

УДК 622.271:622.341

В.Х.Кумыков, Т.М. Кумыкова
ВКГТУ им.Д.Серикбаева, г.Усть-Каменогорск

**ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ВОВЛЕЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКУ РУД С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕТАЛЛОВ
И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА РАЗВИТИЕ ГОРНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРЕ**

Состояние минерально-сырьевых ресурсов, неуклонное снижение их качества и большие масштабы производства вынуждают горнодобывающую промышленность перейти на интенсивный путь развития. При этом первоочередной задачей становится повышение степени полезности добываемой горной массы путем вовлечения в разработку руды с низким содержанием металла, что обеспечивает увеличение выхода полезных компонентов при комплексности переработки полиминерального сырья.

В основе рациональности освоения недр лежит повышение достоверности горно-геологической информации, что входит в задачи планирования геологоразведочных работ, и совершенствование технологии горных работ на основе создания новых методов воздействия на среду с помощью современного высокопроизводительного оборудования, обеспечивающего снижение отходов производства в виде отвалов пустых пород, временно некондиционных руд по запасам, содержанию в них металла или показателю переработки [1].

Наряду с ростом масштабов и интенсификацией производства задача повышения эффективности включает снижение удельных затрат на выдачу конечной продукции на основе повышения выхода полезной массы из добываемого сырья всех видов.

Таким образом, комплексность освоения запасов недр базируется на более глубоком и всестороннем изучении месторождения, переданного к проектированию, на основе современных методов анализа, учитывающих стохастичность горно-геологической информации, создания новой технологии добычи и переработки многосортных руд, делающей экономически целесообразным вовлечение в переработку забалансовых запасов в контурах открытой выемки, снижение трудозатрат и капитальных вложений на освоение разведанных запасов месторождения путем широкого использования попутно добываемой массы, из которой без дополнительных денежных вложений может быть получена полезная продукция, повышающая ценность основной товарной руды.

Основные требования к критериям планирования развития горных работ при добыче многокомпонентных руд и вовлечении в контур выемки забалансовых запасов следующие: учет высокой изменчивости горно-геологических факторов и их влияние на объемы добычи и качества; отражение структуры затрат и степени полезности вовлечения в попутную добычу некондиционного сырья; регулирование порядка и интенсивности выполнения работ по извлечению пород вскрыши и руды в заданных соотношениях.

Кроме пород вскрыши попутными полезными ископаемыми являются часть забалансовых запасов и некондиционных руд в контурах открытой разработки месторождения. Как правило, попутные полезные ископаемые добываются по той же технологической схеме, по которой производится основной технологический процесс по выемке пород вскрыши и рудной массы. Это предопределяет общность подхода к проблеме выбора критерия для оптимизации направления развития горных работ при добыче многосортных руд.

Технологическими и экономическими предпосылками учета комплексного влияния попутной добычи породы или руды, несущей потенциальную ценность, являются сле-

дующие факторы:

1. Перераспределение объемов вскрышных пород и рудной массы в границах горизонтов и отдельных выемочных блоков. При этом, если ценность представляют породы вскрыши, то попутное полезное ископаемое (ППИ) добывается по себестоимости последних, и дополнительных затрат не несут.

2. Если ППИ структурно связаны с основными запасами типов и сортов руд, оно может добываться совместно с последними или же отдельно. При этом могут иметь место:

- добыча по себестоимости запасов основного сырья;
- повышение себестоимости добычи на подготовку новых горизонтов и расширение масштабов производства.

3. Вовлечение в разработку некондиционных и забалансовых руд, которые добываются совместно с запасами основных полезных ископаемых по себестоимости последних и часть вскрышных пород относят к полезным продуктам, несущим дополнительную прибыль предприятию за счет повышения общей ценности извлечения запасов [2].

Так как во всех перечисленных выше случаях вовлечение в разработку ППИ прежде всего сказывается на изменении экономических показателей карьера, примем в качестве базового показателя величину прибыли Π_t предприятия, получаемой в t -й год, причем $t \in T$. Тогда общая прибыль от совместной добычи сортов руд и ППИ за время T существования карьера может быть определена на основе аналитического выражения

$$\Pi^{\Pi} = \sum_{t=1}^T \Pi_t \cdot \left(1 + \frac{E_n \cdot A_{p\delta}}{A_{pn}}\right)^{(T-t)}, \quad (1)$$

где $A_{p\delta}$ - производительность карьера по руде при работе по базовому варианту, тыс.т/год;

A_{pn} - производительность карьера по полезному ископаемому при вовлечении в разработку ППИ, тыс.т/год.

Оптимальному сочетанию объемов основных полезных ископаемых и попутно добываемых, согласно плану развития горных работ в контурах рабочей зоны карьера, будет соответствовать вариант направления углубки, определяющий положение центра разрезной траншеи на горизонте, который обеспечивает максимальную величину прибыли на каждом этапе отработки месторождения.

Аналитическое выражение целевой функции при этом будет иметь следующий вид:

$$\Pi^n = \left[\sum_{t=1}^T P_t \frac{1-\eta_t}{1-\rho_t} [\Pi_t - (C_t^D + C_t^{OO})] - \sum_{t=1}^{T-t} C_t^B V_t + \sum_{t=1}^{T-t} \Delta P_t \cdot \Pi_t' \right] \cdot \left(1 + \frac{E_n \cdot A_{p\delta}}{A_{pn}}\right)^{(T-t)} \rightarrow \max \quad (2)$$

Вторая часть формулы после квадратных скобок означает, что часть объемов вскрышных пород и объемы некондиционных руд ΔP_t добываются без дополнительных затрат - первая по себестоимости C_t^B выемки одного кубометра вскрыши, вторая - по себестоимости добычи одной тонны руды. Формула приведения (множитель к (2)) определяет изменение масштаба производства во времени при осуществлении дополнительных капитальных вложений.

Изменяющейся величиной функции (2) является ценность Π_t , которая растет за счет прироста запасов на величину ΔP_t в t -й год. Так как технология добычи при этом не меняется, дополнительная прибыль формируется как сумма произведений $\Delta P_t \cdot \Pi_t'$ в t -

й год. Здесь $Ц'_t$ - ценность одной тонны попутно добываемой забалансовой руды. Остальные элементы данной функции:

P_t - величина запасов основных руд, погашаемых в t -й год;

η_t и ρ_t - соответственно количественные и качественные потери руд соответствующего периода оценки;

$Ц_t$ - ценность единицы основной продукции, производимой в t -й год;

C_t^D, C_t^{OO} - соответственно затраты на добычу и переработку единицы основной товарной продукции, соответствующего периода оценки;

C_t^B - себестоимость производства единицы вскрышных работ в t -й год;

V_t - объем вскрыши в t -й год;

Δt - снижение объема вскрышных работ, доли ед.

Если попутные полезные ископаемые формируются из общего объема вскрышных пород, а забалансовые запасы не вовлекаются в добычу, то оптимизационная формула будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \Pi^{\Pi} = & \left\{ \sum_{t=1}^{T-1} P_t \cdot \frac{1-\eta_t}{1-\rho_t} \cdot [Ц_t - (C_t^D + C_t^{OO})] - \sum_{t=1}^{T-1} C_t^B \cdot V_t \cdot (1-\Delta^B) + \right. \\ & \left. + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta V_t \cdot \gamma_t^P \cdot [Ц_t'' - (C_t^D + C_t^{OO})] \right\} \cdot (1+E_H)^{T-t} \rightarrow \max, \end{aligned} \quad (3)$$

где ΔV_t - объем ППИ из числа вскрышных пород, вовлекаемый в добычу в t -й год;

γ_t^P - объемная масса ППИ;

$Ц_t''$ - ценность единицы продукции ППИ.

Формулы (2) и (3) позволяют оптимизировать направление углубки и в случае много-сортных руд. В структуре данных выражений при этом ничего не меняется. Только суммирование надо производить по сортам руд, добываемых в соответствующие периоды.

При одновременном вовлечении в разработку некоторого объема ΔP_t забалансовых руд и вскрышных пород ΔV_t , образующих попутные полезные ископаемые, оптимизационная формула будет иметь следующую структуру:

$$\begin{aligned} \Pi^{\Pi} = & \left\{ \sum_{t=1}^{T-1} P_t \cdot \frac{1-\eta_t}{1-\rho_t} [Ц_t - (C_t^D + C_t^{OO})] - \sum_{t=1}^{T-1} C_t^B V_t (1-\Delta^B) + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta P_t Ц_t + \right. \\ & \left. + \sum_{t=1}^{T-1} \Delta V_t \gamma_t^P [Ц_t'' - (C_t^D + C_t^{OO})] \right\} \cdot \left(1 + \frac{E_H A_{PB}}{A_{PP}} \right)^{T-t} \rightarrow \max. \end{aligned} \quad (4)$$

Функция (4) достигнет максимума при условиях:

$$A_{GM} \geq \sum_{t=1}^{T-1} x_t^{GM} \cdot (1-\delta), \quad (5)$$

$$A_{GM} \leq \sum_{t=1}^{T-1} x_t^{IP} + \sum_{t=1}^{T-1} x_t^{IV}, \quad (6)$$

где x_t^{GM} - планируемый объем перевозки горной массы в t -й год согласно плану развития

и режиму горных работ, тыс. м³;

δ - резерв горной массы для стабилизации производительности карьера при неподтверждении объемов, доли ед.;

x_i^{III} и x_i^{IV} - приемные способности соответственно рудных складов и породных отвалов без дифференциации руд на сорта, тыс.м³.

Формула (4) является комплексным показателем и, как это видно из ее структуры, увязывает между собой величину основных запасов с учетом качества добычи через показатели η и ρ и дополнительные объемы добычи из числа забалансовых запасов, а также часть объемов вскрышных пород, переходящих в разряд ценных продуктов. При этом она отображает через ценности и затраты на их создание эффективность вовлечения в разработку попутных полезных ископаемых.

Ограничение (5) означает, что объемы перевозки при формировании рудопотока с учетом резерва на колебания качества не могут превзойти производительность карьера по горной массе. Формула (6) задает ограничения по условию размещения дополнительно вовлекаемых в разработку объемов некондиционных и забалансовых руд, а также части объемов пород вскрыши на складах и отвалах, которые будут перерабатываться по другим технологическим схемам.

Из анализа структуры уравнения (4) следует, что попутная добыча сырья, которое в принципе может быть использовано в перспективе, не есть определяющий фактор деятельности карьера, а лишь сказывается на экономических показателях разработки месторождения. Поэтому основным критерием оптимизации при выборе направления развития горных работ остается интегральный показатель, одна из структур которого представлена формулой вида [3]

$$R^{(k)} = \left[\frac{1-\rho}{1-\eta} \sum_{j=1}^K \frac{V_j}{\tilde{\gamma}_j} + \sum_{i=1}^{\Pi} \sum_{j=1}^K \frac{Q_{ij}^{\delta}}{\tilde{\gamma}_{ij}} + \sum_{i=1}^{\Pi} \sum_{j=1}^K Q_{ij}^{\Pi} \cdot \xi \cdot \frac{1-\eta_{ij}}{1-\rho_{ij}} \right] / \Pi_{oi}, \quad (7)$$

где ρ - качественные потери руд, вызванные примешиванием пустых пород или руд худшего технологического качества к руде лучшего качества, доли ед.;

η - потери руд, обусловленные несовпадением плоскости откоса уступа и контакта рудного тела, доли ед.;

Q_{ij}^{Π} - количество достоверных запасов руды i -го технологического сорта j -го горизонта, т.;

Q_{ij}^{δ} - количество руды i -го сорта, переводимого в категорию пустых пород в результате неподтверждения геологических запасов, т.;

$\tilde{\gamma}_{ij}$ - объемный вес руды i -го технологического сорта, т/м³;

V_j - объем вскрышных пород j -го горизонта, м³;

ξ - комплексный показатель качества, учитывающий обогатимость рудной массы, доли ед.

Π_{oi} - прибыль горного предприятия за период t .

Критерий учитывает неподтверждение запасов, качество сортов и является, таким образом, наиболее универсальным показателем из ранее известных.

Проведенные теоретические исследования с привлечением экономико-математических методов анализа свидетельствуют о целесообразности вовлечения в разработку руд с низким содержанием металла, что обеспечивается развитием горных работ в пространст-

ве карьера.

Методика апробирована в условиях карьеров Жайремского месторождения с высоким экономическим эффектом.

Список литературы

1. Бевз Н.Д. Оптимизация проектных показателей качества добываемой руды в условиях неопределенности / Н.Д. Бевз, А.А. Сова // Проектирование открытой разработки месторождений. - Л., 1986. - С. 25-30.
2. Шестаков В.А. Методические основы оценки месторождений и вовлечение в эксплуатацию забалансовых руд / В.А. Шестаков, А.Н. Дулин: Учеб. пособие. - Новочеркасск: НПИ, 1986. - 86 с.
3. Кумыков В.Х. Принципы оптимизации направления развития горных работ в карьере / В.Х. Кумыков, Т.Т. Ипалаков, Т.М. Кумыкова. - Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2009. - 122 с.

Получено 13.04.10

