

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР

На правах рукописи

Ашаев Юрий Павлович

УДК 622.271

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ
ГОРНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ И КАРЬЕРОВ

Специальность 05.15.03

Открытая разработка месторождений полезных
ископаемых

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1985

Работа выполнена в Казахском ордена Трудового Красного
Знамени политехническом институте им. В.И. Ленина

Научный руководитель: кандидат технических наук
Д.Г. Букейханов

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Ж.В. Бунин
кандидат технических наук
С.Д. Коробов

Ведущая организация: институт "ВНИИгорцветмет"
(г. Москва)

Защита состоится "___" _____ 1986г. в ___ часов на
заседании специализированного совета Д.003.20.01 при
Институте проблем комплексного освоения недр АН СССР по
адресу: 111020, Москва, Е-20, Кржковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
проблем комплексного освоения недр АН СССР

Автореферат разослан "___" _____ 1986г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим
направлять в адрес совета.

Ученый секретарь
специализированного совета
канд. техн. наук

Г.И. Богданов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В решениях Апрельского (1985г.) Пленума ЦК КПСС, материала совещания ЦК КПСС по вопросам ускорения научно-технического прогресса от 11.07.85г., в проекте "Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000года" предусматривается повышение эффективности и технического уровня производства, ускорение научно-технического прогресса во всех отраслях народного хозяйства и в частности при открытой разработке месторождений полезных ископаемых. Ключевая роль при этом отводится вычислительной технике, гибким производствам, информатике и внедрению систем автоматизированного проектирования (САПР). Создание САПР-карьеров невозможно без разработки новых научно-обоснованных методов математического моделирования месторождений и карьеров, являющихся основой принятия рациональных проектных решений по развитию горных работ в карьерах. Существующие методики реализации на ЭВМ этих задач, особенно для условий отработки сложноструктурных многокомпонентных месторождений, пока еще не нашли широкого применения в практике проектирования. Поэтому создание принципиально новых и совершенствование существующих методов автоматизированного проектирования открытых горных работ является актуальной задачей сегодняшнего дня.

Актуальность темы диссертационной работы подтверждается так же её направленностью на выполнение заданий целевой комплексной научно-технической программы ГКНТ СМ СССР О.Ц.039 (подпрограмма ОО8.01.Ц, задание 17) и комплексной программы ГКНТ СМ СССР и АН СССР "Совершенствование методов проектирования параметров подземных рудников и карьеров".

Целью работы является повышение эффективности принимаемых проектных решений по развитию горных работ в карьере при отработке сложноструктурных многокомпонентных месторождений на основе математического моделирования месторождений, карьеров и автоматизации проектных расчетов.

Идея работы состоит в комплексном учете горно-геологических и технологических условий разработки месторождений при проектировании развития открытых горных работ и порядка отработки сложноструктурных многокомпонентных месторождений посредством объемного математического моделирования.

Научные положения, разработанные лично диссертантом, и новизна сводятся к оледущему.

1. Предложен новый принцип автоматизированного проектирования открытых горных работ, характеризующийся возможностью гибкого изменения направления и порядка перемещения фронта горных работ в зависимости от горно-геологических и технологических условий, что позволяет целенаправленно формировать рабочую зону карьера с соблюдением требований равенности вскрышных и добычных работ и стабилизации качества полезного ископаемого.

2. Разработана методика пространственного моделирования контуров карьера и развития рабочей зоны, отличающаяся тем, что позволяет отстраивать положения уступов и вскрывающих выработок в соответствии с системой разработки и схемой вскрытия, с учетом особенностей конструкции рабочих и нерабочих бортов карьера и топографии дневной поверхности, предусматривает временную консервацию бортов и сдваивание уступов на определенных участках карьерного поля.

3. Разработана методика дискретного объемного математического моделирования сложноструктурных многокомпонентных месторождений, отличающаяся применением объемной интерполяции, обеспечивающей адекватное отображение распределения качественных характеристик полезного ископаемого, использованием различной исходной геологической информации при построении модели месторождения и её корректировке новыми геологическими данными, что повышает точность и достоверность подсчета объемов руды и вскрыши и обеспечивает возможность многократного использования модели при проектировании и планировании открытых горных работ.

4. Установлены новые аналитические зависимости:

- размеров элементарных микроблоков модели месторождения от требуемой точности горногеометрических расчетов, степени сложности контуров рудных залежей и границ участков отработки, уровня задач проектирования и планирования горных работ;
- интервалов между точками, описывающими линии уступов, от требуемой относительной погрешности горногеометрических расчетов и кривизны линий на различных участках уступов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

- достаточно представительным объемом модельных испытаний и практических расчетов, выполненных для различных горно-геологических условий;

- удовлетворительной охлдимостью (относительная погрешность не превышает 5% при доверительной вероятности $P=0,90$) данных подочета объемов пород и запасов руд и их качественных характеристик, полученных о использованием дискретной объемной математической модели мвоторождения, о данными, полученными традиционным способом;

- внодрением разработанных методик, алгоритмов и программ в институте "Южгипроруда" и в производотвенном объединении "Каратау".

Значение работы.

Научное значение работы состоит в том, что разработаны методики для анализа режима горных работ на основе комплексного учета горно-геологических и технологических условий разработки сложноструктурных многокомпонентных месторождений посредством объемного математического моделирования, позволяющие повысить обоснованность и достоверность принимаемых решений при проектировании открытых горных работ.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные методики доведены до рабочих алгоритмов и программ для ЕС ЭВМ, использование которых при проектировании и планировании горных работ позволяет онизить трудозатраты, повнсить точность и достоверность подочета объемов и качественных характеристик полезного ископаемого о разделением объемов добычи по сортам и типам руд, оперативно рассматривать множество альтернативных вариантов развития горных работ и на их основе устанавливать рациональный порядок развития рабочей зоны карьера. Методики, алгоритмы и программы могут использоваться как компонента методического, информационного и программного обеспечения в САПР карьеров и АСУ.

Реализация выводов и рекомендаций.

Разработанный комплекс программ объемного моделирования месторождений и геометрического анализа карьерных полей внедрен в практику проектирования института "Южгипроруда". Методика, алгоритмы и программы выделения кондиционных пересече-

ний по данным опробования, подсчета объемов руды и вскрыши при календарном планировании горных работ внедрены в производственном объединении "Каратау". Общий экономический эффект составил 180 тно. рублей.

Апробация работ.

Основные положения диссертационной работы докладывались на Всесоюзном совещании "Совершенствование методов уореднения руд" (Фрунзе, 1982), Всесоюзном совещании "САПР карьеров" (Чита, 1983), Всесоюзном совещании "Создание системы и методических основ автоматизированного проектирования карьеров (САПР)" (Москва, 1985), Республиканской конференции "САПР горнодобывающих предприятий" (Ташкент, 1984), XVI и XVII научных конференциях профессорско-преподавательского состава КазПИИ им. В.И. Ленина (Алма-Ата, 1983, 1984), заседаниях секции научно-технического совета института "Югипроруда" (Харьков, 1981-1984), заседаниях научно-технического совета производственного объединения "Каратау" (Каратау, 1980-1984), совещаниях при главном инженере Полтавского ГОКа (Комсомольск, 1981-1984), совещании при начальнике Кавказстанской опытно-методической экспедиции (Алма-Ата, 1984).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, перечня использованной литературы из 98 наименований, трех приложений и содержит 149 страниц машинописного текста, 57 рисунков, 20 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Значительный вклад в развитие научных основ проектирования и планирования открытых горных работ внесли ведущие ученые страны: академики АН СССР Н.В. Мельников, В.В. Ржевский; доктора технических наук А.И. Арсентьев, Ю.П. Астафьев, Ж.В. Булкин, Г.Г. Ломоносов, М.Г. Новожилов, Б.А. Силин, И.Б. Табакиан, П.И. Томаков, К.Н. Трубецкой, В.С. Хохряков, Б.П. Матов и их ученики и последователи.

Анализ существующих методов автоматизированного проектирования открытых горных работ показал, что их широкое использование одерживается большой трудоемкостью подготовки исходных данных, ориентацией моделей на определенный вид исходной горно-геологической информации (планы, разрезы, окважины), значительной погрешностью горногеометрических расчетов, приближенным характером отображения на ЭВМ реального процесса развития горных работ в карьере. Особенно это характерно для уловоий отработки сложноструктурных многокомпонентных месторождений с изменчивым качественным составом полевого ископаемого.

Повышение эффективности принимаемых проектных решений по развитию горных работ в карьере может быть достигнуто за счет разработки и внедрения методов объемного моделирования месторождений и карьеров. Такие модели, построенные на новой современной математической основе, должны обеспечивать адекватное отображение карьера и его отдельных участков на планах и разрезах; позволять строить полжения карьера по этапам его развития в соответствии с заданной системой разработки, её параметрами, направлением развития горных работ, принятой схемой вскрытия; производить с требуемой точностью подсчет объемов руды и вскрыши с дифференциацией по качественным признакам горной массы как для всего карьера, так и по отдельным технологическим блокам, уступам, наклонным олоям; обладать достаточной универсальностью с точки зрения возможности использования при построении моделей различной горно-геологической информации и без нарушения общей целостности моделей пополняться новыми геологическими данными по мере их поступления и корректироваться отработанными участками карьерного поля.

В связи с этим в работе решены следующие задачи: разработана методика дискретного объемного математического моделирования месторождений; разработана методика и алгоритм пространственного моделирования контуров и развития рабочей зоны карьера; установлены аналитические зависимости точности подсчета объемов горных работ от размеров дискретных элементов моделей месторождения и карьера; обоснована методика подсчета объемов руды и вскрыши при геометрическом анализе карьерных полей с помощью ЭВМ; разработаны алгоритмы геомет-

рического построения капитальных траншей и съездов; разработан методика моделирования развития горных работ на основе комплексного учета горно-геологических и технологических условий разработки месторождений; установлено рациональное развитие горных работ для конкретного месторождения.

В качестве информационной геологической основы при автоматизированном проектировании развития горных работ в карьере принята дискретная объемная математическая модель месторождения. Модель представляет собой трехмерную решетку (рис. I), в некоторых узлах которой задаются, а во всех остальных определяются значения геологических параметров. В качестве исходной информации при построении модели используются как независимо, так и совместно, разведочные окважины, погоризонтные планы и геологические разрезы.

При использовании данных по окважинам, на основании разработанных методик, алгоритмов и программ предварительно производится выделение кондиционных пересечений - последовательно расположенных пропластков руд и пород по выработке. Это позволяет автоматизировать трудоемкие геологические и маркшейдерские расчеты, производить оптимальное выделение пропластков руд и пород по каждой выработке и формировать унифицированные массивы исходных данных для дальнейшего построения модели месторождения.

Суть построения модели заключается в следующем. Данные по окважинам заносятся в узлы пространственной решетки. Вследствие нерегулярности и разреженности сети опробования только часть узлов пространственной решетки заполняется реальными геологическими данными, значения которых в процессе дальнейших расчетов не изменяются. Для восстановления значений в остальных узловых точках используется интерполяция. Исследования и анализ результатов модельных испытаний позволили сделать вывод, что лучшими восстанавливающими свойствами для описания распределения геологических характеристик полезного ископаемого обладает интерполирующее уравнение Лапласа, вида

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

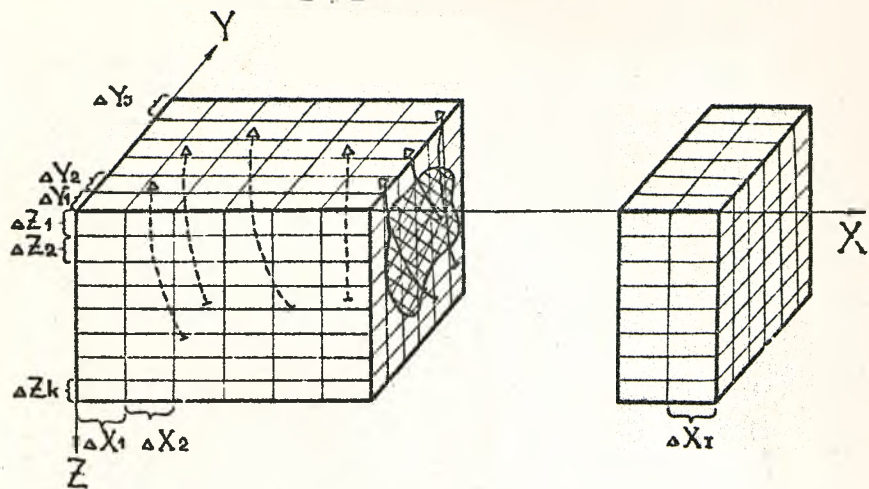


Рис. 1. Область моделирования в виде объемной решетки.

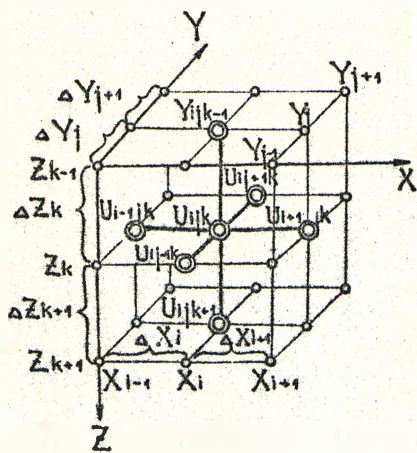


Рис. 2. Модель семиточечной охемы для расчета значений геологического параметра в i, j, k точке.

Значение $U(x,y,z)$ в каждой конкретной точке определяется путем замены уравнения Лапласа в дифференциальной форме его конечно-разностным аналогом с применением метода сеток. Причем метод сеток с равномерным шагом не всегда приемлем из-за технологических и горно-геологических особенностей разработки месторождения. Различная высота уступов, сложность формы рудных залежей, нерегулярность опробования предопределили целесообразность применения неравномерной сетки. Для этого олучая получен конечно-разностный аналог уравнения Лапласа

$$U_{i,j,k} = \frac{1}{[R_x / (\Delta x_i \cdot \Delta x_{i+1}) + R_y / (\Delta y_j \cdot \Delta y_{j+1}) + R_z / (\Delta z_k \cdot \Delta z_{k+1})]} \times$$

$$\left\{ \begin{aligned} & R_x \frac{U_{i+1,j,k} \cdot \Delta x_i + U_{i-1,j,k} \cdot \Delta x_{i+1}}{\Delta x_i \cdot \Delta x_{i+1} \cdot (\Delta x_i + \Delta x_{i+1})} + \\ & R_y \frac{U_{i,j+1,k} \cdot \Delta y_j + U_{i,j-1,k} \cdot \Delta y_{j+1}}{\Delta y_j \cdot \Delta y_{j+1} \cdot (\Delta y_j + \Delta y_{j+1})} + \\ & R_z \frac{U_{i,j,k+1} \cdot \Delta z_k + U_{i,j,k-1} \cdot \Delta z_{k+1}}{\Delta z_k \cdot \Delta z_{k+1} \cdot (\Delta z_k + \Delta z_{k+1})} \end{aligned} \right\}; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}; k = \overline{1, K}; \quad (2)$$

где R_x, R_y, R_z — координатные множители; $\Delta x_i, \Delta x_{i+1}$ — длина интервала сетки i и $i+1$ по оси Ox ; $\Delta y_j, \Delta y_{j+1}$ — длина интервала сетки j и $j+1$ по оси Oy ; $\Delta z_k, \Delta z_{k+1}$ — длина интервала сетки k и $k+1$ по оси Oz ; $U_{i,j,k}$ — значение функции в точке $\{i, j, k\}$; I, J, K — общее количество точек по осям Ox, Oy, Oz . Конечный результат получается согласно итерационного процесса уореднения Либмана по оемиточечной схеме (рис.2).

Выделение рудных тел и блоков определенных сортов и типов руд в пределах всей модели производится на основе пространственной гесметризации.

Реализована возможность формирования математической модели месторождения с использованием погоризонтных планов или геологических разрезов, когда контуры рудных тел задаются с планов или разрезов, а содержание компонентов внутри них принимается уоредненным или уточняется по скважинам путем интерполяции в пределах рудных тел и блоков.

Особенностью разработанной модели месторождения является возможность оперативной корректировки её параметров новыми геологическими данными. Это позволяет значительно повысить достоверность подсчета объемов руды, вскрыши и качественных характеристик полезного ископаемого.

Одним из направлений повышения эффективности принимаемых проектных решений является обеспечение требуемой точности подсчета объемов горных работ на всех стадиях проектирования. Для оценки погрешности подсчета объемов горных работ разработан вероятностно-статистический метод. В основе метода лежит положение, что относительная погрешность подсчета объемов горных работ при дискретном математическом моделировании носит вероятностный характер и может быть оценена доверительной вероятностью. В общем случае относительная погрешность (δ) подсчета объемов зависит от: размеров шага объемной решетки; степени сложности геометрического строения подсчетной области (контуров карьера или границ участков отработки); уровня задач проектирования, определяющего объемы горных работ, которыми необходимо оперировать при расчетах. Степень сложности геометрического строения подсчетной области оценивается коэффициентом сложности ($k_{сл}$), численно равным отношению истинного периметра фигуры, лежащей в основании подсчетной области и имеющей размеры в плане $L_x : L_y$, к периметру фигуры в виде прямоугольника ($l_{пр}$) с такими же линейными размерами. Коэффициент сложности определяет не только степень сложности геометрического строения подсчетной области, но и ее ориентацию относительно системы координат, в которую помещена объемная решетка. Формула расчета доверительной вероятности подсчета объемов горных работ (V_p) с заданной относительной погрешностью (δ) имеет вид

$$p = \Phi \left(\frac{\delta \cdot \sqrt{n}}{\delta_{max}} \right) = \Phi(A) \quad (3)$$

при $n = \frac{k_{сл} \cdot l_{пр}}{\Delta y_x}$; $\Delta y_x = \frac{n_1 \cdot \overline{\Delta X} + n_2 \cdot \overline{\Delta Y}}{n_1 + n_2}$;

$$\delta_{max} = \frac{\Delta Z}{2V_p} (l_{пр} \cdot k_{сл} \cdot \Delta x_y); \Delta x_y = \frac{n_1 \cdot \overline{\Delta Y} + n_2 \cdot \overline{\Delta X}}{n_1 + n_2},$$

где $\Phi(A) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^A e^{-t^2/2} dt$ - функция вычисления вероятности;

n - количество точек, ограничивающих подсчетную область в плане; δ_{max} - максимально допустимое значение относительной погрешности; $\overline{\Delta X}$, $\overline{\Delta Y}$, $\overline{\Delta Z}$ - усредненные значения пространственной решетки по осям OX , OY , OZ ; n_1 , n_2 - количество ячеек решетки по осям OX , OY в границах подсчетной области.

На начальном этапе построения модели месторождения

необходимо определить оптимальный размер шага дискретной решетки по пространственным осям. При этом необходимо исходить из того, что относительная погрешность подсчета объемов (V_p) не должна превышать значения δ при заданной доверительной вероятности. В случае квадратной сетки, шаг дискретной решетки рассчитывается по формуле

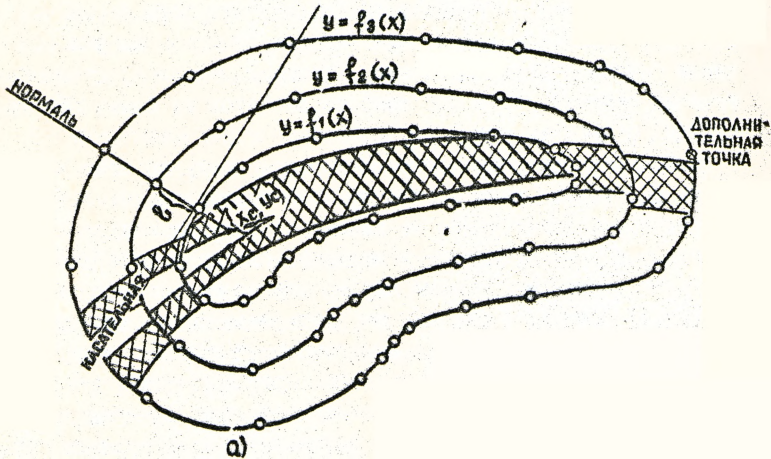
$$\alpha = \sqrt[3]{\left(\frac{2\delta V_p}{\Delta Z \cdot A \cdot \sqrt{C_{sp} \cdot K_{сЛ}}}\right)^2} \quad (4)$$

Эффективность принимаемых проектных решений при автоматизированном проектировании развития горных работ определяется в значительной степени тем, насколько точно удается отобразить карьер по этапам его развития.

Основой разработанной методики пространственного моделирования контуров и развития рабочей зоны карьера являются два алгоритма. Алгоритм построения положений бровок уступов в карьерном пространстве и алгоритм преобразования формы бровок уступов с учетом технологических требований и ограничений.

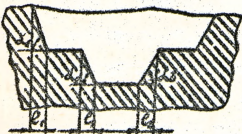
Первый алгоритм осуществляет построение линии $y = f_2(x)$, отстоящей от заданной линии $y = f_1(x)$ на расстояние l . Линия $y = f_1(x)$ определяет исходное положение бровки уступа, а линия $y = f_2(x)$ новое положение, полученное в результате перемещения фронта горных работ. В зависимости от того, какой геометрический элемент карьера отражается, численное значение l меняется. При построении верхней бровки уступа, расстояние l определяется по формуле $l = h \cdot \sin \alpha$, где h - высота уступа; α - угол откоса уступа. При моделировании контуров карьера или перемещения фронта горных работ на уступе, величина l - есть ширина площадки уступа. Ширина площадки уступа определяется для рабочих уступов шириной рабочей площадки ($Ш_{р.п.}$); для нерабочих уступов шириной предохранительной бермы ($Ш_{п.б.}$); для нерабочих уступов на участках, где располагаются транспортные коммуникации, шириной транспортной бермы ($Ш_{т.б.}$), рис. 3.

При развитии горных работ расстояние между точками, аппроксимирующими линии уступов на участке фронта горных работ, постоянно увеличивается. Поэтому в процессе построения между двумя соседними точками предусмотрено построение дополнительной точки для сохранения требуемой относительной погрешности горногеометрических расчетов, принятой для объ-

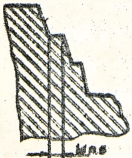


ПОСТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ БРОВКИ УОУПА

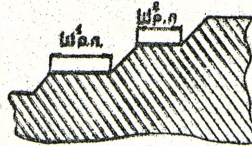
$$L = h \cdot ctg \alpha$$



ПОСТРОЕНИЕ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА $L = Ш \cdot n$



ПОДВИГАНИЕ НИЖНЕЙ БРОВКИ УОУПА НА ВЕЛИЧИНУ ШИРИНЫ РАБОЧЕЙ ПЛОЩАДИ $L = Ш_{р.п}$



ПОСТРОЕНИЕ НЕРАБОЧЕГО БОРТА КАРЬЕРА В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ $L = Ш \cdot t \cdot b$

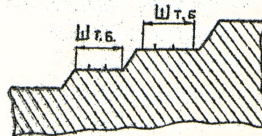


Рис.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРОВ И РАЗВИТИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРА

а) МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВИГАНИЯ БРОВКИ УОУПА ; б) ФОРМИРОВАНИЕ СОРТОВ КАРЬЕРА НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ КАРЬЕРНОГО РОВА ;

емной модели месторождения. Автором получена формула, позволяющая определить расстояние между точками на различных участках линии уступов в зависимости от требуемой относительной погрешности. Формула имеет вид

$$\delta = \frac{17,75}{k^{1,432}}, \quad (5)$$

где δ - значение относительной погрешности горногеометрических расчетов; k - отношение радиуса кривизны на участке линии уступа к расстоянию между точками. Например, для обеспечения относительной погрешности расчетов не более 3%, величина k принимается 3,5.

При формировании контуров карьера предусмотрена возможность построения капитальных траншей и съездов, которые совместно с участками трасс на площадках уступов определяют сеть транспортных коммуникаций в карьере. Для повышения адекватности отображения развития карьерного пространства, на верхних горизонтах производится корректировка положения контуров карьера в соответствии с топографией дневной поверхности.

В связи с тем, что построение бровок уступов при развитии горных работ производится в целом для карьера, при моделировании учитывается ряд технологических факторов и ограничений, определяющих закономерности формирования рабочей зоны как в целом по карьере, так и по каждому отдельному рабочему горизонту.

К таким факторам и ограничениям относятся:

- система разработки и её параметры, определяющие направление, скорость и участки продвижения фронта горных работ;
- соблюдение требований к взаимному расположению линий фронта на смежных по высоте горизонтах отработки по условиям сохранения технологически необходимой ширины площадки уступа;
- учет положения граничных контуров карьера и рельефа дневной поверхности.

Направление и порядок перемещения фронта горных работ для различных систем разработки при моделировании определяются трафаретом, представляющим совокупность четырехугольников и секторов. В пределах трафарета может производиться продвижение фронта горных работ. Такой подход позволяет отобразить развитие горных работ как для углубленных, так и для оплосных систем открытой разработки месторождений.

Совместное использование разработанных алгоритмов позволяет решать следующие технологические задачи, возникающие в процессе проектирования открытых горных работ.

1. Построение промежуточных и граничных контуров карьера при заданных вариантах заложения дна карьера, набора допустимых значений углов наклона бортов карьера, углов откосов отдельных уступов, ширины берм на различных участках карьерного поля.

2. Построение серии положений рабочей зоны карьера согласно принятой системы разработки и ее параметров, с учетом конструкции бортов, граничных контуров карьера и рельефа дневной поверхности.

3. Подвигание участка фронта горных работ на одном из уступов и разно бортов карьера на вышележащих горизонтах для обеспечения технологически необходимых площадок уступов.

4. Консервация бортов и сдваивание части уступов по периметру и глубине карьера.

Методики дискретного объемного математического моделирования месторождений, пространственного моделирования контуров и развития рабочей зоны карьера предопределили необходимость проведения горногеометрических расчетов в целом для всего карьера, без промежуточных построений и вычислений. Основой разработанной методики горногеометрических расчетов служит дискретная объемная модель месторождения, которая обеспечивает подсчет объемов горных работ в контурах, определяемых серией оmodellированных или принятых проектировщиком положений рабочей зоны карьера.

Сеточно-узловая структура модели месторождения позволяет рассматривать ее как трехмерную матрицу размерности $I \cdot J \cdot K$, где I, J, K - количество узловых точек модели по координатным осям Ox, Oy, Oz . Каждый элемент матрицы соответствует узловой точке и характеризуется следующими параметрами: геологическими - содержание компонентов, сорт руды или порода; пространственными - координаты узловой точки по осям Ox, Oy, Oz и признак принадлежности определенному этапу отработки.

Такая совокупность параметров позволяет производить горногеометрические расчеты используя некоторый набор элементарных операций над элементами трехмерной матрицы. Выпол-

нение элементарных операций в определенной последовательности позволяет производить следующие горно-геологические расчеты.

1. Группировка руд по типам и сортам, рудным телам, горизонтам и участкам (выделение отдельных типов и сортов руд, выделение руд с определенным содержанием составляющих компонентов и по другим качественным и количественным признакам).

2. Расчет объемов руд и средних содержаний составляющих компонентов по рудным телам и блокам.

3. Расчет объемов и качественных характеристик руд, подсчет объемов пород и горной массы в пределах выделенных контуров этапов отработки.

4. Расчет среднего и текущего коэффициентов вскрыши.

5. Направленный подсчет объемов руд и пород для серии положений рабочей боны карьера по альтернативным вариантам, позволяющий определить распределение этих объемов в пространстве и на их основе выбрать наиболее рациональный вариант развития горных работ.

Эффективность принимаемых проектных решений по развитию горных работ в карьерах, разрабатывающих сложноструктурные многокомпонентные месторождения, определяется прежде всего равномерностью вскрышных и добычных работ и стабилизацией качества добываемого полезного ископаемого. При этом горные работы в карьере должны вестись согласно принятой системы разработки, с учетом действующей схемы вскрытия.

Эта задача решается путем комплексного учета горно-геологических и технологических условий разработки месторождений. Комплексная взаимосвязка различных условий разработки месторождений достигается совместным кодированием геологической и горногеометрической информации в точках, аппроксимирующих линии уступов. Основой получения геологической информации служит дискретная объемная модель месторождения, а горногеометрической - модель карьера. Каждая точка кроме значений ее пространственных координат, характеризуется параметрами: принадлежность точки промежуточным или граничным контурам карьера; привязка расположения точки на участках капитальных траншей и съездов; вид горной массы (руда, порода). На участке месторождения, пространственно совпадающим с положением точки, характеристики полезного ископаемого в точке;

длина интервала, в пределах которого параметры точки остаются неизменными. Согласно принятой схеме кодирования информации, карьер может быть представлен в виде некоторой совокупности линий. Каждая линия включает несколько точек, характеризующихся одинаковыми параметрами. Для соблюдения требований равномерности вскрышных и добычных работ и стабилизации качества полезного ископаемого могут передвигаться только отдельные линии с требуемыми геологическими характеристиками. В процессе моделирования геологическая и горногеометрическая информация в точках постоянно уточняется и корректируется на основании данных моделей месторождения и карьера. Методика горногеометрических расчетов позволяет производить точные подсчеты объемов руды, вскрыши и качественных характеристик полезного ископаемого.

Если при моделировании развития горных работ невозможно добиться выполнения условий равномерности вскрышных и добычных работ и стабилизации качества полезного ископаемого, то предусмотрены следующие способы регулирования режима горных работ: изменение охемы вскрытия; изменение системы разработки; консервация бортов и одвигание части уступов по периметру и глубине карьера; принятие новых промежуточных контуров карьера.

Методы оптимального проектирования и планирования развития горных работ обеспечивают определение наилучших с точки зрения принятого критерия оптимальности проектных решений при соблюдении ограничивающих условий технологического порядка. Но применение оптимизационных методов одерживается трудоемкостью формирования моделей месторождения и карьера, которые являются информационной основой оптимизационных расчетов; значительной погрешностью подсчета объемов руды, вскрыши, качественных характеристик полезного ископаемого; сложностью корректировки параметров моделей. Предложенные объемные модели позволяют в значительной мере избежать этих недостатков. Учитывая это, разработаны два алгоритма преобразования объемных моделей в блочную математическую модель месторождения и математическую модель месторождения и развития рабочей зоны карьера. Такой подход позволяет с одной стороны использовать разработанные методики, алгоритмы и программы оптимизационных расчетов, которые адаптированы для оп-

ределенного типа месторождений и описывающих их моделей, а с другой стороны автоматизировать процесс формирования таких моделей.

Блочная модель базируется на представлении карьерного пространства в виде блоков, в пределах которых определены объемы руды, породы, горной массы, содержание составляющих компонентов. Блочная модель позволяет решать задачи оптимизации календарного планирования и отыскания оптимальной траектории движения рабочей зоны карьера.

Математическая модель месторождения и развития рабочей зоны карьера представляет собой совокупность элементов, каждый из которых характеризуется количественными и качественными показателями (объемы руды по сортам и типам, вскрыши, содержание полезных и вредных компонентов, средневзвешенное расстояние транспортирования руды и вскрыши), рассчитанными при понижении горных работ на один уступ в пределах участка карьерного поля. Модель предназначена для расчета оптимальных календарных планов горных работ в условиях открытой разработки сложноструктурных многокомпонентных крутопадающих месторождений пластового типа.

С использованием разработанных методик, алгоритмов и программ исследованы варианты развития горных работ и порядка отработки месторождений Полтавского ГОКа. В качестве информационной геологической основы использовалась дискретная объемная математическая модель Горюшне-Плавнинского и Лавриковского месторождений, построенная с использованием разведочных окважин, погоризонтных планов и поперечных разрезов. В процессе построения модели месторождения исследовалась погрешность подсчета объемов горных работ в зависимости от типа исходной геологической информации. Установлено, что погрешность подсчета объемов во всех случаях не превышает 5%, а содержания компонентов 3%. Для обоснования порядка отработки месторождений исследовались варианты развития рабочей зоны карьера, для каждого из которых был проведен геометрический анализ, установлены календарные графики. На основании технико-экономического анализа вариантов установлен рациональный вариант развития горных работ в карьере.

Методики, алгоритмы и программы выделения кондиционных переосечений по выработкам, автоматизированного подсчета объ-

емов руд и качественных характеристик полезного ископаемого, преобразования объемной модели в математическую модель месторождения и развития рабочей зоны карьера использованы при планировании горных работ на месторождении Жанатас. Исследовано влияние достоверности геологической информации на точность расчетов календарных планов горных работ и рассчитан оптимальный план горных работ, обеспечивающий минимум текущего коэффициента вскрыши с соблюдением требований к объемам и качеству добываемой руды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных в диссертационной работе исследований дано новое решение актуальной научной задачи совершенствования методов проектирования открытых горных работ, заключающееся в разработке методик объемного математического моделирования месторождений и карьеров, которые обеспечивают возможность гибкого изменения направления и порядка развития рабочей зоны карьера в зависимости от горно-геологических и технологических условий и позволяют повысить эффективность и качество принимаемых проектных решений, сократить сроки, снизить трудоемкость и затраты на проектирование карьеров.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Предложен новый принцип автоматизированного проектирования открытых горных работ для условий отработки сложно-структурных многокомпонентных месторождений, основанный на адаптации параметров и конфигурации рабочей зоны к изменяющимся в процессе развития горных работ горно-геологическим условиям, обеспечивающий возможность целенаправленного формирования рабочей зоны карьера в режиме равномерности вскрышных и добычных работ и стабилизации качества полезного ископаемого.

2. Разработана методика моделирования контуров и развития рабочей зоны карьера, основанная на комплексном учете геометрических и горно-технологических закономерностей формирования карьерного пространства, учитывающая изменение конструкции бортов карьера в процессе развития горных работ, технологические требования к взаимному расположению уступов

на смежных по глубине горизонтах отработки, влияние топографии дневной поверхности на формирование контуров карьера верхних горизонтов. Методика характеризуется высокой точностью воспроизведения положений контуров карьера, что позволяет использовать ее при построении на графопостроителе планов горных работ.

3. Разработана методика дискретного объемного математического моделирования сложноструктурных многокомпонентных месторождений, позволяющая с высокой степенью достоверности отображать в ЭВМ рудные залежи и распределение качественных характеристик полезного ископаемого в них, путем использования совместно или раздельно данных разведочных окважин, погоризонтных планов, поперечных разрезов и применения объемной интерполяции. Методика предусматривает корректировку параметров модели новыми геологическими данными, что позволяет использовать модель при проектировании и планировании открытых горных работ.

4. Установлены аналитические зависимости размеров дискретных элементов моделей месторождения и карьера от требуемой погрешности горногеометрических расчетов, позволяющие определять оптимальные размеры дискретных элементов моделей месторождения и карьера, рассчитать и оценить погрешность горногеометрических расчетов на всех этапах автоматизированного проектирования открытых горных работ.

5. Разработанные методики и алгоритмы реализованы в виде программ для ЕС ЭВМ, позволяющих проектирование горных работ осуществлять с использованием диалогового режима.

6. На основании результатов теоретических исследований и в соответствии с заданием целевой комплексной научно-технической программы О.Ц.039 разработана дискретная объемная математическая модель Горилане-Плавнинского и Лавриковского железорудных месторождений Полтавского ГОКа. В период опытных испытаний разработанных методик, алгоритмов и программ установлено, что реализация модели в условиях Полтавского ГОКа обеспечивает относительную погрешность подсчета объемов руды и вскрыши в пределах 1-5% и качественных характеристик полезного ископаемого в пределах 0,5-3%. В результате проведенного геометрического и технико-экономического анализа вариантов отработки месторождения Полтавского ГОКа

установлен рациональный вариант, характеризующийся интенсификацией развития горных работ в северном направлении вдоль рудных залежей.

7. Выполненные расчеты календарных планов горных работ по руднику Жанатае показали, что использование методик автоматизированного выделения кондиционных перечислений по выработкам и подсчета запасов руд и объемов пород при формировании модели календарного планирования и ее корректировке данными эксплуатационной разведки сокращает трудовые затраты в 20 - 30 раз по сравнению с традиционными методами, повышает достоверность подсчета запасов, позволяет установить рациональный календарный план, удовлетворяющий требованиям производства к объемам горных работ и качественным характеристикам полезного ископаемого.

Экономический эффект от внедрения и использования разработанных методик, алгоритмов и программ в институте "Кунгипроруда" и производственном объединении "Каратау" составил 180 тыс. рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. Объемное моделирование месторождений на основе использования уравнений в частных производных. - Сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. - Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 3-10.
2. Ашаев Ю.П., Кулубеков Т.К. Новый подход к решению задачи выделения кондиционных перечислений для подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки в карьере Жанатае. - Сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. - Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 10-16.
3. Кулубеков Т.К., Ашаев Ю.П. Текущее планирование горных работ с учетом организации технологических процессов. - Сб.: Технология процессов разработки месторождений твердых полезных ископаемых. - Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 38-42.
4. Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. К вопросу оценки методов приближенного решения горно-геометрических задач с применением ЭВМ на основе использования дискретных исходных величин. - Сб.: Технология процессов разработки месторождений твердых полезных ископаемых. - Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 97-101.

5. Букейханов Д.Г., Ашаев Ю.П., Съедин С.В. Оценка погрешностей подсчета площадей при горно-геометрическом анализе.- Тезисы докладов и сообщений на XVI научной конференции профессорско-преподавательского состава.- Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 183-183.
6. Букейханов Д.Г., Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. Подсистема объемного математического моделирования месторождений и горно-геометрического анализа в САПР карьеров.- Тезисы докладов и сообщений на XVI научной конференции профессорско-преподавательского состава.- Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 180-182.
7. Букейханов Д.Г., Андреева Г.Н., Ашаев Ю.П. Аналитическое моделирование развития горных работ в САПР карьеров.- Тезисы докладов и сообщений на XVI научной конференции профессорско-преподавательского состава.- Алма-Ата: КазПИ, 1982, с. 177-178.
8. Букейханов Д.Г., Ашаев Ю.П., Съедин В.Ф. Объемное моделирование горно-геологических параметров на ЭВМ. - Изв. вузов "Горный журнал", 1983, №10, с. 1-5.
9. Моделирование развития горных работ и контуров карьера с помощью ЭВМ / Ю.П. Ашаев, Г.Н. Андреева, В.Ф. Съедин, С.В. Съедин - Экспресс-информация КазНИИТИ, серия 07, вып. 96, Алма-Ата, 1983, 14с.
10. Ашаев Ю.П. Система автоматизированного выделения кондиционных пропластков, подсчета запасов руд и объемов пород на руднике Жанатао. - Экспресс-информация КазНИИТИ, серия 52.41.01.85. вып. 100, Алма-Ата, 1983, 13с.
11. Применение ЭВМ при определении кондиционных параметров разведанного массива с нечеткими границами оруденения / Д.Г. Букейханов, Ю.П. Ашаев, А.А. Кирпота, Г.Н. Андреева, Н.Р. Сундукнов - Экспресс-информация КазНИИТИ, серия 52.01.77 : 52.13.03. вып. 1, Алма-Ата, 1984, 15с.
12. Аналитическое моделирование развития горных работ в системе автоматизированного проектирования карьеров / Ю.П. Ашаев, С.В. Съедин, Г.Н. Андреева, Л.С. Цой - Сб.: Добыча руд цветных металлов. - Алма-Ата: КазПИ, 1984, с. 3-8.
13. Букейханов Д.Г., Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. Моделирова-

ние контуров и развития рабочей зоны карьера при автоматизированном проектировании карьеров. - Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции "САПР горнодобывающих предприятий". - Ташкент, 1984, с. 26-27.

14. Ашаев Ю.П. Применение уравнения Лапласа для моделирования горно-геологических параметров.- Тезисы докладов республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. Том 4. - Алма-Ата, 1984, с. 92-93.

15. Букейханов Д.Г., Ашаев Ю.П., Андреева Г.Н. К вопросу организации автоматизированной обработки геологических данных при проектировании карьеров в режиме усреднения качества. - В кн.: Совершенствование методов усреднения руд (Материалы IУ Всесоюзного совещания. г. Фрунзе, 5-7 октября 1982 года) - Фрунзе: изд. "Илим", с. 252-253.

УТ 30520 Подписано в печать 9.12.85 г.
Ротапринт: КОМЭ г.Алма-Ата, пр.Ленина,85
Заказ 1750 т.100