

УДК 622.271.01

Ю.П.Ашаев, С.В.Съедин, Г.Н.Андреева, Л.С.Цой
АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В СИСТЕМЕ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРЬЕРОВ

Применение ЭМ для производства горно-геометрического анализа карьерных полей возможно при разработке моделей месторождения, контуров и развития рабочей зоны карьера.

Аналитические модели развития рабочей зоны карьера при криволинейном фронте горных работ [2, 4] основываются на аппроксимации линии фронтов горных работ и контуров карьера системой примерно равноотстоящих точек, положение которых определяется координатами в горизонтальной плоскости.

Линия фронта горных работ и контуры карьерного поля в плане нижних горизонтов повторяют конфигурацию линий фронта горных работ и контуры карьерного поля верхних горизонтов. Между координатами точек линии фронта горных работ или контуров карьера верхних горизонтов существует определенная взаимосвязь. Кратчайшее расстояние между соответствующими точками на двух последующих кривых определяется как расстояние между параллельными касательными в этих точках.

При разработке алгоритмов и программ, реализующих данный метод и позволяющих применять его в системах автоматизированного проектирования карьеров, необходим учет всех возможных вариантов развития рабочей зоны карьера.

Модели [1, 3] не учитывают возможности появления на определенном этапе моделирования так называемых "цетель" (рисунок), которые могут возникнуть на вогнутых участках криволинейного фронта горных работ. Реальные же условия разработки месторождений полезных ископаемых исключают возможность возникновения

таких ситуаций. Кроме того, при построении нескольких последовательных кривых с увеличивающимся радиусом кривизны (построение контуров карьера на верхних горизонтах на основе заданного положения точек на нижних горизонтах) разброс точек на верхних горизонтах может быть достаточно большим, что приводит к дополнительным погрешностям моделирования.

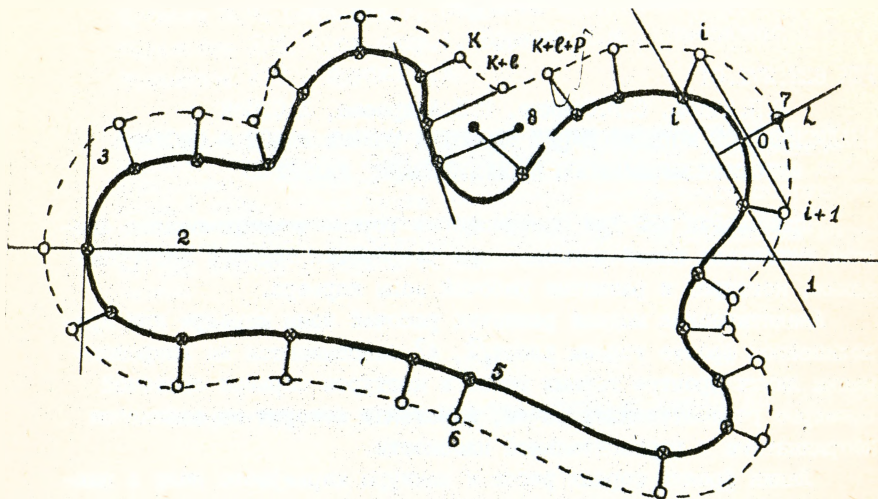


Схема моделирования развития горных работ: 1 - прямая, соответствующая выпуклому участку; 2 - нормаль в точке исходного контура; 3 - касательная в точке исходного контура; 4 - прямая, соответствующая вогнутому участку; 5 - исходные точки моделирования; 6 - "отстраиваемые" точки; 7 - дополнительные точки на выпуклых участках; 8 - "исчезающие" точки.

Предлагаемый способ математического моделирования развития горных работ карьера позволяет адекватно отразить процесс формирования рабочей зоны карьера и может быть использован в системе автоматизированного проектирования карьеров. Метод основан на определении вогнутых и выпуклых участков для моделируемых кривых и применении различных методов моделирования на этих участках. Определение выпуклости и вогнутости основано на том, что для выпуклых участков все точки, аппроксимирующие кривую, лежат всегда по одну сторону от прямой, проведенной через две соседние точки [2], а на вогнутом участ-

ке точки располагаются по обе стороны. Точкам, принадлежащим вогнутым участкам, присваивается определенный признак.

В дальнейшем для каждого участка кривой, описывающей фронт горных работ на нижележащем горизонте, строится уравнение многочлена 3-й степени вида

$$\bar{y} = \bar{a}\bar{x}^3 + \bar{b}\bar{x}^2 + \bar{c}\bar{x} + \bar{d} \quad (1)$$

Выбор многочлена 3-й степени обосновывается тем, что для получения отрезка кривой можно брать большее количество точек и для них получать более точную аппроксимирующую зависимость. Коэффициенты уравнения (1) определяются методом наименьших квадратов. Согласно уравнениям дифференциальной геометрии по методике [1] рассчитываются координаты искомой точки на вышележащем горизонте. Вычисления производятся по известным значениям координат исходной точки и уравнению (1) для этой точки. Этот процесс повторяется последовательно для всех точек нижнего горизонта.

На выпуклых участках последовательность расположения построенных точек всегда повторяет последовательность исходных точек, это заложено в свойстве выпуклости. На вогнутых участках последовательность может нарушаться за счет появления "петли". Для выявления "петли" все отстроенные точки от \bar{K} до $\bar{K} + \bar{L}$ последовательно соединяются между собой и полученные отрезки, начиная от \bar{K} (между \bar{K} и $\bar{K} + 1$ точкой) до $\bar{K} + \bar{L} - 1$, проверяются на пересечение. При возникновении пересечения между $\bar{K} + \bar{L}$ и $\bar{K} + \bar{L} + \bar{P}$ отрезком, все точки, начиная от $\bar{K} + \bar{L} + 1$ до $\bar{K} + \bar{L} + \bar{P}$, в дальнейшем из процесса моделирования исключаются, а точки $\bar{K} + \bar{L}$ и $\bar{K} + \bar{L} + \bar{P}$ становятся соседними в последовательности построенных точек. Графическая интерпретация данного алгоритма приведена на рисунке. Такой математический подход адекватно отражает технологию горных работ при криволинейном фронте.

Для выпуклых участков возникает обратная задача построения дополнительных точек, т.к. расстояние между отстроенными точками постоянно увеличивается в процессе моделирования. Условием определяющим необходимость построения дополнительной точки, служит условие

$$\bar{d}_{i,i+1} \geq \bar{R}_{i,i+1} \cdot 3^i \quad (2)$$

где $\overline{d}_{\underline{l}, \underline{l}+1}$ - расстояние между \underline{l} и $\underline{l}+1$ постро-
 енными точками;
 $R_{\underline{l}, \underline{l}+1}$ - радиус кривизны, соответствующий
 $[\underline{l}, \underline{l}+1]$ участку кривой.

Величина $R_{\underline{l}, \underline{l}+1}$ берется для обеспечения погрешности моделирования не более 3-5%. На рисунке показана схема определения координат дополнительной точки на моделируемой кривой. Для каждой \underline{l} точки из последовательности отстроенных точек определяются коэффициенты уравнения (I), соответствующего уравнению кривой на $[\underline{l}, \underline{l}+1]$ участке. Расстояние между \underline{l} и $\underline{l}+1$ точками рассчитывается согласно уравнению

$$\overline{d}_{\underline{l}, \underline{l}+1} = ((\overline{x}_{\underline{l}+1} - \overline{x}_{\underline{l}})^2 + (\overline{y}_{\underline{l}+1} - \overline{y}_{\underline{l}})^2)^{1/2}, \quad (3)$$

где $(\overline{x}_{\underline{l}}, \overline{y}_{\underline{l}})$ и $(\overline{x}_{\underline{l}+1}, \overline{y}_{\underline{l}+1})$ - координаты \underline{l} и $\underline{l}+1$ точки.

Определяется радиус кривизны на участке $[\underline{l}, \underline{l}+1]$

$$R_{\underline{l}, \underline{l}+1} = [(1 + 3a\overline{x}_{\underline{l}}^2 + 2b\overline{x}_{\underline{l}} + c)^2 + (6a\overline{x}_{\underline{l}} + 2b)^2]^{-1/2} \quad (4)$$

где a, b, c - коэффициенты уравнения (I).

Если выполняется условие (2), то рассчитываются координаты дополнительной точки \underline{l} , лежащей на кривой (I) между \underline{l} и $\underline{l}+1$ точками. Предварительно находятся координаты точки $\underline{0}$ (рисунок) по формулам

$$\begin{cases} \overline{x}_{\underline{0}} = (\overline{x}_{\underline{l}+1} + \overline{x}_{\underline{l}}) / 2, \\ \overline{y}_{\underline{0}} = (\overline{y}_{\underline{l}+1} + \overline{y}_{\underline{l}}) / 2, \end{cases} \quad (5)$$

Через точку $\underline{0}$ проводим прямую, перпендикулярную прямой, проходящей через точки \underline{l} и $\underline{l}+1$ и описываемую уравнением

$$(\overline{x}_{\underline{l}+1} - \overline{x}_{\underline{l}})(\overline{y}_{\underline{l}+1} - \overline{y}_{\underline{l}})(\overline{x} - \overline{x}_{\underline{0}}) - (\overline{y}_{\underline{l}+1} - \overline{y}_{\underline{l}})(\overline{x}_{\underline{l}+1} - \overline{x}_{\underline{l}})(\overline{y} - \overline{y}_{\underline{0}}) = 0 \quad (6)$$

Решая совместно систему 2-х уравнений (I) и (6), получаем координаты искомой точки \underline{l} ($\overline{x}_{\underline{l}}, \overline{y}_{\underline{l}}$).

Задаваясь различной длиной интервала между исходной и отстраиваемой точкой, получаем довольно гибкую систему моделирования контуров карьерного поля.

Практическая реализация данного метода в системах автоматизированного проектирования карьеров или при решении отдельных задач моделирования на ЭВМ позволяет решить следующие задачи горногеометрического анализа карьерных полей:

- последовательно определять координаты точек, описывающих контуры всех горизонтов, при известном положении контура на нижележащем горизонте;
- проследить динамику развития рабочей зоны карьера во времени и пространстве, если заданы координаты точек фронта работ на определенный момент и задан закон их перемещения во времени;
- рассчитывать объемы руд и пород между двумя положениями фронта работ;
- рассматривать различные варианты формирования рабочей зоны карьера и выбирать наиболее рациональный из них.

Предлагаемый метод аналитического моделирования используется при установлении направления развития и составлении календарного плана горных работ Горышне-Плавнинского месторождения железных руд (Полтавский ГОК).

Таблица

Оценка точности моделирования

№ пп	Номер модельруемого горизонта	Реальная площадь, м ²	Смоделированная площадь, м ²	Отклонение	Относительная погрешность, %
1	-630	3800	3982,4	182.4	4,8
2	-600	6000	6258	258	4,3
3	-570	7800	8073	273	3,5

Выполненные расчеты (таблица) показывают достаточно высокую точность моделирования (отклонения объемов горных работ не превышают 5% от полученных обычным методом).

ЛИТЕРАТУРА

1. Байконуров О.А., Букейханов Д.Г., Ашаев П.Ф., Сьедин В.Ф. / Аналитический метод горно-геометрического анализа карьерных полей сложных штокерных месторождений посредством ЭЦМ. - Сб.: Проблемы разработки полезных ископаемых, вып. 2. - Алма-Ата: КазПИ, 1972, с.144-148.

2. Дробушкевич Г.А. Программирование на ФОРТРАНе. - Минск, Изд. БГУ, 1976, с.272.

3. Новожилов М.Г., Хохряков В.С., Пчелкин Г.Д., Эскин В.С./
Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых, ч.2. - М.: Недра, 1971, с.552.

4. Хохряков В.С. Проектирование карьеров, 2-е изд., перераб. и доп. - М.:Недра, 1980, с.336.

КазПИ им.В.И.Ленина, каф.
ГРМ

УДК 622.271.01

Д.Г.Букейханов, Т.К.Кулубаев
К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНТУРОВ БЛОКСВ
ПАНЕЛЕЙ В КАРЬЕРЕ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ
ГОРНЫХ РАБОТ

Одной из важных задач при годовом планировании горных работ в карьере является задача определения рациональных размеров экскаваторных блоков в пределах рабочей зоны карьера.

Решению этой задачи посвящены работы [1-7]. Однако, например, не учитываются в них организационные моменты, излишние перегоны экскаваторов при разработке сложноструктурных и многокомпонентных месторождений вытянутой формы с неравномерной минерализацией в контурах балансовых руд.

Для составления математической модели определения длины фронта работ экскаватора введем следующие обозначения: L_i - длина фронта рабочего уступа; e_{ji} - длина j -го экскаваторного фронта при i -м варианте отработки блоков панели; $e_{ji}^{пер}$ - длина перегона j -го экскаватора при i -м варианте отработки блоков панели; K_{ji} - коэффициент перегона j -го экскаватора при i -м варианте отработки блоков панели. Величина K_{ji} определяется по следующей формуле:

$$K_{ji} = \frac{e_{ji}}{e_{ji} + e_{ji}^{пер}}, \quad (I)$$

Коэффициент перегона может меняться от 0 до 1. При $K_{ji} = 1$ j -й экскаватор обрабатывает по i -му варианту отработки блока панели без перегона.

Суть алгоритма определения коэффициента перегона экскаватора для каждого варианта отработки блоков панели заключается в нахождении длины перегона ($L_i + 1$)-го варианта отработки блоков панели j -м экскаватором при его передвижении из