

© А.Ю. АЛИКОВ, И.И. БОСИКОВ

igor.boss.777@mail.ru

УДК 622:577.4

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматривается применение эколого-математических моделей при проведении системного анализа управления экологической безопасностью в условиях горнодобывающего региона.

**SUMMARY.** The article is devoted to the application of ecological-mathematical models while carrying out system analysis of ecological safety management under mining region conditions.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Экология, математическое моделирование, безопасность, системный анализ, комплексная оценка, уравнения диффузии.

**KEY WORDS.** Ecology, mathematical modelling, safety, system analysis, complex estimation, diffusion equations.

Для оценки эффективности использования технологий горнодобывающего производства в работе предлагается использовать математическую модель, при разработке которой были учтены следующие группы показателей:

- технологические — производственная мощность предприятия и коэффициенты извлечения полезных ингредиентов из геоматериалов и их растворов. Эти показатели определяют влияние природных факторов; размер месторождения (условия локализации рудных тел; принятые системы разработки; величина потерь и разубоживания; прогрессивность технологических решений и разрешающие возможности техники; количество и качество потерянных и растворенных в водах минералов) на величину ущерба.

- стоимостные — цены на рынке; затратность добычи; переработки и экономической компенсации технологического вмешательства в природу, экологически оцениваемая величина ущерба окружающей среде [1], [4], [5].

Основные показатели, определяющие возможность решения модели — извлечение металлов и величина ущерба. Показатель извлечения формируется как матрица значений извлечений при традиционной и оптимизированной составляющей процесса добычи металлов:

$$E_T \begin{vmatrix} M \\ \beta \\ Q \end{vmatrix} E_n \rightarrow \max,$$

где  $E_T$ ,  $E_n$  — извлечение металлов традиционными и природосберегающими технологиями, %;

$M$  — массовое количество добываемых ингредиентов, вес. ед.;

$P$  — содержание полезных ингредиентов, %;

$Q$  — количество руд, вес.ед.

Полное извлечение полезных компонентов в конечный продукт определяются [1], [2], [3], [4]:

$$E_{\Pi} = \frac{M_M + M_{\epsilon}}{M} = \frac{Q_B \cdot \beta_B \cdot E_k \cdot E_n + (M - Q_B - \beta_B) E_B}{M}$$

$$E_B = \frac{M_{\Gamma}}{M} (E_k \cdot E_n \cdot E_B),$$

где  $M_M$  — количество металла после металлургического передела, вес. ед.;

$M_{\epsilon}$  — количество металла, полученное выщелачиванием, вес. ед.;

$M$  — общее количество металла в недрах, вес. ед.;

$Q_B$  — количество выданной на поверхность руды;

$\beta$  — содержание металлов в выданной руде, проц.;

$E_B$  — извлечение металлов в концентрат, из концентрата в конечный продукт и в результате выщелачивания, соответственно, отн. ед.;

$M_{\Gamma}$  — количество металла, полученного традиционной технологией (без выщелачивания), вес. ед.

Ущерб, соответственно, земной поверхности, недрам, флоре, фауне и человеку:

$$\sum_{i=1}^m Y_i = Y_n + Y_h + Y_{\phi_l} + Y_{\phi_n} + Y_x$$

где  $m$  — количество элементов нанесения ущерба. Величина ущерба:

$$Y_n = (S_p \cdot \Pi_3 + S_n \cdot \Pi_3) + C_p,$$

$$Y_h = \Pi_B \cdot \Pi_M - \Pi_B \cdot \Pi_M \cdot C_{np},$$

$$Y_{\phi_n} = \sum_{i=1}^n (K_{\phi_n}^B \cdot \Pi_{\phi_n} - K_{\phi_n}^0 \cdot \Pi_{\phi_n}) + C_{\phi_n},$$

$$Y_{\phi_n} = \sum_{i=1}^n (K_{\phi_n}^B \cdot \Pi_{\phi_n} - K_{\phi_n}^0 \cdot \Pi_{\phi_n}) + C_{\phi_n},$$

$$Y_x = A_n \cdot \Pi + T_b (C_b + C_n) + C_m,$$

где  $S_p, S_n$  — площади разрушенной и изъятой из обращения дневной поверхности,  $\Pi, \Pi_3, \Pi_M, \Pi_{\phi_n}, \Pi_{\phi_l}$  — цены, соответственно, продукции земли, металла, видов флоры, фауны, ден. ед.;

$C_p, C_{np}, C_{\phi_l}, C_{\phi_n}, C_b, C_n, C_m$  — восстановительные затраты, соответственно, на рекультивацию земли, повторную разработку, восстановление флоры и фауны, оплату больничных листов, пенсий и расходов по предотвращению мутационных изменений, ден. ед.;

$\Pi_b, \Pi_v$  — потери металлов в недрах безвозвратные и временные, вес. ед.;

$K_{\phi_n}^B, K_{\phi_l}^B$  — базовое количество флоры и фауны до начала разработки, ед.;

$K_{\phi_n}^0, K_{\phi_l}^0$  — остаточное количество флоры и фауны, ед.;

$A_n$  — количество разнообразной продукции, не произведенной человеком в связи с потерей трудоспособности;

$T_b$  — время продолжительности влияния горных технологий.

В общем суммарный ущерб составляет:

$$\sum_{i=1}^m Y_i = f(K, C, Z_K),$$

где  $K$  — количественная характеристика нанесенного ущерба;

$C$  — цена потерянных компонентов, ден.ед.

Математическая модель рассматриваемого вида находится методами корреляционного и регрессивного анализа, случайного баланса, факторного анализа и др. Неопределенность комплексного критерия прогрессивности природосберегающих технологий, обусловленная противоречивостью входящих в него частных критериев, исключается использованием скалярной целевой функции методом экспертной оценки и методов векторной оптимизации (принцип Парето).

К особенностям решения модели относятся следующие положения. Техно-экономические показатели оптимизированной по экологическому фактору технологии  $Q^\phi(t)$  являются функцией времени и состоят из детерминированной составляющей  $Q^g(t)$  и случайной функции времени  $E(t)$

$$Q^\phi(t) = Q^g(t) + E(t),$$

С увеличением времени освоения технологии эффективность ее снижается, и наоборот, при уменьшении времени условие оптимальности имеет вид:

$$O = E_n A \sum_{\min}^{\max} \frac{a(t)}{z(t) + E_n K(t)} \rightarrow \max,$$

где  $O$  — условие оптимальности;

$A$  — производственные мощности всех технологических звеньев прогрессивной экологии;

$a$  — коэффициент использования их производственной мощности;

$E_n$  — нормативный коэффициент капитальных вложений;

$z(t)$  — удельные затраты на добычу и компенсацию ущерба.

Для определения, например, максимальной мощности освоения природосберегающих технологий можно использовать упрощенный анализ взаимосвязи показателей затрат на восстановление экологии ( $x$ ) и объема производства ( $y$ ).

Линейный коэффициент корреляции, показывающий связь между показателями:

$$r = \frac{M(x)M(y) - M(x,y)}{\sigma_x \sigma_y},$$

где  $M(x) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$  — математическое ожидание  $x$ ;

$M(y) = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$  — математическое ожидание  $y$ ;

$M(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n}$  — математическое ожидание произведения;

$\sigma_x = \sqrt{M(y)^2 - M(x)^2}$  — квадрата случайной величины математического ожидания;

$\sigma_y = \sqrt{M(y)^2 - M(x)^2}$  — уклонение квадрата случайной величины математического ожидания;

$M(x) = M(y)$  — математическое ожидание квадрата случайной величины.

Увеличение компенсационных затрат можно рассчитать из динамики коэффициента увеличения  $R_{np}$  производственных мощностей горных и перерабатывающих предприятий. Коэффициент увеличения определяется отношением увеличенного за счет новых технологий объема добычи и исходного значения.

$$R_{np} = \frac{A_\phi}{A_\delta},$$

где  $A_\phi$  — объем добычи после внедрения новых технологий.

Коэффициент динамичности прироста мощностей

$$K_R = \frac{R_{np}}{R},$$

где  $R$  — программируемая динамичность добычи металлов из вновь вовлекаемых ранее потерянных руд.

$$X_i = \frac{R_i}{R_1},$$

где  $R_i, R_1$  — коэффициенты динамичности, соответственно, за первый и последующий временные интервалы.

Коэффициент динамичности возрастания объема производства:

$$Y_i = \frac{A_i}{A_1},$$

где  $A_i, A_1$  — производственные мощности, соответственно, за первый и последующий временные интервалы.

Объем производства (производственная мощность) на любом временном интервале:

$$A_i = \sum_{j=1}^i A_{i-j}.$$

Коэффициент динамичности на временном интервале:

$$R_i = \frac{A_{i\phi}}{A_{i\delta}},$$

где  $A_{i\phi}$  — увеличенный объем добычи за интервал времени;  
 $A_{i\delta}$  — базовый объем добычи за это время.

Коэффициент динамичности нарастания затрат на природосбережение.

Производственная мощность на конец временного интервала:

$$A_{i\phi} = \sum_{i=1}^t a_{i,t},$$

где  $a_{i,t}$  — элементарный объем добычи в течение единицы времени.

На основании полученной зависимости между коэффициентом динамичности нарастания затрат и коэффициентом динамичности увеличения производственной мощности определяется коэффициент затратности технологий в зависимости от увеличения объема производства

$$K = 1 + (K_R - 1)r^2,$$

где  $r$  — коэффициент корреляции.

Найденные зависимости между основными параметрами технологий горного производства используются для оценки целесообразности оснащения горного региона оптимизированными технологиями.

Для практических расчетов возможен метод перебора вариантов, при котором один из параметров исследуется в интервале значений, характер которых дает основание для увязки параметров на стадии проектирования технологических объектов. От результатов моделирования, качества и количества внемоделльной информации зависит значимость модельных разработок в принятии решений [1], [2].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.
2. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация: Учебное пособие для вузов. М.: МИСИС, ИД Руда и металлы, 2005 г. 352
3. Болдин М.В., Симонова Г.И., Тюрин Ю.Н. Знаковый статистический анализ линейных моделей. М.: Наука, 1997.
4. Реймерс Н.Ф., Яблокова А.В. Словарь терминов и понятий, связанных с охраной живой природы. М.: Наука, 1982. 145 с.
5. Хомяков Д.М., Искандарян Р.А. Информационные технологии и математическое моделирование в задачах природопользования при реализации концепции устойчивого развития // Экологические и социально-экономические аспекты развития России в условиях глобальных изменений природной среды и климата. М.: Геос, 1997. С. 102-119.