

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1986.1.02>

Роберт ПЯЗОК

## ЗАДАЧА ОПТИМИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Развитие горнодобывающих отраслей и рост объемов добычи минерального сырья могут осуществляться различными путями: за счет освоения новых месторождений и строительства на них рудников, либо за счет вовлечения в разработку участков с бедными (забалансовыми) запасами на уже эксплуатируемых месторождениях с одновременной реконструкцией и расширением действующих горнодобывающих предприятий. Возможен комбинированный вариант развития, когда наряду с освоением новых месторождений расширяется добыча на эксплуатируемых.

От направления развития добычи минерального сырья зависит динамика отраслевых экономических показателей. Развитие за счет перехода на выемку более бедного сырья на эксплуатируемых месторождениях обычно связано с ростом затрат на единицу обогащенного сырья. Если же прирост добычи намечается за счет освоения новых месторождений, то динамика среднеотраслевых затрат будет определяться уровнем затрат на осваиваемых месторождениях. При наблюдающейся тенденции истощения минерально-сырьевой базы и усложнения природных условий добычи можно ожидать, что и это направление развития будет сопровождаться ростом средних затрат по отрасли.

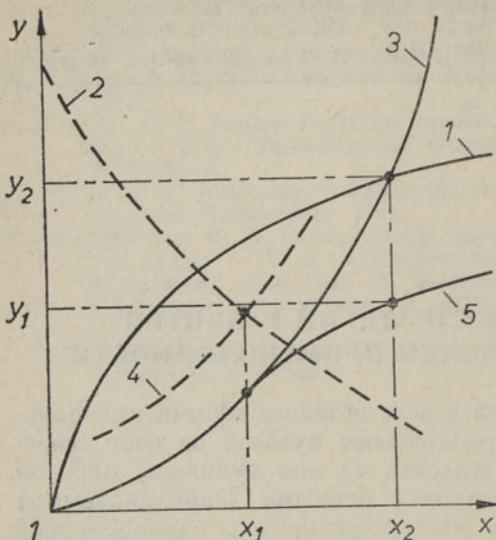
В соответствии с принципами оптимального планирования производства рациональной следует считать такую стратегию развития горнодобывающих отраслей, которая в течение долгосрочного планового периода будет обеспечивать покрытие народнохозяйственной потребности в минеральном сырье при минимальных совокупных затратах на его добычу и обогащение. Если приросту добычи сырья неизбежно сопутствует повышение затрат, то критерием оптимальности стратегии отраслевого развития должен стать минимум удорожания сырья, т. е. минимальный рост затрат на единицу дополнительной добычи.

Выбор рационального направления развития горнодобывающих отраслей является оптимизационной задачей. Попытаемся сформулировать такую задачу и решить ее в общем виде.

Рассмотрим два условных месторождения (или две группы месторождений) минерального сырья. Одно из них уже эксплуатируется с приведенными затратами на добычу и обогащение сырья  $S_1$ , а второе подготовлено к освоению при проектном значении приведенных затрат  $S_2$ . В случае освоения последнего среднеотраслевые затраты на единицу добываемого сырья составят

$$S = \frac{S_1 Q_1 + S_2 Q_2}{Q_1 + Q_2}, \quad (1)$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  — объемы добычи сырья соответственно на эксплуатируемом и осваиваемом месторождениях в единицу времени.



Зависимость между ростом добычи  $x$  и ростом среднеотраслевых затрат  $y$  при различных направлениях развития отрасли: 1 — развитие за счет освоения новых месторождений минерального сырья; 2 — производная от функции 1; 3 — развитие за счет расширения контура промышленных запасов на эксплуатируемых месторождениях и реконструкции действующих рудников; 4 — производная от функции 3; 5 — оптимальная стратегия развития отрасли.

От абсолютных величин в расчетах перейдем к относительным, обозначив рост добычи сырья в виде  $x = (Q_1 + Q_2)/Q_1$ , увеличение средних затрат на его добычу и обогащение через  $y = S/S_1$ , а соотношение затрат на осваиваемом и действующем месторождениях через  $K = S_2/S_1$ . Тогда после соответствующих преобразований выражения (1) получим формулу функциональной зависимости между ростом добычи сырья и ростом затрат:

$$y = K - \frac{K-1}{x^2}. \quad (2)$$

Эта функция (кривая 1 на рисунке) соответствует такой стратегии отраслевого развития, когда весь прирост минерального сырья происходит за счет освоения новых месторождений. При этом важным параметром, влияющим на среднеотраслевые затраты, является соотношение уровней затрат на осваиваемых и эксплуатируемых месторождениях. Для такого варианта развития характерен затухающий прирост среднеотраслевых затрат, что видно из графика производной функции (кривая 2):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{K-1}{x^2}. \quad (3)$$

Если рост добычи сырья по отрасли предполагается лишь за счет расширения контура извлекаемых запасов на эксплуатируемых месторождениях и увеличения производительности действующих горнодобывающих предприятий, то зависимость между ростом объемов добычи и затрат будет совершенно иной.

Прежде всего следует оговориться, что изменение эксплуатационных кондиций на добываемое сырье и получаемый за счет этого прирост балансовых запасов выемочного поля не всегда могут быть использованы для повышения производительности действующего горнодобывающего предприятия. Например, на месторождениях со сложной конфигурацией залежей и большой изменчивостью горно-геологических условий прирост запасов может существенно опережать прирост площади выемки [1]. Производительность же предприятия зависит от площади выемки и возможной активной зоны горных работ значительно больше, чем от общей величины промышленных запасов поля. Кроме того, на старых предприятиях со сложной схемой вскрытия и транс-

портных коммуникаций фактором, ограничивающим возможности повышения производительности, может быть отсутствие резерва пропускной способности по горной массе у вскрывающих выработок и общешахтных производственных звеньев. Коренная же реконструкция схемы вскрытия, позволяющая ликвидировать эти узкие места, обычно требует больших капиталовложений и может оказаться неэффективной, если близок момент исчерпания запасов месторождения. Однако приведенные примеры скорее являются исключением из правила, нежели закономерностью. Чаще всего вовлечение забалансовых запасов в эксплуатацию и реконструкция действующих предприятий дают существенный прирост производительности последних.

Общий характер изменения затрат на добычу минерального сырья в зависимости от его запасов и среднего качества по месторождению изучен достаточно подробно (см., напр., [2—4]). Затраты, выраженные функционально к принятому бортовому (либо среднему) содержанию полезного компонента, изменяются в виде вогнутой кривой. Вначале они снижаются за счет улучшения качества добываемого сырья и уменьшения расходов на его обогащение, а затем начинают повышаться. Повышение объясняется тем, что преобладающим по своему влиянию на затраты становится фактор роста амортизации немобильных основных фондов предприятия, вызванный сокращением величины извлекаемых запасов месторождения. Эксплуатация месторождений обычно ведется при значениях аргумента (бортowego содержания), соответствующих убыванию функции. Именно этим можно объяснить тот известный факт, что с хозрасчетных позиций выгодно отработка лишь наиболее богатой части месторождения и что расширение контура балансовых запасов и ухудшение за счет этого среднего качества добываемого сырья снижают рентабельность работы действующих предприятий.

Таким образом, вовлечение в разработку более бедных участков эксплуатируемых месторождений обычно связано с ростом затрат на добычу и обогащение даже при повышении производительности горнодобывающего предприятия. Эффект от роста производительности (экономию на условно постоянных расходах предприятия) постепенно перекрывается увеличивающимся ущербом от снижения качества добываемого сырья. По мере снижения среднего содержания полезного компонента возможный прирост производительности предприятия по обогащенному продукту происходит с отставанием от необходимого для этого прироста объемов добычи горной массы и, наконец, совсем прекращается. Поэтому капиталовложения и эксплуатационные затраты на единицу обогащенного сырья по мере прироста добычи начинают прогрессивно возрастать.

Выразим аналогично (2) взаимосвязь между относительными показателями роста добычи и затрат для случая вовлечения в эксплуатацию бедных участков эксплуатируемых месторождений. Зависимость, описывающая прогрессирующий характер роста затрат, по всей вероятности, может выражаться показательной либо степенной функциями вида:

$$y = e^{a(x-1)} \quad (4)$$

или

$$y = x^b, \quad \{b > 1\}. \quad (5)$$

Выбор типа функции и определение постоянных коэффициентов в данных выражениях должны производиться путем аппроксимации расчетных (проектных) или экспериментальных данных на конкретном месторождении. Очевидно, проще всего это делать в процессе рассмотрения вопроса о целесообразности расширения добычи по место-

рождению и анализа проектных вариантов реконструкции действующего рудника.

График функций (4) и (5) (кривая 3 на рисунке) позволяет экономически сравнить две рассматриваемые стратегии развития отрасли и сделать некоторые, на наш взгляд важные, выводы.

Прежде всего сравниваемые направления характеризуются диаметрально противоположными закономерностями изменения среднеотраслевых затрат на добычу и обогащение сырья. Если рост добычи происходит только за счет освоения новых месторождений, а кондиции и объемы добычи на эксплуатируемых месторождениях остаются прежними, то наиболее резкий рост среднеотраслевых затрат характерен для начальной стадии развития (кривая производной функции 2). Если же развитие происходит за счет расширения действующих предприятий, то затраты повышаются по мере роста добычи, поскольку производные от (4) и (5) представляют собой монотонно возрастающие функции вида

$$\frac{dy}{dx} = ae^{a(x-1)} \quad (6)$$

и

$$\frac{dy}{dx} = bx^{b-1}. \quad (7)$$

Первые дополнительно получаемые таким способом тонны сырья обходятся дешевле, чем добыча на новых месторождениях, следовательно, это направление экономически предпочтительнее, и именно с него должно начинаться развитие любой горнодобывающей отрасли.

Методологически важным вопросом является установление предела роста добычи на эксплуатируемых месторождениях.

Как видно из рисунка, кривые 1 и 3 пересекаются при значении аргумента  $x_2$ , когда обе стратегии развития становятся экономически эквивалентными и характеризуются ростом среднеотраслевых затрат  $y_2$ . Если бы рост добычи до  $x_2$  представлялся в виде «разового» мероприятия (строительство одного нового рудника или реконструкция одного действующего), то ни одна из стратегий не имела бы преимуществ. Если же развитие отрасли представить в виде многоступенчатого процесса (каким оно и является в действительности), то не безразлично, каким путем мы достигли роста добычи  $x_2$ . Очевидно, самым разумным является развитие по траектории кривой 3, т. е. путем интенсификации добычи на уже действующих предприятиях. В таком случае наиболее существенный рост затрат отодвигается на более позднее время, в результате чего достигается определенная экономия средств.

Оптимальная стратегия развития отрасли, как уже отмечалось, должна обеспечивать минимально возможный прирост затрат на единицу дополнительно получаемой продукции. Очевидно, это возможно тогда, когда вначале расширяется добыча на эксплуатируемых месторождениях, а затем осваиваются новые. Момент перехода к освоению новых месторождений устанавливается равенством производных функций роста затрат при сравниваемых стратегиях развития, означающим равенство приростных (маржинальных) затрат по ним. Определим рост добычи минерального сырья  $x$ , соответствующий данному моменту.

Если рост затрат на эксплуатируемых месторождениях происходит в соответствии с (4) экспоненциально, то, приравняв производные (3) и (6), будем иметь:

$$ae^{a(x-1)} = (K - 1)/x^2.$$

Преобразуем полученное выражение:

$$ax^2e^{a(x-1)} = K - 1; \quad (ax)^2e^{ax-a} = a(K - 1);$$

$$ax + 2 \ln ax = \ln [ae^a (K - 1)].$$

Применив метод разложения логарифмов в ряд Тейлора по степеням  $(x/N - 1)$  и ограничившись первыми двумя членами ряда

$$\ln(1+Z) \approx Z - Z^2/2, \quad \{|Z| \leq 1\},$$

получим в нашем случае квадратичное уравнение для расчета приближенного значения  $x$ :

$$0,5 \left( \frac{x}{N} - 1 \right)^2 - \left( 1 + \frac{Na}{2} \right) \left( \frac{x}{N} - 1 \right) + 0,5 \ln \frac{K-1}{aN^2} + \frac{a(1-N)}{2} = 0. \quad (8)$$

В данном уравнении величина  $N$  должна по условию сходимости ряда Тейлора для логарифмов удовлетворять требованию  $0 \leq x/N \leq 2$ . Чем ближе  $x/N$  к единице, тем точнее получается искомая величина  $x$ .

Решение данной задачи существенно упрощается, если функция роста затрат на эксплуатируемых месторождениях была аппроксимирована степенной зависимостью (5). Приравняв производные функции (3) и (7) и умножив обе части полученного равенства на  $x^2$ , будем иметь

$$bx^{b+1} = K - 1,$$

откуда

$$x = \left( \frac{K-1}{b} \right)^{\frac{1}{b+1}}. \quad (9)$$

Как видно из выражения (9), момент перехода к освоению новых месторождений зависит от соотношения величин  $K$  и  $b$ . Чем выше уровень затрат на новых месторождениях, тем позже можно приступать к их освоению и тем больше может быть рост добычи на уже эксплуатируемых. Ограничивающим фактором здесь становится величина коэффициента  $b$  в функции роста затрат (5).

На рисунке искомая величина определяется пересечением графиков производных 2 и 4 и соответствует аргументу  $x = x_1$ . При  $x \leq x_1$  рост добычи происходит за счет эксплуатируемых, а при  $x > x_1$  — за счет новых месторождений. Динамике средних затрат в этом случае отвечает кривая 5, представляющая оптимальную стратегию развития горнодобывающей отрасли. Развитие по такой траектории обеспечит минимально возможные среднеотраслевые затраты при любом заданном росте добычи минерального сырья. Например, планируемый рост добычи  $x_2$  в данном случае будет сопровождаться ростом затрат  $y_1$ , тогда как в случаях развития по траекториям 1 и 3 эта величина была бы  $y_2$ . Таким образом, относительная экономия составит  $y_2 - y_1$ .

Из установленных выше закономерностей можно заключить, что планирование развития любой горнодобывающей отрасли должно начинаться с переоценки всей находящейся уже в эксплуатации минерально-сырьевой базы. Учитывая глобальную тенденцию постепенной деградации качества вовлекаемых в эксплуатацию запасов и усложнения природных условий добычи минерального сырья, первоочередное внимание надо уделять поиску возможностей расширения добычи на эксплуатируемых месторождениях путем пересмотра кондиций на

сырье и реконструкции действующих рудников. К освоению новых месторождений можно приступать после реализации отмеченных возможностей. Только такая стратегия развития является наиболее экономичной, обеспечивающей растущую потребность народного хозяйства в сырье с минимальными затратами. Задача оптимизации стратегии развития, естественно, может решаться лишь в централизованном порядке, т. е. в общепромышленной системе оптимального планирования.

Расширение контура балансовых запасов и интенсификация добычи из эксплуатируемых месторождений позволят не только снизить рост среднеотраслевых затрат на сырье, но и будут способствовать более бережному использованию недр и снижению потерь минерального сырья при добыче. Полнота извлечения сырья на действующих горнодобывающих предприятиях увеличится, вместе с этим произойдет заметное сближение экономических границ извлечения минерального ресурса на эксплуатируемых и подготавливаемых к освоению месторождениях. Будет устранен имеющийся место в настоящее время факт отбрасывки на многих действующих горнодобывающих предприятиях такого сырья, которое пригодно для народнохозяйственного использования и намечается к эксплуатации на новых месторождениях. Все это, несомненно, можно рассматривать как укрепление ресурсосберегающих основ в развитии народного хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов Н. В. Метод оптимизации производительности рудников совместно с кондициями на запасы. — Изв. АН КиргССР, 1979, № 1, 24—32.
2. Агошков М. И. Определение производительности рудника. М., 1948.
3. Комплексная экономическая оценка минеральных ресурсов. Алма-Ата, 1972.
4. Гатов Т. А. Обоснование минимального содержания цветных металлов в руде. М., 1967.

Представил К. Хабиht

*Институт экономики  
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию  
6/II 1985

Robert PASOK

#### MÄETÖÖSTUSLIKE TOOTMISHARUDE ARENGUSTRATEEGIA OPTIMEERIMISE ÜLESANNE

On formuleeritud ja analüütiliselt lahendatud mineraaltooraine tootmise optimaalse arengusuuna valiku ülesanne. Optimaalsuse kriteeriumiks on võetud minimaalne toodangukulude kasv ja leitud, et alustada tuleks juba tegutsevate leiukohtade piiride ja varude ümberhindamisest ning vastavalt tootmise laiendamisest. Alles pärast seda on otstarbekas asuda uute leiukohtade hõlvamisega.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Majanduse Instituut*

Toimetusse saabunud  
6. II 1985

Robert PASOK

#### THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE DEVELOPMENT STRATEGY OF MINING INDUSTRIES

A problem of optimal development of the mining of mineral raw materials is formulated and analytically solved. Minimum increase of costs per unit of production is applied as the optimality criterion. It was ascertained that development should start from a revision of the limits of deposit recovery and expansion of production at the mines already working. It is only after these measures have been taken that exploitation of new deposits should be undertaken.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Economics*

Received  
Feb. 6, 1985