

УДК 622.271.01

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КОНДИЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ РАЗВЕДАННОГО МАССИВА С НЕЧЕТКИМИ ГРАНИЦАМИ ОРУДЕНЕНИЯ

Анализ практической деятельности предприятий, ведущих разработку полиметаллических руд Казахстана, показывает, что за последние 20...25 лет на них происходил неоднократный пересчет их запасов в сторону снижения показателей кондиций по качеству.

В результате пересмотра кондиций, как правило, на месторождениях с нечеткими границами оруденения улучшаются условия разработки, за счет увеличения удельного веса запасов, заключенных в мощных рудных телах, что создает предпосылки для применения высокопроизводительного оборудования.

Ввод в эксплуатацию новых месторождений сопровождается значительными капитальными вложениями, а количество запасов на разведанных месторождениях не всегда восполняет растущие потребности в минеральном сырье отраслей народного хозяйства.

Как показывает практика, периоды между пересмотрами кондиций неизбежно сокращаются.

В настоящее время находит применение поблочная оценка запасов, при которой возрастает достоверность и качество определения рассчитыва-

емых параметров выемочного массива и показателей кондиций, которые устанавливаются для конкретных участков залежей, разрабатываемых в пределах одной или нескольких выемочных единиц (блоков, камер, панелей).

Систематическое вовлечение в выемочный контур забалансовых и бедных руд как источника воспроизведения сырьевой базы увеличивает объемы анализируемой геологической информации, снижая эффективность традиционных способов обработки геологической информации, так как сопряжено со значительным увеличением трудозатрат и временем обработки информации.

При изучении параметров, характеризующих разведанный массив, накапливается значительный объем информации. Его формируют по данным детальной и эксплуатационной разведок. В процессе подготовки и нарезки запасов данные о них постоянно уточняются и являются наиболее достоверными, что очень важно, так как расхождения показателей детальной и эксплуатационной разведок в ряде случаев составляют 40...60% как по количеству запасов, так и по содержанию полезных компонентов.

Количество учитываемых полезных компонентов при определении ценности разведанных запасов в процессе совершенствования технологии возрастает, что увеличивает информационный массив.

Все это, даже в условиях, когда объем исследуемых запасов невелик, определяет массив исследуемой информации в несколько тысяч единиц исследуемых показателей. Поэтому применение ЭВМ при геолого-метрических работах становится необходимым.

Применение ЭВМ при решении горно-геолого-метрических задач базируется на отображении в виде математической модели реального объекта, например месторождения или его участков, в цифровом виде в памяти ЭВМ. До настоящего времени в основном использовались математические модели для пластовых месторождений. Для месторождений со сложной геометрией моделирование должно использовать трехмерное пространство.

В общем виде задача объемного моделирования сводится к следующему. Пусть в трехмерном геологическом пространстве  $D$  с границей  $\Gamma$  имеется множество точек наблюдений (например точки, соответствующие пробам разведочных скважин) с координатами  $x_i, y_i, z_i$ . Причем в каждой из этих точек известны значение геологического параметра  $\varphi(x_i, y_i, z_i)$ , процентное содержание полезных и вредных компонентов. Необходимо аппроксимировать эти значения функцией  $\bar{\varphi}(x, y, z)$ , значение которой в точках наблюдения совпадает со значениями  $\varphi(x_i, y_i, z_i)$ . В дальнейшем функцию  $\bar{\varphi}(x, y, z)$  можно использовать для вычисления значений в любой точке области  $D$ . Например, если задана какая-то трехмерная координатная сетка, образующая область  $D$ , то на основании функции  $\bar{\varphi}(x, y, z)$  и имеющихся значений в некоторых узлах сетки  $\varphi(x_i, y_i, z_i)$  определяются значения этого признака во всех остальных узлах сетки.

При выборе математического аппарата решения задачи, сделано допущение – значения задаваемых параметров на момент наблюдений имеют потенциальную природу и могут рассматриваться как потенциальные поля. Это допущение дает возможность применения для аппроксимации и интерполяции горно-геологических параметров гармонических функций, удовлетворяющих уравнению Лапласа вида

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0,$$

где  $U(x, y, z)$  – функция моделируемого параметра (распределение в пространстве качественных характеристик полезных и вредных компонентов).

Решение данной задачи можно получить, заменив уравнение Лапласа в дифференциальной форме его конечно-разностным аналогом и применяя метод сеток.

При разработке математической модели учитывались следующие особенности геологического строения месторождений:

1.) неравномерность распределения полезных и вредных компонентов;

2) различные по форме и размерам участки повышенной концентрации рудного вещества, между которыми могут оставаться участки убогих руд и практически безрудных пород;

3) содержание полезных и вредных компонентов в направлении от участков максимальной минерализации к неминерализованным породам понижается большей частью постепенно;

4) отсутствие четких границ у промышленного оруденения;

5) любое расчетное значение моделируемого параметра в ограниченной области не может иметь величину меньшую, чем минимум, и большую, чем максимум, из совокупности заданных значений в этой области.

Для обработки информации по скважинам задаются координаты устья скважины, мощность пробы, процентное содержание составляющих компонентов в ней, азимутальный и зенитный углы искривления скважины по ее глубине.

Перед формированием математической модели первоначально создается область моделирования. Геологическое тело помещается в пространственный прямоугольный параллелепипед, определяющий границы области моделирования. По каждой пространственной координате в границах области отмечаем точки, взаимное расположение которых в общем случае может быть произвольным, в зависимости от распределения геологических параметров.

Если через каждую выделенную точку провести плоскости, параллельные координатным, то получим пространственную сеть, состоящую из точек (узлов), покрывающую всю область моделирования, в дальнейшем на всех этапах оперируем лишь этими точками (узлами) пространственной сети.

Разработано несколько форм ввода исходных данных, максимально приближенных к форме ведения журналов опробования. Процесс создания математической модели заключается в последовательном осуществлении нескольких этапов:

1) отработка данных по скважинам (контроль входной информации и расчет пространственных координат средней точки каждой пробы); 2) создание области моделирования в виде

объемной равномерной или неравномерной сетки; 3) разнесение численных значений параметров для каждой пробы в ближайшие узлы сформированной области моделирования.

Пространственная взаимоувязка скважин и области моделирования достигается единой системой координат. После разнесения данных по всем скважинам производится окончательное формирование математической модели месторождения путем интерполяции во всей области. Результатом моделирования является математическая модель месторождения, в которой определено распределение полезных и вредных компонентов. Далее, на основании вводимых кондиций можно провести оконтуривание рудного тела. Оконтуривание обычно производится по бортовому содержанию.

Заданные кондиции вводятся в ЭВМ, и в математической модели на основании их производится оконтуривание балансовых запасов. Точки модели, в которых процентное содержание полезных и вредных компонентов не удовлетворяет кондиционным ограничениям, отмечаются как лежащие вне контура балансовых руд, и наоборот.

В пределах выделенных контуров балансовых руд производится подсчет запасов с разделением по типосортам. Рассматриваемая математическая модель отличается высокой степенью динамичности. Она позволяет производить оперативный пересчет балансовых запасов месторождения при изменении кондиционных требований. Причем такой пересчет не требует больших трудозатрат, достаточно лишь ввести новые кондиции и провести в ЭВМ оконтуривание балансовых запасов по новым кондициям.

На рис. 1 показано выделение контура балансовых руд в математической модели по заданным кондициям.

Рассмотренный метод дискретного объемного математического моделирования реализован в виде пакета программ "Дискретного объемного математического моделирования месторождений и карьеров и горно-геометрического анализа карьерных полей", разработанного в КазПТИ им.В.И.Ленина. Программы написаны на алгоритмическом языке ПЛ/1 для

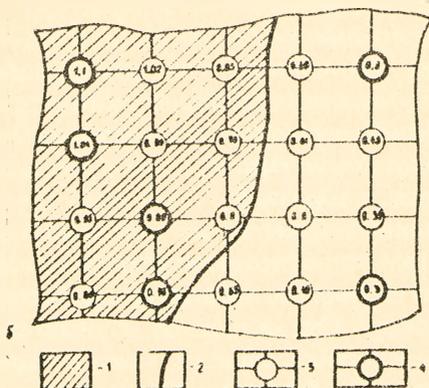
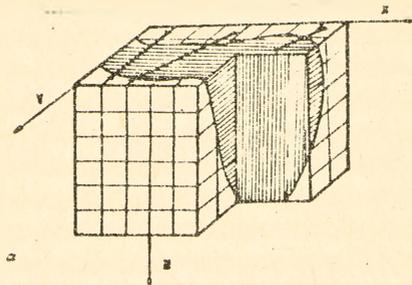


Схема к оконтуриванию балансовых запасов руды:  
 а – общий вид балансовых запасов в пределах области моделирования; б – выделение балансовых запасов при бортовом содержании  $\approx 0,7$ ; 1 – область математической модели, относящаяся к балансовым рудам; 2 – контур балансовых руд при бортовом содержании  $\approx 0,7$ ; 3 – узловые точки модели, процентное содержание полезного компонента в которых определяется в результате интерполяции; 4 – узловые точки модели, процентное содержание в которых задается на основании данных геолого-разведочных скважин и эксплуатационных выработок

операционной системы ОС, любой версии, начиная от 4.1 (MVT, MFT) и выше. Пакет может работать на любой машине серии ЕС, технические характеристики которой удовлетворяют следующим требованиям:

- центральный процессор с емкостью оперативного запоминающего устройства не менее 512 Кбайт;
- три накопителя (и более) на магнитных дисках емкостью не менее 29 Мбайт;
- устройство ввода с перфокарт;
- устройство вывода на печать (алфавитно-цифровое печатающее устройство);
- накопители на магнитных лентах;
- пультовая пишущая машинка.

Кроме того работа с комплексом возможна на ЭВМ М-4030.

Пакет программ "Дискретного объемного математического моделирования месторождений и карьеров и горно-геометрического анализа карьерных полей" состоит из 19 программ, разделяющихся на 3 группы: информационные программы, основные программы и сервисные программы.

Пакет программ позволяет решать следующие задачи:

- дискретное объемное математическое моделирование сложноструктурных многокомпонентных месторождений с учетом тектонических нарушений;
- построение математической модели месторождения или его части;
- выделение произвольного блока из математической модели месторождения;
- подсчет объемов руд и пород, запасов руд, дифференцированных по сортам по всему месторождению и в выделенном блоке;
- корректировки математической модели месторождения по мере поступления данных детальной и эксплуатационной разведок;
- возможность пересчета запасов полезного ископаемого при изменении кондиционных ограничений;

- формирование производных (частных) моделей месторождения;
- выделение однородных геологических объектов по комплексу признаков;
- вычисление объемов и запасов руд и расчет средних содержаний составляющих компонентов в однородных геологических объектах;
- группировка запасов по типосортам руд, участкам, рудным телам, горизонтам;
- генерирование исходной геологической и горно-геометрической информации для автономной проверки работоспособности комплекса;
- получение сечений математической модели и численных значений параметров на них.

Для решения задачи определения кондиционных параметров разведанного массива с нечеткими границами оруденения использовалась только часть программ всего комплекса. В группе информационных программ использовались программы:

- 1) "Формирование справочных данных" („ZAPSPR");
- 2) "Ввод, контроль и формирование унифицированных записей исходной информации геолого-разведочных скважин" ("ZAP");
- 3) "Корректировка исходных геологических данных" ("KOOR");
- 4) "Печать справочника о камерах, отработанных и записанных геологических выработок" ("PECHCAT");
- 5) "Создание объемной сетки и разнесение геологических данных в узлы этой сетки" ("OBSET");
- 6) "Выделение блока интерполяции и формирование области интерполяции" ("PINTER");
- 7) "Интерполяция геологических параметров" (INLAPLM);
- 8) "Восстановление дискретной объемной математической модели месторождения" ("VOSTM");

В группе основных использовались программы:

- 9) "Формирование математической модели карьера и выделение произвольного объема из математической модели месторождения" ("AMOD") и 10) "Решение задач горно-геометрического анализа" ("BATLOP").

Программы из сервисной группы использованы не были.

Рассмотрим краткую характеристику каждой из использованных программ.

Программа "ZAPSPR" осуществляет перезапись справочных данных с перфокарт на магнитный диск. Справочные данные формируются на основании анализа имеющейся горно-геологической информации. Записываемые справочные данные используются в процессе работы следующей программы "ZAP". К ним относятся: наименование месторождения, тип исходной геологической выработки, количества компонентов состава, геологические индексы типосортов руды и породы и т.п. Программа состоит из 32 операторов, среднее время работы 10 с.

Программа "ZAP" осуществляет контроль исходной информации по геологическим выработкам, расчет пространственных координат средних точек проб, формирование унифицированных записей для последующего разнесения в узлы объемной сетки. В ходе выполнения программы ведется учет обработанных проб. Исходной информацией для программы являются записанные ранее справочные данные, координаты устья и забоя скважин, интервалы опробования, процентное содержание компонентов, выходные данные; координаты средней точки каждой пробы и набор геологических параметров, характеризующих эту пробу. Программа состоит из 682 операторов, среднее время на обработку 100 проб - 2,8 мин.

Программа "KOOR" корректирует унифицированные записи по выработкам, сформированные программой "ZAP". Ошибочная запись, найденная по заданному номеру, удаляется, а новая откорректированная запись добавляется в конец файла. Можно удалить одновременно несколько записей. Исходными данными для программы являются номер удаляемой записи или номера начала и конца удаляемого участка. Программа состоит из 143 операторов, среднее время для удаления 100 записей - 58 с.

Программа "PEHCAT" предназначена для печати номеров уже обработанных и хранимых на внешнем носителе вы-

работок в той последовательности, в которой они были записаны. Входные данные программы – номера обработанных выработок (из записанного файла), выходные данные – распечатка на АЦПУ номеров обработанных выработок. Программа состоит из 92 операторов, среднее время для обработки 100 выработок – 1,5 мин.

Программа "OBSET" предназначена для формирования области моделирования в виде объемной равномерной или неравномерной сетки и снесения значений количественных и качественных показателей проб в ближайшие узлы сетки. Она может осуществлять как первоначальное разнесение значений показателей проб, так и корректировку уже разнесенных в узлах сетки на основании данных эксплуатационной разведки. Разнесение можно производить в 2- или 3-мерной области моделирования. Исходными данными для программы является координаты объемной области моделирования, координаты и качественные показатели проб, приоритетность информации (разведочная, эксплуатационная). Выходными данными программы являются файл объемной области моделирования (точки с количественными и качественными признаками) и файл координат области моделирования по 3 осям. Программа состоит из 675 операторов, среднее время для разнесения 1000 проб – 4...5 мин.

Программа "PINTER" выделяет из общей области моделирования блок интерполяции в виде прямоугольного параллелепипеда и формирует область интерполяции. Так как проводить интерполяцию целесообразно только в пределах рудного тела, задается параметр радиуса влияния для любой точки из области интерполяции, имеющей реальную геологическую информацию. Значение этого параметра определяет технолог или проектировщик, исходя из конкретной геологической структуры месторождения. Исходная информация для программы – координаты начала и конца выделяемого блока по осям координат, значение радиуса влияния; выходная информация – блок интерполяции и файл его координат. Программа состоит из 400 операторов, среднее время обработки информации в одном узле для одного компонента – 0,032 с.

Программа "INLAPLM" предназначена для интерполяции и экстраполяции геологических параметров в пределах сформированной области на основе аппроксимирующего уравнения Лапласа. Предусмотрена интерполяция в 2- или 3-мерной области. Количество циклов интерполяции либо определяется точностью расчетов, либо задается. Исходными данными для программы являются численные значения точности расчетов, количество циклов интерполяции, признак "3-мерная" или "2-мерная" интерполяции. Программа состоит из 601 оператора, среднее время на обработку информации в одном узле для одного компонента составляет 0,015 с.

Программа "VOSTM" предназначена для выполнения элементарных математических операций над элементами блока интерполяции и восстановления объемной математической модели месторождения путем вложения выделенного блока интерполяции в области моделирования.

Кроме того программа позволяет вводить в математическую модель исходные данные с погоризонтных планов и поперечных разрезов, корректировать значения параметров в любой точке области моделирования, заносить в математическую модель отрезки, определяющие тектонические нарушения. Выполнение программой любой из перечисленных функций задается условным кодом операции. Программа состоит из 743 операторов, среднее время для корректировки численного значения геологического параметра в одном узле составляет 0,5 с.

Программа "AMOD" предназначена для выделения из объемной математической модели месторождения некоторой ее части, (подсчетный геологический блок, часть рудного тела, лежащая в пределах рассматриваемого этапа отработки). Для выделения блока произвольного объема последовательно задаются пары плоскостей, ограничивающих его. Каждая плоскость строится по 3 точкам заданным координатами  $x, y, z$ . Программа состоит из 742 операторов, среднее время для выделения блока произвольного объема составляет 3 мин.

Программа "BATTLEPM" предназначена для геологических задач горно-геометрического анализа на основе математиче-

ских и логических операций над элементами математической модели месторождения, блока или карьера. Всего предусмотрено 20 элементарных операций: выделение сортов руды по кондиционным ограничениям по всему месторождению и в выделенном блоке, присвоение сорта руды точкам модели, процентное содержание компонентов в которых удовлетворяет задаваемым кондиционным ограничениям, подсчет объемов руды и породы по всему месторождению и в выделенном блоке, подсчет метропроцентов и среднего процентного содержания для компонентов некоторого сорта руды, подсчет объемов (площадей) руды и породы, расчет текущего коэффициента вскрыши ( $m^3/m^3$ ), т/т), подсчет запасов руды. Программа состоит из 1023 операторов. Время работы программы определяется конкретным набором выполняемых элементарных операций.

Пакет прикладных программ "Дискретного объемного математического моделирования месторождений и карьеров и горно-геометрического анализа карьерных полей" относится к классу пакетов прикладных программ с автономными программами. Особенностью пакетов этого класса является закрепление отдельных задач, решаемых пакетом, за автономными программами, обращение к которым оформляется в виде самостоятельных шагов задания.

Информационная связь между программами осуществляется через наборы данных, находящихся на внешних носителях ЭВМ и имеющие строго определенную структуру. При работе с комплексом программ необходимо строго соблюдать последовательность выполнения программ при решении различных задач.

Рассмотрим схему решения конкретной задачи определения кондиционных параметров разведочного массива, приведенную на рис. 2.

Исходная информация от разведочных скважин контролируется, обрабатывается (вычисляются координаты средней точки проб) и записывается на магнитный диск (программы 1-4). Формируется объемная область моделирования и в ее узлы разносятся сформированные на диске записи по сква-

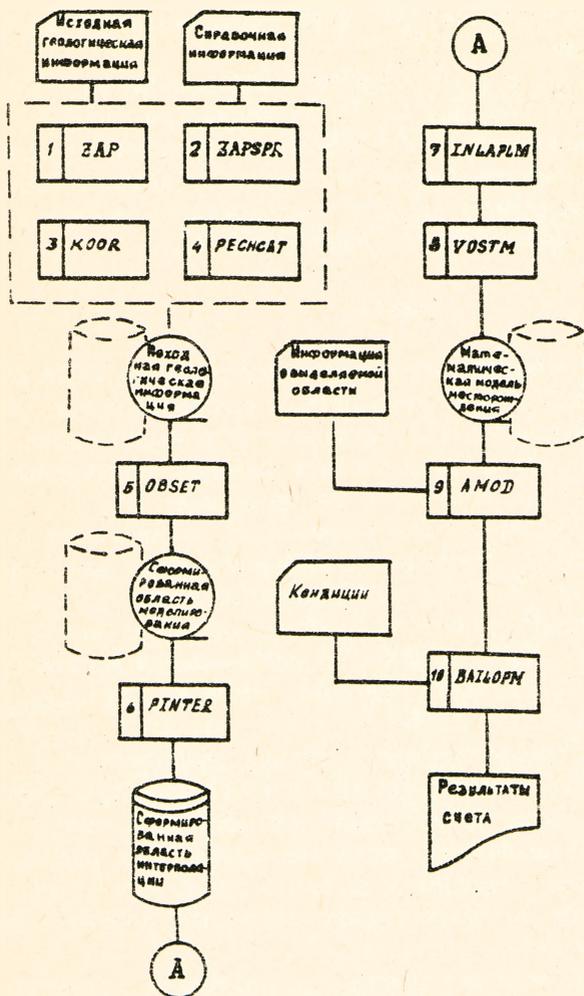


Рис.2. Схема к решению задачи определения кондционных параметров разведанного массива

жинам (программа 5). Осуществляется выделение блока интерполяции в соответствии с заданными границами и формируется блок интерполяции (программа 6), после чего производится объемная интерполяция (программа 7) до определенной точности.

Программа 8 осуществляет восстановление объемной математической модели. Далее на основании заданных граничных ограничений по бортовому содержанию производится выделение контура балансовых руд и подсчет в заданном контуре объема руды и среднего процентного содержания полезного ископаемого в ней (программа 9).

### Выводы

1. Погрешность результатов подсчета на ЭВМ объемов, запасов полезного ископаемого и среднего процентного содержания составляющих компонентов в выделенных контурах балансовых руд по отношению к данным, полученным традиционным ручным способом, не превышает 5%.

2. Использование ЭВМ позволяет значительно снизить трудозатраты на проведение расчетов. Если при традиционных способах расчетов для участка рудного тела объемом 1,5...2 млн.м<sup>3</sup> требуется приблизительно 6 месяцев, то с применением ЭВМ, включая и ряд операций подготовки и кодирования, проводимых вручную, этот же объем работ выполняется за 10...15 дней.

3. Эффективность от применения разработанных алгоритмов и программ достигается возможностью просмотреть и проанализировать за короткий промежуток времени множество вариантов выделения контуров балансовых руд при различных вариантах условий и выбрать среди них оптимальный. Причем расчет каждого нового варианта требует только затрат времени ЭВМ.

4. Применение разработанных программ позволяет выводить результаты расчетов в виде таблиц, карт и графиков,

в форме, привычной для технологов, что повышает информативность горно-геологической документации.

Д.Г.Букейханов, Ю.П.Ашаев, (КазПТИ им. В.И.Ленина), А.А.Кирпота (Институт горного дела АН КазССР),  
Г.Н.Андреева, Н.Р.Суюндуков (КазПТИ им. В.И.Ленина)

Материал поступил 2 января 1984 г.

Отв.редактор Л.Н.Сысоев  
Техн.редактор Л.А.Никитина

Редактор И.В.Введенская  
Корректор Л.А.Зайцева

---

УГ 12028 Подписано в печать 13.01.1984 г.  
Формат бумаги 60x84/16.Усл.печ.л.0,86.Уч.-изд.л.0,74  
Тираж 170 экз. Цена 15 коп. Заказ 1

---

Отпечатано в ЦОПе КазНИИНТИ. 480120, Алма-Ата,  
Кирова, 221.