

УДК 336

**Т.Т. Исмаилов, А.В. Логачев, Б.С. Лузин, В.И. Голик,
ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ
ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Рассмотрены принципы комбинированного освоения запасов месторождений, сочетающие возможности традиционных и конверсионных технологий. Уточнена методика анализа производственной функции в современных моделях экономического роста. Предложена модель определения экономического эффекта от внедрения управленческих нововведений и инновационных технологий в производственной сфере. Рекомендован алгоритм решения оптимизационной задачи.

Ключевые слова: хвосты обогащения, экономические аспекты, оптимизационная задача, анализ производственной функции.

T.T. Ismailov, A.V. Logachev, B.S. Luzin, V.I. Golik

ASPECTS OF PROCESSING TAILS OF ENRICHMENT

Are considered by economic principles of the combined development of stocks mining, combining opportunities traditional and conversion technologies. The technique of the analysis of production function in models of economic growth is specified. The model of definition economic effect from introduction of administrative innovations and innovation technologies in industrial sphere is offered. The algorithm of the decision optimization problems is recommended.

Key words: tails of enrichment, economic principles, optimization problems, analysis of production function

Комбинированное освоение запасов, сочетающее возможности традиционных и конверсионных технологий при единой схеме вскрытия и подготовки, позволяет существенно снизить капитальные и эксплуатационные затраты предприятия. Повышение полноты использования минеральных ресурсов является одновременно и решением экологической проблемы, поскольку основную опасность для ок-

ружающей среды представляют отделенные от массива, но не переработанные минералы.

Особенностью конверсионной технологии является минимизация количества производственных процессов от стадий добычи и переработки до получения товарной продукции. Не менее важной особенностью является возможность быстрого налаживания производства с меньшими, по сравнению с обычными технологиями, капитальными затратами.

Экономическим аспектом разработки забалансовых руд является прирост металла в ходе внедрения способа добычи полезных ископаемых выщелачиванием при минимизации производственных процессов и стадий добычи и переработки до получения конечной товарной продукции.

Наиболее широко используемым методом измерения инновационного развития является метод производственных функций. Мы уточнили методику анализа производственной функции в современных моделях экономического роста применительно к горнодобывающим предприятиям.

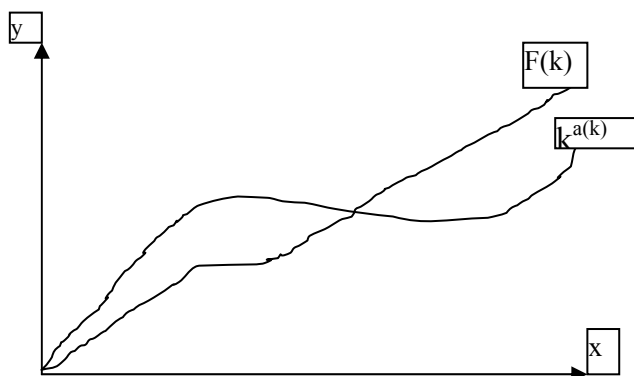


Рис. 1 .График монотонной функции $F(k)$

Производственная функция в общем виде:

$$Y = yL = ak^{ba(ck)}L,$$

где a , b и c - константы.

Функция линейная по L и не линейная по k .

Функция $k\alpha^{(k)}$ имеет участки с возрастающей и убывающей отдачей, т.е.

Цель методики заключается в том, чтобы ввести в явном виде положительную отдачу от масштаба в модель роста. Для этого в модели Р. Солоу константа α меняется на функцию $\alpha = \alpha(K, L)$, что позволяет сохранить условия равновесия по Вальрасу.

Оптимизационная задача и ее решение с траекторией равновесного роста, получаемой на основе неоклассических моделей, имеет вид

$$\alpha = \alpha(K, L) = \alpha(K/L) = \alpha(k).$$

Производственная функция, построенная на базе функции Кобба-Дугласа

$$Y = F(K, L) = K^\alpha L^{1-\alpha} = K^{\alpha(R/L)} L^{1-\alpha(k/L)} = K^{\alpha(k)} L^{1-\alpha(k)},$$

где $\alpha(k)$ определена для $k \geq 0$, $\alpha(k) \geq 0 \forall k \geq 0$.

Функция $\alpha(k)$ - не монотонная функция, она возрастает для некоторых k , затем убывает на определенном участке и снова возрастает, а затем убывает. Это позволяет моделировать сочетание возрастающей и убывающей отдачи масштаба. Важно, что $\alpha(k)$ удовлетворяет условию

$$\lim_{\alpha \rightarrow 0} \alpha = \beta, 0 < \beta < 1.$$

Обозначим $y = Y/L$ и перепишем производственную функцию

$$Y = yL = k^{\alpha(k)}L$$

также не монотонна и может быть заменена на монотонную функцию $F(k)$ (рис. 1).

Формальный анализ производственной функции $f(k)$ позволяет видеть, какие ее свойства полезны при конверсии предприятия на инновационные технологии. Пусть функция $f(k)$ - некая непрерывная функция, аппроксимируемая функцией со степенью однородности меньше единицы:

$$\text{Max } f(k) L, \text{ при } k L \leq K, L \leq L^0, k \geq 0; L \geq 0.$$

Для определения оптимальности при определенных условиях может быть несколько значений k . Точки $\{a; f(a)\}$ и $\{k_2; f(k_2)\}$, лежат на касательной кривой $f(k)$, проведенной в соответствующих точках (рис. 2).

Если неравенства $K/L < k_2$ выполняются, оптимальное решение задачи содержит оба капитала интенсивности k_1 и k_2 . Это означает, что максимальный экономический рост предприятия достигается в том случае, если в экономике предприятия две технологии уживаются. В предлагаемой модели доля каждой технологии задается долей трудовых ресурсов.

Доля "старой" технологии

$$L_1 = L_{k_2},$$

Доля "новой" технологии

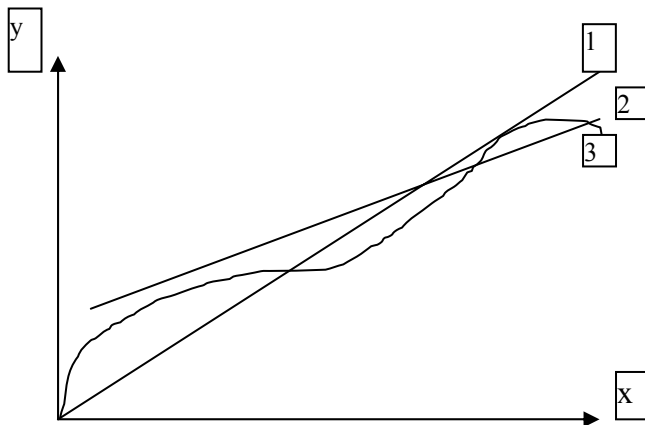


Рис. 2. Решение уравнения

Солоу: 1 - агрегированная производственная функция y (линейная комбинация базовой и комбинированной технологий); 2 - $y(k)$; 3 - $f(k)$

$$Q = a_0 \Phi^{a_1} \Pi^{a_2}$$

где a_0, a_1, a_2 - коэффициенты эластичности; Φ - основные фонды предприятия; Π - численность работников; Q - индекс промышленного производства.

$$L_2 = L \frac{K - Lk_1}{k_2 - k_1}$$

Если предположить, что L во времени не меняется, то с увеличением K растёт доля "новой" воспроизводственной технологии при неизменной интенсивности капитала k_2 . Для K/L , удовлетворяющих условию $K/L = k_2$, функция $y(k)$ может быть заменена касательной. На этом участке производственная функция линейна: $Y = aK + bL$.

Оптимальной интенсивности использования "новой" и "старой" технологий соответствуют точки, в которых может быть проведена касательная к $y(k)$. Обе точки - $y(k_1)$ и $y(k_2)$ расположены на одной и той же касательной. Агрегированная отдача $y(k)$ есть линейная комбинация $y(k_1)$ и $y(k_2)$, где доля трудовых ресурсов определяет коэффициенты доли "новой" и "старой" технологии.

Процесс перехода на новую технологию прекратится, когда установится равновесие при интенсивности \bar{k} .

Для математической обработки экспериментальных результатов аппроксимирована производственная функция Кобба-Дугласа:

производства.

Математическая обработка упрощается, если функцию Кобба-Дугласа прологарифмировать и получить линейную зависимость:

$$\ln Q = \ln a_0 + a_1 \ln \Phi + a_2 \ln \Pi$$

Коэффициенты эластичности находятся методом наименьших квадратов. Значения коэффициентов эластичности a_0, a_1, a_2 выбираются так, чтобы их сумма была минимальной:

$$S = \sum (\ln Q_i - (\ln a_0 + a_1 \ln \Phi_i + a_2 \ln \Pi_i))^2$$

Для нахождения минимума функции S она дифференцируется по коэффициентам эластичности и приравнивается нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial \ln a_0} = 2 \sum_i (\ln Q_i - (\ln a_0 + a_1 \ln \Phi_i + a_2 \ln \Pi_i))(-1) = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \ln a_1} = 2 \sum_i (\ln Q_i - (\ln a_0 + a_1 \ln \Phi_i + a_2 \ln \Pi_i))(-1)(\Phi_i) = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial \ln a_2} = 2 \sum_i (\ln Q_i - (\ln a_0 + a_1 \ln \Phi_i + a_2 \ln \Pi_i))(-1)(\Pi_i) = 0. \end{cases}$$

Преобразованная система уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i^N \ln Q_i - N \ln a_0 - a_1 \sum_i^N \ln \Phi_i - \\ - a_2 \sum_i^N \ln \Pi_i = 0, \\ \sum_i^N \ln Q_i \ln \Phi_i - \ln a_0 \sum_i^N \Phi_i - \\ - a_1 \sum_i^N \Phi_i^2 - a_2 \sum_i^N \Pi_i \Phi_i = 0, \\ \sum_i^N \ln Q_i \ln \Pi_i - \ln a_0 \sum_i^N \ln \Pi_i - \\ - a_1 \sum_i^N \ln \Pi_i \ln \Phi_i - a_2 \sum_i^N \ln \Pi_i^2 = 0. \end{array} \right.$$

Установлено, что при равных затратах из недр извлекается большее количество металла за счет рентабельного освоения забалансовых запасов и убогих руд.

Наибольший экономический эффект от внедрения управленческих нововведений и инновационных технологий в производственной сфере достигается за счет лучшей координации решений вдоль технологических цепочек, что приводит к существенному улучшению использования запасов полезных ископаемых, более быстрой конверсии производства, продлению жизненного цикла месторождений.

Традиционная технология добычи на 1 и 2 этапах разработки месторождения обладает достоинствами:

- минимальные потери металлов из балансовых запасов;
- возможность контроля движения запасов в процессе добычи;
- возможности регулирования качеством продукции;
- и недостатками:
 - высокая трудоемкость и себестоимость технологических процессов;
 - разубоживание руды (до 30%) с повышением стоимости продукта;
 - максимальное воздействие на состояние окружающей среды.

Подземное выщелачивание на этапе 2 обладает достоинствами:

- минимизированная трудоемкость и себестоимость;
- возможности автоматизации и роботизации производства;
- высвобождение мощностей гидromеталлургических заводов;
- уменьшение загрязнения окружающей среды при ликвидации отвалов;
- и недостатками:
 - низкое извлечение металлов из руды (коэффициент извлечения 0,6-0,8);

- сложность контроля процесса выщелачивания;
- строительство мощностей по переработке растворов;
- содержание в работе значительных рудных площадей.

Кучное выщелачивание на этапе 3 обладает достоинствами:

- возможность извлечения металлов из некондиционных запасов;
- возможность контроля состава выщелачиваемой горной массы;
- благоприятные условия для механизации и автоматизации производства;

и недостатками:

- затраты на выдачу некондиционных руд и формирование штабеля;
- вывод земель из оборота для формирования штабелей;
- загрязнение окружающей среды при нарушении технологии.

Если извлекаемая ценность и затраты являются рутинными экономическими показателями, то показатель полноты извлечения из недр, или потери полезного ископаемого устанавливается как норматив.

При сопоставлении технологий с различной полнотой извлечения из недр необходима оценка потерь металлов в сопоставимых единицах измерения. Оценка потерь осуществля-

ется по потерянной ценности ПК, определенной по предельной цене отрасли. Это позволяет прийти к единому критерию — прибыли с учетом ущерба от потерь полезного ископаемого:

$$П = M_{II}C_{II} - Z - M_{II}C_{II},$$

где P - прибыль, руб.; M_{II} - извлеченный металл, т; M_{II} - потерянный металл, т; C_{II} - предельная цена металла в отрасли, руб.; Z - суммарные затраты на технологических переделах, руб.

Технология выщелачивания по сравнению с традиционной технологией исключает 5-10% потерь при добыче и 2-2,5% потерь при обогащении. Сквозной коэффициент извлечения при традиционной технологии для среднего содержания металла в запасах блока не превысит 0,865.

На металлургическом заводе будет извлечено 40% золота с коэффициентом извлечения 0,93. Из оставшихся на подземное выщелачивание 50% балансовых запасов при коэффициенте извлечения 0,8 и с учетом потерь при переработке растворов будет получено 39% металла. При содержании золота в забалансовых рудах 1 г/т из них в конечный продукт будет извлечено 2,3% металла, а сквозной коэффициент извлечения составит 0,88.

При подземном выщелачивании доступ к обрабатываемым запасам ограничен, поэтому неопределенность информации о состоянии больше, чем при традиционной технологии. Поэтому принятие решения об отработке запасов комбинированной технологией сопряжено с большим риском: от 0,6 до 0,9.

Исследование реакции прибыли на изменение природно-технологических факторов проводится на статической модели. Максимальные значения це-

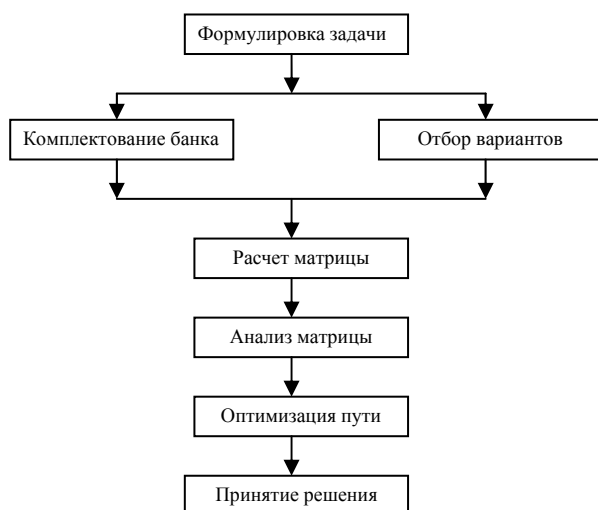
левой функции приурочены к комбинациям традиционной технологии и подземного выщелачивания на этапе 2. При среднем содержании золота в запасах блока наиболее эффективной комбинацией технологий является соотношение 15% — традиционной и 85% — выщелачивания. При богатых рудах оптимальным соотношением технологий является 40 и 60% соответственно.

Бедные и убогие руды, выданные на поверхность в результате валовой выемки, перерабатываются кучным выщелачиванием. Богатые руды проходят сортировку. Отсортированные бедные руды укладывают в штабели, а обогащенные отправляют на завод.

Повышение качества руды, выданной из компенсационного пространства на 10%, увеличивает эффективность технологии на 3-5%. Это дает возможность расширить границы применения комбинированной технологии.

При комбинированной технологии, когда 40% руды выдается на поверхность, а 60% руды выщелачивается под землей, при одинаковой производительности по горной массе производительность по золоту в 2 раза выше, чем при традиционном способе. Производительность труда рабочего горного цеха по золоту возрастает в 1,5 раза. При увеличении производительности рудника по золоту в 1,5 раза и одинаковом количестве рабочих производительность рудника по выдаче горной массы составляет лишь 40% от показателя традиционного способа.

Анализ прибыли, полученной комбинированным и традиционным способом, показал: традиционный способ ввиду значительных затрат на транспорт и переработку разубоженной рудной массы при отработке бедно-товарных руд не компенсирует



Этапы и последовательность решения оптимизационной задачи

Определение эффективности поэтапной разработки месторождений базируется на оценке последствий вовлечения в эксплуатацию разнородных руд от подземных работ и отходов на поверхности, на более полном использовании уже имеющихся средств с учетом возможного увеличения производ-

ственной мощности.

Вовлечение в эксплуатацию отходов первых этапов разработки месторождений, которые ранее не имели промышленной ценности, оказывает существенное влияние на величину извлекаемых запасов и содержание металлов в добываемой рудной массе. Это снижает эксплуатационные затраты и улучшает показатели использования капиталовложений и производственных фондов.

Этапы и последовательность решения оптимизационной задачи иллюстрируются рисунком.

По результатам расчетов строят поверхность реакции массы прибыли для различных вариантов сочетаний исходной информации **ГИАЭ**.

потерянную ценность золота в недрах и при технологических переделах.

Сквозной коэффициент извлечения разнородных золотосодержащих минералов, включая и хвосты обогащения первых этапов разработки, при комбинированной технологии сопоставим с традиционной технологией добычи только балансовых запасов, а в тех случаях, когда он оказывается ниже, за счет более низких затрат даст возможность компенсировать потери и получить прибыль.

Оптимальное соотношение объемов запасов, обрабатываемых комбинацией традиционной технологии, подземного и кучного выщелачивания, повышает эффективность разработки месторождения по сравнению с каждым из способов в отдельности.

Коротко об авторах

Исмаилов Т.Т. – кандидат технических наук, доцент, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

Логачев А.В. – кандидат технических наук, доцент, Южно-Российский государственный технический университет, ngtu@novoch.ru

Голик В.И. – доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский горно-металлургический институт, v.i.golik@mail.ru

Лузин Б.С. – Северо-Кавказский горно-металлургический институт, v.i.golik@mail.ru