

Ю.П.Ашаев, Г.Н.Андреева

ДИСКРЕТНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАСТОВЫХ
ЗАЛЕЖЕЙ В САПР КАРЬЕРОВ

В последнее время в связи с широким внедрением вычислительной техники в область проектирования и планирования открытых горных работ с целью повышения эффективности и технического уровня горно-добывающего производства наблюдается всестороннее развитие методов математического моделирования месторождений.

Одним из важных направлений математического моделирования месторождений является разработка моделей пластовых залежей. Существующие модели [1,2] не в полной мере удовлетворяют требованиям сегодняшнего дня, т.к. характеризуются определенной статичностью, трудоемкостью подготовки исходных данных и значительной погрешностью горно-геометрических расчетов; не достаточно учитывают физико-механические свойства вмещающих пород.

В данной статье предложен новый подход к моделированию залежей пластового типа. Исходной информацией для модели месторождения служили данные по скважинам или эксплуатационным выработкам с предварительно выделенными интервалами руд и пород.

Область моделирования представляет собой плоскость с нанесенной дискретной сеткой. Шаг сетки выбирается согласно вероятностно-статистическому методу [3] с учетом требуемой точности горно-геометрических расчетов, степени сложности строения рудных залежей и технологических контуров участков отработки, уровня задач проектирования и планирования открытых горных работ, для решения которых формируется модель месторождения.

При моделировании горизонтальных и пологопадающих залежей в качестве базовой плоскости берется горизонтальная плоскость, а при моделировании крутопадающих залежей - вертикальная плоскость, параллельная направлению простирания залежи.

Для конкретности в дальнейшем будем рассматривать построение модели для горизонтальных или пологопадающих залежей. Согласно простейшим координатам средней точки каждого кондиционного пересечения данные по выработке заносятся в ближайшие узлы сетки

плоскости моделирования. Разнесение данных в конкретные узловые точки горизонтальной плоскости производится согласно координатам X, Y каждого пересечения. Третья координата Z зависит как признак и определяет пространственное местоположение кондиционного пересечения. Количество признаков и геологических характеристик, заносимых в модель, в общем случае неограничено.

При использовании для построения математической модели только данных по скважинам возникает необходимость оконтуривания рудных тел и залежей. При оконтуривании рудных залежей предусмотрено выделение нулевого и промышленного контуров [4].

Нулевой контур строится по точкам, расположенным на середине расстояния между рудными и безрудными выработками. В случае неравномерной произвольной сетки скважин построение нулевого контура связано со значительными трудностями. При традиционной ручной технологии такие построения опираются на квалификацию и опыт проектировщика, что приводит к неоднозначным решениям, а зачастую - к значительным ошибкам при оконтуривании.

Наиболее точные построения позволяют осуществить использование метода ближайшего района [4] при его математической реализации. Математическая постановка задачи построения нулевого контура сводится к следующему. В границах области D есть G точек наблюдений с координатами $\{x_g, y_g\}, \{x_g, y_g\}, g = 1, G$. Необходимо выделить в области D, G подмножество точек R_g о центральными точками $\{x_g, y_g\}$ при условии, что $\{R_1, R_2, R_3, \dots, R_G\} \in D$. Каждая точка подмножества R_g с координатами $\{x'_g, y'_g\}$ должна быть ближе к центральной точке $R_g \{x_g, y_g\}$ своего подмножества, чем к центральной точке любого другого подмножества

$$(x_g^i - x_g)^2 + (y_g^i - y_g)^2 < \{(x_i^i - x_g - \rho)^2 + (y_i^i - y_g - \rho)^2\}$$

$$\rho = \sqrt{g-1}; \quad \rho = (-1), (g-6).$$

Алгоритм решения задачи сводится к итерационному процессу.

После первой итерации значение признака "руда" или "порода" из заданных точек распространяется концентрически, как из центра

в ближайшие узловые точки (рис. I, а). На втором (рис. I, б) и последующих шагах итерации процесс повторяется до тех пор, пока не заполняются все узловые точки на плоскости с учетом того, что ни один участок, относящийся к определенной скважине, не перекрывает другой (рис. I, в). Линия, проведенная по границе

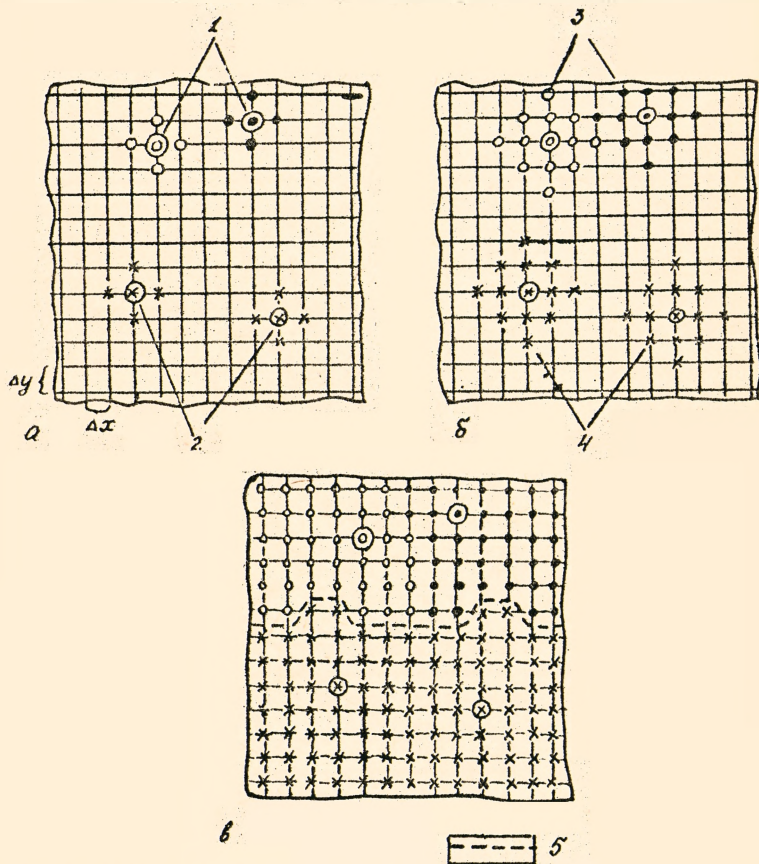


Рис. I. Схема к построению нулевого контура: а - фрагмент погоризонтного плана после 1-й итерации; б - после 2-й итерации; в - в результате оконтуривания. 1 - узловые точки, соответствующие расположению безрудных скважин для 1-го и 2-го типа пород; 2 - узловые точки рудных скважин, соответственно 1-го и 2-го сорта; 3 - узловые точки, в которые разносится признак "порода"; 4 - узловые точки, в которые разносится признак "руда"; 5 - нулевой контур

между рудными и безрудными участками, образует нулевой контур. Для автоматизированного выделения промышленного контура наиболее приемлемо, с нашей точки зрения, интерполирующее уравнение Лапласа [5]. Так как за базовую принята плоскость XOY и шаг сетки по осям координат равномерный, то конечно-разностный аналог этого уравнения имеет вид

$$u(x, y)_{ij} = \frac{\Delta x^2 \cdot \Delta y^2}{2(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \cdot \left[\frac{u_{i+1,j} + u_{i-1,j}}{2 \Delta x^2} + \frac{u_{i,j+1} + u_{i,j-1}}{2 \Delta y^2} \right],$$

где $\Delta x_i, \Delta x_{i+1}$ - длина интервала сетки по оси OX;

$\Delta y_j, \Delta y_{j+1}$ - длина интервала сетки по оси OY;

$u(x, y)_{ij}$ - значение функции распределения горно-геологического параметра в $\{i, j\}$ узловой точке.

Восстановление значений геологических параметров основано на свойстве интерполирующего уравнения Лапласа, заключающемся в постепенном выравнивании значений от точек с высоким значением к точкам с низким. В основу интерполяции положен итерационный процесс по методу усреднения Либмана согласно системе конечно-разностных уравнений вида

$$u^{(n)}(x, y)_{ij} = \frac{\Delta x^2 \cdot \Delta y^2}{2(\Delta x^2 + \Delta y^2)} \cdot \left[\frac{u^{(n-1)}_{i+1,j} + u^{(n-1)}_{i-1,j}}{2 \Delta x^2} + \frac{u^{(n-1)}_{i,j+1} + u^{(n-1)}_{i,j-1}}{2 \Delta y^2} \right],$$

$i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}$

где $u^{(n)}_{ij}$ - значение функции моделируемого геологического параметра в $\{i, j\}$ - й узловой точке на n -м шаге итерации;

I, J - общее количество узловых точек модели соответственно на осях OX и OY. Итерационный процесс длится до тех пор, пока во всех точках не будет выполнено неравенство

$|u^{(n+1)} - u^{(n)}| \leq \epsilon$, где ϵ - заданная точность интерполяции.

При интерполяции необходимо учитывать некоторые особенности. Для месторождений с выклиниванием пласта по мощности во всех точках нулевого контура, ограничивающего область интерполяции, мощность принимается равной нулю, а в точках с реальными значениями - мощность принимается равной вертикальной мощности рудного пересечения по скважине. В такой постановке задача сводится

к решению уравнения Лапласа

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad (x, y) \in D$$

с граничными условиями

$$g(x', y') = 0; \quad (x', y') \in L,$$

$$u(x'', y'') = u^*; \quad (x'', y'') \in D,$$

где D - область интерполяции; L - нулевой контур; $g(x', y')$ - значение функции в точках, лежащих на нулевом контуре; u^* - значения функции в точках наблюдения.

При восстановлении распределения значений содержания составляющих компонентов в точках нулевого контура значение содержания не задается, нулевой контур в этом случае служит естественной границей интерполяции. В математической постановке задача формулируется в следующем виде:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad (x, y) \in D$$

с граничными условиями

$$u(x'', y'') = u^*; \quad (y'', x'') \in D.$$

Апробация разработанной методики моделирования пластовых месторождений проводилась на примере участка серного месторождения Прикарпатья.

На рис.2 приведены варианты выделения нулевого и промышленного контуров традиционным ручным способом и с помощью ЭМ согласно описанной методике моделирования пластовых залежей. Сравнительные данные подсчета объемов и запасов руд в границах выделенных геологических подсчетов блоков приведены в таблице. В случае оконтуривания рудных залежей отклонения результатов расчетов достигают значительных величин (блоки I и II совместно). Если контура геологических подсчетных блоков заданы (блок I), то ошибки вычислений лежат в пределах точности инженерных расчетов.

Методика моделирования пластовых месторождений предусматривает возможность оперативной корректировки параметров модели новой геологической информацией эксплуатационной разведки.

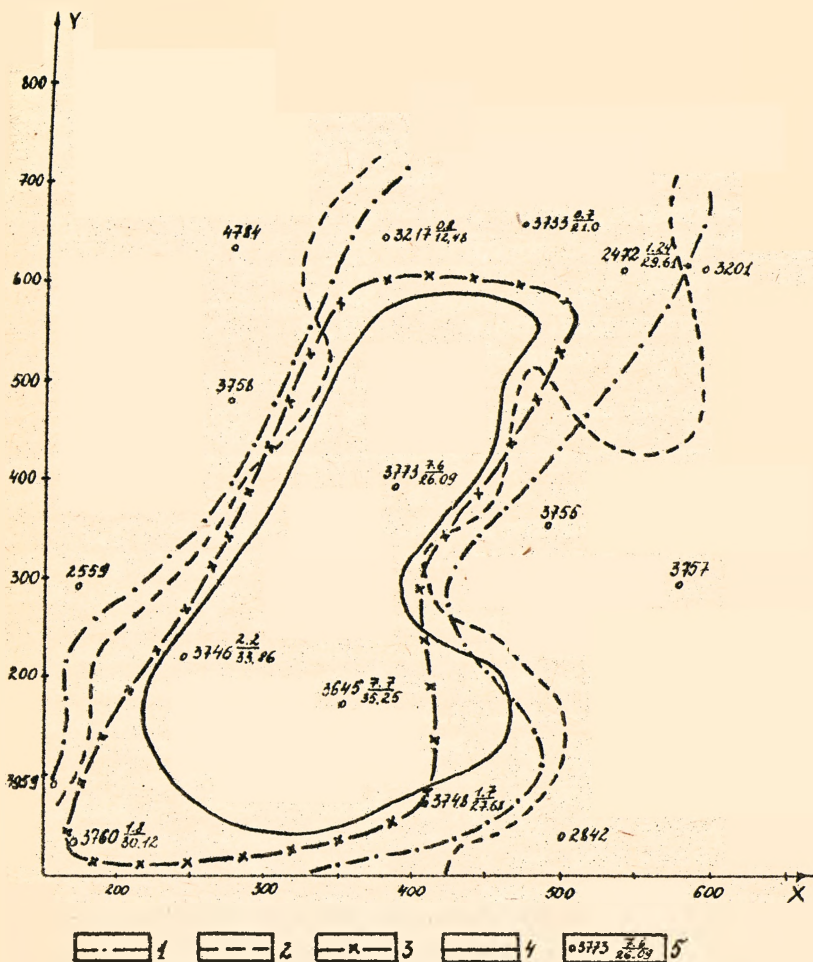


Рис.2. Оконтурирование рудных залежей традиционным способом и с использованием ЭМ: 1,3 - нулевой и промышленный контуры, построенные традиционным способом; 2,4 - нулевой и промышленный контуры, построенные с использованием ЭМ; 5 - номер скважины и данные по скважине (мощность рудного пласта, содержание)

Сравнительные результаты подсчета объемов руд

Номер блока или контура	Наименование показателя	Данные при традиционном способе	Данные ЭМ	Относительная погрешность, %
В границах промышленного контура	Площадь, тыс.м ²	90,57	70,94	21,16
	Средняя мощность, м	3,82	4,24	10,9
	Объем руды, тыс.м ³	345,64	300,49	12,6
	Запасы руды, тыс.т	771,78	712,15	7,0
	Среднее содержание серы, %	31,73	31,02	2,2
	Запасы серы, тыс.т	244,88	220,00	11,6
В границах контура I	Площадь, тыс.м ²	15,05	14,84	1,4
	Средняя мощность, м	5,83	5,77	1,0
	Объем руды, тыс.м ³	87,75	85,67	2,3
	Запасы руды, тыс.т	207,98	203,04	2,4
	Среднее содержание серы, %	31,73	31,63	0,3
	Запасы серы, тыс.т	65,99	64,22	2,6
В границах контура II	Площадь, тыс.м ²	75,52	59,10	20,4
	Средняя мощность, м	3,15	3,90	23,5
	Объемы руды, тыс.м ³	237,89	223,5	6,0
	Запасы руды, тыс.т	563,80	529,72	6,2
	Среднее содержание серы, %	31,73	30,49	4,0
	Запасы серы, тыс.т	178,90	161,56	9,6

При этом новые геологические данные заносятся в модель, производится повторное оконтуривание на участках эксплуатационной разведки. В результате модель динамически развивается по мере отработки месторождения. Разработанная методика моделирования пластовых залежей совместно с программным обеспечением моделирования контуров карьера и развития рабочей зоны [2] представляет единую подсистему автоматизированного проектирования и планирования развития открытых горных работ [1] и может использоваться как компонента методического, информационного и программного обеспечения САПР карьеров и АСУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированное проектирование карьеров / Хохряков В.С. Корнилков С.В., Неволин Г.А., Каплян В.М. /Под ред.В.С.Хохрякова// учебное пособие для вузов. М.: Недра, 1985. 263 с.
2. Проектирование, планирование и управление производством на карьерах посредством ЭВМ / Под общей ред. В.В.Ржевского. М.: Недра, 1966. 238 с.
3. Ашаев Ю.П. Оценка погрешности подсчета площадей и объемов при дискретном математическом моделировании месторождений // Оптимизация технологических схем разработки полезных ископаемых. Караганда: КазПИ, 1984. С.132-144.
4. Ушаков И.Н. Горная геометрия. М.: Недра, 1979. 440 с.
5. Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. Объемное моделирование месторождений на основе использования уравнений в частотных производных // Разработка месторождений полезных ископаемых. Алма-Ата: КазПИ, 1982. С.3-10.
6. Моделирование развития горных работ и контуров карьера с помощью ЭВМ / Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н., Съедин В.Ф., Съедин С.В.// Экспресс-информация КазНИИГТИ, серия 07, вып.96. Алма-Ата: 1983. -14 с.

КазПИ имени В.И.Ленина,
каф.ТРМ