

УДК 622.271.001.57

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ И КОНТУРОВ КАРЬЕРА С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Рабочая зона карьера в процессе отработки постоянно изменяется в зависимости от принятого способа вскрытия, системы разработки, выбранного направления развития горных работ. Развитие рабочей зоны определяется сменой положений верхних и нижних бровок уступа на горизонтах отработки от начала производства горных работ до их полного погашения.

Задача моделирования верхней и нижней бровки уступов, определяющих промежуточные контуры карьера для рассматриваемого этапа отработки, сводится к следующему. На основании принятого положения дна карьера (может быть задано положение разрезной траншеи на нижнем горизонте) и в соответствии с заданными параметрами элементов системы разработки отстраиваются последовательно верхние и нижние бровки уступов до дневной поверхности. Если линии уступов на некоторых участках пересекают линии конечных контуров карьера, то на этих участках заменяются линиями конечных контуров.

Линии уступов аппроксимируются совокупностью точек, положение которых определяется координатами в горизонтальной плоскости и отметкой горизонта. Точки, определяющие

2279

положение дна карьера, для рассматриваемого этапа отработки задаются, а для всех вышележащих горизонтов положение точек моделируется. В основе построения лежит способ определения координат точек при перемещении криволинейного фронта горных работ, предложенный в работах /6,7/ и получивший свое дальнейшее развитие в /3,4/. Данный способ предполагает, что линии фронта горных работ в плане верхних горизонтов повторяют конфигурацию линий фронта горных работ нижних горизонтов. Вычисление положения моделируемых точек производится путем построения линии  $y=f_2(x)$ , отстоящей от линии  $y=f_1(x)$  на расстояние  $l$ . Расстояние между соответствующими точками нижнего и верхнего горизонта, является кратчайшим между параллельными касательными, проведенными к функции  $y=f_1(x)$  и  $y=f_2(x)$  в этих точках. В процессе построения возникает ряд противоречивых ситуаций, не позволяющих использовать данный способ как универсальный и применять его при моделировании развития рабочей зоны карьера с произвольной конфигурацией линий верхней и нижней бровки уступа. Учесть эти ситуации позволяет способ, основанный на выделении выпуклых и вогнутых участков кривой и применении различных математических методов моделирования на этих участках. Для решения этой задачи вводятся 2 теоремы /7/, на основании которых определяется характер кривизны линии по пространственному расположению точек.

**Т е о р е м а 1.** Точка  $i$  ( $i=1, I$ ), принадлежащая совокупности точек, аппроксимирующих кривую линию, принадлежит ее выпуклому участку тогда, когда все оставшиеся точки  $(1, 2, 3, \dots, i-2, i+1, \dots)$  лежат по одну сторону от прямой, проведенной через  $i-1$ -ю и  $i$ -ю точки. Иначе точка  $i$  принадлежит вогнутому участку.

**Т е о р е м а 2.** Точка  $i$  ( $i=1, I$ ), принадлежащая совокупности точек, аппроксимирующих кривую линию, является точкой перегиба в том случае, если точки  $i-2$  и  $i+1$  лежат по разные стороны от прямой, проведенной через  $i-1$ -ю и  $i$ -ю точку.

Для выпуклых участков, определяемых согласно теоре-

ме 1, взаимное расположение построенных точек на вышележащем горизонте всегда повторяет последовательность точек для нижнего горизонта. Поэтому процесс построения каждой новой точки заключается в определении уравнения касательной.

$$Y - y = f'_1(x)(X - x) \quad (1)$$

к функции  $y = f_1(x)$  в точке с координатами  $\{x, y\}$ , построения нормали в этой точке

$$Y - y = \frac{1}{f'_1(x)}(X - x) \quad (2)$$

и определения координат новой точки, отстоящей от исходной на расстояние  $l$  по нормали.

В качестве функции  $y = f_1(x)$  целесообразно использовать уравнение окружности

$$(X - a)^2 + (Y - b)^2 = R^2. \quad (3)$$

Применение параболы второй и третьей степени для аппроксимации функции  $y = f(x)$ , предложенное в работах [3, 4], несколько осложняет процесс решения задачи вследствие несимметричности уравнения параболы относительно переменных  $x$  и  $y$ , что приводит к дополнительному анализу пространственного расположения точек, на основании которых выбирается вид параболы. Вычисление значений  $a$  и  $b$  и радиуса  $R$  при моделировании в точке  $i$  производится на основании координат трех последовательных точек  $i-1, i, i+1$  согласно системе уравнений

$$\begin{cases} (x_{i-1} - a)^2 + (y_{i-1} - b)^2 = R^2 \\ (x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = R^2 \\ (x_{i+1} - a)^2 + (y_{i+1} - b)^2 = R^2. \end{cases} \quad (4)$$

Для того, чтобы аналитически определить в какую сторону от касательной необходимо откладывать отрезок  $l$ , вычисляются координаты центра кривизны  $(x_c, y_c)$  функции

$y = f_1(x)$  в точке с координатами  $(x, y)$  по формуле

$$\begin{cases} x_c = x - \frac{f'_1(x)[1+(f'_1(x))^2]}{f''_1(x)} \\ y_c = y + \frac{1+(f'_1(x))^2}{f''_1(x)} \end{cases} \quad (5)$$

На выпуклых участках центр кривизны и вновь отстраиваемая точка должны лежать по разные стороны от касательной. Для вогнутых участков искомая точка и центр кривизны могут находиться как по одну сторону от касательной, так и по разные. В этом случае при определении взаимного расположения центра кривизны и точки используется теорема 2. В точке перегиба направление, в котором следует откладывать отрезок  $\{$  по отношению к центру кривизны, меняется на противоположное (рис.1, а). Интервалы между точками для выпуклых участков от горизонта к горизонту увеличиваются. Поэтому между  $i$ -й и  $i+1$ -й точкой на середине расстояния по кривой может достраиваться дополнительная точка (рис.1, б). Критерием, определяющим необходимость построения дополнительной точки, служит условие

$$d_{i,i+1} \geq \frac{1}{3,5} R_{i,i+1} \quad (6)$$

где  $d_{i,i+1}$  - расстояние между  $i$ -й и  $i+1$ -й точками;  
 $R_{i,i+1}$  - радиус кривизны в точке  $i$ , соответствующий  $[i, i+1]$  участку кривой.

Для обеспечения относительной погрешности горно-геометрических расчетов не более 3%, величина  $\frac{1}{3,5} R_{i,i+1}$  берется на основании данных, приведенных в работе /6/.

На вогнутых участках последовательность отстроенных точек по отношению к последовательности этих точек на нижележащем горизонте может нарушаться за счет появления "узловых" точек (точек, где кривая сама себя пересекает). Для определения "узловых" точек, все отстроенные точки от  $k$  до  $k+m$ , лежащие на вогнутости, последовательно соединяются. Полученные отрезки проверяются на взаимное пересечение. Если отрезки  $k+d$  и  $k+d+p$  ( $d+p \leq m$ )

пересекаются, то точки  $k+d$  и  $k+d+p+1$  соединяются, а остальные точки, лежащие между ними, в дальнейшем при моделировании исключаются (рис. 1, б). Такой подход адекватно отражает процесс формирования контуров карьера.

В зависимости от того, какой элемент карьерного пространства отстраивается (нижняя или верхняя бровка уступа), численное значение  $l$  может меняться. При построении верхней бровки уступа, отстоящей от нижней на расстоянии  $l_y$  в плане, формула расчета имеет вид

$$l = l_y = h_y \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (7)$$

где  $h_y$  — высота уступа;  
 $\alpha$  — угол откоса уступа.

При моделировании нижней бровки вышележащего уступа расстояние  $l$  есть ширина площадки уступа, которая определяется:

- для рабочих уступов, шириной рабочей площадки (Шр.п.);
- для нерабочих уступов, шириной предохранительной бермы (Шп.б.);
- для нерабочих уступов, где располагаются транспортные коммуникации, шириной транспортной бермы (Шт.б.).

В таблице приведены численные значения координат точек, аппроксимирующих бровки уступов, полученные в процессе моделирования.

Для верхних горизонтов, в случае неровности рельефа местности, возникает необходимость корректировки положений уступов в соответствии с дневной поверхностью. Высотные отметки рельефа местности задаются плоскостью с сеткой узлов. Каждый узел характеризуется значением высотной отметки, определяющей уровень дневной поверхности в данной точке. Численные значения высотных отметок в каждой точке вычисляются на основании имеющихся реальных значений в некоторых узлах сетки с последующей интерполяцией согласно методике, описанной в работе /2/. Особенность построения линий уступов на верхних горизонтах заключается в следующем. В тех областях, где дневная поверхность имеет высотные отметки ниже, чем отметка мо-



Координаты точек моделируемых контуров карьера

Номер точки	Координаты точек исходного контура		Численное значение	Координаты точек 1-го отстраиваемого контура		Численное значение	Координаты точек 2-го отстраиваемого контура	
	x	y		x	y		x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	725.0	535.0	20,0	724.06	554.94	25,0	721.56	576.81
2	610.0	575.0	20,0	692.81	536.63	24,0		
3	700.0	518.0	20,0	627.50	584.63	22,0		
4	600.0	600.0	24,0	623.0	606.63	22,0		
5	595.0	628.0	25,0	619.69	624.13	22,0		
6	607.0	652.0	25,0	627.69	638.00	22,0		
7	635.0	680.0	25,0	653.5	663.19	22,0		
8	670.0	725.0	25,0	691.25	711.88	22,0		
9	690.0	765.0	25,0	713.56	756.69	22,0		
10	700.0	820.0	25,0	724.75	816.69	22,0		
11	705.0	900.0	23,0	727.81	902.5	22,0		
12	690.0	960.0	24,0	712.69	967.75	22,0		
13	670.0	1007.0	25,0	691.44	1019.81	22,0		
14	645.0	1040.0	25,0	661.44	1058.81	26,0		
15	610.0	1060.0	26,0	622.25	1082.88	26,0		
16	570.0	1080.0	27,0	756.0	1105.75	27,0		
33	590.0	175.0	20,0	584.69	155.69	20,0		

"Теряемые"  
точки

Дополнительная точка

## Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	650.0	162.0	20,0	649.5	142.0	20,0	649.06	122.0
35	685.0	165.0	20,0	687.13	145.06	20,0	689.31	125.19
36	722.0	170.0	20,0	726.06	150.38	22,0	730.19	130.81
37	775.0	187.0	20,0	787.81	171.69	22,0	802.0	154.81
38	800.0	230.0	20,0	817.94	221.13	23,0	837.63	211.31
39	815.0	265.0	20,0	833.81	258.25	23,0	855.44	250.5
40	830.0	325.0	20,0	849.88	323.25	22,0	872.81	321.25
41	828.0	375.0	20,0	847.5	379.19	21,0	869.0	383.88
42	810.0	420.0	24,0	827.94	428.75	24,0	847.13	437.31
43	780.0	470.0	24,0	799.94	483.25	25,0	820.31	496.0
44	755.0	505.0	22,0	773.25	520.5	23,0	791.25	537.88

делируемого горизонта, непрерывная замкнутая линия, характеризующая верхнюю или нижнюю бровку уступа, прерывается и данный участок кривой не используется при построении линии уступа на этом горизонте. На рис. 1(г) приведена схема, поясняющая построение линий уступов на дневной поверхности. При пересечении линии бровки с одной из сторон элементарной ячейки сетки значение высотной отметки горизонта  $M_Q$  и значения высотных отметок на концах отрезка  $LQ$  ( $M_L, M_Q$ ), соответствующего стороне элементарной ячейки сетки, могут находиться в одном из трех соотношений:

- а)  $M_Q \leq M_Q \wedge M_Q \leq M_L$ ,
- б)  $(M_Q > M_L \wedge M_Q < M_Q) \vee (M_Q < M_L \wedge M_Q > M_Q)$ ,
- в)  $M_Q > M_L \wedge M_Q > M_Q$ .

В случае выполнения условия "а" линия бровки уступа остается без изменений. Если выполняется условие "б", то первоначально определяются координаты точек пересечения  $R \{X_R, Y_R\}$ , а затем рассчитывается значение высотной отметки ( $M_R$ ) дневной поверхности в этой точке по формуле

$$M_R = M_L + \frac{(M_Q - M_L) \cdot \sqrt{(X_L - X_R)^2 + (Y_L - Y_R)^2}}{\sqrt{(X_Q - X_L)^2 + (Y_Q - Y_L)^2}}. \quad (8)$$

При  $M_R \geq M_Q$  линия бровки уступа остается без изменений, иначе моделируемая линия должна прерываться на предыдущем отрезке стороны элементарной ячейки сетки, для которого выполняется условие "а" или "б" при  $M_R \geq M_Q$ . Если численные значения высотных отметок удовлетворяют условию "в", то линия бровки уступа прерывается на предыдущем отрезке, для которого выполняется условие "а" или условие "б" при  $M_R \geq M_Q$ .

Точка  $R$  (прерывания линии нижней бровки уступа) и точка  $B$  (прерывания линии верхней бровки уступа) соединяются плавной кривой, которая аппроксимируется рядом точек ( $R, F, K, B$ ), представляющих собой концы отрезков  $KK', FF', BB'$ . Длина отрезка  $BB'$  определяется как кратчайшее расстояние от точки  $B$  до линии нижней бровки уступа; а остальные отрезки вычисляются из соотношений



$$\left\{ \begin{array}{l} KK' = \frac{BB' \cdot (RF + FK)}{RF + FK + KB'} \\ FF' = \frac{BB' \cdot RF}{RF + FK + KB'} \end{array} \right.$$

В общем случае, когда между точками  $R$  и  $B'$  будет  $n$  точек ( $N_1, N_2, \dots, N_n$ ), длина любого  $p$ -го отрезка определяется по формуле

$$l_p = \frac{BB' \cdot (RN_1 + N_1N_2 + \dots + N_{p-1}N_p)}{RN_1 + N_1N_2 + \dots + N_{p-1}N_p + N_{n-1}N_n + N_nB'} \quad (9)$$

Корректировка линий уступов производится для всех горизонтов, вплоть до самого верхнего на дневной поверхности. В результате моделирования формируется карьерное пространство с учетом рельефа местности, которое может быть представлено графически в виде плана изолиний бровок уступа для всех горизонтов отработки.

При моделировании развития горных работ значительное влияние оказывает схема расположения вскрывающих выработок, обеспечивающая грузотранспортную связь рабочих горизонтов с пунктами приема и перегрузки горной массы в карьере и на поверхности. Формирование транспортных коммуникаций в пределах карьера требует проведения дополнительных горных работ, связанных с устройством транспортных берм и траншей, а также с разнесом бортов карьера в районе заложения вскрывающих выработок. Разнос бортов карьера приводит к изменению пространственного положения верхней и нижней бровки уступа, что должно учитываться при моделировании.

Любой допустимый вариант схемы вскрытия представляется сочетанием участков трасс, характеризующихся определенными параметрами в зависимости от выбранного вида транспорта. В соответствии с пространственным расположением всю трассу предлагается разбить на ряд элементов отличающихся условиями движения /5/:

- на площадках рабочих и нерабочих уступов;
- на уклоне.

Совокупность элементов трасс, расположенных на площадках рабочих и нерабочих уступов и на уклоне образуют сеть транспортных коммуникаций. Горизонтальная проекция трассы состоит из прямолинейных и криволинейных участков различного направления, расположенных на одном или нескольких бортах карьера. Участки могут располагаться и на одном горизонте и между смежными горизонтами отработки. Причем при моделировании учитывается, что на криволинейных участках с малым радиусом кривизны действительная длина трассы несколько больше теоретической, а угол наклона этого участка, если он расположен на уклоне, уменьшается. Это положение учитывает технологические требования формирования транспортного пути на криволинейных участках /9/.

Построение элементов трасс, расположенных на уклоне, проводится в следующей последовательности. Намечается множество положений концов наклонных участков трасс, определяемых точками, лежащими на линии нижней бровки уступа (точка А, рис.2,а). Из точки А, как из центра, проводится окружность радиусом

$$r = \frac{H_1 - H_2}{\operatorname{tg} \gamma} = \frac{H_1 - H_2}{i_p} \quad (10)$$

где  $H_1, H_2$  - высотные отметки горизонтов;  
 $i$  - руководящий подъем ( уклон) трассы ( $\gamma$  - угол наклона трассы).

Согласно свойствам винтовой линии /7/, длина пути точки по винтовой линии (это утверждение справедливо и для проекции этого пути в плане) зависит от угла наклона  $\gamma$ , и, от разности высотных отметок  $H_1$  и  $H_2$  и не зависит от радиуса кругового цилиндра - радиуса кривизны. Исходя из этого свойства на линии нижней бровки уступа, независимо от ее кривизны, определяются 2 точки пересечения с дугой окружности радиуса  $r$  (точки В и С). Выбор нужной точки зависит от заданного направления развития трассы. Отрезок АВ соответствует положению съезда в плане. Если линия нижней бровки уступа на данном участке имеет малый ради-

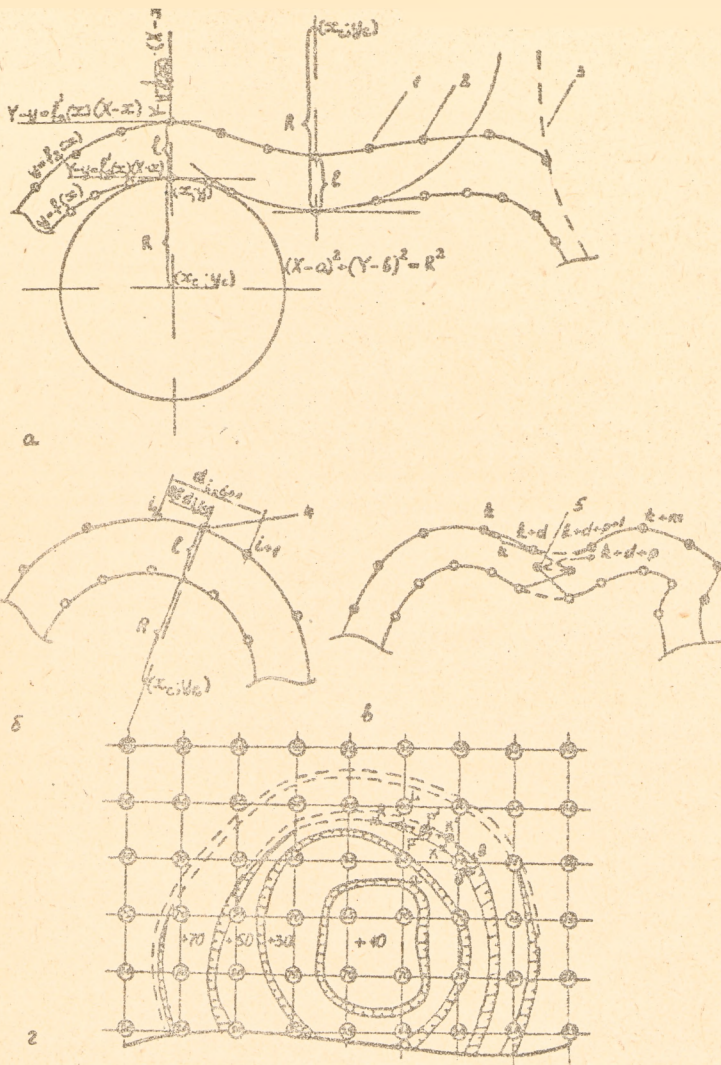


Рис.1. Моделирование развития верхней и нижней бровки уступа на горизонтах отработки: а - схема к определению координат точек при перемещении бровки уступа; б - схема к построению "дополнительной" точки на выпуклом участке кривой; в - схема к моделированию бровки уступа на вогнутых участках в местах появления "условных" точек; г - моделирование контуров карьера на дневной поверхности;

1 - точки, аппроксимирующие исходную бровку уступа; 2 - точки, аппроксимирующие моделируемую линию; 3 - конечный контур карьера; 4 - "дополнительная" точка; 5 - точки, "теряемые" в процессе моделирования на вогнутых участках.

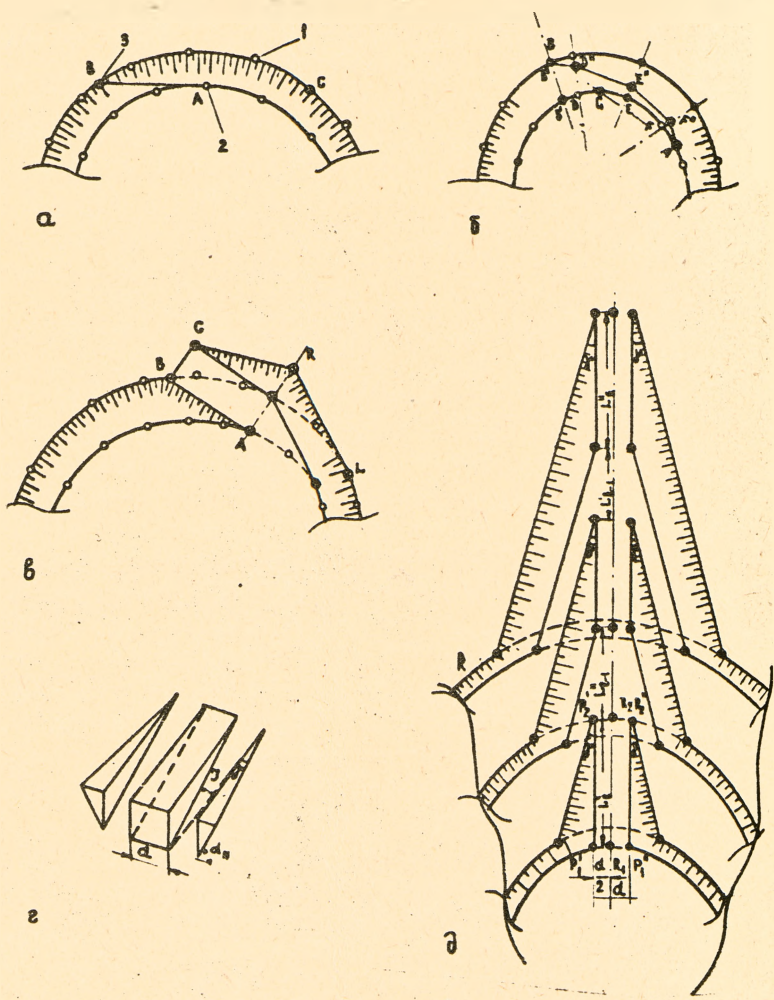


Рис.2. Моделирование траншей и полутраншей в плане:  
 а - схема к определению координат точки конца съезда на участках с большим радиусом кривизны; б - с малым радиусом кривизны; в - схема к построению полутраншей в плане; г - схема к определению угла; д - схема к построению наклонной траншеи в плане;  
 1 - точки, аппроксимирующие положение бровок уступа; 2 - задаваемые точки; 3 - определяемые точки.



ус кривизны, то может возникнуть ситуация, приведенная на рис.2(б), когда отрезок АВ пересекает линию нижней бровки уступа в нескольких точках (точки G и А). В этом случае линия съезда представляется ломаной ВD"E"F"А. Точки, аппроксимирующие эту линию, определяются по методике построения линии, соединяющей точки прерывания на нижней и верхней бровке уступа при формировании контуров карьера на дневной поверхности (формула 9). Например, длина отрезка DD" рассчитывается по формуле

$$DD'' = \frac{BB' \cdot (DE + EF + FA)}{B'D + DE + EF + FA}$$

Отрезок или ломаная линия служат основой для построения в плане наклонной полутраншеи. Для чего из точки В перпендикулярно к АВ в сторону верхних горизонтов откладывается отрезок СВ длиной, равной  $d$  (ширина дна полутраншеи), а из точки А на перпендикуляр также откладываются последовательно отрезки АД, равный  $d$ , и DR, равный  $l_y$  (расстояние в плане между нижней и верхней бровкой уступа). Построение положения наклонной полутраншеи в плане, приводит к разрыву линий верхней и нижней бровки уступа. Для их восстановления точки С и R соединяются, а из точек D и R проводят дуги радиусом, равным длине АВ, и на разрывных сторонах линии находят точки L и M. Разрывные участки линий заменяются отрезками RL и DM, после чего построение полутраншеи в плане считается завершенным (рис.2,в).

При моделировании простой трассы первоначально рассчитывается длина ее проекции на горизонтальную плоскость, как сумма длин горизонтальных проекций наклонных участков простой трассы и пунктов примыкания

$$L_r = L_e^H + L_{e-1}^H + L_{e-2}^H + \dots + L_{k-1}^H + L_k^H, \quad (11)$$

где  $L_r$  — полная длина простой трассы в плане между  $l$ -ым (нижним) и  $k$ -ым (верхним) горизонтом;

$L_e^H$  — длина наклонного участка в плане между  $l$ -ым и  $l-1$ -ым горизонтом;

$L_{e-1}^n$  — длина площадки примыкания в плане на  $l-1$ -ом горизонте.

Численные значения длин отрезков  $L_e^n, L_{e-1}^n$  определяются по методике /9/ в зависимости от вида примыкания наклонных участков трассы к рабочим горизонтам (на руководящем подъеме, на смягченном подъеме, на площадках). На следующем этапе моделирования из точки, соответствующей пересечению от простой трассы с линией нижней бровки уступа на  $l$ -ом горизонте строится линия, направление которой совпадает с заданным направлением проведения трассы, и на ней последовательно откладываются отрезки длиной  $L_e^n, L_{e-1}^n, \dots, L_k^n$  (рис.2, б). Из концов этих отрезков (точки  $R_1, R_2, \dots$ ) восстанавливаются перпендикуляры и на них строятся отрезки ( $R_1P_1', R_1P_1'', R_2P_2', R_2P_2'', \dots$ ), длина которых равна  $d/2$  (где  $d$  — ширина траншеи понизу). Из точек ( $P_1, P_1', P_2, P_2', \dots$ ) проводятся лучи под углом  $\gamma$  к оси простой траншеи и определяются точки пересечения этих лучей с линиями верхней и нижней бровки уступа в плане для соответствующего горизонта. Угол  $\gamma$  рассчитывается на основании численных значений угла откоса борта траншеи ( $\alpha_H$ ) и угла уклона трассы к горизонту ( $\beta$ ) (рис.2, з) по формуле

$$\gamma = \text{arctg}(\text{tg } \alpha_H \cdot \text{tg } \beta). \quad (12)$$

На основании этих точек строится проекция наклонной траншеи на горизонтальную плоскость.

Построение полутраншей и наклонных траншей, определяющих схему вскрытия, следует проводить от нижнего горизонта к верхнему. Если при моделировании на каком-то горизонте не выдерживаются параметры системы разработки, то требуется дополнительный разнос борти карьера на этом участке. Построение элементов трасс, расположенных на площадках уступов, осуществляется заданием соответствующих значений Шт.б. на этом участке.

Разработанная методика позволяет моделировать рабочую зону при сложной геометрической конфигурации карьерного пространства с несколькими положениями дна карьера. В



этом случае каждая рабочая зона, имеющая свое положение дна карьера, моделируется независимо, но на каждом горизонте производится проверка на взаимное пересечение отстроенных контуров нижней и верхней бровки уступов. Если на каком-то горизонте отстроенные контуры пересекаются, то происходит сглаживание, формируется единый контур и далее моделируется его развитие на вышележащих горизонтах.

Предлагаемая методика реализована программно на языке PL/1 для машин серии ЕС-ЭВМ и входит в виде программного модуля в состав комплекса программ "Объемного математического моделирования месторождений и карьеров и горно-геометрического анализа карьерных полей". Практическое использование методики при проектировании карьеров позволяет рассмотреть различные варианты схем вскрытия с учетом выбранного вида транспорта и в совокупности с математической моделью месторождения дает возможность получить сравнительные результаты расчетов при горно-геометрическом анализе, на основании которых выбирается оптимальный вариант развития горных работ в карьере.

Комплекс программ сдан в опытно-промышленную эксплуатацию в институте "Южгипроруда" и используется при проектировании железорудных карьеров. Экономический эффект от внедрения составляет 90 тыс.руб. в год.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А ш а е в Ю.П., А н д р е е в а Г.Н. К вопросу оценки методов приближенного решения горно-геометрических задач с применением ЭВМ на основе использования дискретных исходных данных. - В сб.: Технология процессов разработки месторождений твердых полезных ископаемых. - Алма-Ата: КазПТИ, 1981, с.115...121.

2. А ш а е в Ю.П., А н д р е е в а Г.Н. Объемное моделирование месторождений на основе использования уравнений в частных производных. - В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. - Алма-Ата:КазПТИ, 1981, с.3...10.

3. Байконуров О.А., Букейханов Д.Г., Ашаев П.Ф., Съедин В.Ф. Аналитический метод горно-геометрического анализа карьерных полей сложных штокверных месторождений посредством ЭЦВМ. – В сб.: Проблемы разработки полезных ископаемых. Вып.2. – Алма-Ата: КазПТИ им. В.И.Ленина, 1972, с.144...148.

4. Байконуров О.А., Букейханов Д.Г., Рахимбергенов С.Р. Новый метод математического моделирования развития рабочей зоны карьера. – Вестник АН КазССР, 1980, № 9, с.15...23.

5. Истомин В.В., Белозеров В.И. Порядок выбора и изменения схем вскрытия карьера (при применении автотранспорта). – Известия вузов. Горный журнал, 1975, № 5, с.40...46.

6. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2. Технология и комплексная механизация открытых разработок./Новожилов М.Г., Хохряков В.С., Пчелкин Г.Д., Эскин В.С. – М.:Недра, 1971, с.552.

7. Новожилов М.Г., Тартаковский Б.Н. Четверик В.С. Горно-геометрический анализ и режим горных работ карьеров. – Киев: Наукова думка, 1971, с.144.

8. Пискунов М.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. Для вузов, том 1. – М.: Наука, 1970, с.456.

9. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. – Учебник, изд.3, перераб. и доп. – М.:Недра, 1980, с.631.

Ю.П.Ашаев, Г.Н.Андреева, В.Ф.Съедин,  
С.В.Съедин (Казахский политехнический  
институт им.В.И.Ленина)

Материал поступил 23 ноября 1983 г.