© Г.А. Холодняков, Н.С. Вайнонен, 2013

УДК 622.01

Г.А. Холодняков, Н.С. Вайнонен

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНИЦ КАРЬЕРА

Предложен критерий эффективности открытых работ в процессе проектирования глубины карьера - граничный коэффициент добычи полезных ископаемых, который может быть использован при определении границ карьеров, отрабатывающих как однородные, так и комплексные месторождения.
Ключевые слова: границы карьера, попутное полезное ископаемое, комплексное месторождение, коэффициент добычи.

Повышение уровня технологии открытых горных работ, связанного с развитием горно-транспортной техники, комплексное использование полезных ископаемых, добыча попутного минерального сырья из вскрышных пород – вот основные факторы, определяющие тенденцию увеличения глубины карьеров.

В комплексном месторождении может залегать несколько полезных ископаемых (i = 1, 2, ….., n) и из каждого добываемого полезного ископаемого можно извлекать несколько (j = 1, 2, ….., m) концентратов.

Изменение границ карьера в глубину, прежде всего, отражается на объеме горной массы, которую нужно извлекать в контурах карьера. С увеличением глубины карьера объемы полезных ископаемых в его контурах возрастают медленнее, чем объемы пород, представляющих отходы горного производства. В предельном значении глубины карьер имеет тот максимальный объем полезных ископаемых в общей горной массе, при котором еще целесообразно разрабатывать месторождение открытым способом. Поэтому критерием эффективности открытых работ в процессе проектирования глубины карьера, разрабатывающего комплексное месторождение, является граничный коэффициент добычи полезных ископаемых, приведенных к основному из них ($K_г$) [1]. При разработке комплексного месторождения из карьера или из горно-обогатительного комбината выходит разная отраслевая продукция. Сравнивать экономическую эффективность капитальных вложений в открытые работы, различающиеся масштабом производства, сроками строительства, видами выпускаемой продукции, а также фондо- и капиталоемкостью производства, можно только при приведении текущих и капитальных затрат по всем элементам в сопоставимый вид. Из этого принципиального положения следует, что разную отраслевую продукцию всегда нужно приводить в сопоставимый вид путем сравнения потребительной стоимости каждого вида продукции. Приведение в сопоставимый по ценности вид попутных полезных ископаемых к основному полезному ископаемому учитывает как их количество, так и ценность. Рекомендуется так называе-

мое приведенное основное полезное ископаемое, состоящее из основного и попутных, приведенных по ценности к основному, полезных ископаемых.

Представим, что из карьера будет добываться n полезных ископаемых в количествах, т/год: A_1 A_2, A_3, ..., A_n, каждое из которых может быть реализовано по ценам, руб/т: $Ц_1$, $Ц_2$, $Ц_3$, ..., $Ц_n$. Для упрощения расчетов целесообразно всю эту группу полезных ископаемых привести по стоимости к основному (в данном случае первому) полезному ископаемому.

Делается это по формуле

$$A_{пр} = \frac{1}{Ц_1}(A_1 Ц_1 + A_2 Ц_2 + ... + A_n Ц_n)$$

или в более кратком виде, т/год:

$$A_{пр} = \frac{1}{Ц_1}\sum_1^n A_i Ц_i$$

Рассмотрим методику определения граничного коэффициента добычи для двух случаев:

– карьер добывает и реализует все полезные ископаемые по определенным ценам;

– горно-обогатительный комбинат производит и реализует концентраты по определенным ценам.

Карьер добывает и реализует *n* полезных ископаемых.

Допустимые годовые затраты

$$З_д = \frac{Ц_1}{1 + R_c} A_{пр}$$

где $Ц_1$ - стоимость основного полезного ископаемого, к которому приведена производительность $A_{пр}$, руб/т; R_c - нормативный уровень рентабельности карьера, доли ед. Отметим, что

$$\frac{A_{пр}}{Q} = k_{пр} \qquad (1)$$

где Q - производительность карьера по горной массе, т/год; $k_{пр}$ - приведенный по стоимости к основному полезному ископаемому коэффициент добычи, т/т.

Открытые работы экономически выгодны, если соблюдается условие

$$З_д \geq З_ф \qquad (2)$$

где $З_ф$ - фактические затраты на работу карьера, руб/год. С учетом (1)

$$З_д = \frac{Ц_1}{1 + R_c} Q k_{пр}$$

Фактические годовые затраты,

$$З_ф = Q\sum_1^{n+1} k_i a_i + Q a_{о.п.} \qquad (3)$$

где k_i - коэффициенты выемки *i*-й горной породы, включая *n* полезных ископаемых и отходы (вскрышные породы); a_i - себестоимость выемки 1-й горной породы, включая все расходы до момента отгрузки потребителю полезных ископаемых в бункер фабрики или на склад и размещения в отвалах пустых пород (отходов), руб/т; $a_{о.п.}$. - затраты на охрану природы, руб/т.

На основе полученных зависимостей можно записать:

$$\frac{Ц_1}{1 + R_c} Q k_{пр} = Q\sum_1^{n+1} k_i a_i + Q a_{о.п.}$$

Отсюда

$$k_{пр} \geq \frac{1 + R_c}{Ц_1}\left(\sum_1^{n+1} k_i a_i + a_{о.п.}\right)$$

Очевидно, что минимальное значение $k_{пр}$ и будет граничным коэффициентом добычи

$$k_г = \frac{1 + R_c}{Ц_1}\left(\sum_1^{n+1} k_i a_i + a_{о.п.}\right) \qquad (4)$$

Экономический смысл полученной величины $k_г$, приведенной по стоимости к полезному ископаемому №1, состоит в том что возмещение

расходов на ежегодную выемку всех горных пород из карьера может быть условно осуществлено, если в горной массе, добываемой из карьера, будет кг полезного ископаемого № 1, а все остальные горные породы будут считаться отходами.

При определении границ карьера целесообразно оперировать только с полезным ископаемым №1. Для этого необходимо определить его относительную долю, участвующую в общей ценности добываемой продукции:

$$\delta = \frac{k_1 Ц_1}{\sum_1^n k_i Ц_i} \qquad (5)$$

где $k_1 Ц_1$ - доля ценности полезного ископаемого №1, руб/м; $\sum_1^n k_i Ц_i$ - ценность всех добываемых полезных ископаемых, руб/м.

Тогда граничный коэффициент добычи для полезного ископаемого №1

$$k_{г1} = \frac{k_1 (1 + \mathrm{R_c})}{\sum_1^n k_i Ц_i} \left(\sum_1^{n+1} k_i a_i + a_{\text{о.п.}} \right)$$

Рассмотрим ситуацию, когда реализуются концентраты, а не полезные ископаемые. Пусть из каждого i-го полезного ископаемого получается *j* концентратов по стоимости $Ц_{kij}$. Тогда допустимые затраты по каждому полезному ископаемому:

$$Ц_{ki} = \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} Ц_{kij} \qquad (6)$$

где γ_{ij} - извлечение *j*-го концентрата из *i*-го полезного ископаемого; m_i - количество концентратов из *i*-го полезного ископаемого.

Приведение производительности карьера необходимо, в данном случае, делать не по стоимости основного полезного ископаемого, а по стоимости концентратов, получаемых из 1 т этого полезного ископаемого $Ц_{k1}$. По формуле (6)

$$A_{пр.к} = \frac{1}{Ц_{k1}} \sum_1^n A_i Ц_{ki}$$

Тогда приведенный коэффициент добычи: $k_{пр.к} = A_{пр.к} / Q$

Допустимые затраты

$$З_{\text{д.к}} \frac{Ц_{k1}}{1 + \mathrm{R_c}} A_{пр} = \frac{Ц_{k1}}{1 + \mathrm{R_c}} Q k_{пр}$$

Фактические затраты составят, помимо затрат на выемку и доставку к месту назначения горных пород [формула (3)], затраты на обогащение полезных ископаемых. По каждому полезному ископаемому эти затраты составят:

$$a_{oi} = \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} a_{oij}$$

где a_{oij} - затраты на обогащение *i*-й руды для получения *j*-го концентрата, руб/т. Общие затраты на обогащение

$$З_{об} = Q \sum_1^n k_i a_{oi}$$

Суммарные фактические затраты

$$З_{ф.к} = Q \sum_1^{n+1} k_i a_i + Q a_{\text{о.п}} + Q \sum_1^n k_i a_{oi}$$

Из условия:

$$\frac{Ц_{k1}}{1 + \mathrm{R_c}} Q k_{пр.к} \geq Q \sum_1^{n+1} k_i a_i + Q a_{\text{о.п}} + Q \sum_1^n k_i a_{oi}$$

откуда

$$k_{пр.к} \geq \frac{1 + \mathrm{R_c}}{Ц_{k1}} \times$$

$$\times \left(Q \sum_1^{n+1} k_i a_i + Q a_{\text{о.п}} + Q \sum_1^n k_i a_{oi} \right).$$

Минимальное значение $k_{пр.к}$ и будет граничным коэффициентом добычи:

$$k_{\text{г.к}} = \frac{1+\text{R}_\text{с}}{Ц_{k1}} \times$$

$$\times\left(Q\sum_{1}^{n+1} k_i a_i + Q a_{\text{о.п}} + Q\sum_{1}^{n} k_i a_{oi}\right).$$

Для пересчета этой величины на долю полезного ископаемого №1 введем поправку, аналогичную формуле (5), тогда

$$k_{\text{г.к1}} = \frac{k_1(1+\text{R}_\text{с})}{\sum_{1}^{n} k_i Ц_{ki}} \times$$

$$\times\left(\sum_{1}^{n+1} k_i a_i + a_{\text{о.п}} + \sum_{1}^{n} k_i a_{oi}\right)$$

В дальнейшем все расчеты по определению границ карьеров можно вести только по основному полезному ископаемому. В случае разработки однокомпонентного месторождения и реализации руды одного вида по формуле (4) имеем:

$$n = 1;\ k_1 = A_p / Q;\ k_2 = A_n / Q;$$

$$a_1 = a_p;\ a_2 = a_n;\ (1+\text{R}_\text{с}) / Ц_1 = 1 / c_\text{д};$$

$$k_\text{г} = A_p / Q,$$

тогда

$$\frac{A_p}{Q} = \frac{1}{c_\text{д}}\left(\frac{A_p}{Q} a_p + \frac{A_n}{Q} a_n + \frac{Q}{Q} a_{on}\right)$$

и после преобразований

$$c_\text{д} = a_p + a_{on} + n_\text{г}(a_n + a_{on}),$$

$$n_\text{г} = \frac{c_\text{д} - (a_p + a_{on})}{a_n + a_{on}},$$

т.е. получаем обычную формулу граничного коэффициента вскрыши. Так как $k_\text{г} = 1/(1+n_\text{г})$, то

$$k_\text{г} = \frac{a_n + a_{on}}{c_\text{д} - a_p + a_{on}}.$$

Таким образом, предложенный критерий не отрицает действующий для однородных месторождений, но может быть использован при определении границ открытой разработки комплексных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Холодняков Г.А.* Границы открытой разработки комплексных месторождений полезных ископаемых. Л., изд. ЛГИ, 1986. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Холодняков Г.А. – доктор технических наук, профессор кафедры «Разработки месторождений полезных ископаемых», тел. (812) 3-288-638.
Вайнонен Н.С. - аспирант кафедры «Разработки месторождений полезных ископаемых»,
e-mail: n.vainonen@gmail.com,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург.