

А. А. ЛИСЕНКОВ, Е. Б. РАКИШЕВ

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРА КОМПЛЕКСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА КОНДИЦИОННОСТЬ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Важным направлением совершенствования управления процессами недропользования, является учет влияния, оказываемого фактором комплексности использования минерального сырья на кондиционность запасов полезных ископаемых. Повышение полноты извлечения полезных компонентов, содержащихся в минеральном сырье, расширение числа полезных компонентов, извлекаемых в товарную продукцию, должно сопровождаться адекватным и своевременным

снижением численных значений параметров кондиций, применяемых для оконтуривания, подсчета и оценки запасов полезных ископаемых в недрах. В результате этого запасы, которые прежде относились к забалансовым, могут с полным основанием вовлекаться в экономически оправданную разработку. Обратный эффект имеет ухудшение показателей извлечения полезных компонентов. Именно поэтому обязательным условием правильного оконтуривания, подсчета

и оценки запасов полезных ископаемых должен стать учет комплексности использования минерального сырья.

Для обоснованного выбора наиболее эффективных технологий необходимо оперировать количественными характеристиками уровня комплексности использования минерального сырья. В работе В. Н. Виноградова [1], посвященной различным аспектам проблемы комплексности использования сырья в цветной металлургии, применяются три категории ценности комплексной руды: потенциальная, извлекаемая и промышленная.

Потенциальная ценность руды определяется как сумма произведений содержаний полезных компонентов в руде на их цены, установленные на металлы, неметаллы или их стандартные соединения. Она отражает максимально возможную ценность 1 т руды, которую можно было бы при 100%-ном извлечении всех полезных компонентов в полезные продукты. Очевидно, что при существующем уровне технологии такое извлечение недостижимо. Поэтому данный показатель можно применять лишь для сравнительной оценки различных вариантов комплексности использования минерального сырья по отношению к этому идеалу.

Для оценки реальной степени использования руды применяется показатель *извлекаемой ценности руды*, который рассчитывается как сумма произведений содержаний полезных компонентов в руде, сквозных коэффициентов их извлечения в готовую продукцию и цен на эти компоненты в готовых продуктах. По величине этого показателя можно судить о стоимости товарной продукции, полученной из 1 т руды.

Промышленная ценность руды определяется как разность между извлекаемой ценностью руды и текущими затратами на ее добычу, транспортировку и переработку для получения готовых продуктов, то есть этот показатель характеризует прибыль, получаемую с 1 т переработанной руды.

Для количественной оценки степени комплексности использования минерального сырья применяются два коэффициента комплексности использования сырья: физический K_ϕ и экономический K_c . Первый из них рассчитывается по формуле:

$$K_\phi = \sum_{i=1}^n Q_i / P, \quad (1)$$

где Q_i – количество горной массы, использованной для i -ой цели или количество i -го концентрата, полученного при переработке руды, тыс. т; n – количество направлений использования добытой горной массы или количество получаемых концентратов и полупродуктов; P – количество добытой горной массы (для рудников и карьеров) или количество переработанной руды (для обогатительных фабрик), тыс. т.

Модифицированный физический коэффициент комплексности использования сырья (коэффициент безотходности технологии) применяется для оценки степени комплексности использования минерального сырья на металлургических заводах. Этот показатель рассчитывается по формуле:

$$K_\phi = G / (P + M), \quad (2)$$

где G – годовой объем выпуска продукции, тыс. т; P и M – годовые объемы соответственно переработанного сырья и потребленных материалов, тыс. т.

Экономический коэффициент комплексности использования минерального сырья K_c представляет собой отношение извлекаемой ценности 1 тонны руды Π_n к ее потенциальной ценности Π_{Π} :

$$K_c = \Pi_n / \Pi_{\Pi}. \quad (3)$$

Формулы для определения извлекаемой и потенциальной ценности руды имеют следующий вид:

$$\Pi_n = \sum_{i=1}^m c_i \alpha_i \varepsilon_i, \quad (4)$$

$$\Pi_{\Pi} = \sum_{i=1}^m c_i \alpha_i, \quad (5)$$

где c_i – цена за весовую единицу i -го полезного компонента; α_i – содержание i -го полезного компонента в руде; ε_i – сквозное суммарное извлечение i -го полезного компонента в товарную продукцию.

Указанные показатели комплексности использования минерального сырья должны рассчитываться на основе современного уровня технологии переработки сырья, а любой прогресс в этой области должен находить своевременное отражение как в расчетах рассматриваемых показателей, так и в государственном балансе запасов полезных ископаемых.

Применяемое в «Горной энциклопедии» [2] понятие «уровень комплексности использования минерального сырья» характеризует способ выделения концентратов, элементов-спутников и отходов производства из перерабатываемого сырья. Там же определены четыре таких уровня с учетом технологических и отраслевых особенностей выделения полезных компонентов в готовую продукцию.

Очевидно, что на каждом из этих уровней существует большое разнообразие направлений, способов и технологий извлечения полезных компонентов из добываемых руд, вмещающих пород и отходов производства. Столь же многообразны виды готовой продукции, получаемой при переработке минерального сырья. Поэтому выбор наиболее эффективного варианта комплексности использования минерального сырья и получения готовой продукции из множества возможных является сложной оптимизационной задачей.

Для ее обоснованного решения необходимо создать надежную информационную базу, содержащую количественную оценку каждого альтернативного варианта технологического и коммерческого решения. Эти решения должны быть направлены на удовлетворение существующих и перспективных потребностей рынка и оценены с точки зрения возможностей их технической реализации, коммерческой целесообразности и экономической эффективности.

Чтобы повысить информативность расчетов, связанных с определением оптимального уровня и степени комплексности использования минерального сырья, целесообразно разделить все многообразие получаемых из него готовых продуктов на три группы: металлы, неметаллы и их соединения. Соответствующие этой группировке детализированные расчетные формулы для определения физического и экономического коэффициентов комплексности использования минерального сырья можно представить в следующем виде:

а) физический коэффициент комплексности использования минерального сырья:

$$K_{\phi} = \left(\sum_{i_1=1}^{n_1} Q_{i_1} + \sum_{i_2=1}^{n_2} Q_{i_2} + \sum_{i_3=1}^{n_3} Q_{i_3} \right) / P, \quad (6)$$

где Q_{i_1} , Q_{i_2} , Q_{i_3} – количество соответственно i_1 -го металла, i_2 -го неметалла и i_3 -го соединения,

полученных при переработке минерального сырья; n_1, n_2, n_3 – количество наименований соответственно металлов, неметаллов и их соединений; P – количество добытой горной массы (для рудников и карьеров) или количество переработанной руды (для обогатительных фабрик), тыс. т;

б) модифицированный физический коэффициент комплексности использования минерального сырья (коэффициент безотходности технологии):

$$K_{\phi} = (G_1 + G_2 + G_3) / (P + M), \quad (7)$$

где G_1, G_2 и G_3 – годовые объемы выпуска соответственно металлов, неметаллов и их соединений, тыс. т; P и M – годовые объемы соответственно переработанного сырья и потребленных материалов, тыс. т;

в) экономический коэффициент комплексности использования минерального сырья K_c :

$$K_c = (C_{n_1} + C_{n_2} + C_{n_3}) / (C_{n_1} + C_{n_2} + C_{n_3}). \quad (8)$$

Извлекаемая ценность 1 тонны руды C_{n_1} , C_{n_2} и C_{n_3} соответственно по металлам, неметаллам и их соединениям определяется по формулам:

$$C_{n_1} = \sum_{i_1=1}^{m_1} c_{i_1} \alpha_{i_1} \varepsilon_{i_1}, \quad C_{n_2} = \sum_{i_2=1}^{m_2} c_{i_2} \gamma_{i_2},$$

$$C_{n_3} = \sum_{i_3=1}^{m_3} c_{i_3} \gamma_{i_3}, \quad (9)$$

где c_{i_1} – цена за весовую единицу i_1 -го металла; α_{i_1} – содержание i_1 -го металла в руде; ε_{i_1} – сквозное суммарное извлечение i_1 -го металла в товарную продукцию; c_{i_2} – цена за весовую единицу i_2 -го неметалла; γ_{i_2} – выход i_2 -го неметалла из 1 т руды; c_{i_3} – цена за весовую единицу i_3 -го соединения; γ_{i_3} – выход i_3 -го соединения из 1 т руды.

Потенциальная ценность 1 т руды C_{n_1} , C_{n_2} и C_{n_3} соответственно по металлам, неметаллам и их соединениям определяется по формулам:

$$C_{n_1} = \sum_{i_1=1}^{m_1} c_{i_1} \alpha_{i_1}, \quad C_{n_2} = \sum_{i_2=1}^{m_2} c_{i_2} \alpha_{i_2},$$

$$C_{n_3} = \sum_{i_3=1}^{m_3} c_{i_3} \alpha_{i_3}, \quad (10)$$

где α_{i_2} , α_{i_3} – соответственно содержание i_2 -го неметалла и i_3 -го соединения в руде.

Формулы (4)–(10) позволяют в полной мере учесть вещественный состав минерального сырья, а также виды продукции, получаемой из этого сырья.

Зададимся теперь вопросом – как выбор того или другого варианта комплексности использования минерального сырья влияет на кондиционность запасов полезных ископаемых. Здесь под кондиционностью понимается соответствие оцениваемого объема запаса полезного ископаемого параметрам промышленных или эксплуатационных кондиций, отражающим определенные требования к качеству и условиям залегания полезного ископаемого.

Для оконтуривания, подсчета и оценки запасов полезных ископаемых в недрах обычно применяются следующие основные параметры кондиций: бортовое содержание полезных компонентов, минимальное промышленное содержание полезного компонента, минимальная мощность рудной залежи и максимальная допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов [3, 4].

Выполним анализ влияния, оказываемого комплексностью использования минерального сырья, на указанные параметры кондиций и на кондиционность запасов полезных ископаемых, оцениваемых с помощью этих параметров.

1. Бортовое содержание полезных компонентов. Этот параметр кондиций представляет собой наименьшее содержание полезных компонентов в пробах, включаемых в подсчет запасов при оконтуривании рудного тела по его мощности в случае отсутствия четких геологических границ полезного ископаемого с вмещающими породами. Главным требованием, которое должно выполняться при обосновании бортового содержания, является требование безубыточности и бесприбыльности производства конечной продукции на базе граничных запасов, вовлекаемых в разработку. Это требование можно записать в виде равенства:

$$Pr(\alpha_{\delta}) = 0, \quad (11)$$

где Pr – прибыль, получаемая предприятием на базе граничных запасов, α_{δ} – бортовое содержание полезных компонентов. Если ввести в рассмотрение индекс j , обозначающий вариант

комплексного использования минерального сырья, то указанное равенство может быть записано в следующем виде: $Pr_j(\alpha_{\delta}) = 0$, где Pr_j и α_{δ} – соответственно, прибыль, получаемая на базе граничных запасов при реализации j -го варианта комплексности использования минерального сырья, и бортовое содержание полезных компонентов.

Возможный диапазон значений бортового содержания представляется в виде двухстороннего неравенства: $\alpha_{\delta}^{-} \leq \alpha_{\delta} \leq \alpha_{\delta}^{+}$, где α_{δ}^{-} и α_{δ}^{+} – соответственно нижняя и верхняя границы значений бортового содержания. В соответствии с [3] нижняя граница значений бортового содержания не должна быть ниже уровня, при котором полезный компонент не извлекается в товарную продукцию, а верхняя ограничена минимальным промышленным содержанием полезного компонента.

Равенство (9) может выполняться при разных вариантах комплексного использования минерального сырья. Это значит, что каждому j -му варианту комплексности использования минерального сырья, соответствует свое оптимальное значение бортового содержания $\alpha_{\delta j}^*$, обеспечивающее выполнение указанного равенства. Однако вполне реальны ситуации, когда при любых вариантах бортового содержания $Pr_j(\alpha_{\delta}) > 0$, что означает прибыльность производства продукции, получаемой на базе граничных запасов, или $Pr_j(\alpha_{\delta}) < 0$, когда это производство оказывается убыточным. В первой ситуации следует понизить (если это возможно) бортовое содержание относительно ранее принятой нижней его границы, а во второй, наоборот, повысить относительно прежней верхней его границы.

2. Минимальное промышленное содержание полезного компонента в оцениваемом блоке запасов. Этот параметр кондиций характеризует такое содержание полезного компонента, при котором извлекаемая ценность минерального сырья обеспечивает возмещение всех затрат на получение товарной продукции при нулевой рентабельности производства. Соответствующая расчетная формула имеет вид:

$$\alpha_{\min} = Z \cdot 100 / (Ц \cdot \varepsilon \cdot \rho), \quad (12)$$

где α_{\min} – минимальное промышленное содержание полезного компонента, %; Z – полные эксплуатационные затраты на добычу и переработку

1 т руды, тенге (долл.); C_j – цена реализации единицы товарной продукции, получаемой при переработке руд, тенге (долл.); ε – сквозной коэффициент извлечения полезного компонента из минерального сырья в товарную продукцию, доли ед.; ρ – коэффициент, учитывающий разубоживание при добыче, доли ед.

Представим расчетную формулу для определения минимального промышленного содержания $\alpha_{\min j}$, соответствующего j -му варианту комплексности использования минерального сырья, в следующем виде:

$$\alpha_{\min j} = Z_j \cdot 100 / (C_j \cdot \varepsilon_j \cdot \rho_j), \quad (13)$$

где Z_j , C_j , ε_j и ρ_j – соответственно затраты на добычу и переработку 1 т руды, цена реализации единицы товарной продукции, сквозной коэффициент извлечения полезного компонента в товарную продукцию и коэффициент, учитывающий разубоживание при j -ом варианте комплексности использования минерального сырья.

Условие кондиционности запасов полезного ископаемого в оцениваемом блоке при j -ом варианте комплексности использования минерального сырья, запишем в виде неравенства:

$$\alpha_{\min j} \leq \alpha_j, \quad (14)$$

где α_j – среднее содержание условного (основного) полезного компонента в оцениваемом блоке запасов, соответствующее j -му варианту комплексности использования минерального сырья.

Для расчета среднего содержания условного (основного) полезного компонента α_j , соответствующего j -му варианту комплексности использования минерального сырья, применяется формула:

$$\alpha_j = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot k_{2j} + \alpha_3 \cdot k_{3j} + \dots + \alpha_m \cdot k_{mj}, \quad (15)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ – среднее содержание соответственно 1, 2, ..., m -го полезного компонента в оцениваемом блоке запасов; $k_{2j}, k_{3j}, \dots, k_{mj}$ – коэффициенты пересчета среднего содержания соответственно 2-го, 3-го, ..., m -го полезного компонента в среднее содержание 1-го (основного) полезного компонента при реализации j -го варианта комплексности использования минерального сырья. Выражение, применяемое для расчета этих коэффициентов, имеет вид:

$$k_{ij} = (c_{ij} \cdot \varepsilon_{ij}) / (c_{1j} / \varepsilon_{1j}), \quad (16)$$

где c_{ij} – цена i -го полезного компонента в товарной продукции, ε_{ij} – сквозное извлечение i -го полезного компонента в товарную продукцию, соответствующее j -му варианту комплексности использования минерального сырья.

3. Минимальная мощность рудной залежи. В работах [3, 4] отмечается, что этот параметр кондиций устанавливается исходя из оптимальных для рассматриваемого месторождения способа и систем разработки, обеспечивающих экономически целесообразную полноту извлечения из недр запасов полезных ископаемых. Критерием оптимальности служит безубыточное производство конечной продукции из дополнительно вовлекаемых в отработку запасов при сохранении необходимого уровня рентабельности в целом по всему месторождению.

На наш взгляд, численное значение минимальной мощности рудной залежи должно прежде всего увязываться с шириной очистного пространства (выемочную мощность) исходя из необходимости создания нормальных условий работы горнорабочих и горно-технологического оборудования в очистном забое. Строгое обоснование данного параметра кондиций способствует снижению разубоживания руды при добыче, повышению качества добытого полезного ископаемого и улучшению технико-экономических показателей работы предприятий.

При прочих равных условиях минимальная мощность крутопадающих рудных залежей меньше, чем пологих и наклонных, т.е. существует определенная зависимость $m_{\min}(\beta)$ между значением данного параметра m_{\min} и углом падения залежи β . Конкретный вид этой зависимости устанавливается с учетом принятой технологии очистной выемки и габаритов применяемого оборудования.

4. Максимальная допустимая мощность прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов. Этот показатель кондиций характеризует верхний предел мощности прослоя пустых пород и некондиционных руд, разделяющего сближенные рудные залежи, и включаемого вместе с ними в контур подсчета запасов. Его применение способствует предотвращению включения в контур подсчета запасов значительных, т.е. превышающих указанный

предел прослоев пустых пород и некондиционных руд.

Таким образом, все рассмотренные параметры кондиций, применяемые для оконтуривания, подсчета и оценки запасов полезных ископаемых, могут правильно обосновываться только при условии, что фактор комплексности использования минерального сырья не будет игнорироваться и найдет полное свое отражение в выполняемых расчетах. Необходимо отказаться от обоснования единых значений параметров кондиций, что может быть оправдано для более простых месторождений. На сложных в геологическом отношении месторождениях нужно применять более точные дифференцированные (поблочные) параметры кондиции и методы дифференцированной (поблочной) оценки запасов полезных ископаемых [5–7].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов В.Н.* Комплексное использование сырья цветной металлургии. М.: Недра, 1987. С. 38-39.
2. Горная энциклопедия. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1987. Т. 3. С. 79-81.
3. Методическое руководство по составлению, оформлению и представлению в ГКЗ материалов технико-экономического обоснования кондиций на минеральное сырье. Алматы: Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых, 1997. 78 с.

4. *Ракишев Б.Р., Ракишев Е.Б., Ашаев Ю.П.* Компьютерное выделение добычных блоков при селективной отработке многокомпонентных руд «Горный информационно-аналитический бюллетень». М.: МГТУ, 2000. №1. С. 167-170

5. *Лисенков А.А.* Оптимизация контуров разработки рудных залежей на подземных рудниках. Алма-Ата: Наука, 1987. 171 с.

6. *Rakishev B.R., Lisenkov A.A., Rakishev E.B.* Differentiated Estimation of Minerals Resources by Exploitation of the Deposits with the Complicated Structure // Proceedings of the fifteenth international symposium on mine planning and equipment selection. Torino, Italy, 2006. V. 1. P. 485-491.

7. *Rakishev B.R., Lisenkov A.A., Rakishev E.B.* Combined Estimation of Minerals Resources in Group of Geological Blocs // Proceedings of the fifteenth international symposium on mine planning and equipment selection. Torino, Italy, 2006. V. 1. P. 491-495.

Резюме

Қатты пайдалы қазбалар қорларының кондициялығына және кондициялардың негізгі параметрлеріне минералды шикізатты пайдалану кешенділігі факторының әсері зерттелген.

Summary

Influence of the factor of mineral raw material complex use on the basic parameters of conditions and conditionness of solid mineral resources had been investigated.

УДК: 622:338.26:553.042:52.01.91

*Казахский национальный
технический университет
им. К. И. Сатпаева*

Поступила 11.05.07г.