

С.К. Молдабаев, Б. Рысбайулы, Ж.Ж. Султанбекова

ОБОСНОВАНИЕ КОНТУРОВ ЭТАПОВ ОТРАБОТКИ КРУТОПАДАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Предложена аналитическая интерпретация метода конструирования рабочих бортов по этапам двухподступной отработки крутопадающих месторождений, обеспечивающая оптимизацию режима горных работ через решение задачи нелинейного программирования.

ОБГРУНТУВАННЯ КОНТУРІВ ЕТАПІВ ВІДПРАЦЮВАННЯ КРУТОПАДАЮЧИХ РОДОВИЩ РІШЕННЯМ ЗАДАЧІ НЕЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Запропоновано аналітичну інтерпретацію методу конструювання робочих бортів за етапами двопідступного відпрацювання крутопадаючих родовищ, яка забезпечує оптимізацію режиму гірничих робіт через рішення задачі нелінійного програмування.

JUSTIFICATION OUTLINES STEPS MINING STEEP DEPOSITS SOLUTION OF THE NONLINEAR PROGRAMMING

There is an analytical interpretation of the method of constructing working boards on stages of two under ledge mining steep deposits, that ensure optimization mode of mining through the solution of the problem of nonlinear programming.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В период эксплуатации карьера конструкция рабочего борта при реализации двухподступной технологии отработки крутопадающих месторождений поперечными панелями с изменяющимися уровнями рабочих площадок [1] должна обеспечить достаточные объемы вскрытых запасов руды на каждом горизонте. При однобортной подсистеме углубочной системы разработки соблюдение этого условия при применении этой технологии ведения горных работ на вскрышных и добычных работах не вызовет особых затруднений. Разрезные траншеи на каждом горизонте проходятся от стационарного борта карьера в подошве рудной залежи, после которой в

рабочей зоне нет необходимости оставлять транспортную берму.

Для реализации предлагаемой технологии ведения горных работ и увеличения вскрытых запасов руды создан метод конструирования рабочей зоны по этапам отработки, обеспечивающий пропорциональное развитие горных работ между смежными уступами вскрышной и добычной зон [2].

Особенность построения контуров обоих рабочих бортов в динамике развития горных работ в глубину состоит в нахождении базисного и опорных контуров, обеспечивающие оптимальную ориентацию блоков-панелей в пределах карьерного поля на определенном этапе отработки. Для этого принят определенный принцип

нахождения базисных и опорных точек. После достижения панелями постоянной ширины, равной ширине опорной панели, и выдерживания этого значения на следующем горизонте начинают отстраивать контуры этих опорных панелей до дневной поверхности. При этом нижняя бровка нижнего опорного блока считается опорной точкой привязки, от которой формируется первый опорный контур и продолжают построения к прилегающим к разрезным траншеям зонам до появления новых опорных точек и контуров с выдерживанием принятого порядка.

Построения опорных и переменных панелей от базисного контура до предельных контуров карьера выполняют с учетом оставления в бортах погашения только предохранительных берм. Через определенное количество опорных блоков оставляют бермы безопасности, равные ширине опорного блока в верхней части карьера.

Однако такая последовательность и порядок реализации метода справедливы только при угле падения залежи полезного ископаемого 90 градусов и на каждом горизонте равной ее горизонтальной мощности до конечной глубины карьера. При сложной конфигурации залежи полезного ископаемого с изменением угла ее падения ширина основания разрезных траншей на каждом новом горизонте будет получаться различной и соответственно площадь по-

перечного сечения. К тому же до достижения конечной глубины на одном из участков месторождения между уступами предусматриваются транспортные бермы. Поэтому потребовалась аналитическая интерпретация разработанного метода.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поперечное сечение карьера при крутопадающей залежи представим в виде трапеций ADFE (рис.1). Здесь через ABE обозначен левый висячий борт, а через CDF – правый лежащий борт карьера. Через BCFE обозначена залежь руды. Через δ_l и δ_r обозначены соответственно висячий и лежащий углы откоса залежи месторождения. Угол наклона залежи руды BEF обозначим через β , а этапы разработки обозначим через $t = 1, 2, \dots, t_0$. Из рис. 1 следует, что количество этапов равно количеству горизонтов, и каждый горизонт состоит из подгоризонтов – верхнего и нижнего. Начиная от верхнего горизонта порядковый номер подгоризонтов обозначим через j . Ясно, что $j = 1, 2, 3, \dots, 2t_0$. Для этапа под номером t верхний подгоризонт имеет номер $2t - 1$, а нижний подгоризонт $2t$. Высота карьера в целом H , а высота каждого подступа равна h_b .

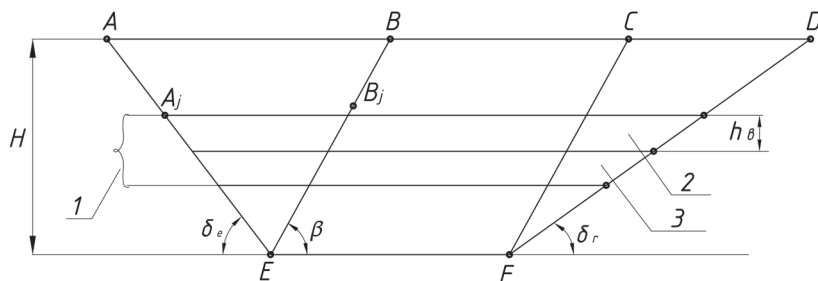


Рис. 1. Поперечное сечение карьера с контуром крутопадающей залежи: 1 – горизонт под номером t ; 2 – первый подгоризонт под номером $j = 2t - 1$; 3 – второй подгоризонт под номером $j = 2t$

Чтобы определить некоторые геометрические характеристики поперечного сечения месторождения, отдельно рассматривается висячий бок разреза (рис. 2).

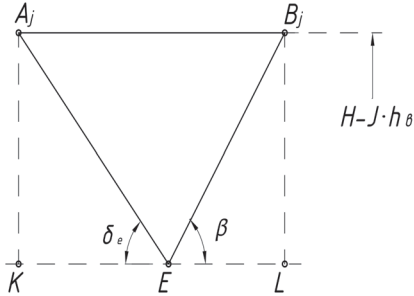


Рис. 2. Положение карьера по висячему боку залежи

Из треугольников A_jKE и B_jEL , составляя тригонометрические соотношения, выводим, что:

$$|KE| = (H - jh_b) \operatorname{ctg} \delta_\epsilon;$$

$$|EL| = (H - jh_b) \operatorname{ctg} \beta.$$

Поэтому длина стороны A_jB_j треугольника A_jB_jE вычисляется по формуле:

$$|A_jB_j| = (H - jh_b) (\operatorname{ctg} \delta_\epsilon + \operatorname{ctg} \beta).$$

Аналогичным образом из треугольника A_jB_jE определяется длина стороны C_jD_j по следующему выражению:

$$|C_jD_j| = (H - jh_b) (\operatorname{ctg} \delta_r + \operatorname{ctg} \beta).$$

Отметим, что длина отрезка B_jC_j постоянна и равна M .

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Переходим к описанию распределения предохранительных и транспортных берм по горизонтам. Обращаемся к рис. 3. Из

треугольника $\overline{B}B_{2l-1}B_{2l}$ определяется длина стороны $\overline{B}B_{2l-1}$:

$$|\overline{B}B_{2l-1}| = h_b (\operatorname{ctg} \delta_l + \operatorname{ctg} \beta).$$

Введем обозначения: B_m – ширина транспортной бермы; B_n – ширина предохранительной бермы; $\alpha = \delta_l$ – угол откоса подустапа, град. Для подгоризонта j количество параллелограммов равно:

$$\left[\frac{(H - jh_b) (\operatorname{ctg} \delta_l + \operatorname{ctg} \beta)}{B_m} \right].$$

Легко определяется площадь треугольника $\overline{B}B_{2l-1}B_{2l}$. Она равна:

$$S_\Delta = h_b^2 (\operatorname{ctg} \delta_l + \operatorname{ctg} \beta) / 2.$$

А площадь параллелограмма определяется по формуле:

$$S_p = B_{m,l} h_b.$$

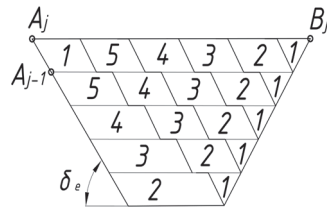


Рис. 3. Распределение предохранительных и транспортных берм по горизонтам

Фигуры, полученные после разбиения, нумеруются по возрастанию слева направо (см. рис. 3). Подводя итоги, отметим, что общее количество фигур в каждом подгоризонте равно:

$$n_j = \left[\frac{(H - jh_b) (\operatorname{ctg} \delta_l + \operatorname{ctg} \beta)}{B_m} \right] + 1.$$

Полученные расчетные формулы можно записать с помощью системы следующим образом:

$$S_b(1, j) = S_{\Delta}; S_b(i, j) = S_p,$$

$$i = 2, 3, \dots, n_j, j = 2, 3, \dots, 2t_0.$$

Переходим к описанию разбиения залежи руды ВСФЕ на мелкие фигуры. Способ разбиения показан на рис. 4. Наклонные линии борта карьера со стороны висячего бока залежи месторождения продолжают до середины области ВСФЕ (см. рис. 4). Правая половина области ВСФЕ разбивается на параллелограммы параллельными линиями. Причем горизонты под четными номерами содержат целые параллелограммы, а горизонты с нечетными номерами тоже разбиваются на параллелограммы, но сдвинутые относительно параллелограммов нечетного горизонта вправо на расстояние $B_m / 2$. Разбиения

осуществляется так, чтобы правая сторона последнего параллелограмма второго подгоризонта нечетного горизонта проходила через сторону СФ. Данную разбивку продолжим в области CDF – борт карьера по лежащему боку залежи месторождения. В результате получим сетку, изображенную на рис. 4.

По построению мы получили следующую закономерность: параллелограммы, параллельные АЕ, образуют цепь непрерывных ломанных линий (левые), а параллельные ВЕ – цепь прерывных ломанных линий (правые). Отметим, что левые и правые понимаются относительно отметки 0 рис. 4. Количество левых линий обозначим через L , а правых наклонных линий – через R .

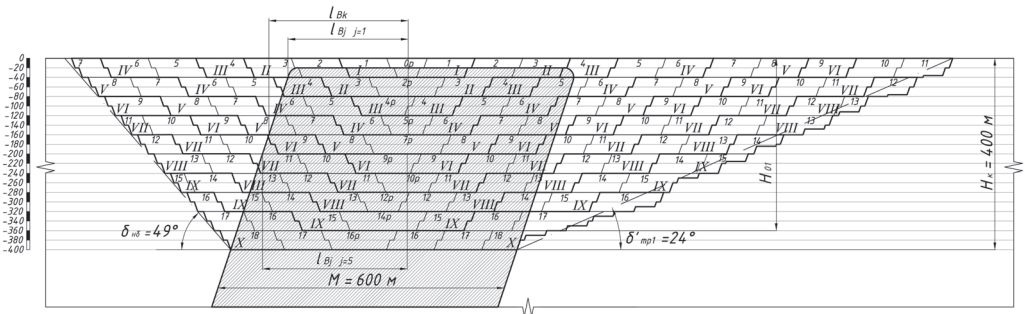


Рис. 4. К выбору этапов отработки на поперечном разрезе карьера

Предельно ясно, что $R(j)$. По построению поперечное сечение разрезных траншей имеет форму трапеций, левая сторона которых упирается на левую непрерывную ломанную линию, а правая – на правую прерывную ломанную линию. Все фигуры, расположенные левее и правее от трапеций, будем нумеровать в порядке возрастания. Причем левая половина трапеций относится к левой группе фигур, а правая половину отнесем к правой группе фигур области ВСФЕ. Полученные результаты записываем в виде:

$S_l(i, j; t)$ – площадь фигуры борта

карьера со стороны висячего бока залежи месторождения;

$S_r(i, j; t)$ – площадь фигуры со стороны лежащего бока залежи месторождения;

$S_{r,l}(i, j; t)$ – площадь фигуры левой половины области ВСФЕ;

$S_{r,r}(i, j; t)$ – площадь фигуры правой половины области ВСФЕ.

Здесь i – порядковый номер фигуры подгоризонта j ; t – порядковый номер этапа отработки месторождения. Чтобы обеспечить равные объемы горных работ в

каждом блоке панели области ВCFE требуем, чтобы имело место равенство:

$$\sum_i \sum_k S_{r,l}(i, j; k) = \sum_i \sum_k S_{r,r}(i, j; k).$$

Кроме того мы знаем, что расстояние между наклонными линиями есть ширина транспортной бермы $B_m(k)$, k – порядковый номер наклонной линии. А также в каждом подгоризонте ширина предохранительной бермы могут быть разные, то есть $B_n(j)$.

С учетом введенных обозначений текущий коэффициент вскрыши определяется по формуле:

$$K(t) = \frac{\sum_{i,j} S_l(i, j; t) + \sum_{i,j} S_r(i, j; t)}{\sum_{i,j} S_{r,l}(i, j; t) + \sum_{i,j} S_{r,r}(i, j; t)}.$$

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Обеспечение ступенчато возрастающего графика режима вскрышных работ при равномерном распределении объемов вскрытых запасов полезного ископаемого на обоих рабочих бортах по каждому этапу отработки достигается при следующем критерии оценки эффективности ведения горных работ по двухподступной технологии:

$$K(t) \leq K(t+1), \quad t = 1, 2, \dots, t_0; \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_k S_{r,l}(i, j; k) = \sum_i \sum_k S_{r,r}(i, j; k); \quad (2)$$

$$\begin{aligned} B_{0,m} &\leq B_m(k) \leq \bar{B}_{0,m} \text{ и} \\ B_{0,n} &\leq B_n(j) \leq \bar{B}_{0,n}, \end{aligned} \quad (3)$$

здесь $k = 1, 2, \dots, L$; $j = 1, 2, \dots, 2t_0$
или $k = 1, 2, \dots, R(j)$.

Пусть

$$\sum_{i,j} S_l(i, j; t) + \sum_{i,j} S_r(i, j; t) = A(t; B_m, B_n).$$

$$\sum_{i,j} S_{r,l}(i, j; t) + \sum_{i,j} S_{r,r}(i, j; t) = B(t; B_m, B_n).$$

Здесь B_m и B_n – векторы, определяемые из соотношения (3).

Чтобы свести задачу (1)-(3) к стандартной форме, преобразуем (1):

$$\frac{A(t; B_m, B_n)}{B(t; B_m, B_n)} \leq \frac{A(t+1; B_m, B_n)}{B(t+1; B_m, B_n)},$$

$$\begin{aligned} A(t; B_m, B_n)B(t+1; B_m, B_n) &\leq \\ &\leq A(t+1; B_m, B_n)B(t; B_m, B_n). \end{aligned}$$

Введем обозначение:

$$\begin{aligned} &A(t+1; B_m, B_n)B(t; B_m, B_n) - \\ &- A(t; B_m, B_n)B(t+1; B_m, B_n) = V(t, t+1). \end{aligned}$$

и составляем функционал:

$$J(B_m, B_n) = \sum_{t=1}^{t_0-1} V^2(t, t+1).$$

В итоге получили задачу нелинейного программирования:

$$J(B_m, B_n) = \sum_{t=1}^{t_0-1} V^2(t, t+1) \xrightarrow{B_m, B_n} \min \quad (4)$$

при ограничениях:

$$\sum_i \sum_k S_{r,l}(i, j; k) = \sum_i \sum_k S_{r,r}(i, j; k); \quad (5)$$

$$B_{0,m} \leq B_m(k) \leq \bar{B}_{0,m} \text{ и}$$

$$B_{0,n} \leq B_n(j) \leq \bar{B}_{0,n}; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} V(t, t+1) &\geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, t_0 - 1, k = 1, 2, \dots, L; \\ &j = 1, 2, \dots, 2t_0 \text{ или } k = 1, 2, \dots, R(j). \end{aligned}$$

Здесь

$$A(t; B_m, B_n) = \sum_{i,j} S_l(i, j; t) + \sum_{i,j} S_r(i, j; t); \quad (7)$$

$$B(t; B_m, B_n) = \sum_{i,j} S_{r,l}(i, j; t) + \sum_{i,j} S_{r,r}(i, j; t); \quad (8)$$

$$\begin{aligned} V(t, t+1) &= A(t+1; B_m, B_n)B(t; B_m, B_n) - \\ &A(t; B_m, B_n)B(t+1; B_m, B_n). \end{aligned} \quad (9)$$

Алгоритм решения задачи: начальное решение задачи приведено на рис. 4. При этом на каждом этапе, обеспечивая вогнутости области разработки месторождения. Это основное требование разработки месторождения. Второе требование – обеспечить соотношения (1). Это достигается путем решения задачи нелинейного программирования (4)-(9). То есть определяются такие ширина предохранительной и транспортной бермы, чтобы обеспечить соотношения (1) и (2).

ВЫВОДЫ

С какого борта карьера проходит разрезная траншея на новом горизонте, от этого зависит количество вскрытых запасов на каждом последующем этапе обработки и обеспечение одновременной обработки блоков панелей на обоих бортах карьера. Разумеется, что наилучший календарный график режима горных работ получается при формировании разрезных траншей на каждом горизонте по простиранию залежи полезного ископаемого. В случае формирования разрезных траншей в крест простирания залежи полезного ископаемого с понижением горных работ про-

исходит выбывание вскрытых их запасов за счет смещения разрезных траншей и совместно с ними обрабатываемых блоков панелей в сторону лежащего бока залежи полезного ископаемого.

После перехода горными работами предельного контура карьера, с определенной его глубины, также предусматривают вместе с проходкой разрезной траншеи совместную обработку блоков панелей на этом горизонте на обоих рабочих бортах (этап VI на рис. 4) или максимальное расширение дна карьера на определенном горизонте (этап VII). Такие приемы позволят широкую (13 на этапе VIII) и узкую (14 на этапе IX) разрезные траншеи проходить после этого ближе к центру залежи полезного ископаемого, что значительно не повлияет на объемы вскрышных работ в этот период.

Таким образом, целесообразно выстраивать выбор этапов двухподступной обработки крутопадающих залежей поперечными панелями с изменяющимися уровнями рабочих площадок с привязкой конструкции этапов обработки к залежи полезного ископаемого и предельным контурам бортов карьера со стороны висящего и лежащего ее боков.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ открытой разработки наклонных и крутых месторождений полезных ископаемых [Текст]: пат. РК № 26485 / Ракишев Б.Р., Молдабаев С.К. – № 2012/0049.1 от 11.01.12; опубл. 14.12.12, Бюл. № 12.

2. Молдабаев С.К. Метод построения контуров рабочих бортов в динамике развития горных работ на рудных карьерах [Текст]: материалы междунар. научн.-практ. конф. «Горное дело и металлургия в Казахстане. Состояние и перспективы», посвящ. 100-летию акад. Байконурова О.А. / С.К. Молдабаев, Г.К. Саменов, Е. Эбен, К.М. Анафин. – Алматы: КазНТУ, 2012. – С. 186-192.

ОБ АВТОРАХ

Молдабаев Серик Курашович – д.т.н., профессор кафедры открытых горных работ Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева (КазНТУ).

Рысбайулы Болатбек – д.ф.-м.н., профессор кафедры информационных систем и математическое моделирование Международного университета информационных технологий.

Султанбекова Жанат Женисбаевна – к.т.н., зав. кафедрой компьютеризации технологических процессов и управления проектами КазНТУ.