

Д. Г. Букеиханов, Ю. П. Ашаев,
Г. Н. Андреева

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КАРЬЕРОВ
И ПЛАНИРОВАНИИ ГОРНЫХ РАБОТ В РЕЖИМЕ УСРЕДНЕНИЯ КАЧЕСТВА

На современном этапе развития горной промышленности при проектировании крупных карьеров, перспективном планировании открытых горных работ, а также при разработке систем управления горно-транспортным оборудованием находят широкое применение математические модели месторождения и карьеров. Разработанные для современных средств вычислительной техники они должны позволять в кратчайшие сроки в автоматизированном режиме производить подсчеты запасов с дифференциацией по качественным признакам и вычерчивать посредством графопостроителей различного рода сортовые карты как по локальным участкам, так и по всему месторождению.

Определение и учет закономерностей изменения сортности и качества руды для разрабатываемого месторождения являются основным условием оптимальной организации внутрикарьерного усреднения при добыче и позволяют эффективно управлять ходом производственного процесса для обеспечения требуемой однородности качества руды. На начальных этапах планирования горных работ, т.е. при проектировании карьеров, проектировщики располагают геологическими данными, полученными на основе геолого-разведочных скважин, которые не в полной мере пригодны при планировании горных работ. Оперативные геологические данные детальной и эксплуатационной разведки требуют определенной обработки, прежде чем могут быть использованы проектировщиками как исходная информация в виде откорректированных погоризонтных планов или поперечных разрезов. Корректировка заключается в фиксации положения горных работ на текущий момент времени, изменения качественных характеристик руды, пространственных границ рудных залежей и уточнении контуров определенных сортов руды.

В настоящее время в связи с появлением на горно-добывающих предприятиях и в проектных организациях электронно-вычислительной техники возникли предпосылки значительно повысить скорость

обработки результатов определения качества руды и перехода на новые более совершенные методы планирования добычных работ в режиме усреднения с использованием математических моделей. Некоторый опыт работ в данном направлении уже имеется, причем разработаны не только теоретические аспекты построения математических моделей автоматизированного проектирования и планирования горных работ, но и внедрен ряд пакетов прикладных программ, подсистем и систем, успешно эксплуатируемых в практике /1,3,4/.

Базовым элементом любой автоматизированной системы или подсистемы является математическая модель месторождения, которая хранит информацию о геологическом строении месторождения – форме и пространственном размещении рудных тел, распределении внутри них определенных сортов руды, а также информацию о качественных характеристиках месторождения – процентом содержания полезных и вредных компонентов. Существующие и применяемые в практике в настоящее время математические модели месторождения обладают в той или иной мере рядом недостатков, затрудняющих их использование при автоматизированном планировании добычных работ в режиме усреднения. К этим недостаткам относятся следующие.

1. Ориентация модели на строго определенный тип исходной геологической информации – погоризонтальные планы или поперечные разрезы, что исключает возможность корректировки качественных характеристик модели данными эксплуатационной разведки.

2. Определенная статичность математической модели, не допускающая корректировки какой-либо области математической модели в связи с поступающей оперативной геологической информацией, а требующая полного пересчета математической модели.

3. Строгое закрепление в пространстве границ рудных тел и контуров определенных сортов руды внутри них, что не позволяет корректировать границы и контуры в связи с изменением качественных характеристик.

Исключить эти недостатки позволит динамическая математическая модель месторождения, предусматривающая возможность корректировки параметров математической модели, созданной первоначально на базе геолого-разведочных сведений, данными детальной и эксплуатационной разведки. Причем корректировка должна предусматривать внесение изменений без перестройки модели в целом, что обеспечивает динамичность модели и развитие ее во времени по мере изучения месторождения.

Вышеописанные принципы легли в основу разработанного метода объемного математического моделирования месторождения. В основе метода лежат интерполяция и аппроксимация качественных характеристик (процентного содержания полезных и вредных компонентов) в пределах области моделирования геометрическими функциями, удовлетворяющими уравнению Лапласа вида

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0. \quad (1)$$

где $U(x, y, z)$ - функция моделируемого параметра.

Используя в качестве основной информации процентное содержание полезных и вредных компонентов и рассматривая сортность руды как функцию от процентного содержания, определяемому кондиционными требованиями, можно, корректируя процентное содержание данными детальной и эксплуатационной разведки, изменять контуры рудных тел и контуры определенных сортов руды в пределах рудных тел.

Интерполяция процентного содержания производится согласно конечноразностного аналога уравнения (1) вида

$$U_{i,j,k} = \frac{R_x}{\Delta x_{i,j,k} \cdot \Delta x_{i+1,j,k}} + \frac{R_y}{\Delta y_{i,j,k} \cdot \Delta y_{i,j+1,k}} + \frac{R_z}{\Delta z_{i,j,k} \cdot \Delta z_{i,j,k+1}} \cdot x$$

$$\left\{ R_x \frac{U_{i+1,j,k} \cdot \Delta x_{i,j,k} + U_{i-1,j,k} \cdot \Delta x_{i+1,j,k}}{\Delta x_{i,j,k} \cdot \Delta x_{i+1,j,k} \cdot (\Delta x_{i,j,k} + \Delta x_{i+1,j,k})} + \right.$$

$$R_y \frac{U_{i,j,k+1} \cdot \Delta z_{i,j,k} + U_{i,j,k-1} \cdot \Delta z_{i,j+1,k}}{\Delta y_{i,j,k} \cdot \Delta y_{i,j+1,k} \cdot (\Delta y_{i,j,k} + \Delta y_{i,j+1,k})} +$$

$$\left. R_z \frac{U_{i,j,k+1} \cdot \Delta z_{i,j,k} + U_{i,j,k-1} \cdot \Delta z_{i,j,k+1}}{\Delta z_{i,j,k} \cdot \Delta z_{i,j,k+1} \cdot (\Delta z_{i,j,k} + \Delta z_{i,j,k+1})} \right\}$$

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

где R_x, R_y, R_z - координатные множители; $\Delta x_{i,j,k}; \Delta x_{i+1,j,k}$ - длина i и $i+1$ интервала по оси Ox ; $\Delta y_{i,j,k}; \Delta y_{i,j+1,k}$ - длина j и $j+1$ интервала по оси Oy ; $\Delta z_{i,j,k}; \Delta z_{i,j,k+1}$ - длина k и $k+1$ интервала по оси Oz ; $U_{i,j,k}$ - значение функции в соответствующей точке; I, J, K - общее количество точек области моделирования соответственно по оси Ox, Oy, Oz .

Подобное описание вывода уравнения (2) приведено в / 2 / .

Данный метод реализован в виде пакета прикладных программ (ППП) "Дискретное объемное математическое моделирование месторождения и карьера". ППП предоставляет пользователю следующие возможности:

дискретное объемное математическое моделирование сложноструктурных многокомпонентных месторождений с учетом тектонических нарушений;

построение математической модели карьера;

выделение произвольного блока из математической модели месторождения;

подсчет объемов руд и пород, запасов руд, дифференцированных по сортам по всему месторождению или в выделенном блоке;

подсчет объемов руд, дифференцированных по сортам, породы и горной массы отдельно по горизонтам и с нарастающим итогом как по всему месторождению, так и в выделенном блоке;

корректировка математической модели месторождения по мере поступления данных детальной и эксплуатационной разведки;

расчет коэффициента вскрыши;

возможность перерасчета запасов полезного ископаемого при изменении кондиционных ограничений;

генерирование исходной геологической и горно-геологической информации для автономной проверки работоспособности ППП;

получение сечений математической модели и численных значений параметров на них;

отображение горно-геологической информации в виде графика, выводимого на АЦПУ;

моделирование высотных отметок рельефа дневной поверхности.

ППП представляет собой совокупность независимых программ, связь между которыми осуществляется через информационные файлы, расположенные на внешних запоминающих устройствах. Структурная схема ППП приведена на рисунке.

В основе ППП лежит принцип раздельного моделирования геологических параметров и линейных и пространственных параметров карьера. Исходными данными для пакета являются два информационных файла: геометрической информации о месторождении (исходные данные с погоризонтных планов, геологических разрезов, данные разведочных планов, геологических разрезов, данные разведочных

скважин и эксплуатационных выработок) и информации о положении промежуточных и конечных контуров карьера на горизонтах отработки.

Особое внимание при создании ППП уделялось вопросу контроля исходной информации. Математический и логический контроль исходных геологических данных, корректировку данных и формирование унифицированных записей осуществляет функциональный программный блок. В его состав входят программы:

ZAP - ввод, контроль и формирование унифицированных записей;

ZAPSPR - запись справочной информации;

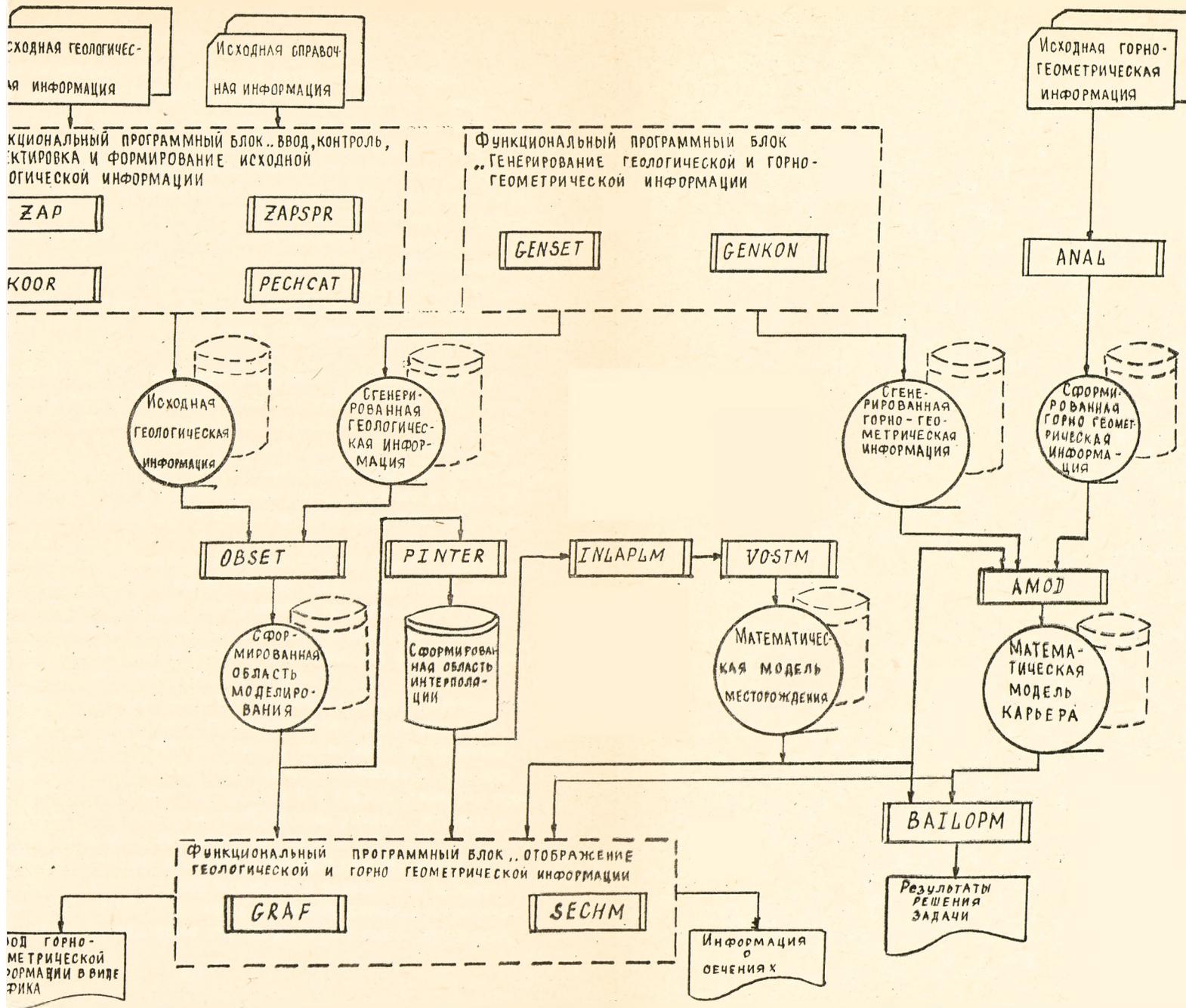
KOOR - корректировка исходных геологических данных;

PECHSAT - распечатка информации о номерах выработок, прошедших ввод, контроль и запись.

Ввод, контроль и формирование унифицированных записей горно-геологической информации о положении промежуточных и конечных контуров карьера на горизонтах отработки осуществляет программа "*ANAL*".

Построение дискретной, объемной математической модели месторождения, имеющей точечно-узловую структуру, выполняется программами: "*OBSET*", "*PINTER*", "*INLAPLM*".

Программа "*OBSET*" строит область математического моделирования в виде равномерной или неравномерной пространственной сетки узлов и производит первоначальное разнесение геологических данных в узлы сетки. Затем программа "*PINTER*" осуществляет выделение блока из модели и формирование области интерполяции заданного радиуса влияния по пространственным координатам с центром в узлах, где имеется исходная геологическая информация. Программа "*INLAPLM*" производит интерполяцию в выделенном блоке, причем предусмотрен вариант как объемной, трехмерной, интерполяции, так и двумерной на плоскости. Реализацию функций корректировки значений параметров в некоторых точках области моделирования, вложение ранее выделенного блока в математическую модель после завершения интерполяции осуществляет программа "*VOSTM*". Выделение произвольного объемного тела, ограниченного рядом плоскостей, и построение математической модели карьера на основании задаваемых положений контуров карьера на горизонтах отработки осуществляет программа "*AMOD*". Логические и алгебраические опе-



рации над элементами сформированной математической модели месторождения выполняет программа "BAGLORP". Соответствующий набор элементарных операций, включенных в эту программу, позволяет решать задачи горно-геометрического анализа. В состав блока "Отображение геологической и горно-геологической информации" входит программа "SECHM", позволяющая получить сечение математической модели и распределение геологических параметров на нем. Результаты работы этой программы могут быть использованы как исходная информация для графического вывода геологической информации при наличии графопостроителя и соответствующего математического обеспечения. Вторая программа "GRAF", входящая в состав блока, позволяет получать горно-геометрическую информацию в виде графика, вводимого на АЦПУ.

При практическом внедрении и обучении пользователей работы с ППП предусмотрен функциональный программный блок "Генерация геологической и горно-геометрической информацией", генерирующий исходные данные и позволяющий автономно проверить работоспособность ППП. Программа "GENSET" генерирует исходную геологическую информацию и формирует все необходимые информационные наборы данных, а программа "GEN'KON" - исходную горно-геометрическую информацию.

Практическое опробование ППП проведено на примере Горшине-Плавнинского железорудного месторождения Полтавского ГОКа. Построение математической модели месторождения проводилось на базе *исходной геологической информации (поперечные разрезы, табл.1)*. Корректировка математической модели осуществлялась по данным детальной и эксплуатационной разведки (табл.2).

Погрешность моделирования рассчитывалась в обоих случаях как отношение расчетных данных к геологическим данным для контрольных подсчетных геологических блоков. Более высокие численные значения относительной погрешности в табл.2 объясняются тем, что расчет погрешности во втором случае, как и в первом (табл.1), проводился по отношению к исходным геологическим данным. Это вызвано отсутствием уточненных геологических данных.

Полученные расчетные значения позволяют сделать вывод о достаточной высокой точности моделирования и возможности практического использования ППП в системах автоматизированного проектирования карьеров и планирования горных работ в режиме усреднения.

Таблица 1

Номер подсчетного блока	Объемы руды, тыс. м ³			Общее содержание, %			Магнетитовое содержание, %		
	геологические данные	данные ЭВМ	относительная погрешность	геологические данные	данные ЭВМ	относительная погрешность	геологические данные	данные ЭВМ	относительная погрешность
39	6014,0	5915,5	1,64	33,91	33,55	1,06	26,38	26,20	0,68
80	4843,8	5042,5	4,10	26,37	26,25	0,45	16,79	16,95	1,00
81	12313,2	12405,0	0,75	26,70	26,75	0,20	17,00	16,85	0,88
82	14185,0	14025,0	1,13	26,86	26,68	0,68	17,47	17,53	0,34

Таблица 2

Номер подсчетного блока	Объем руды, тыс. м ³				Общее содержание, %				Магнетитовое содержание, %			
	геологические данные	данные ЭВМ	отклонение	относительная погрешность	геологические данные	данные ЭВМ	отклонение	относительная погрешность	геологические данные	данные ЭВМ	отклонение	относительная погрешность
39	6014,0	6234,4	-220,4	3,66	33,91	32,77	1,14	3,36	26,38	24,90	1,14	5,61
80	4843,8	4537,5	306,3	6,32	26,37	28,58	2,21	8,38	16,79	16,84	-0,05	0,30
81	12213,2	12176,9	136,3	1,11	26,70	29,25	-2,55	9,55	17,00	17,27	-0,27	1,59
82	14185,0	14265,7	-80,3	0,57	26,86	29,51	-2,65	9,86	17,47	18,12	-0,65	3,72

Л и т е р а т у р а

1. Арсеньев С. Я., Прудовский А. Д. Внутрикьерное усреднение железных руд. М.: Недра, 1980.
2. Ашаев Ю. П., Андреева Г. Н. Объемное моделирование месторождений на основе использования уравнений в частных производных.— Разработка месторождений полезных ископаемых. Алма-Ата, Каз. ПТИ, 1982.
3. Хохряков В. С. Проектирование карьеров. 2-е изд. перераб. и допол. М.: Недра, 1980.
4. Хохряков В. С., Саканцев Г. Г., Яшкин А. З. и др. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров. М.: Недра, 1977.