

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УГЛУБКИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ЧАСТИЧНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПРОЕКТНЫХ КОНТУРОВ

*А.В. Романенко, Д.В. Швец, ГП «ГПИ «Кривбасспроект», Украина,
В.В. Панченко, В.В. Загубинога, ГВУЗ «НГУ», Украина*

Аннотация. На основе анализа технологических схем дополнительной углубки открытой разработки крутопадающих месторождений предложена схема с частичным изменением проектных контуров карьера. Выведена формула коэффициента вскрыши для этой схемы, на основе которой устанавливается целесообразность дополнительной углубки и ее рациональная величина.

Введение. Как известно, общей закономерностью открытой разработки крутопадающих железорудных месторождений является увеличение глубины карьеров. В настоящее время глубина практически всех железорудных карьеров приближается к проектной.

Приближение горных работ к проектной глубине порождает ряд научно-технических проблем. Основные из них – увеличение проектной глубины карьера или дополнительная выемка полезного ископаемого за пределами проектного контура. Решение этих проблем продляет срок службы карьера и повышает полноту выемки полезного ископаемого.

Анализ существующего положения, формулировка задачи. Проблема увеличения проектной глубины карьера является актуальной не только на стадии приближения горных работ к проектному контуру, но и на стадии разработки исходного проекта. Эта проблема одна из самых сложных, ей посвящено множество публикаций, и в данной работе она не рассматривается.

Проблеме дополнительной выемки полезного ископаемого за пределами проектного контура посвящено меньше работ, и они рассматривают ее, как правило, во взаимосвязи с комбинированной разработкой месторождений (выемка остаточных целиков в бортах и др.). Часть работ предлагает производить дополнительную углубку по полезному ископаемому без изменения проектных контуров карьера или как дальнейшую углубку с разносом проектных контуров и оценкой по контурному коэффициенту вскрыши. Первый вариант технологических решений имеет ограниченные возможности по причине принятого постоянства проектных контуров, а второй вариант, по сути, представляет собой процедуру установления нового проектного контура с перемещением всех бортов на основе традиционного горно-геометрического анализа с известными недостатками: повышенные объемы “прирезки” вскрышных пород и “не технологичность” контурного коэффициента вскрыши.

В связи с этим, задачей данной работы является обоснование целесообразности технологической схемы дополнительной углубки с частичным изменением проектных контуров и установление условий ее рационального применения.

Изложение материала исследований и результатов. Предлагаемая схема дополнительной выемки полезного ископаемого ниже проектного контура карьера, разрабатывающего крутопадающее железорудное месторождение, представлена на рис. 1.

Как видно из рисунка, при достижении проектного контура карьера возможна дополнительная углубка до контура $BB'C'S$ без изменения проектного положения бортов. В отличие от первого варианта известных технологических решений, дополнительную углубку предлагается продолжать до достижения граничного положения $FF'E'EC'S$. При этом проектный борт по висячему боку залежи перемещается в новое положение $K'F'$, и объем “прирезаемого” полезного ископаемого увеличивается.

В отличие от второго варианта известных технологических решений, в этом случае перемещается только один борт, что уменьшает “прирезаемый” объем вскрышных пород.

Изложенная выше суть и позиционирование предложенной схемы дополнительной углубки является обоснованием ее возможной целесообразности.

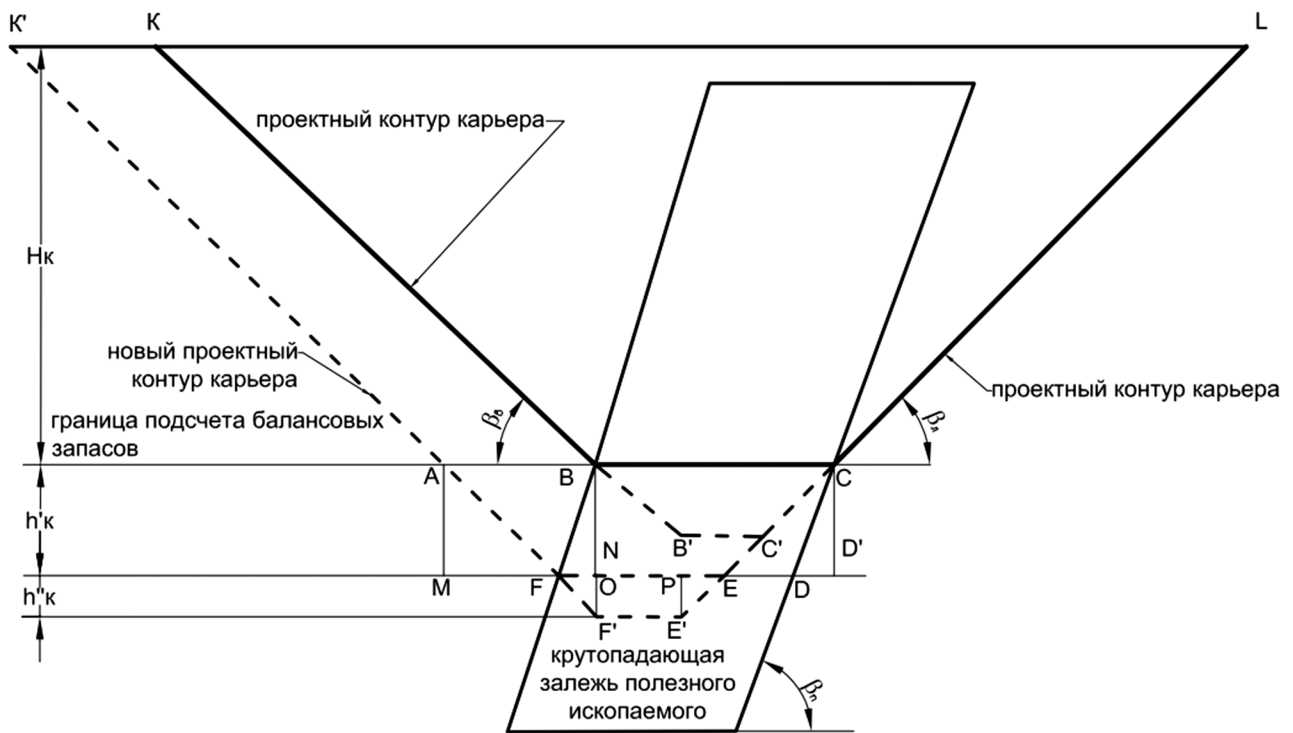


Рис. 1. Схема дополнительной выемки полезного ископаемого ниже проектного контура карьера: H_k – проектная глубина карьера, м; h'_k – величина углубки с перемещением нового рабочего борта; h''_k – величина углубки без перемещения нового рабочего борта; β_b – угол откоса проектного борта карьера по висячему боку залежи, град.; β_d – угол откоса проектного борта карьера по лежачему боку залежи, град.; β_n – угол падения пласта полезного ископаемого, град; $K'K = AB = a$ – горизонтальное подвигание нового рабочего борта; $B'C' = F'E' = b$ – минимальная ширина дна карьера; $BC = m_2$ – горизонтальная мощность пласта полезного ископаемого.

Для установления условий рационального применения предложенной схемы дополнительной выемки полезного ископаемого ниже проектного контура карьера за основу был принят известный принцип сравнения различных коэффициентов вскрыши с граничным коэффициентом K_{sp} . В нашем случае с граничным сравнивался коэффициент, который был определен как коэффициент вскрыши для предложенной технологической схемы K_c . Таким образом, в качестве исходного условия рационального применения предложенной схемы было принято неравенство:

$$K_{sp} \geq K_c. \quad (1)$$

Для определения величины K_c традиционно рассматривалось отношение соответствующих площадей вскрышных пород и полезного ископаемого на поперечном разрезе (рис. 1):

$$K_c = \frac{S_{K'KBF}}{S_{BCEE'F'F}}. \quad (2)$$

Из рис. 1 видно, что

$$S_{BCEE'F'F} = S_{BCEF} + S_{FEE'F'}. \quad (3)$$

Соответственно:

$$S_{BCEF} = \frac{BC + EF}{2} \cdot h'_k. \quad (4)$$

Определим составляющие h'_k и EF : с учетом геометрических соотношений $MF = h'_k \cdot ctg \beta_6$, $FN = h'_k \cdot ctg \beta_n$ и $MF + FN = a = h'_k (ctg \beta_6 + ctg \beta_n)$.

Получим

$$h'_k = \frac{a}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n}. \quad (5)$$

В свою очередь, с учетом геометрических соотношений $FE = FD - ED$, $ED = ED' - DD'$, $ED' = h'_k \cdot ctg \beta_l$ и $DD' = h'_k \cdot ctg \beta_n$ получим:

$$ED = h'_k \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n); \quad (6)$$

$$FE = m_2 - h'_k \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n), \quad (7)$$

и с учетом выражения h'_k :

$$FE = m_2 - \frac{a}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n} \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n); \quad (8)$$

Таким образом,

$$S_{BCEF} = \frac{1}{2} \cdot (BC + FE) \cdot h'_k = \frac{1}{2} \cdot \left(m_2 + \left(m_2 - \frac{a \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n)}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n} \right) \right) \cdot \frac{a}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n}. \quad (9)$$

С помощью аналогичных выражений и их преобразований была получена площадь контура $FEE'F'$:

$$S_{FEE'F'} = \frac{FE + E'F'}{2} \cdot h''_k, \quad (10)$$

где

$$FE = m_2 - \frac{a \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n)}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n}, \text{ а } F'E' = b. \quad (11)$$

Тогда

$$S_{FEE'F'} = \frac{1}{2} \cdot \left(\left(m_2 - \frac{a \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n)}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n} \right) + b \right) \cdot h''_k. \quad (12)$$

Соответственно было определено h''_k из выражений $FO + E'F' + PE = a$ и $h''_k \cdot ctg \beta_6 + b + h''_k \cdot ctg \beta_l = a$.

Отсюда:

$$h''_k = \frac{a - b}{ctg \beta_6 + ctg \beta_l}. \quad (13)$$

Следовательно

$$S_{FEE'F'} = \frac{1}{2} \cdot \left(\left(m_2 - \frac{a \cdot (ctg \beta_l - ctg \beta_n)}{ctg \beta_6 + ctg \beta_n} \right) + b \right) \cdot \frac{a - b}{ctg \beta_6 + ctg \beta_l}. \quad (14)$$

Таким образом, суммарная площадь полезного ископаемого в контуре $BCEE'F'F$, равна:

$$S_{BCEE'F'F} = \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\left(m_2 + \left(m_2 - \frac{a \cdot (\text{ctg} \beta_{\pi} - \text{ctg} \beta_n)}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n} \right) \right) + b \right) \cdot \frac{a}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_{\pi}} \right) + \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\left(m_2 - \frac{a \cdot (\text{ctg} \beta_{\pi} - \text{ctg} \beta_n)}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n} \right) + b \right) \cdot \frac{a-b}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_{\pi}} \right). \quad (15)$$

Общая величина углубки:

$$h_k = h'_k + h''_k = \frac{a}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n} + \frac{a-b}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_{\pi}} \quad (16)$$

Аналогично определялась площадь вскрышной “прирезки”:

$$S_{K'KBF} = S_{K'KBA} + S_{ABF}; \quad (17)$$

$$S_{K'KBA} = a \cdot H_k \text{ и } S_{ABF} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h'_k = \frac{a^2}{2 \cdot (\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n)}; \quad (18)$$

$$S_{K'KBF} = a \cdot H_k + \frac{a^2}{2 \cdot (\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n)}. \quad (19)$$

В результате был получен коэффициент вскрыши для предложенной технологической схемы дополнительной выемки полезного ископаемого ниже проектного контура карьера:

$$\kappa_c = \frac{S_{K'KBF}}{S_{BCEE'F'F}}, \quad (20)$$

т.е.

$$\kappa_c = \left(a \cdot H_k + \frac{a^2}{2 \cdot (\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n)} \right) : \left(\left(\frac{1}{2} \cdot \left(\left(2 \cdot m_2 - \frac{a \cdot (\text{ctg} \beta_{\pi} - \text{ctg} \beta_n)}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n} \right) + b \right) \cdot \frac{a}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_{\pi}} \right) + \left(\frac{1}{2} \cdot \left(\left(m_2 - \frac{a \cdot (\text{ctg} \beta_{\pi} - \text{ctg} \beta_n)}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_n} \right) + b \right) \cdot \frac{a-b}{\text{ctg} \beta_{\epsilon} + \text{ctg} \beta_{\pi}} \right) \right) \quad (21)$$

Таким образом была получена формула для вычисления K_c при заданных значениях H_k , β_{ϵ} , β_{π} , β_n , a , b и m_2 и подстановки в неравенство (1) для установления целесообразности применения этой схемы.

Кроме того, полученное выражение (21) может быть использовано для установления условий рационального применения данной схемы: при заданном значении K_{ep} и фиксированных значениях ряда перечисленных выше исходных параметров можно устанавливать интервалы рациональных значений остальных исходных параметров.

Как при определении величины возможной углубки по предложенной технологической схеме, так и при установлении условий ее рационального применения, по нашему мнению, следует учитывать переменный характер граничного коэффициента K_{ep} .

Согласно Нормам технологического проектирования и с учетом условий решаемой задачи:

$$K_{ep} = (C_p^{don} - C_p) / C_{\epsilon}, \quad (22)$$

где C_p^{don} – допустимая себестоимость добычи (с учетом транспортирования и переработки руды), грн/т;

C_p – расчетная себестоимость добычи (с учетом транспортирования и переработки руды), грн/т;

C_e – расчетная себестоимость выемки вскрыши (с учетом транспортирования) при заданной глубине открытой разработки, грн/м³.

Принято считать, что значения C_p и C_e увеличиваются с ростом глубины карьера.

На наш взгляд, имеет место более общая зависимость этих параметров от времени с учетом ряда дополнительных факторов: стоимости приобретаемого оборудования, энергоносителей и др. На рис. 2 и 3 показаны примеры динамики C_p (без учета переработки руды) и C_e (по данным НИГРИ).

Таким образом, при определении K_{zp} следует учитывать прогнозируемые на период расчета значения указанных себестоимостей, а не значения, рассчитанные только с учетом увеличенных расстояний транспортирования. Очевидно, что обеспечить необходимую достоверность прогнозируемых значений может оказаться проблематичным.

В свою очередь, не менее проблемным является достоверное определение себестоимости C_p^{don} .

Очевидно, что она связана с удельной прибылью, но неоднозначно, т.к. удельная прибыль устанавливается с учетом субъективных факторов:

$$C_p^{don} = \gamma C_k - P_k, \quad (23)$$

где γ – выход концентрата, доли ед.;

C_k – цена концентрата, грн/т;

P_k – удельная прибыль, грн/т.



Рис. 2. Динамика изменения средней себестоимости вскрыши для железорудных комбинатов Украины

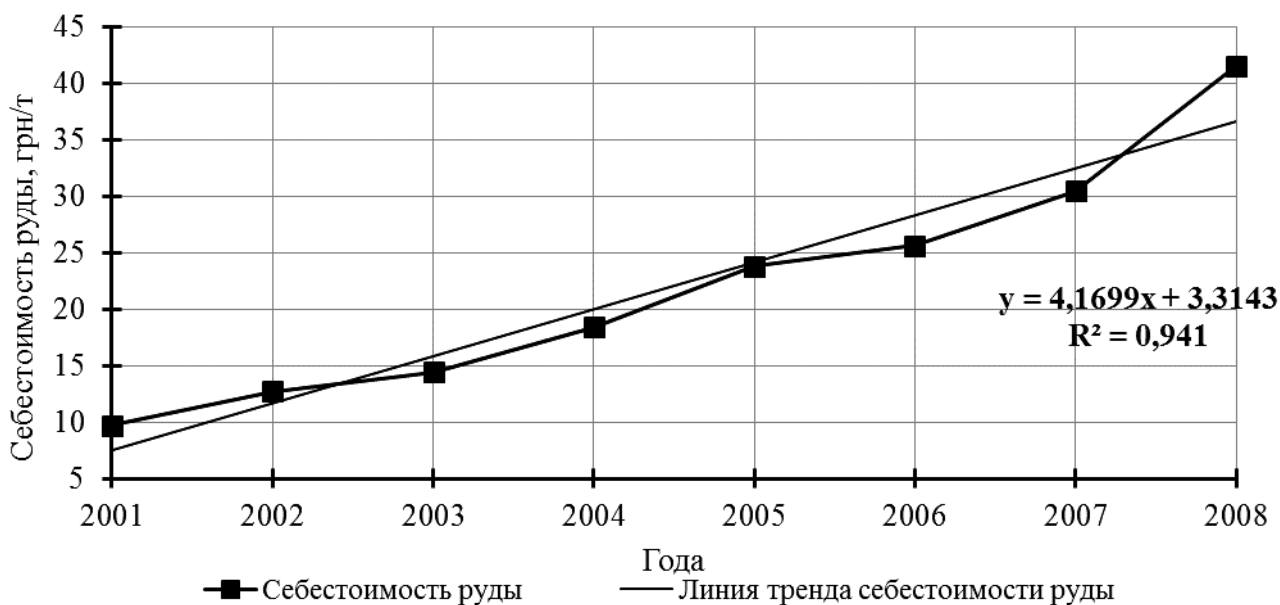


Рис. 3. Динамика изменения средней себестоимости руды для железорудных комбинатов Украины

Кроме того, значительной изменчивостью отличается и стоимость концентрата. На рис. 4 показан пример динамики цены на концентрат (по данным сайта www.metaltorg.ru).

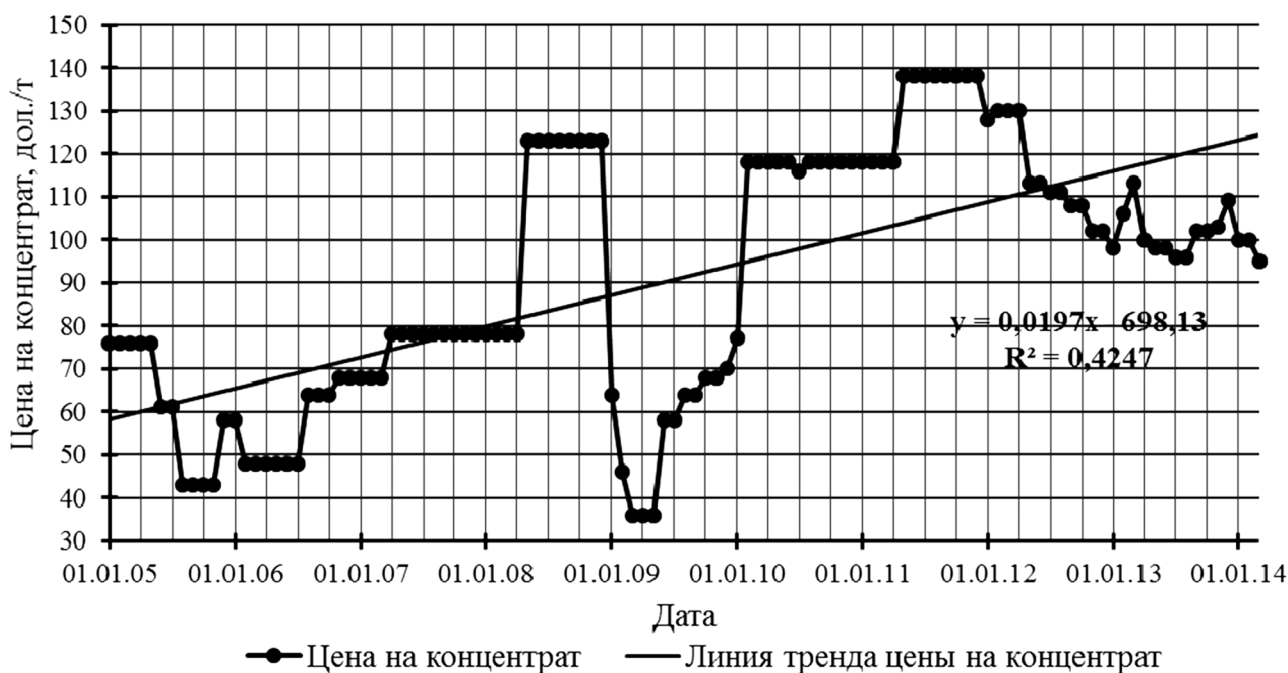


Рис. 4. Динамика изменения цены на концентрат на рынке минеральной продукции Украины

Таким образом, проверка условия возможности дополнительной углубки карьера (1) является не менее сложный и ответственным этапом, чем этап вычисления коэффициента вскрыши (21) для предложенной технологической схемы.

Выводы и предложения. Предложенная технологическая схема дополнительной углубки карьера с частичным изменением его проектных контуров занимает промежуточное положение между схемой без изменения проектных контуров и схемой с изменением обоих бортов. Для установления рациональной величины углубки рекомендуется полученная формула коэффициента вскрыши.