



Б. Т. Толобекова
д-р. технич. наук, Институт
геомеханики и освоения
недр НАН Кыргызской
Республики

Оптимизационное обоснование горных проектов

В статье обоснован системно-оптимизационный подход проектирования главных параметров разработки и технологических решений для выявления наиболее полного природного потенциала месторождений.

In the article system and optimization method of projecting main parameters of exploration and technological decisions are proved for the fullest indication natural deposit's potential.

Ключевые слова: оптимизационная оценка, чистая текущая стоимость, внутренняя норма прибыли, природный потенциал месторождения.

Keywords: optimization estimate, NPV, IRR, natural deposit's potential.

Проблема развития горного бизнеса в странах СНГ с государственной собственностью на недра требует создания привлекательных условий для инвестирования в данной сфере, обеспечения паритета интересов собственника минеральных ресурсов (государства) и недропользователя (инвестора).

Современная практика экономической оценки месторождений полезных ископаемых и их проектирование базируются на сравнительном анализе и сопоставлении альтернативных вариантов их освоения. При таком подходе всегда существует риск, связанный с неполным раскрытием их природно-экономических потенциалов и неполучением отдачи от его природных ресурсов и вложенных капитальных средств.

В современных условиях, как показывает практика освоения наших месторождений иностранными компаниями, принимаемые ими методы базируются на индивидуальном опыте и, как правило, на собственном методическом и программном обеспечении. Даже для современных компьютерных технологий проектирования характерен недостаточно системный выбор методов и параметров.

На основе развития принципов системного горного проектирования месторождений полезных ископаемых нами разработана концепция оптимизационной оценки рудных месторождений в условиях государственной собственности на недра [1]. Ключевым условием приближения к природному потенциалу месторождений является системно-оптимизационное проектирование, заключающееся в системном (на основе единой динамической модели) выборе всего комплекса главных параметров и технологических решений.

Большинство месторождений руд цветных и черных металлов имеют предпосылки к дифференциации запасов по качественному составу и удельным затратам. У таких месторождений, как правило, природный потенциал выше, чем у однородных по ценности запасов [2], так как они обеспечивают окупаемость инвестиций в более короткие сроки эксплуатации.

Системное моделирование показало, что опережающая отработка более качественных запасов по параллельно последовательной схеме не только обеспечивает, как правило, более высокую чистую дисконтированную прибыль (NPV), но и уменьшает оптимальную мощность предприятия с соответствующим сокращением капитальных затрат, а также увеличивает количество общих кондиционных запасов по сравнению с их валовой отработкой [2, 4].

Эта закономерность при традиционном подходе не учитывается.

На основе изучения определяющих характеристик природного потенциала было признано целесообразным при проектировании выделить организационно-технологический порядок отработки крупных частей месторождения [5], не затрагивающий систему разработки. Были выделены пять главных параметров освоения месторождения для совместной оптимизации на верхнем уровне:

- Величина подлежащих отработке кондиционных запасов (Б), оконтуренных по участкам и переменным по этапам эксплуатации кондициям;
- Производственная мощность и динамика производительности предприятия (А);
- Технологический комплекс предприятия по добыче и переработке (W);
- Организационно-технологический порядок отработки разнокачественных запасов (V);
- Общий срок освоения месторождения или его части (Т).

Каждый главный параметр представлен своим комплексом составляющих его параметров и элементов, которые определяются в подсистемах второго уровня оптимизации. Следует заметить, что уровень оптимизации означает только приоритетность параметров, но не порядок обосновывающих его расчетов. В такой сложной задаче, как проектирование рудников, в любом случае должна использоваться итеративная процедура расчетов.

Существенно, что все выделенные главные параметры отличаются несводимостью друг к другу. Это их свойство и определило выделение в систему главных проектируемых параметров первого (верхнего) уровня. Даже такой параметр, как общий срок освоения (Т, лет), не определяется однозначно величиной отработываемых запасов (Б, млн т) и мощностью рудника (А млн т/год), так как зависит еще от степени совмещения детального проектирования со строительством рудника, от динамики наращивания годовой производительности, очередности отработки и разнокачественных руд и т.д.

Исключительную значимость срока освоения месторождений (Т) по влиянию на ценность месторождения подтвердил в свое время опыт строительства золотодобывающего рудника Кумтор (Кыргызская Республика), при котором был реализован вариант с совмещением детального проектирования, изыскательских и строительных работ. Хотя совмещение работ вызвало увеличение капитальных вложений, произошло ускорение ввода в эксплуатацию на 21 месяц, а это обеспечило в свою очередь рост



*Добыча
начинается
с буровзрыв-
ных работ*

промышленной ценности (NPV) месторождения на 110-115 млн долл. США.

Совместная оптимизация главных параметров рудников в идеале достигается при полном варьировании каждым из них, в результате которого выявляется наилучшее соотношение параметров, соответствующее природному потенциалу месторождения. Практически оптимизация осуществляется методом вариантов с прямыми проектными расчетами, интерполяцией и итерацией.

Для наиболее надежной экономической оценки горных проектов и выявления природно-экономического потенциала месторождений применяются в сочетании критерии сравнительной и абсолютной эффективности.

С помощью сравнительной эффективности производится выбор наилучшего решения из множества альтернативных. Основным интегральным критерием сравнительной эффективности вариантов оконтуривания и освоения в рыночных условиях служит динамический показатель – чистая текущая стоимость (NPV) добытых полезных ископаемых или извлеченных полезных компонентов за весь период эксплуатации месторождения или его части.

Уровень доходности от использованных инвестиций по альтернативным проектам измеряется с помощью показателя абсолютной эффективности – внутренней нормы прибыли (доходности) (IRR) – расчетная ставка дисконта, при которой все затраты на осуществление проекта окупаются доходом от реализации продукции за полный срок отработки месторождения (или его части). Сопоставляя расчетную величину IRR с нормативной,

определяют целесообразность реализации данного проекта.

За нормативную эффективность капиталовложений в динамичных рыночных условиях следует принимать минимальный приемлемый для инвестора и собственника недр уровень доходности. Он равен сумме банковской процентной ставки на капитал (Еб) и экономической оценки риска инвестирования по конкурирующим направлениям (Ер). Уровень риска инвестирования зависит от сочетания множества факторов. Поэтому при равной банковской процентной ставке нормативные показатели эффективности инвестиций могут отличаться как по отдельным месторождениям, так и альтернативным проектам. Каждый из критериев выполняет свои ограниченные функции, и применение только одного из них недостаточно для выбора наилучшего проекта освоения месторождения. Лучшие варианты по критериям сравнительной и абсолютной эффективности обычно не совпадают. Приоритет в окончательном выборе отдается показателю сравнительной эффективности. Лишь в том случае, когда лучший по показателю сравнительной эффективности вариант не обеспечивает нормативный уровень доходности, выбор осуществляют по правилу ограничений. При этом за оптимальный принимают вариант, ближайший к лучшему по показателю сравнительной эффективности, с уровнем абсолютной доходности не ниже нормативной.

Таким образом, для осуществления многовариантного моделирования освоения месторождения разрабатывается комплексная оптимизационная модель, которая представляет

собой систему количественных зависимостей, связывающих главные совместно оптимизируемые параметры между собой и с критериями оптимальности следующими двумя функционалами:

$$NPV(\{B\}, \{A\}, \{W\}, \{V\}, \{T\}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$IRR(B_0, A_0, W_0, V_0, T_0) \geq E = E_b + E_p \quad (2)$$

где E – минимальный, приемлемый уровень окупаемости капитала с учетом риска.

Первый функционал является оптимизационным, второй – ограничительным.

Фигурными скобками в (1) подчеркивается многовариантность решений в каждом базовом элементе модели. Индекс «0» означает, что по показателю IRR оцениваются решения, предварительно оптимизированные по критерию NPV.

В процессе моделирования при переходе от одного значения мощности предприятия к другому необходимо контролировать характер связи параметра (А) с капитальными (К) и эксплуатационными (З) затратами. В отечественной практике между ними используются линейные связи, по данным зарубежных авторов, закономерные связи достаточно точно выражаются кусочно-линейными зависимостями, аппроксимируемыми в целом степенной связью:

$$\begin{aligned} K/K_0 &= (A/A_0)^n \text{ при } n = 0,5 - 0,7 \\ Z/Z_0 &= (A/A_0)^n \text{ при } n = 0,6 - 0,8 \end{aligned} \quad (3)$$

Показатель степенной связи n в функции капитальных затрат имеет меньшее (на 0,1-0,15) значение, чем в эксплуатационных затратах [6].

Параметры и звенья технологического комплекса (W) должны гибко адаптироваться к каждому варианту оконтуривания (B) и производственной мощности (A).

Варианты и параметры опережающей отработки запасов (V) выбираются индивидуально для каждого варианта оконтуривания (B) и производственной мощности (A). Завершающим

этапом разработки горного проекта является детализированная проработка и прямая компьютерная оптимизация найденного по комплексной модели (1-2) варианта.

Данная комплексная модель обеспечивает паритет интересов недропользователя и собственника недр. Социальные цели государства – собственника недр выражаются критерием чистой текущей стоимости (NPV) при минимальной норме дисконта E , заинтересованность инвестора – собственника капитала в максимальной внутренней норме прибыли (IRR).

Результативность развиваемой методологии совместной оптимизации главных параметров подтверждена на практике.

Пример. ТЭО освоения золоторудного месторождения Кумтор первоначально (1989 г.) было разработано методом последовательного проектирования. По принятым нормативам годового понижения горных работ определена производительность карьера в 2650 тыс.т. руды в год. Как выяснилось впоследствии, эта величина, полностью соответствующая нормам технологического проектирования, далеко не отвечала природному потенциалу из-за низкого уровня рентабельности ($IRR < 10\%$) и оно было отнесено к неперспективным для освоения.

В результате системной оптимизации было установлено, что для реализации природно-экономического потенциала месторождения годовая производительность карьера должна быть увеличена до 6 млн т. Одновременно по результатам оптимизации было снижено бортовое содержание с 2 до 1,66 г/т, решены вопросы селективной выемки руд по сортам, выделения и отдельного складирования бедной руды (до 1,26 г/т) для ее переработки после возврата заемного капитала. В итоге внутренняя норма прибыли превысила 20%.

Таким образом, использование системно-оптимизационной модели позволяет увеличить до 20-30% чистую текущую прибыль от эксплуатации месторождений полезных ископаемых. ■

Использованная литература

1. Дронов Н.В., Толобекова Б. и др. Концепция оптимизационной промышленной оценки рудных месторождений в рыночных условиях. Методические рекомендации. Научн. фонды ИФимГП НАН КР, Бишкек, 1997.
2. Толобекова Б. Совместная оптимизация главных параметров подземной разработки рудных месторождений с разнокачественными запасами в рыночных условиях. Автореф. кандидатск. дисс., Бишкек, 1997.
3. Дронов Н.В., Толобекова Б. Обоснование организационного порядка отработки разнокачественных запасов месторождений. Вестник Кыргызского горно-металлургического института, №1, Бишкек, 2003.
4. Дронов Н.В., Толобекова Б. Оптимизационная оценка горных проектов в современных условиях. Илим, Бишкек, 2003.
5. Толобекова Б. Увеличение количества эффективно обрабатываемых запасов при динамической оценке горных проектов – Вестник КР(С)У, Том 6, №7, Бишкек, 2006.
6. Кожоголов К.Ч., Толобекова Б. Повышение полноты извлечения запасов на основе системной оптимизации взаимозависимых параметров разработки нагорных месторождений. В журн. Известия НАН КР, №4, Бишкек, 2006.