месторождений. - М.: Недра, 1993. - 272 с.
5. **Шапарь А.Г., Лашко В.Т., Романенко А.В. и др.** Основные положения новой технологии разработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием // Разработка рудных месторождений. – 1988. – Вып. 45. – С. 3 - 6.
6. Положення про проектування внутрішнього відвалоутворення та складування відходів виробництва в залізрудних і флюсових кар'єрах. – Дніпропетровськ: Мінерал, 2004. – 50 с.
7. Технология разработки с внутренним отвалообразованием для крутопадающих месторождений / **Шапарь А.Г., Лашко В.Т., Романенко А.В.** и др. – Днепропетровск: Облполиграфиздат, 1987. – 4 с.
8. Способ открытой разработки крутопадающих месторождений: А. с. 1155755 СССР, МКИЗ Е 21 С 41 / 00 / А.Г. Шапарь, В.Т. Лашко, А.В. Романенко и др. – Опубл. 15.05.85, Бюл. № 18.
9. **Романенко А.В.** Обоснование основных параметров технологии разработки крутопадающих месторождений с внутренним отвалообразованием, обеспечивающей снижение землеемкости производства: Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук: 05.15.03 / Днепропетровский горный ин-т им Артема. – Днепропетровск, 1989. – 17 с.
10. **Просандеев Н.И.** Определение основных параметров внутренних отвалов // Разработка рудных месторождений. – 1982. – Вып. 33. – С. 81 - 88.

Рукопись поступила в редакцию 03.03.14

УДК 622.72: 622.341

В.А. АЗАРЯН, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ КАЧЕСТВА В РУДОПОТОКЕ

Рассмотрены математическая модель динамической стабилизации колебаний качества обоснование в рудопотоке карьера, графики ежемесячных усредненных показателей значений содержания железа магнитного на входе обогатительной фабрики и прогнозируемые на основании модели значения. Анализ приведенных графиков показывает достаточно хорошую сходимостью реальных и моделируемых величин содержания железа в руде на входе ОФ.

Решение технологической задачи по формированию рудопотока карьера с заданными каче-