

УДК 519.816:622.2

НАХОЖДЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ВОВЛЕЧЕНИЯ ЗАБАЛАНСОВЫХ
РУД В ПОПУТНУЮ ДОБЫЧУ И ВЫБОР ВАРИАНТА РЕКОНСТРУКЦИИ
ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.Ф.Новиков

В в е д е н и е

В условиях дефицита балансовых руд часто представляется целесообразным вовлекать в попутную обработку забалансовые (бедные, труднодоступные, некондиционные) запасы. Тем самым решаются следующие проблемы:

- а) получение дополнительного количества металла из недр;
- б) экономия народнохозяйственных средств на получение этого же количества металла в условиях разведки и освоения нового месторождения;
- в) продление срока действия горного предприятия;
- г) снижение себестоимости добычи руды, связанное с увеличением объемов добычи.

В то же время нельзя допустить уменьшения годового выпуска металла (это возможно осуществить за счет увеличения общего объема добычи) и превышения капитальных вложений на реконструкцию по сравнению с извлекаемой из забалансовых запасов ценностью. Для решения этой задачи предлагается аппарат принятия решений, связанный с построением функции ценности [1].

Предлагается следующая диалоговая процедура лица, принимающего решение, с экспертной системой [2]. У лица, принимающего решение, выясняются критерии, необходимые и достаточные для полного описания данной проблемы. Желательными свойствами набора критериев являются полнота, действенность, разложимость, избыточность, минимальность [1].

I. Постановка задачи

Данная задача решается на примере шахты №55 Западно-Джезказганского рудника. Были выбраны следующие критерии, характеризующие функцию ценности прироста годовой производительности шахты, связанного с вовлечением в обработку забалансовых руд: x_1 - суммарная прибыль (тыс.руб.); x_2 - продление срока действия шахты (год); x_3 - полнота выемки запасов руды из недр (%).

Суммарная прибыль x_1 складывается из стоимости дополнительно полученного металла, экономии средств на получение этого же количества металла в условиях разведки и освоения нового месторождения, снижения себестоимости добычи руды, связанного с увеличением объемов добычи минус себестоимость капитальных вложений на реконструкцию и организационные мероприятия. Лицо, принимающее решение, устанавливает допустимые границы изменения суммарной прибыли $[\underline{x}_1, \bar{x}_1]$.

Продление срока действия шахты x_2 измеряется от установленного по плану с учетом того, что будут отработываться забалансовые запасы. Интервал изменения $[0, T]$, где T - некоторый разумный предел продления срока действия шахты, также указывается лицом, принимающим решение.

Полнота выемки x_3 измеряется в процентах. Интервал изменения от 0% до 100%. Границы интервала соответствуют случаям, когда забалансовые запасы не используются вообще или используются полностью.

Далее в диалоге с лицом, принимающим решение, строится трехмерная функция ценности $u(x_1, x_2, x_3)$. Для автоматизации таких построений разработан программный комплекс [3].

Смысл функции ценности $u(x_1, x_2, x_3)$ заключается в следующем. Каждой ситуации, описываемой вектором (x_1, x_2, x_3) , ставится в соответствие действительное число (ценность) таким образом, чтобы более предпочтительной ситуации соответствовало большее число, и наоборот. Сравнивая ценности различных ситуаций, мы выбираем лучшую из них.

В данном случае мы получим параллелепипед в трехмерном пространстве, каждой точке которого соответствует определенное значение функции ценности (см.рис. I).

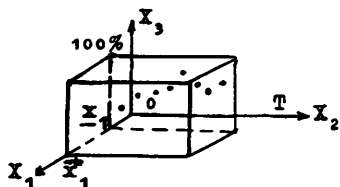


Рис. I

Пользуясь построенной функцией ценности, находим оптимальный объем вовлечения забалансовых руд и выбираем вариант реконструкции шахты. Делается это следующим образом. Обозначим через Q суммарный объем забалансовых запасов. Выберем шаг ΔQ изменения объема прирезки забалансовых руд V . Понятно, что V изменяется от нуля до Q и кратно ΔQ , т.е. $V_k = k \Delta Q$, $Q \leq k \leq \left[\frac{Q}{\Delta Q} \right]$, где $\left[\frac{Q}{\Delta Q} \right]$ - целая часть $\frac{Q}{\Delta Q}$. Выбор варианта реконструкции связан с возникновением "узких" мест при увеличении объема добычи. Сдерживающими факторами могут быть:

- A_1 - количество работающих людей;
- A_2 - количество самоходного оборудования;
- A_3 - количество доставочных машин;
- A_4 - фактор вентиляции;
- A_5 - количество железнодорожного транспорта на концентрации - одном горизонте;
- A_6 - низкая пропускная способность опрокидков;
- A_7 - низкая пропускная способность подъемных установок;
- A_8 - низкая пропускная способность железнодорожного транспорта на поверхности.

Изменяя пошагово V от V_0 до Q , находим вектор (x_1^k, x_2^k, x_3^k) , соответствующий объему V_k , $x_i^k \in X_i$, $i = 1, 2, 3$, и соответствующую ценность $u_k = u(x_1^k, x_2^k, x_3^k)$, $0 \leq k \leq \left[\frac{Q}{\Delta Q} \right]$, а затем выбираем объем $V_{\text{опт}}$, соответствующий максимальному значению u_k . Одновременно мы выбираем и вариант реконструкции. Более подробно процедура выбора выглядит так.

Шаг 0. $V = V_0$. Вектор (x_1^0, x_2^0, x_3^0) равен $(0, 0, 0)$, находим ценность $u^0 = u(0, 0, 0)$. Мы считаем, что функция ценности $u(x_1, x_2, x_3)$ уже построена. Способ ее построения указан ниже.

Шаг I. $V = V_1$. Находим подмножество $B \subseteq \{A_i\}$, $i = 1, 8$, факторов, являющихся сдерживающими при данном объеме V_1 ; определяем прибыль от переработки дополнительной руды, затраты, связанные с устранением "узких" мест B и комплекс мероприятий P_1 , направленных на их устранение. Полнота выемки определяется как $\frac{V_1}{Q} \%$. Таким образом мы определяем вектор (x_1^1, x_2^1, x_3^1) и $u_1 = u(x_1^1, x_2^1, x_3^1)$.

Аналогично выполняются оставшиеся шаги. Векторы (x_1^k, x_2^k, x_3^k) определенным образом располагаются в параллелепипеде (см. рис. 1). Выбираем максимальное u_m , объем добычи забалансовых запасов $V_m = V_{\text{опт}}$, ему соответствующий, и комплекс мероприятий P_m по реконструкции, требуемой на осуществление объема добычи V_m .

Пара (V_m, P_m) будет решением поставленной задачи.

2. Построение функции ценности

Опишем процесс построения функции ценности с помощью лица, принимающего решение. Прежде всего необходимо попытаться разложить функцию $u(x_1, x_2, x_3)$, т.е. представить ее в следующем виде: $u(x_1, x_2, x_3) = f(u_1(x_1), u_2(x_2), u_3(x_3))$, где $u_i(x_i)$ ($i = 1, 2, 3$) — одномерные функции ценности по каждому критерию, f — некоторая действительная функция от трех переменных. Обычно вначале проверяют, можно ли в качестве f взять аддитивную функцию. Для этого необходимо и достаточно выполнения условий независимости.

Пара критериев x_1 и x_2 называется независимой по предпочтению [1] от x_3 , если для любых $x_1, x_1' \in X_1$; $x_2, x_2' \in X_2$ и некоторого $x_3^0 \in X_3$ из предпочтительности вектора (x_1, x_2, x_3^0) вектору (x_1', x_2', x_3^0) следует, что для любого $x_3 \in X_3$ вектор (x_1, x_2, x_3) предпочтительнее (x_1', x_2', x_3) . Запишем это в символическом виде:

$$(\forall x_1, x_1' \in X_1)(\forall x_2, x_2' \in X_2)(\forall x_3, x_3^0 \in X_3)(x_1, x_2, x_3^0) \succ (x_1', x_2', x_3^0) \rightarrow (x_1, x_2, x_3) \succ (x_1', x_2', x_3).$$

ТЕОРЕМА [1]. Функция ценности $u(x_1, x_2, x_3)$ может быть представлена в аддитивной форме

$$u(x_1, x_2, x_3) = u_1(x_1) + u_2(x_2) + u_3(x_3),$$

где $u_1(x_1), u_2(x_2), u_3(x_3)$ — функции ценности одного критерия, тогда и только тогда, когда пара $\{X_1, X_2\}$ не зависит по предпочтению от X_3 , $\{X_1, X_3\}$ не зависит по предпочтению от X_2 и $\{X_2, X_3\}$ не зависит по предпочтению от X_1 .

Легко показать, что в нашем случае условия теоремы выполнены, т.е. все три пары не зависят по предпочтению от дополнительного критерия. Например, независимость пары $\{X_1, X_2\}$ от X_3 озна-

чает следующее. Если при некотором уровне полноты выемки $x_3^0 \in X_3$, лицо, принимающее решение, предпочитает пару (x_1, x_2) , характеризующую определенную суммарную прибыль и продление срока действия предприятия, паре (x_1', x_2') , то его предпочтение не изменится при любом уровне полноты выемки $x_3 \in X_3$.

Непосредственное построение функции ценности $u(x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^3 u_i(x_i)$ и шкалирующая процедура в диалоге с лицом, принимающим решение, детально изложены в [1]. Для автоматизации построений предлагается использовать программный комплекс [3].

3. Результаты расчета

Приведем результаты расчета основных этапов решения задачи. Данные о наличии запасов указаны в условных единицах.

В первую очередь был проведен анализ фактического состояния забалансовых запасов и выявлены резервы расширения сырьевой базы предприятия. С этой целью осуществлена ревизия фактического состояния запасов, а именно выявлены причины отнесения запасов в забалансовые, отмечены потерянные забалансовые запасы, объекты для первоочередной оценки, определено пространственное расположение забалансовых запасов относительно зоны отработки балансовых запасов. Было выявлено наличие 10 ед. активных забалансовых запасов с процентным содержанием металла α_1 % и 5 ед. с процентным содержанием α_2 %.

Во-вторых, был проведен анализ технологических возможностей добычи и переработки забалансовых запасов. При анализе технологических возможностей попутной добычи забалансовых запасов была рассмотрена возможность изменения технологии добычи руды, определены области рационального использования различных систем разработки, определены предстоящие затраты на вскрытие, подготовку к выемке и добычу забалансовых запасов. При анализе технологических возможностей переработки забалансовых запасов рассматривались возможности совместной и раздельной с балансовыми запасами переработки, определялись затраты на переработку руды, показатель извлечения металла в концентрат.

В третьих, проанализированы технические возможности увеличения годовой производительности рудника и обогатительной фабрики. Здесь основными этапами являлись вопросы расширения фронта очистной выемки, расчета пропускной способности внутришахтно-

го транспорта, подъема и увязки пропускной способности смежных технологических звеньев. В итоге определялся резерв пропускной способности основных технологических звеньев, выявлялись "узкие места" горного производства, разрабатывались технические мероприятия на их ликвидацию. Окончательно определялись затраты на реконструкцию рудника и обогатительной фабрики.

В качестве шага изменения объема прирезки забалансовых запасов ΔQ был взят объем 1,5 ед., и таким образом, предстояло рассмотреть одиннадцать альтернатив a_0, a_1, \dots, a_{10} , где a_i - альтернатива, при которой объем прирезки забалансовых запасов составлял $V_i = i \cdot \Delta Q$, $i = 1, 2, \dots, 10$. Для каждой альтернативы вычислялся вектор значений критериев. Данные представлены в таблице.

Т а б л и ц а

Оценки эффективности альтернатив по трем критериям

| Альтернатива | Значение критерия | | |
|--------------|-------------------|-------------|-----------|
| | X_1 (тыс. руб.) | X_2 (год) | X_3 (%) |
| a_0 | 0 | 0 | 0 |
| a_1 | 200 | 0,3 | 10 |
| a_2 | 500 | 0,6 | 20 |
| a_3 | 900 | 0,9 | 30 |
| a_4 | 1400 | 1,2 | 40 |
| a_5 | 1900 | 1,5 | 50 |
| a_6 | 1700 | 1,8 | 60 |
| a_7 | 950 | 2,1 | 70 |
| a_8 | 100 | 2,4 | 80 |
| a_9 | -100 | 2,7 | 90 |
| a_{10} | -150 | 3 | 100 |

Резкое падение суммарной прибыли X_1 для достаточно больших значений объема прирезки забалансовых запасов было связано с необходимостью проводить значительную реконструкцию, в частности, проводить реконструкцию подъема. Для меньших объемов добычи оказалось достаточно свободных резервов транспорта, и, следовательно, не требовалось больших затрат на реконструкцию. Функция ценности находилась в виде

$$u(x_1, x_2, x_3) = \lambda_1 \cdot u_1(x_1) + \lambda_2 \cdot u_2(x_2) + \lambda_3 \cdot u_3(x_3),$$

где $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$, $\lambda_i > 0$, $0 \leq u_i(x_i) \leq 1$, $i = 1, 2, 3$. Веса λ_i определялись из диалога с лицом, принимающим решения, и решения системы линейных уравнений. Компоненты функции ценности $u_i(x_i)$ строились с помощью лица, принимающего решение, на основе метода "средних точек": для каждой компоненты $u_i(x_i)$ находились точки, в которых значение функции равнялось 0,5, затем 0,25 и соответственно 0,75.

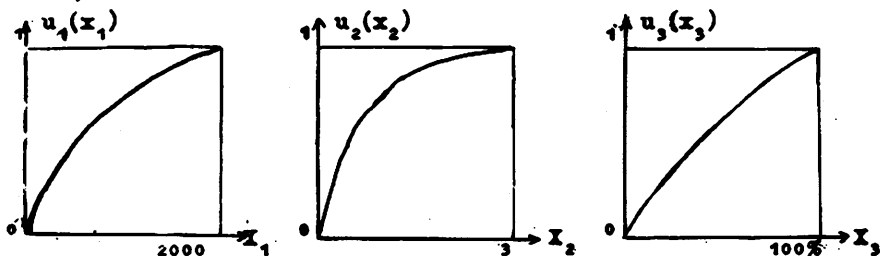


Рис. 2

После проверки на согласованность по полученным точкам вычерчивался график. Окончательно функция ценности имела вид:

$$u(x_1, x_2, x_3) = 0,4 u_1(x_1) + 0,25 u_2(x_2) + 0,35 u_3(x_3).$$

Альтернатива a_6 оказалась наиболее приемлемой поскольку функция ценности для объема $6 \cdot \Delta Q$ имела максимальное значение. Выявление включаемых в промышленный контур забалансовых запасов проходило на уровне отдельных выемочных единиц с учетом пространственного расположения, степени готовности и мощности запасов.

Л и т е р а т у р а

1. КИНИ Р.Д., РАЙБА Х. Принятия решений при многих критериях: предпочтения и замещения. - М.: Радио и связь, 1981. - 560 с.

2. НОВИКОВ В.Ф. Принятие решений в экспертной системе. - В кн.: Методы и программное обеспечение обработки информации и прикладного статистического анализа данных на ЭВМ. Тез. докл. Минск, 1985, с. 285.

3. ВИТЯЕЗ Е.Е., МОСКВИТИН А.А. ЛАДА - программная система логического анализа данных. - В кн.: Методы анализа данных (Вычислительные системы, вып. III). Новосибирск, 1985, с. 38-58.

4. НОВИКОВ В.Ф. Нахождение оптимального объема вовлечения забалансовых руд в попутную добычу на действующем горном предприятии. - В кн.: Методология системных исследований: Тез. докл. М., 1985, с. 159-160.

Поступила в ред.-изд.отд.
27 июня 1986 года