

**Г.А. Холодняков, Н.С. Вайнонен, А.А. Обожин**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО КОНТУРНОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ ДОБЫЧИ**

Предложен принцип проектирования границ карьера при комбинированной отработке всех запасов месторождения. Основным отличием от существующих принципов является использование контурного коэффициента добычи, который позволяет учитывать величину покрывающих пород и попутные полезные ископаемые при проектировании границ открытой разработки месторождений. Представлен конкретный пример использования указанного принципа при нахождении границ карьера, обрабатывающего условное месторождение.

Ключевые слова: границы карьера, попутное полезное ископаемое, комплексное месторождение, коэффициент добычи, экономия затрат.

**В** настоящее время в горной науке и практике нет единого метода определения границ открытой разработки месторождений с наклонными и крутыми залежами. Существует несколько общеизвестных подходов к технико-экономическому обоснованию глубины открытых работ, называемых принципами.

Наибольшее распространение в практике проектирования границ карьеров получил принцип, основанный на критерии обеспечения минимальных затрат при комбинированной (открытой и подземной) разработке всех запасов месторождения. Такой подход к месторождению полезных ископаемых обеспечивает полную и эффективную отработку всех его запасов, то есть учитывает один из признаков комплексного освоения месторождений – сочетание двух разных способов эксплуатации (открытого и подземного).

Минимальным затратам при комбинированной разработке всех запасов месторождения соответствует максимальная экономия затрат от применения открытого (вместо подземного) способа разработки части запасов этого месторождения.

Экономия затрат (Э) при этом составит (рис. 1, а) [1]

$$\varepsilon = hm_3(c_n - a_q) - m_3h_0(c_n - a_q) - \left[ \frac{H^2}{2}(ctg\alpha + ctg\beta) + m_3h_0 \right] a_n \quad (1)$$

где  $m_3$  – горизонтальная мощность залежи основного полезного ископаемого, м;  $H$  – предполагаемая глубина открытой разработки месторождения, м;  $h_0$  – мощность покрывающих залежь основного полезного ископаемого пород, м;  $\alpha$ ,  $\beta$  – углы наклона бортов предполагаемого карьера соответственно со стороны лежащего и висячего боков залежи, градус;  $c_n$  – удельные затраты на добычу полезного ископаемого подземным способом, руб./м<sup>3</sup>;  $a_q$  – удельные затраты на добычу полезного ископаемого открытым способом (без учета затрат на выемку горных пород – отходов карьера), руб./м<sup>3</sup>;  $a_n$  – удельные затраты на выемку горных пород – отходов, руб./м<sup>3</sup>.

Для того чтобы рассчитать максимальную экономию затрат от применения открытого способа разработки верхней части месторождения по сравнению с

подземным способом ее разработки, нужно производную уравнения (1) по  $H$  приравнять к нулю:

$$\frac{d\mathcal{E}}{dH} = m_3 (c_n + a_q) - H (ctg\alpha + ctg\beta) a_n = 0 \quad (2)$$

Выражение (2) может быть представлено в виде

$$\frac{a_n}{c_n - a_q + a_n} = \frac{m_3}{m + H(ctg\alpha + ctg\beta)}$$

В левой части выражения имеем граничный коэффициент добычи полезного ископаемого  $K_r$ , а в правой – контурный коэффициент добычи полезного ископаемого –  $K_k$  [2].

Следовательно, предельное условие минимальных затрат на разработку месторождения открытым и подземным способами соблюдается при условии  $K_r = K_k$ , что соответствует принципу

$$K_r \leq K_k \quad (3)$$

Глубина карьера, определенная по принципу (3), в основе которого заложен критерий минимума расчетных затрат на комбинированную разработку всего месторождения, не зависит от мощности покрывающих пород. Однако, при глубине карьера  $H$  экономия затрат на разработку части месторождения открытым способом может отсутствовать. Иными словами открытый способ разработки может нанести ущерб (хоть и минимальный на глубине  $H$ ), что может иметь место при большой мощности ( $h_0$ ) покрывающих пород.

Рассмотрим практический пример разработки некоторого месторождения, представленного крутопадающей залежью мощностью ( $m_3$ ) 50 м. Углы наклонов бортов карьера со стороны висячего и лежащего боков залежи равны  $45^\circ$ . Кроме того, известно, что  $c_n = 6,6$  тыс. руб./м<sup>3</sup>,  $a_q = 0,6$  тыс. руб./м<sup>3</sup>,  $a_n = 0,5$  тыс. руб./м<sup>3</sup>.

Подставляя представленные исходные данные в формулу (1), получим

$$\mathcal{E} = 506H - 50h_0 \cdot 6 - (H^2 + 50h_0)0,5$$

или

$$\mathcal{E} = 300H - \frac{H^2}{2} - 325h_0 \quad (4)$$

Варьируя глубиной карьера  $H$  и мощностью покрывающих пород  $h_0$ , исследуем, каким образом изменяется величина  $\mathcal{E}$ . Результаты расчетов сведем в таблице.

Анализ таблицы показывает, что при любой мощности покрывающих пород максимальная экономия затрат от разработки части месторождения открытым способом вместо подземного приходится на одну и ту же глубину карьера (300 м). Но эта экономия может быть со знаком «+» или со знаком «-». Во втором случае применение открытых работ невыгодно по сравнению с подземным способом разработки этой части месторождения из-за большой мощности покрывающих пород.

Открытые горные работы целесообразно осуществлять до такой максимально допустимой мощности покрывающих пород, когда экономия затрат на разработку верхней части месторождения будет не меньше нуля. В случае, если

**Разница в затратах ( $\mathcal{E}$ ) при открытой и подземной разработке верхней части месторождения при глубине карьера  $H$  и мощности покрывающих пород  $h_0$ , тыс. руб.**

$h_0$ , м \ $H$ , м	100	200	300	400	500
0	25 000	40 000	45 000	40 000	25 000
50	8 750	23 750	28 750	23 750	8 750
100	-7 500	7 500	12 500	7 500	-7 500
150	-23 750	-8 750	-3 750	-8 750	-23 750
200	-40 000	-25 000	-20 000	-25 000	-40 000
250	-56 250	-41 250	-36 250	-41 250	-56 250

она будет равна нулю, предпочтение следует отдать более безопасной открытой разработке с меньшими потерями полезного ископаемого в недрах. Поэтому в задачу проектировщиков должно входить нахождение того предельного значения мощности покрывающих пород ( $h_{0q}$ ), когда применение открытого способа для части месторождения еще дает экономию затрат по сравнению с подземным способом, то есть  $\mathcal{E} \geq 0$ .

Если мощность покрывающих пород в конкретном случае не превышает ее предельное значение  $h_0 \leq h_{0q}$ , становится целесообразной открытая разработка верхней части месторождения до глубины  $H$ .

Если же  $h_0 > h_{0q}$ , то  $\mathcal{E} < 0$  и открытая разработка месторождения (при критерии обеспечения минимума расчетных затрат на комбинированную его разработку) нецелесообразна.

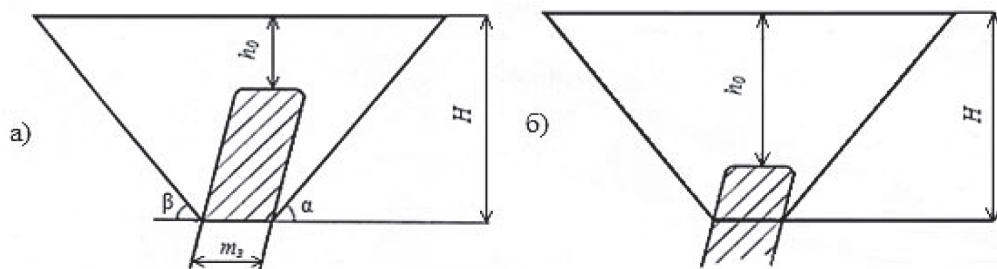
Рассмотрим практический пример определения целесообразности открытых работ на поперечных разрезах а и б (рисунок).

Найдем производную функции (4) по  $H$  и приравняем ее к нулю:

$$\frac{d\mathcal{E}}{dH} = 300 - H = 0$$

Отсюда  $H = 300$  м.

Следовательно, при глубине карьера 300 м будем иметь (как было указано выше) максимальную экономию затрат или минимальный ущерб от разработки верхней части месторождения открытым способом по сравнению с подземным. Величина  $\mathcal{E}$  для данного карьера ( $H = 300$  м) будет определяться по формуле (4).



**Схема к установлению целесообразности ведения открытых работ в зависимости от мощности покрывающих пород и расчетной допустимой мощности на разрезах:**

**а)  $h_0 < h_{0q}$  (100 м < 138 м); б)  $h_0 > h_{0q}$  (200 м > 138 м)**

$$\Theta = 300 \cdot 300 - \frac{300^2}{2} - 325h_0 = 45000 - 325h_0 \quad (5)$$

Предельному значению  $h_{0q}$ , при котором еще целесообразна открытая разработка верхней части месторождения, соответствует нулевое значение экономии, то есть  $\Theta = 0$ .

Приравняв правую часть уравнения (5) к нулю, получим

$$45\,000 - 325h_{0q} = 0$$

Отсюда  $h_{0q} = 138$  м

Таким образом, на разрезе а рисунка целесообразно вести открытую разработку (100 м < 138 м), а на разрезе б нет, так как мощность покрывающих пород (200 м) больше предельного значения (138 м) для условий этого месторождения.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Холодныяков Г.А. Проектирование карьеров разрабатывающих комплексные месторождения. Л.: ЛГИ, 1987. – 83 с.
2. Холодныяков Г.А. Проектирование карьеров при разработке комплексных месторождений. СПб, 2013. – 192 с. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Холодныяков Генрих Александрович – доктор технических наук, профессор,  
Вайнонен Никита Сергеевич – аспирант, e-mail: n.vainonen@gmail.com,  
Обошин Андрей Александрович – аспирант, e-mail: drew91@yandex.ru,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

---

UDC 622.271.33

## DETERMINATION OF OPEN PIT MINING BOUNDARIES BY THE CONTOUR OUTPUT FACTOR AT COMPOSITE DEPOSITS

Holodnyakov G.A., Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Vainonen N.S., Graduate Student, e-mail: n.vainonen@gmail.com,  
Oboshin A.A., Graduate Student, e-mail: drew91@yandex.ru,  
National Mineral Resource University «University of Mines».

---

*The open-pit boundary design principle for combined mining of all field reserves is considered. The research innovation consists in usage boundary mining ratio which allows to take into account overburden thickness and by-product mineral deposits for the open-pit boundary design. An open-pit boundary design example for a tentative deposit is presented.*

*Key words: open-pit boundary, by-product mineral, complex deposit, boundary mining ratio, cost savings.*

## REFERENCES

1. Holodnyakov G.A. *Proektirovanie kar'erov razrabatyvajushhih kompleksnye mestorozhdenija* (Borders of open-cast mining of complex mineral deposits), Leningrad, LGI, 1987, 83 p.
2. Holodnyakov G.A. *Proektirovanie kar'erov pri razrabotke kompleksnyh mestorozhdenij* (Borders of open-cast mining of complex mineral deposits), Saint-Petersburg, 2013, 192 p.