

ВЫБОР С ПОМОЩЬЮ ЭВМ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЛОКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ С ОБРУШЕНИЕМ

А. А. Кавтаськин

На основе применения вычислительной техники и методов операционных исследований предлагается методика по определению рациональных параметров и конструктивных элементов очистных блоков на подземных рудниках комбината Апатит. Были использованы основные положения методик, разработанных Центрогипрошахтом [Кузнецов и др., 1964], ИГД им. А. А. Скочинского [Курносов и др., 1964] и ЦНИИ Информации и технико-экономических исследований черной металлургии [Определение ..., 1966].

В качестве критерия оптимальности принята себестоимость 1 т руды по сумме учитываемых на участке эксплуатационных расходов

$$\mathcal{E} = \frac{C}{Z} = \frac{C}{Pt}, \text{ руб./т,}$$

где C — общие эксплуатационные расходы по варианту, руб.; Z — запасы руды в блоке, т; P — производительность блока, т/год; t — время отработки блока, лет.

Общие эксплуатационные затраты складываются из стоимости проведения, крепления и поддержания выработок, расходов на заработную плату забойных рабочих, цеховых расходов, расходов на монтаж и демонтаж оборудования, стоимости материалов, ущерба от потерь и разубоживания руды, ущерба от замораживания средств в отбитых запасах руды, удорожа-

ния выемки запасов днища, стоимости энергии, амортизационных отчислений.

Анализ результатов отработки блоков показал, что на себестоимость выемки влияют следующие показатели: размер блока по простиранию L ; длина скреперной выработки $2l_{\text{ср}}$; число откаточных ортов на блок N ; размер секции по простиранию b_1 и вкрест простирания b_2 ; высота подэтажа $h_{\text{под}}$; расстояние между выпускными отверстиями m и число пор выпускаемых отверстий на штрек n_0 ; расстояние между рядами ω и концами a скважин; тип бурового станка и мощность скреперной установки; сечение выпускного отверстия S ; способ оформления днища блока и пространственное расположение буровых выработок; число рядов скважин, отбиваемых за один взрыв, n_p . Эти показатели изменяются в пределах, выявляемых опытом работы и результатами производственных исследований.

Один из основных этапов работы по составлению математической модели заключается в определении производственных ограничений. Так, производительность блока, представляющая собой функцию от производительности скреперной установки $P_{\text{скр}}$, их числа на откаточный орт $N_{\text{скр}}$ и режима работы рудника, ограничена в верхнем пределе пропускной способностью ортов и стремится к максимуму. В свою очередь производительность скреперной установки, зависящая от средней длины скреперования, выхода руды на один фугас β и затрат времени на дробление негабарита, ограничена минимально допустимой производительностью и стремится к максимуму.

Объем руды, отбиваемой за один взрыв Q , зависит от b , ω , $h_{\text{под}}$, n_p и ограничен в верхнем пределе допустимым по условиям рудника или блока объемом. Отбойка G и выпуск объема T руды в блоке должны вестись планомерно с определенным опережением отбойки над выпуском. Поэтому вводится условие соблюдения резерва готовых к отбойке запасов D в функции варьируемых параметров. Ширина отбиваемой секции вкрест простирания должна быть кратна расстоянию между выпускными отверстиями. При расположении секции длинной стороной по простиранию ее ширина должна быть кратна длине скреперного штрека. Оба эти условия предусмотрены при решении задачи. Извлечение руды U согласно условиям разработки должно быть не менее 90%, поэтому при определении его введено ограничение по нижнему пределу.

Таким образом, постановка задачи в общем виде такова. Найти минимум стоимостной функции

$$\Phi = f(m, b, h_{\text{под}}, N, n_0, n_p, w, \beta, S, a, N_{\text{скр}})$$

при ограничениях

$$\begin{aligned} m_{\min} &\leq m \leq m_{\max}; & w_{\min} &\leq w \leq w_{\max}; \\ b_{\min} &\leq b \leq b_{\max}; & \beta_{\min} &\leq \beta \leq \beta_{\max}; \\ h_{\text{под min}} &\leq h_{\text{под}} \leq h_{\text{под max}}, & S_{\min} &\leq S \leq S_{\max}; \\ n_{0 \min} &\leq n_0 \leq n_{0 \max}; & a_{\min} &\leq a \leq a_{\max}; \\ N_{\min} &\leq N \leq N_{\max}; & N_{\text{скр min}} &\leq N_{\text{скр}} \leq N_{\text{скр max}}; \\ n_{p \min} &\leq n_p \leq n_{p \max}; \\ Q &\leq \text{const}; \quad P \leq \text{const}; \quad T - D = G; \quad U \geq \text{const}, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} Q &= f(b, n_p, w, a); & D &= f(m, b, n_0, N_{\text{скр}}); \\ P &= f(m, n_0, N, \beta, N_{\text{скр}}, N); & G &= f(b, w, a, n_p, h_{\text{под}}); \\ T &= f(m, b, n_0, \beta, N_{\text{скр}}, N, n_p); & U &= f(m, b, S). \end{aligned}$$

Стоимостные функции определялись в зависимости от варьируемых показателей, производительности труда, запасов руды в блоке и организации работ с учетом указанных выше ограничений методами теории корреляции. В результате анализа технологии добычи руды с учетом структуры стоимостных показателей создана математическая модель блока, обрабатываемого системой этажного принудительного обрушения с отбойкой руды глубокими скважинами и скреперной схемой доставки. Математическая формулировка задачи оптимизации размеров конструктивных элементов блоков по минимуму участковой себестоимости 1 т руды имеет вид

$$\begin{aligned} \min & \left[\frac{\left[183 + 0,78L + \frac{195L + 500h_{\text{под}}}{b} \right] \frac{93(70 - h_{\text{дн}})}{h_{\text{под}}} + \frac{233}{m} (N_0 - 1) \times}{525Lu} \dots \rightarrow \right. \\ & \left. \times \left\{ n_0(97,25 + 98,4m + 50h_{\text{вор}}) + 20,2 + n_0 \cdot \left| \frac{183}{30,55} \right| * \right\} + \dots \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left. + \frac{233}{m} (N-1) \cdot \left| \frac{4760}{2830} \right|^* \right\} \frac{1}{1} + \frac{0,25 S}{Pm} + \\
& + \frac{\left(250 L h_{\text{дн}} - F \sum l - \frac{\pi m^2 h_{\text{вор}}^{\text{тр}} n_{\text{вор}}^{\text{тр}}}{12} \right) \cdot 30}{525 L \frac{u}{1-\rho}} + \sum_{i=1}^n C_i + \\
& \left(40,75 + \frac{1990}{P_{\text{ст}}} \right) \sum l_{\text{скв}} + 20,3 \sum l_{\text{скв} 1}^{\text{II}} + 9,16 \sum l_{\text{скв} 2}^{\text{I}} + \\
& + \frac{105,6 b h_{\text{под}} (g_{\text{отб}} + g_{\text{лр}})}{3 b h_{\text{под}} w} - \\
& 4,24 \left\{ \left[125 + \frac{125}{m} N (L+16) - L \right] + 250 \left(1 + \frac{2 h_{\text{под}}}{b} \right) + L \left(1 + \frac{250}{b} \right) \right\} \\
& \frac{\quad}{525 L u} ;
\end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n C_i = \left(0,81 m + 0,1 l_{\text{ср}} + 12,2 + \frac{55 \cdot 10^5}{P} + \frac{677}{P_{\text{скр}}} \right)$$

при следующих значениях входящих переменных и ограничениях

$$7 \leq m \leq 14;$$

$$10 \leq [b = m(n!)] \leq 80;$$

$$15 \leq \left[h_{\text{под}} = \frac{60}{(0,5 n!) \text{ или } (n!)} \right] \leq 60;$$

$$n_0 = 2; 3; 4; 5;$$

$$N = 2; 3; 4;$$

$$n_p = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11;$$

$$w = 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2;$$

$$g_{\text{лр}} = \frac{121,6 - 9S}{10} ;$$

$$L = 2 l_{\text{ср}} (N_0 - 1);$$

$$l_{\text{ср}} = \frac{n_0 m}{2} ;$$

* Имеются в виду два варианта.

$$N_0^* = 3 \text{ при } N = 2; \quad N_0 = 7 \text{ при } N = 4;$$

$$N_0 = 5 \text{ при } N = 3; \quad h_{\text{дн}} = 1,87 \text{ м} - 5,83;$$

$$h_{\text{вор}} = 1,90 \text{ м} - 8,6;$$

$$S = 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6;$$

$$S = \frac{\beta - 66,25}{6,5}; \quad \beta = 80 \div 110 \text{ через } 5;$$

$$U = 1 - \frac{0,325(m-d)(3m^2 - md - d^2)}{60m^2} \geq 0,9; \quad d = 2,0 \text{ и } 2,5;$$

$$P = 800 P_{\text{скр}} N_{\text{скр}} N \leq 900\,000 N_{\text{н}}^{**} \quad N_{\text{н}} = 2,6 \text{ при } N = 3;$$

$$N_{\text{н}} = 1,72 \text{ при } N = 2; \quad N_{\text{н}} = 3,2 \text{ при } N = 4;$$

$$P_{\text{скр}} = \max \left[\frac{360 \eta \beta \psi' P_{\text{мин}}}{\beta \psi' + 3 \psi' P_{\text{мин}} + 2,7 \beta P_{\text{мин}}} \right].$$

$$\text{Вариант А: } P_{\text{мин}} = \left[1,32 + \frac{21}{l_{\text{ср}}} \right] \rightarrow \text{тах при } M = 75 \text{ квт};$$

$$\text{Вариант В: } P_{\text{мин}} = \left[1,60 + \frac{23,5}{l_{\text{ср}}} \right] \rightarrow \text{тах при } M = 100 \text{ квт};$$

$$\eta = 0,725 - 1\text{-й случай}; \quad \psi' = 22,85 \text{ с};$$

$$\eta = 0,850 - 2\text{-й случай}; \quad N_{\text{скр}} = 1, 2, 3, 4.$$

Ограничивающие условия

$$1. S_{\text{секц}}^{\text{тах}} = [210 b n_p w \leq 3 \cdot 10^5].$$

$$2. \text{Если } 210 b n_p w - 420 l_{\text{ср}} b \leq 0, \text{ то}$$

$$210 b n_p w \frac{U}{0,93} \left(\frac{1}{3,6 P_{\text{скр}}} - \frac{165}{P} \right) = \frac{\sum l_{\text{скв}} n_p 1,2}{4 P_{\text{ст}}}.$$

$$3. \text{Если } 210 b n_p w - 420 l_{\text{ср}} b > 0, \text{ то}$$

$$210 b \frac{U}{0,93} \left(\frac{2 l_{\text{ср}}}{3,6 P_{\text{скр}}} - \frac{150 w n_p}{P} \right) = \frac{\sum l_{\text{скв}} n_p 1,2}{4 P_{\text{ст}}};$$

* N_0 — число откаточных и вентиляционно-сборочных ортов в блоке.

** $N_{\text{н}}$ — коэффициент одновременной работы ортов.

$$P_{\text{ст}} = \left[\frac{324V}{1000 + 3,18 V} \right] \rightarrow \max$$

$V = 70 \div 120$ в зависимости от $l_{\text{ср. скв}}$

$$l_{\text{ср. скв}} = \frac{l_{\text{скв}}^I + l_{\text{скв}}^{II}}{2}.$$

Определение числа и длины скважин в веере

Проверка $\delta \geq 0,839 = \frac{2h_{\text{акт}}}{b}$; $h_{\text{акт}} = h_{\text{под}} - 3$

Если $\delta \leq 0,839$

$$n_{\text{скв}}^I = \left(0,463 \frac{b\delta}{a} + 0,5 \right); \quad l_{\text{скв}}^I = 0,5 \sqrt{b^2 + h_{\text{акт}}^2} - 1,5;$$

$$a = 3,0; 3,5; 4,0;$$

$$\varepsilon = 0 \text{ при } \delta = 0,839 \div 0,66;$$

$$\varepsilon = 1,2 \text{ при } \delta = 0,650 \div 0,42;$$

$$\varepsilon = 2,4 \text{ при } \delta = 0,41 \div 0,33;$$

$$\varepsilon = 3,2 \text{ при } \delta = 0,32 \div 0,25;$$

$$\varepsilon = 4,0 \text{ при } \delta < 0,24;$$

$$n_{\text{скв}}^{II} = \left(\frac{0,5b - 0,84h_{\text{акт}}}{1,3a} + 0,773 \frac{h_{\text{акт}}}{a} + 0,5 - \varepsilon \right);$$

$$\sum l_{\text{скв} 2}^I = n_{\text{скв}}^I l_{\text{скв}}^I; \quad l_{\text{скв}}^{II} = 0,5 \sqrt{\frac{b^2}{4} - 4h_{\text{акт}}^2} - 1,5;$$

$$\sum l_{\text{скв} 1}^{II} = n_{\text{скв}}^{II} l_{\text{скв}}^{II}; \quad \sum l_{\text{скв}} = \sum l_{\text{скв} 2}^I + \sum l_{\text{скв} 1}^{II}.$$

Если $\delta > 0,839$

Для первой части веера:

$$n_{\text{скв} 2}^I = \left(0,3865 \frac{b}{a} \right); \quad l_{\text{скв} 2}^I = 0,5 \sqrt{b^2 + 0,18h^2} - 1,5;$$

$$\sum l_{\text{скв} 2}^I = n_{\text{скв} 2}^I l_{\text{скв} 2}^I;$$

$$\varepsilon = 0 \text{ при } \delta = 0,84 \div 1,50;$$

$$\varepsilon = 1,2 \text{ при } \delta = 1,51 \div 2,39;$$

$$\varepsilon = 2,4 \text{ при } \delta = 2,40 \div 3,20;$$

$$\varepsilon = 3,2 \text{ при } \delta = 3,21 \div 4,00;$$

$$\varepsilon = 4,0 \text{ при } \delta \geq 4,01;$$

$$n_{\text{СКВ } 1}^I = \left(\frac{h_{\text{акт}} - 0,42b}{1,3a} - \varepsilon \right) \cdot 2,0; \quad l_{\text{СКВ}}^I = 0,5 \sqrt{b^2 + h_{\text{акт}}^2} - 1,5;$$

$$\sum l_{\text{СКВ}}^I = (n_{\text{СКВ } 2}^I + n_{\text{СКВ } 1}^I) l_{\text{СКВ}}^I.$$

Для второй части веера:

$$\text{при } \frac{b}{2h_{\text{акт}}} \leq 0,839$$

$$l_{\text{СКВ}}^{II} = 0,5 \sqrt{\frac{b^2}{4} + 4h_{\text{акт}}^2} - 1,5;$$

$$\sum l_{\text{СКВ}}^{II} = l_{\text{СКВ}}^{II} \left(0,46 \frac{b}{a} + 0,5 \right);$$

$$\sum l_{\text{СКВ}} = \sum l_{\text{СКВ}}^I + \sum l_{\text{СКВ}}^{II}; \quad \sum l_{\text{СКВ } 1}^{II} = \sum l_{\text{СКВ}} - \sum l_{\text{СКВ } 2}^I;$$

$$\text{при } \frac{b}{2h_{\text{акт}}} > 0,839$$

$$l_{\text{СКВ}}^{II} = 0,5 \sqrt{\frac{b^2}{4} + 4h_{\text{акт}}^2} - 1,5;$$

$$\sum l_{\text{СКВ}}^{II} = l_{\text{СКВ}}^{II} \left(\frac{0,5b - 0,84h_{\text{акт}}}{1,3a} + 0,773 \frac{h_{\text{акт}}}{a} + 0,5 - \varepsilon \right);$$

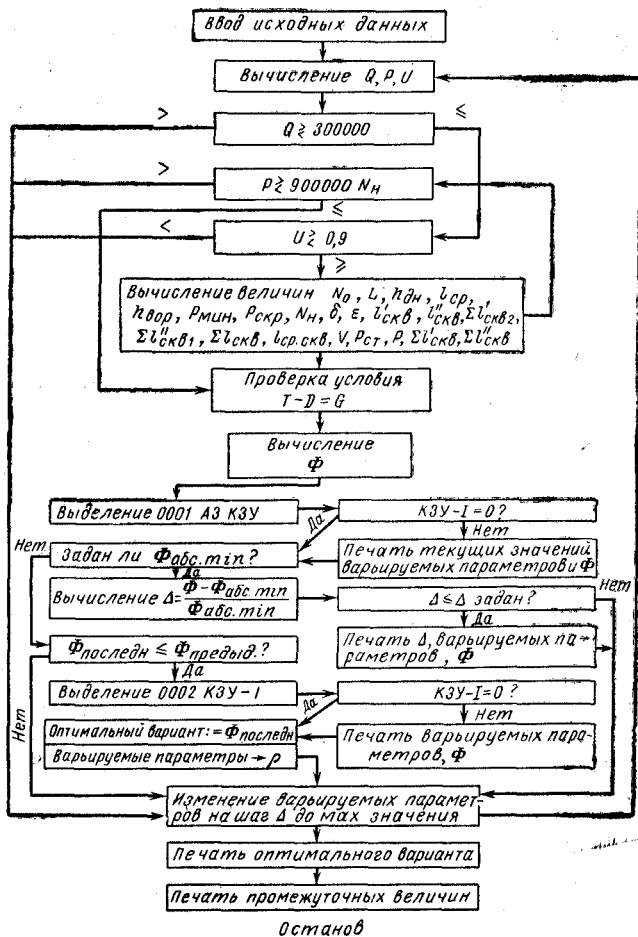
$$\sum l_{\text{СКВ}} = \sum l_{\text{СКВ}}^I + \sum l_{\text{СКВ}}^{II};$$

$$\sum l_{\text{СКВ } 1}^{II} = \sum l_{\text{СКВ}} - \sum l_{\text{СКВ } 2}^I.$$

Ниже приведена блок-схема программы определения Φ . В результате расчета на ЭВМ БЭСМ-2М* около 100 000 вариантов математической модели блока оказалось, что при существующей технологии очистных работ расстояние между выпускными отверстиями должно составлять 8—9 м, число выпускных отверстий в скреперном штреке 6—8, расстояние между откаточными ортами — 48—64 м, сечение выпускного отверстия стремится к максимальной величине около 5—6 м², высота подэтажа в любом случае не должна быть менее 20 м при максимуме 40—45 м. Ширина отбиваемой секции зависит от высоты подэтажа и находится в пределах от 20 до 50 м.

* Программа составлена инж. В. Т. Александровым (Ленпромстрой-проект).

Увеличение высоты подэтажа и ширины секции больше указанных пределов приводит к резкому увеличению затрат на буровзрывные работы. При ЛНС около 2,4—2,8 м (принятых



Блок-схема программы решения стоимостной функции Φ

на рудниках комбината) число рядов одновременно отбиваемых скважин составляет 7—10. В этом случае длина секции по простиранию совпадает с длиной скреперного штрека.

Указанные параметры обеспечивают производительность блока 2,2—2,3 млн. т/год, извлечение — 91—94% и себестоимость 1 т руды — 1,41—1,46 руб. Кроме того, установлено, что шахматное или совмещенное расположение скреперных штреков в экономическом отношении равноценно и должно выбираться, сообразуясь с конкретными условиями. Траншейная подсечка оказалась экономичнее и эффективнее при крепких рудах, чем подсечка на воронки.

Типовая программа расчета параметров блоков по уровню себестоимости позволяет определять размеры элементов блоков в зависимости от каждого интересующего параметра и для любого случая разработки.

Выводы

1. Для оптимизации параметров горного предприятия может с успехом применяться метод экономико-математического моделирования. При этом, когда рассматривается предприятие в целом, отыскивается оптимум многомерной и нелинейной стоимостной функции $\Phi = (x_1, x_2, \dots, x_n; X_1, X_2, \dots, X_k)$ с определенными линейными и нелинейными ограничениями, где $x_1, x_2, \dots, x_n$ — независимые переменные; $X_1, X_2, \dots, X_k$ — случайные величины, заданные законами распределения вероятностей или числовыми характеристиками этих распределений.

При оптимизации таких единиц, как блоки, выемочные участки, где изменение характеристик месторождения и показателей во времени и в пространстве маловероятно, корректна постановка задачи в виде $\Phi = (x_1, x_2, \dots, x_n; P_1, P_2, \dots, P_k)$ при определенных линейных и нелинейных ограничениях, где $P_1, P_2, \dots, P_k$ — постоянные параметры и показатели.

2. Деление предприятия на отдельные подсистемы должно исходить из рационального объема, структуры и полноты технологических связей между процессами. Так, при оптимизации параметров блоков, систем разработки в модели должны быть учтены и взаимоувязаны отбойка, выпуск, доставка, подготовительно-нарезные работы, иначе результаты решения математической модели на оптимум будут сомнительными.

3. Расчет экономико-математической модели блока на ЭВМ показал, что с переходом на более глубокие горизонты при существующей технологии очистных работ и средствах механизации можно не только сохранить достигнутый уровень себестоимости добычи на Кировском руднике (плановая себестоимость — 1 р. 83 к., фактическая — 1 р. 77 к.), но и снизить ее

на 10—13%. Для этого необходимо: а) перейти полностью на сплошной фронт отбойки с одновременным погашением буровой выработки; б) увеличить высоту подэтажа до 20—40 м (вместо принятой на руднике 12—14 м); в) уменьшить среднюю длину скреперования до 12—14 м (вместо 16—18 м); г) увеличить расстояние между выпускными отверстиями до 8—9 м; д) принять ширину отбиваемой секции вкрест простирания не более 50 м; е) перейти в устойчивых рудах на траншейную подсечку глубокими скважинами; ж) длину отбиваемой секции по простиранию принять равной длине скреперного штрека (24—28 м); з) принять среднюю длину скважин в веере не более 30 м.

ЛИТЕРАТУРА

Кузнецов К. К. и др. Выбор основных параметров при проектировании угольных шахт методом «операционных исследований». Ж. Уголь, № 10, 1964.

Курносоев А. М. и др. Определение оптимальных элементов разработки одиночного пологого пласта при новой технологии выемки угля. Изд. ИГД им. Скочинского, 1964.

Определение рациональных параметров буровзрывных работ с применением электронной вычислительной машины. Черметинформация, сер. 2, информ. 6, 1966.
